

ÉCOLE DOCTORALE ABBE GREGOIRE
Histoire Techniques Technologie Patrimoine

THÈSE présentée par :
Michel COM'NOUGUE

soutenue le : **29 novembre 2012**

pour obtenir le grade de : **Docteur du Conservatoire National des Arts et Métiers**

Discipline/ Spécialité : Histoire des Techniques

**Les Nouvelles Méthodes de Navigation
durant le Moyen Age**

THÈSE dirigée par :

GUILLERME André

Docteur ès lettres, Professeur au Cnam

RAPPORTEURS :

BOUILLON Didier

HDR. Professeur, Ecole du Paysage de Versailles

BENOIT Paul

HDR Professeur émérite, ENS Architecture de Nantes

JURY :

PENEAU Jean-Pierre

HDR. Professeur émérite. ENS Architecture de Nantes

Résumé : Les nouvelles méthodes de navigation durant le Moyen Age

Le navire de commerce à voile est propulsé par le vent et doit donc suivre cette direction générale. La navigation peut se définir selon un aspect d'abord stratégique comme le choix d'une route en tenant compte des contraintes imposées par le vent et un aspect tactique concernant le tracé et le contrôle, en cours d'exécution de cette route.

1-La navigation à vue.

1-Dans un premier temps, la navigation antique ne se réfère qu'au seul vent qui est le moteur mais aussi le guide du navigateur pour suivre la route fixée par l'observation des traces qu'il imprime sur la mer. C'est la navigation à vue. La limite de la méthode est atteinte quand le vent devient changeant au large, ce qui oblige alors une vérification de la direction par l'observation des astres.

2-La mise au point de l'estime.

2- L'apparition de l'aiguille aimantée résout en partie ce problème. L'orientation géographique entraîne la mise au point, à la fin du XIII^e siècle, d'une nouvelle méthode : l'estime. L'estime est la résolution graphique des problèmes que pose le contrôle de la route choisie. Cette résolution suppose, d'une part, l'usage de la boussole et d'une orientation géographique et, d'autre part, une analyse vectorielle sur un support la carte marine qui est donc indissociable de la méthode. Le plus gros défaut de l'estime est que les positions sont définies par projection dans le futur de paramètres, cap et distances parcourues actuels. Des différences sont donc à prévoir qui entraînent une zone d'incertitude sur le point estimé.

3-Les débuts de la navigation astronomique, hauteurs arabes et méridiennes portugaises.

3- Lorsqu'au début du XV^e siècle les navigateurs se lancent dans l'inconnu, obligés de suivre le vent qui décrit des boucles, les voyages s'allongent sans voir la terre pour une confrontation avec des positions avérées. La taille des zones d'incertitude obligent le navigateur à préciser sa position finale par d'autres méthodes basées sur des observations astronomiques. On peut distinguer deux méthodes : Tout d'abord, la méthode des hauteurs de

polaire, de 1433 à 1480 environ, qui permet de finaliser la *volta* et d'effectuer un atterrissage selon une route Est-Ouest. L'analyse de la technique nautique de Colomb, qui utilise cette méthode, est très semblable à celle décrite par Ibn Majid dans son traité de navigation. Il est probable qu'il y a eu transmission sans pouvoir préciser les circonstances exactes.

Mais dès que les navigateurs franchissent l'équateur la polaire devient indisponible, les navigateurs doivent observer le soleil. Cette deuxième méthode est plus délicate car les paramètres du soleil changent chaque jour. Ils obligent donc le navigateur à calculer la latitude, à partir de l'observation de la méridienne de soleil et par l'usage de tables des données solaire : *os regimentos do sol*. C'est cette méthode qui permet à Vasco da Gama de doubler le cap de Bonne Esperance, en 1498, ce qui marque la fin de la période étudiée.

Conclusion.

Pour conclure il faut remarquer que ces deux dernières méthodes sont le fruit d'une coopération entre les usagers et les scientifiques sous l'égide du pouvoir, décidé à atteindre le but fixé. C'est donc le fruit d'une véritable recherche scientifique.

En second lieu, il faut également noter que les progrès de la navigation accompagnent des progrès parallèles en architecture navale, le gouvernail d'étambot, ainsi que de nouvelles procédures dans le commerce maritime. L'étude des interactions entre ces divers domaines reste à faire.

Mots Clés:

Navigation à vue. Aiguille aimantée. Estime. Portulan. Hauteur de polaire. *Volta*. Méridienne de soleil. Latitude. *Regimentos do sol*. Edrisi. C.Colomb. Ibn Majid. Vasco da Gama.

Résumé:

New Navigational Methods during the Middle Ages

A sailing vessel is pushed forwards by the wind in the general direction towards it is blowing. Navigation should comply with strategic goals: i.e. the choice of a route to a port of destination, taking into account this wind constraint. A tactical aspect is involved when following this route and checking, the entire voyage long, the good guidance of the ship.

Part I- navigation by visual contact.

1-In the first ages of navigation, the mariner is referring to the sole element at his disposal: the wind. It gives him elements for the direction to choose, if it is a convenient time for sailing and also it supplies the means of checking and controlling the course of the ship, by observation of the marks it is printing on the surface of the sea. Variable wind is the limit of this method. In this case, only sky observation can give an indication of the direction to follow.

Part II- Dead reckoning Navigation.

2- The finding of the magnetic needle solves this problem and from this new tool, a new navigation method is implemented, around the end of the XIII.th century. Dead reckoning is a way to determinate ship's position at any moment, using a vector analysis for solving graphically the problems that checking the chosen course can induce. This graphical method is using the compass indications and needs necessarily using a marine chart. The main problem of dead reckoning is that, using present data to reckon future positions, any error in assessing these data supposes an uncertainty in this position. Correction of the route is necessary by verifying with actual land falls. Longer the voyage without such confrontation and bigger the uncertainty zone to be faced.

Part III- The beginning of astronomical navigation, Arab polar depth and Portuguese meridians.

3-In the beginning of the XV.th century, Portuguese mariners started to run the open ocean. They had to follow the wind which runs along a long loop across the ocean, *la volta*. Therefore running in the open seas, without any land to be seen, in order to check the actual position, obliged mariners to elaborate new methods based on astronomical observations in order to reduce the size of this uncertainty zone, when arriving to the landing point. A first

method is based on the observation of the pole star depth; between the years 1433 to 1480. It is based on observation of the pole star depth. Analysis of C. Columbus nautical art shows similarities with the written work of Ibn Majid, his contemporaneous Arab nautical expert.

Crossing the equator line made the polar star not available any more. Therefore, the method had to be changed and the second method involved sun observations. This is more complex as the sun data are changing every day. Therefore mariners had to reckon the latitude, using the observations of the meridian line and using of sun data tables: the so called *regimentos do sol*. Through this method Vasco da Gama was able to reach the Indian Ocean after passing the Cape of Good Hope. This closes the period of this study.

Conclusion.

The conclusion should take into account the fact that these astronomical methods were not entirely empiric but the result of a joint research of users, mariners and scientists. This endeavor was made possible because a central power, the Infant first , then King Joao II, were willing to proceed more south and gave their mariners the technical means to do so.

A second conclusion observes that progress of navigation were accompanied by parallels progresses in naval construction and maritime new contracts and ways of handling commercial matters. There are surely interactions between these three domains, but we have still to put them into evidence.

Key words:

Visual landmarks navigation. Magnetic needle Compass. Dead reckoning. Nautical chart. Pole star depth. *Volta*. Meridian line position. Latitude. *Regimentos do sol*. Edrisi. C.Colomb. Ibn Majid. Vasco da Gama.

Table des matières

Résumé de la Thèse (Version française). p .2

Résumé de la Thèse (Version anglaise). p. 4

Table des matières. p. 6

0-Introduction générale p.18

0-1 Intérêt du sujet. p. 21

0-2 L'importance de la question délimite la période. p, 23

0-3 Limites géographiques. p. 24

0-4 Limites de contenu. p. 24

A- Manœuvre et navigation. p. 24

B- Commerce et transport maritime. p. 25

C- Histoire maritime et Histoire navale. p. 28

D- La galère. p.30

E- Le navire de charge. p. 31

F- Ambiguïté des types de navires, galères, galées et navires mixtes. p. 34

G- La galée. p. 36

H- Autres navires mixtes, le linh. p. 40

0-5 La méthode. p. 43

0-6 Les sources. p. 44

A- Les chroniques. p. 44

B- La littérature générale. p. 45

C- Le récit de mer. p. 47

D- Les sources juridiques. p. 48

E- La littérature professionnelle. p. 51

0-7 Justification du plan, p. 54

Première partie la navigation à vue

1-0.Introduction à la navigation à vue p. 72

Le vent, le moteur et le guide.

1-0.1 Aller à la voile, p. 58

1-0.2 Naviguer avec le vent, p. 63

1-0.3 Naviguer malgré le vent, p. 67

1-0.4 Chercher un vent favorable, p. 72

Chapitre Premier

La base de la navigation à vue, la navigation côtière.

1-0.Introduction, définitions. p. 76

1-1.1 Les sources, p. 80

A- Ibn Hawqal, le précurseur. p. 81

B- Edrisi, élève d'Ibn Hawqal. p. 83

1-1.2 Edrisi, un guide de la navigation selon son texte. p. 87

A- L'utilisation des brises thermiques en navigation côtière. p. 89

B- Le repérage par rapport à la côte. p. 94

C- On suit la côte sans s'inquiéter du cap. p. 95

1-1.3 Le problème des distances, p. 98

A- Arpenter la mer en galère. p. 99

B- Edrisi mesurait-t-il en milles romains ou arabes ? p. 103

1-1.4 Conclusion. Les limites de la navigation côtière. p. 105

Chapitre 2

Naviguer contre le vent.

1-2.1 Les Sources. p. 109

1-2.2 La navigation nilotique, p.110

A- Naviguer avec le courant p 111

B- La solution antique. p. 112

1-2.3 Mettre en panne, p. 117

1-2.4 Remonter au vent, p. 119

A- Louvoyer, sa signification, p. 124

B- Les anciens à la manœuvre. p. 125

C- Le capitaine Amarantos et le lof pour lof, selon Synésios. p . 128

D les anciens et le virement, vent devant. p. 130

1-2.4 A défaut de louvoyer, il faut pourtant remonter au vent, p. 134

1-2.5 Conclusion. Gréements carrés, gréements latins, origines et différences. p.139

Chapitre 3

1-3.0 *La navigation à vue, navigation hauturière. p.146*

1-3.1 Les Sources. p. 149

a- Le Périples de la Mer Erythrée. p 150

b- Le voyage du marchand Suleyman. p. 153

1-3.2 Traverser au portant. L'allure et le cap. p.156

1-3.3 Atterrir. p. 160

A- Atterrissage par tentatives itératives. Les silences d'ibn Jubayr. p. 160

B- Atterrissage au terme d'une traversée en droiture, l'atterrissage selon le Périple. p.161

C- En ce qui concerne le document sur le voyage en Chine. p.164

1-3.4 Arriver : la dimension temps. p.169

1-3.5 Conclusion. p. 174

1-4.0 Conclusion de la première partie

Les limites de la méthode. p. 179

1-4.1 La source, le voyage de Paul. p. 180

1-4.2 Le texte de Luc., p. 181

1-4.3 Exemplarité du texte de Luc et conclusion. p. 193

Deuxième partie : l'invention de l'estime. p. 196

2-0. Introduction p. 197

-Des problèmes urgents se posent. p. 198

-Se repérer dans l'espace. p. 198

-Mémoriser les routes. p. 199

-Définition des termes. p. 201

-Le problème historique de l'estime, origine et datation. p. 201

Chapitre Premier.

2-1.0 *La navigation scandinave. Les nordiques sur la route de l'Ouest,* p. 203

2-1.1 La navigation scandinave s'oriente sur les points cardinaux. p 207

A Les sources, p. 208

B Les méthodes de la navigation côtière, p. 208

2-1.2 La ligne Est-Ouest, guide de la navigation hauturière. p. 215

A Les précédents, les arpenteurs romains. p. 215

B La navigation hauturière scandinave. p. 220

-Les sources. p. 220

-Les faits. p. 222

-L'explication, des conditions parfois favorables. p. 223

-Les méthodes de la navigation hauturière scandinave, p. 226

2-1.3 Une hypothèse sur les moyens de l'orientation Est-Ouest scandinave, p. 231

A Comment se pose d'une façon générale le problème. p. 231

B Constitution de l'hypothèse. p. 234

2-1.4 Conclusion : Le voyage d'Islande, une course d'orientation, p.239

Chapitre 2.

2-2.0 Les instruments de l'estime la mémoire de la route. p. 241

2-2.1-Les sources p. 243

A Un système basé sur l'orientation. Héron d'Alexandrie et le dioptré. p. 243

B Les cartes du ciel. p. 246

C Les sources directes. p. 247

2-2.2- Estimation des paramètres. p. 248

A L'orientation géographique. p. 248

-L'aiguille aimantée p. 249

-De l'aiguille aimantée au compas. p. 252

B L'estimation de la distance. p. 256

2-2.3 Mise en mémoire des données. p. 261

A Du Périples au *Compasso da navegare*. p. 261

B Le portulan transcription graphique du *Compasso*. p. 265

2-2.4 Validation de la méthode. p. 269

A La carte des rhumbs et distances, approche théorique. p. 269

-La projection d'al-Biruni. p. 270

-Le portulan et les cartes médiévales. p. 273

-La carte d'Edrissi. p. 273

-La mappemonde *Orbis Terrae*. p. 273

-Le retour tardif de Ptolémée et de sa carte. p. 274

B Nouveaux développements du portulan, la ou les cartes de Colomb. p. 276

2-2.5 Conclusion. Les limites de la carte par rhumbs et distances. p. 281

Chapitre 3.

2-3.0 La pratique de l'estime. La mémoire de la route. p. 285

2-3.1-Les sources. p. 287

A Datation de la méthode. p. 288

B Le journal de bord de Christophe Colomb. p. 290

2-3.2 L'estime une méthode compatible avec le portulan. p. 294

A L'estime. p. 294

B Le portulan support de l'estime, mode d'emploi. p. 298

-Le marteloire instrument de lecture du portulan. p. 299

2-3.3 Validation de la méthode. p. 300

A Erreurs conceptuelles. p. 301

-Premier biais : confusion entre l'arc de grand cercle et loxodromie. p. 302

-Deuxième biais : L'orientation ne tient pas compte de la déclinaison magnétique. p. 302

-Troisième biais : le navigateur néglige la dérive. p. 304

-Erreur sur les paramètres. Erreurs sur les données. p. 305

B Application chiffrée, l'estime de Colomb. p. 307

-Les deux estimates p. 307

-Y a-t-il un biais dans les positions données par Colomb ? p. 309

-Analyse de l'estime de Colomb. p. 311

-Position respectives des estimates le jour de l'arrivée à Santa Maria, p. 315

2-3.4 Conclusion. p. 317

2-4.0 Conclusion de la deuxième partie

Une méthode toujours d'actualité. p. 321

Pour résumer cette deuxième partie. p. 323

L'explosion géographique de l'espace maritime est-elle une conséquence de l'estime, p. 325

Le passage avait été déjà forcé avant 1278. p.325

Le passage Est-Ouest est une entreprise génoise donc neutre. p. 327

En Orient c'est l'époque du doute. p. 328

A l'Ouest s'ouvrent des opportunités. p. 328

Troisième partie. Les débuts de la navigation astronomique. p. 332

3-0. Introduction p 333

Chapitre Premier

3-1.0 La transmission de l'astronomie arabe en occident p 341

3-1.1 L'Astronomie arabe, une synthèse p. 342

-Observations et observatoires. p. 347

3-1.2 Cosmographie et géographie scientifique, p.350

-Les acquis de l'antiquité. p. 351

-L'apport arabe en géographie scientifique. p. 352

3-1.3 Cartographie antique et arabe, p.355

A -Marin de Tyr p. 356

B -Les cartes de Ptolémée p. 357

C- Les itinéraires romains. p. 358

D- Les relevés cadastraux. p. 358

E -La cartographie arabe p 359

F-De la cartographie scientifique à la carte marine chez les arabes ? Le mystère de la carte marine de Moallem Cano. p. 364

3-1.4 Transmission des savoirs à l'Occident. p. 368

-Une occasion manquée : la présence franque en Palestine. p. 368

-Une deuxième occasion manquée la présence des commerçants italiens à Alexandrie. p. 369

-Une première opération réussie, les monastères catalans. p.372

-Une deuxième opération réussie, la Sicile normande. p. 373

-La troisième opération réussie, l'école des interprètes de Tolède. p. 373

-L'astrolabe, un instrument hérité des Arabes. p. 376

-Un instrument perfectionné par les Arabes, les tables astronomiques p. 377

3-1.4 Conclusion. p. 378

Chapitre 2

3-2.0 Les Arabes et Ibn Majid. La navigation oblique, p. 380

3-2.1 Les sources, Ibn Majid, Suleiman l-Mahri et Sidi Celebi. p.383

A Les divers problèmes exposés par Ibn Majid, les commentateurs. p. 385

B La problématique d'ibn Majid. p. 387

3-2.2 Les instruments théoriques de la méthode, p. 390

A Instruments de l'observation astronomique ; les *quiyas*. p. 391

-Les substituts de la méridienne, les *bashi*. p 394

-Autre substitut de la méridienne, les hauteurs *abdal*. p. 397

-Calcul de la latitude dans l'hémisphère Sud. p. 399

B Les instruments de l'estime. Les *zams*. p. 401

C les instruments de la navigation oblique. *Les tirfa*. p. 404

3-2.3 La mise en œuvre de la méthode, pratique de la navigation, p.408

A Les observations astronomiques, p. 409

-Prise de hauteur des astres et méridiennes. p. 411

-La culmination, les gardes. p. 415

B Mise en place de l'estime. p. 417

C Typologie des routes d'après ibn Majid. p 424

D le contrôle de la route par une suite de méridiennes p. 427

3-2.4 Validation de la méthode, p.440

A Les observations astronomiques, validation. p. 441

B Le contrôle de la route. p. 444

3-2.5 Conclusion : La navigation oblique, un goulet vers le port, p. 448

Chapitre 3

3-3.0 Les méridiennes portugaises, un effort soutenu, p.451

3-3.1 La conquête de l'Afrique, son déroulement, ses motivations, p .456

A La première période Henri le navigateur. De 1415 à 1433. p .457

B La deuxième période cd 'Henri le navigateur de 1441 à 1460. p. 460

C L'époque intermédiaire d'Alphonse V, de 1460 à 1481. p. 462

D La marche vers le Sud à allure forcée, Jean II à partir de 1481. p. 464

3-3.2 La théorie nautique. p.466

A La mise au point des instruments de mesure, Astrolabe et quadrant. p. 467

-Astrolabe et quadrants nautiques, arbalestrille. p. 470

B La volta d'Eanes et la méridienne de polaire. p. 473

C La nautique dans l'hémisphère Sud, méridienne de soleil et *volta do Brasil*. p. 475

D Le débat. p. 479

3-3.3 Les méthodes de navigation de Colomb d'après son journal. p. 484

A La volta selon Christophe Colomb. p. 485

B La hauteur de la polaire selon Colomb ; Une application de » la méthode arabe. p. 488

C La latitude chez Colomb. p. 494

3-3.4 Conclusion. Problèmes de datation. p. 496

3-4.0 Conclusion de la troisième partie, A chacun sa vérité. p. 504

3-4.1 Comparaison des méthodes arabes et occidentales. p. 504

3-4.2 L'objectif du navigateur arabe : atterrir. p. 507

3-4.3 L'objectif des portugais : chasser le vent portant. p. 507

4-0. Conclusion générale. p. 511

Les progrès de la science nautique dans le contexte général. p. 512

-L'évolution des méthodes. p. 512

-Les progrès de la science nautique s'inscrivent dans le cadre plus vaste de l'évolution générale du monde maritime. p. 516

-Interactions entre les progrès de la science nautique, ceux de la construction et l'évolution du commerce maritime en général. p. 519

Bibliographie. p. 522

Introduction générale

0-Introduction générale

On entend par navigation l'organisation d'un voyage par eau vers un point déterminé. Comme toute entreprise volontaire humaine, elle se définit par un objectif, une mobilisation de moyens en vue d'atteindre ce but, des modalités d'application de ces moyens et, enfin, un contrôle suivi du développement de cette action vers ce but. On définit l'objectif comme le port de destination. La mobilisation des moyens concerne le navire et surtout son mode de propulsion qui est dès le départ, soit l'aviron, la voile, l'action du courant ou encore une combinaison de ces moyens. Les modalités comprennent les techniques employées et aussi la route à suivre, car il y a interaction entre les moyens choisis et la route suivie. Le domaine se divise accessoirement entre navigation maritime ou fluviale, encore que les anciens ne distinguaient pas forcément les deux. En revanche, une distinction essentielle dans notre propos vise la finalité du voyage qui peut être une expédition guerrière, la pêche ou le transport de passagers et/ou de marchandises, le commerçant étant un voyageur qui accompagne ses marchandises. En ce qui nous concerne, nous ne nous intéressons qu'à la navigation de commerce.

Cette histoire est un parfait raccourci de la démarche technicienne. A partir de moyens entièrement sous l'influence directe des contraintes naturelles : la navigation à vue, le navigateur a essayé de s'en affranchir par des méthodes empiriques, l'estime qui lui a permis d'augmenter son domaine d'action, jusqu'au moment où cette méthode a atteint ses limites. Il était alors temps de faire appel à la recherche appliquée, et c'est le début de la navigation astronomique. Car, c'est, vers l'**astronomie** que le marin s'est tourné. L'intervention de cette science dans le domaine nautique constate l'existence de constantes, par exemple la hauteur de la polaire au dessus de l'horizontale, en un lieu. Cependant, dès que l'on change de lieu d'observation, cette constante change de valeur. Il faut donc considérer que l'observateur est placé sur notre planète et que cette place n'est pas indifférente en ce qui concerne l'aspect des objets observés. Le lieu d'observation fait partie du vaste monde. On doit donc intégrer le

lieu d'observation dans cette science et on parle désormais de **cosmographie**. On admet par là que le lieu d'observation a une influence sur l'observation. De là à conclure que l'inverse est possible : c'est-à-dire que par la mesure des valeurs astronomiques, on peut en déduire la position de l'observateur sur son support terrestre, il n'y a qu'un pas, qui sera confirmé par l'expérience. Donc, désormais la cosmographie a des conséquences en **géographie**. L'homme se situait dans son milieu terrestre par des mesures terrestres prises sur le sol, c'est-à-dire, qu'il arpentait le sol en le mesurant par des pas ou au moyen de chaînes d'arpenteur ou de perches. Ces mesures étaient prises par rapport à des repères empruntés au paysage qui l'entourait. La cosmographie va ajouter désormais ses mesures propres : la latitude, par exemple. Donc de l'astronomie on arrive de proche en proche à des repères au niveau géographique. On peut même garder ces données en mémoire, en les reportant sur un support cartographique.

Parallèlement à cette évolution qui relie ces sciences de base, se développent des applications dans les aspects concrets de la vie quotidienne. C'est ce que résume parfaitement Ibn Yunus au début de ses tables hachémites rédigées au début du XI^e siècle : « *L'observation des astres est en lien avec la loi religieuse, car elle permet de connaître l'heure des prières, celle du lever du soleil, qui marque l'interdiction du boire ou du manger pour celui qui jeûne au moment où l'aurore se termine, de même, celle du coucher du soleil dont la fin marque le début du moment des repas afin d'y accomplir la prière correspondante et aussi de connaître la direction de la kaba pour tous ceux qui prient, également connaître le début des mois et quels sont les jours où intervient un doute¹ et de connaître le temps des semailles, de la fécondation des arbres² et de la cueillette des fruits et de connaître la direction d'un lieu à partir d'un autre et de se diriger sans s'égarer* »³ Car, ce qu'il veut dire, c'est qu'à partir du X^e siècle, avec le développement des sciences exactes, dans le contexte bien précis d'une société musulmane organisée, on demande aux savants des diverses disciplines la solution d'un certain nombre de questions d'ordre pratique, à incidence sociale ou religieuse. C'est ainsi qu'il revient aux astronomes, par exemple, de pouvoir répondre techniquement aux

¹ Les mois arabes sont des mois lunaires déterminés par les phases de la lune, le début du mois est ainsi déterminé « en un lieu, de visu avec l'apparition du croissant lunaire puisque cette date change avec la longitude.

² Allusion au palmier dattier qui ne peut fructifier que par fécondation manuelle.

³ Régis Morelon. *Panorama général de l'histoire de l'astronomie arabe*. p.30 in *Histoire des sciences arabes* Tome 1, *Astronomie théorique et appliquée* sous la direction de Roshdi Rashed. Paris, Edit. Le Seuil. 1997.

demandes des astrologues dont le rôle social officiel reste important à cette époque; les tables astronomiques pour le calcul de la position des astres seront dressées en particulier dans ce but. Mais surtout on met les astronomes à contribution, pour résoudre les problèmes pratiques de calendrier, d'heures, ou d'orientation sur terre et sur mer⁴. C'est ce qui explique, en partie, l'apparition des arabes dans ce sujet. En effet, on peut dire que l'astronomie occidentale médiévale n'a existé que par le truchement des traductions des auteurs arabes. Ces auteurs ont repris l'astronomie là où l'avait laissée les grecs et l'ont menée, bien plus avant, en y ajoutant les apports perses et hindous⁵. De là à transposer sur le plan nautique il n'y a qu'un pas... qu'il sera plus difficile de franchir, car l'observateur, dans ce nouveau cas, est placé sur un mobile par rapport à son support, qui n'est plus terrestre mais marin. Ceci complique singulièrement le problème en effaçant les repères fixes. Cependant dans ce domaine de la science nautique, l'évolution que nous avons succinctement résumée, dans le cadre géographique occidental se trouve calquée en parallèle dans le monde musulman⁶. Là aussi, les arabes, qui ont suivi dans ce domaine, leurs prédécesseurs perses, ont été de grands navigateurs. Ils se sont donc appliqués de leur côté à ces problèmes, non sans influencer d'une façon directe ou indirecte sur les occidentaux avec qui ils ont eu des interfaces reconnues. C'est la seconde raison de leur présence dans cet exposé.

Résumons schématiquement cette évolution pour dégager quelques définitions, en bâtissant un petit scénario imagé. Au début l'homme a su par ses prédécesseurs que, s'il prenait son canot, et en partant sur la droite, à partir de la plage, il lui fallait suivre la côte durant dix jours pour apercevoir un cap bien caractérisé par une haute falaise tombant à pic dans l'eau. Après avoir doublé ce cap, et deux jours après, on voyait l'embouchure d'une vaste rivière. En remontant cette rivière pendant huit jours encore, on arrivait dans une contrée riche en obsidiennes si utiles pour faire des pointes de flèches acérées capables de percer le cuir de n'importe quel gibier. On est dans le domaine de la navigation à vue.

⁴ David A. King. *Astronomie et société musulmane : « qibla », gnomonique, » miqat »*. in *Histoire des sciences arabes...Op. cit.* p. 173-215

⁵ Régis Morelon. *Panorama général de l'histoire de l'astronomie arabe*. in *Histoire des sciences arabes ...Op. cit.* p.17-33.

⁶ Henri Grosset-Grange. *La science nautique arabe* in *Histoire des sciences arabes...Op.cit.*p.234-269.

Or il existait aussi une route terrestre, pour aller dans la même contrée, en comptant le nombre de pas ou le nombre de coups de pagaie sur l'une ou l'autre route et en sachant combien on parcourt de pas à pied ou de coups de pagaie en bateau dans une journée, on peut connaître la durée d'un voyage par terre ou par eau. Ceci n'est pas indifférent sachant que par canot on peut ramener bien plus de pierres qu'à pied. On est, en précisant la mesure, entré dans le domaine de la navigation estimée.

Maintenant, supposons que cette rivière a des périodes de crues où la vitesse du courant est exceptionnelle. Les huit jours de remontée n'ont plus, dans ces conditions, aucune signification, nous avons atteint une limite de l'estime. Mais, cependant, si nous remontons la rivière jusqu'au moment où l'on peut observer que le ciel a une configuration telle que nous avons été habitués à voir seulement dans cette région, nous concluons que sommes arrivés dans cette contrée. Par la même occasion, nous sommes entrés dans le domaine de la navigation astronomique.

0-1. Intérêt du sujet

La navigation va avancer d'abord essentiellement d'une façon toute empirique. Cependant, dès le Moyen Age, au XIII^e siècle, un instrument nouveau, la boussole, utilisé au début comme une aide à la navigation à vue, permet de développer une nouvelle technique : l'estime, et cela, par un effort de réflexion, puisque l'expérience dans ce nouveau domaine était nulle.

Il s'agit donc d'un processus d'imitation. Ne pourra être complètement garanti l'achèvement d'une tâche, que dans la mesure où quelque chose de similaire a déjà été exécuté auparavant. L'histoire de la découverte de l'Islande et du Groenland est symptomatique. Les norvégiens avaient déjà découvert les îles de l'Atlantique sans que nous en connaissions les détails. Les sagas, par contre, font entrer la suite dans l'histoire. Le processus se répète pour chaque découverte ultérieure selon un scénario identique. Un navigateur effectuant un voyage de routine sur les Féroé, par exemple, dépasse son objectif, emporté par un fort coup de vent ; au

cours de sa dérive, il aperçoit une terre inconnue. Ayant été assez chanceux pour survivre et revenir raconter sa découverte, la nouvelle terre est intégrée, comme aperçue, par la communauté maritime. Un jour, poussé par une ardente nécessité, un second navigateur décide de reconnaître cette terre en vue de s'y établir. Pour cela, il reprend les traces de « l'inventeur » de cette terre. L'empirisme est donc une démarche rationnelle. Elle pose comme hypothèse : mêmes causes, mêmes effets. Notons que cette méthode est toujours actuelle, elle a même été améliorée, en ce sens que, par le biais de l'accidentologie, on se sert également de l'expérience malheureuse des victimes d'une catastrophe accidentelle pour rendre plus sûres les procédures à l'usage des survivants.

Un pas va être franchi par la rationalisation et le passage au quantifiable. Il s'agit pour l'essentiel de préciser les procédures en les quantifiant. C'est la recherche de traits généraux et communs à tous les cas d'espèce constituant une expérience, ils seront utilisés pour constituer des modèles dûment formalisés. Des situations nouvelles sont entrées dans le modèle, en faisant fonctionner le modèle, on arrive à déterminer des résultats à venir chiffrés. Cette modélisation et cette quantification c'est, comme nous le verrons, l'essentiel de ce qu'offre l'invention de l'estime, qui permet de poser et d'actionner ces modèles de routes, graphiquement sur le portulan. Il faut trouver des solutions nouvelles, c'est, nous semble-t-il, l'originalité du développement de la science nautique à la fin du Moyen Age. C'est le premier essai en ce sens. On va chercher de nouvelles techniques souvent dans différentes directions, et souvent par analogie, en se servant de techniques connexes qui ont de lointains rapports avec la science nautique. Ce fut le cas, par exemple, de l'arpentage au stade précédent. Mais on les cherchera aussi dans la science pure et la théorie, ici la cosmographie, qui permet aux astronomes de déterminer la position d'un point exact sur la terre. La solution ne fut que partielle. On put transposer le calcul de la latitude au cas particulier de la navigation, mais pas du tout celui de la longitude. Ce dernier problème dut attendre le XVIII^e siècle, et la mise au point du chronomètre par Harrison, pour commencer à recevoir un début de solution.

0-2. L'importance de la question délimite la période

La navigation ayant démarré dès la préhistoire, le début de la période historique de la navigation est donc conditionné par l'existence des premières sources. Les latins ont déjà laissé des traces explicites sur ce sujet qui délimiteront la limite *post quem*. Mais pour l'Histoire en général la période antique ne prend pas fin en 496, date officielle de la chute de l'empire romain. Cette date, qui est une affaire de fantassins, ne concerne en rien le domaine maritime. Venise n'est qu'un avatar d'Aquilea, de même Amalfi prend la place de sa voisine Puteoli, et c'est dans le Digeste de Justinien que les marins italiens du Moyen Age lisent le droit maritime.

En fait, ce sont les Normands, peu après l'an 1000, qui liquident les vestiges de l'Empire de Justinien en Italie du Sud et c'est en 1204 que les Vénitiens se sont désignés comme les successeurs officiels du domaine maritime colonial de l'Empire. Pour nous, donc, l'antiquité tardive fait partie intégrante de la période

Par contre on s'arrêtera au moment où les premiers résultats concrets ont abouti. On peut dire que les grandes découvertes sont la consécration de la mise au point de ces techniques nouvelles, car elles ne doivent rien au hasard. Ces grandes découvertes marqueront donc la limite aval de la période. Elles sont au nombre de trois. La plus connue, c'est évidemment la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb en 1492. Elle fut précédée par la découverte de Terre Neuve vers 1480, par les gens de Bristol, dont on connaît peu de chose par la volonté même des découvreurs, soucieux de masquer leurs traces. Le voyage de Colomb précède de peu le voyage de Vasco de Gama en 1498.. Le voyage de Colomb est exceptionnel, en ce sens qu'il s'agit d'une découverte volontaire, mais seul l'objet découvert était totalement inattendu, étant donné que parti pour aller aux Indes, Christophe Colomb fut arrêté en chemin par un obstacle inattendu, l'Amérique. Il s'agit, maintenant, de définir les bornes aval de cette recherche. Pour la fin de la période nous ne prendrons pas 1492,⁷ mais plutôt, 1497, date de l'arrivée de Vasco de Gama aux Indes. Explicitons le choix de cette date

⁷ 1492 est une date symbolique mais en tant que telle forcément contestable. Elle est justifiée car elle marque un e mais l'ont soigneusement caché pour une histoire de pêche a la morue. Mais 1492 est un succès de hasard basé sur une recherche fausse, si bien que Christophe Colomb a pendant longtemps cru qu'il était en Chine et que c'est un autre, Amerigo Vespucci, qui a démontré au monde cette découverte constituait un succès et a donné son nom a cette terre nouvelle. Par contre Jean le Navigateur a envoyé sciemment Vasco de Gama trouver ce qu'il cherchait systématiquement depuis des années.

précise. L'arrivée aux Indes est le résultat d'une recherche têtue qui a abouti à la mise au point de deux techniques successives : la hauteur de la polaire vers 1440 et la latitude par la méridienne de soleil vers 1470. Dans un autre ordre d'idées cette arrivée aux Indes a eu un précédent, celle de l'arrivée des gréco-romains d'Egypte aux Indes au 1^{er} siècle de notre ère. Cet événement ne peut cependant être comparé avec le voyage de Vasco de Gama car à la différence de ce dernier il s'agissait d'un pur résultat de la méthode empirique. C'est pourquoi ces deux dates sont cependant marquantes et nous couvrirons donc l'époque qui va du 1^{er} siècle à 1498.

0-3. Limites géographiques

Reste maintenant à déterminer le cadre géographique. Etant donné que c'est par le biais de l'astronomie que la théorie s'est introduite dans la navigation, il faut se référer à la science arabe qui est passée directement dans la civilisation occidentale. Nous verrons que les navigateurs arabes ont fait de leur côté la même démarche que leurs collègues occidentaux et qu'ils les ont précédés dans le domaine de la navigation astronomique. Nous en profiterons d'ailleurs pour étudier les sources arabes qui sont nombreuses et de qualité et qui seront les bienvenues dans un domaine où elles sont plutôt rares. Nous ajouterons donc à la Méditerranée et à l'Atlantique l'océan Indien au domaine géographique de notre étude

0-4. Limites de contenu

A- Manœuvre et Navigation

Une distinction qui peut être faite est celle entre manœuvre et navigation pure. En effet, les anciens faisaient la distinction entre ces deux spécialités. La manœuvre étant le domaine du maître d'équipage ou **naute**, qui s'occupait de la manœuvre et du réglage des voiles et des ancres sans compter la responsabilité physique du navire et de la cargaison. Par contre, le **pilote** était responsable de la navigation, c'est-à-dire de la route et de la localisation du navire,

autrement dit du point. En effet, nous avons déjà insisté dès le début de l'introduction sur le fait que le navire voit ses évolutions dans l'espace limitées par ses possibilités. Il ne peut aller que dans le sens du vent. En ce qui concerne le marin, ses objectifs pourront donc être en contradiction avec ces possibilités, en ce sens qu'il aura besoin d'aller là où le vent ne le porte pas. Nous verrons qu'il faudra user de ruse et prendre des détours. Ceci définit les problèmes de manœuvre : comment user du vent pour faire aller le navire ? Mais ce faisant, il lui faut garder un œil sur la destination finale et, pour cela, savoir où il en est dans sa progression qui peut être tortueuse. Cela définit le problème du point. Pour nous, les deux volets sont indissociablement unis, bien que faisant appel à deux spécialistes distincts. En résumé, nous appelons navigation, au sens large, les moyens que nous donne la manœuvre du navire pour assurer une progression vers l'objectif désigné, dûment contrôlée par la navigation, dans son sens restreint d'art de la localisation. D'ailleurs, les anciens, s'ils faisaient le *distinguo* entre ces deux spécialités, les associaient nécessairement à bord de chaque navire. Tout navire comprenait obligatoirement deux spécialistes. D'un côté, le maître de manœuvre ou maître d'équipage qui faisait aller le navire en optimisant sa marche grâce aux réglages des voiles, ce pourquoi il dirigeait l'équipage, nécessaire instrument pour faire aller le navire. Conjointement, un pilote ne s'occupait, lui et son aide, que de la position et était le maître de la route. Tous deux étaient sous l'autorité du capitaine, représentant de l'armateur qui veillait, quant à lui, au bon déroulement de l'expédition maritime qui, outre ces problèmes techniques à résoudre, devait lui assurer un succès commercial. Cette *troïka* est attestée à travers tous les nombreux textes juridiques anciens ou médiévaux tels que le Digeste ou bien dans les *statuti* italiens ou les Consulats de la mer catalans, sans exclusives géographiques puisque Ibn Majid nomme ces acteurs et définit leurs fonctions. Pour la petite histoire, étant lui même un pilote, il vivait une cohabitation difficile avec les maîtres d'équipage, mais dut s'en accommoder toute sa vie, car il resta toute sa vie tributaire de contrats au voyage avec les capitaines qui l'employaient. Cette différence de point de vue s'explique par une différence de culture découlant de la spécificité de ces deux métiers. En effet le maître est l'homme qui connaît le mieux le navire pour pouvoir en tirer le maximum, il est donc attaché à ce navire et son métier s'acquiert par une expérience sur le tas, dès son plus jeune âge. Son savoir est essentiellement pratique et ne nécessite aucune culture générale. Le pilote, au contraire, est le spécialiste de la route, il reste sur cette route et passe de navire en navire au gré d'engagements successifs, son savoir-faire lui est transmis par un ancien, car il commence son apprentissage comme aide-pilote, il lui faut une instruction de base pour exploiter les quelques rares documents dont il peut disposer, les périple par exemple. Le capitaine coordonne l'action de ces deux

spécialistes. A la base c'est un commerçant, propriétaire du navire ou son fondé de pouvoir. Il doit avoir de sérieuses notions de droit pour conclure des contrats de transports avec ses clients ou ses bailleurs de fonds ou même son équipage. Il doit donc avoir une solide instruction ou à défaut se faire aider dans ce domaine par un scribe ou écrivain de bord qui s'occupe de mettre au clair les contrats et tient la comptabilité du navire. Bien entendu, il ne lui est pas interdit de cumuler cette charge avec l'exercice conjoint de l'une ou de l'autre deux fonctions subordonnées, ou encore de cumuler sous une même tête toutes ces compétences selon l'importance du navire. Ces diverses spécialités nous introduisent à la distinction du paragraphe suivant.

B- Commerce et Transport maritime

Il faut bien distinguer navigation et commerce maritimes. Bien évidemment le lien est fort entre navigation commerciale et commerce maritime mais il s'agit de deux domaines différents bien que liés. Alors que les unités statistiques du premier sont le ducat, le florin, le dirham ou le dinar ou tout autre étalon monétaire, celles de la navigation sont le mille, la lieue marine, le tonneau, le last, le cantar ou tout autre étalon de distance, de volume ou de poids. L'index de référence de base pour le commerce, c'est le chiffre d'affaire, pour le transport, c'est le volume transporté exprimé en tonnes/milles. Bien entendu, en ce qui concerne le commerce, les notions de qualité interviennent également, car on pourra faire la distinction entre commerce en valeur et commerce en volume, selon que l'on traite de faibles volumes à prix élevé ou de grosses quantités de marchandises de peu de valeur. On pourrait, par ailleurs, croire que toutes les marchandises transportées sont destinées à être commercialisées, autrement dit que le navire de commerce ne transporte que des marchandises relevant du secteur marchand. Il n'en n'est rien, car il existe deux importantes exceptions qui ont été primordiales dans l'établissement ou le succès de plusieurs routes importantes.

1-Dans l'antiquité déjà, on sait que le transport des produits de l'annone est important en volume et aussi source d'une documentation très riche, car c'est l'objet d'une législation gouvernementale très détaillée. Or l'annone est un produit fiscal, hors des circuits marchands.

2-De même, au Moyen Age, le transport des pèlerins est à l'origine d'un trafic maritime intense entre l'Italie du Sud et la Terre sainte. Bien avant les croisades, Amalfi, Trani et Bari ont bâti leur flotte commerciale sur ce trafic. On peut noter également l'existence d'un courant induit par le pèlerinage de Compostelle, entre l'Europe du Nord, et plus spécialement l'Angleterre, et l'Ouest de la péninsule ibérique dès le XI^e siècle. De même pendant les croisades les quantités énormes, d'hommes et surtout de matériels sont transportées, si du point de vue du navire il s'agit bien d'un acte commercial, les donneurs d'ordre se placent bien au-delà du simple trafic marchand habituel. Le cas n'est pas si différent du précédent car on pourrait aussi définir la croisade comme un pèlerinage armé. Bien entendu, ce trafic évolue rapidement vers un transport de caractère mixte, transport de croisés ou de matériaux stratégiques à l'aller et marchandises commerciales au retour. Acre et Tyr deviennent, avec le temps, des ports commerciaux alimentés par les commerçants poulains (francs résidents permanents, voire nés en terre sainte). Ce sera surtout le cas dans la deuxième période de l'histoire des territoires francs d'outremer, après le désastre de Hattin en 1187 infligé au Royaume de Jérusalem par Saladin, où ces territoires de féodaux et ruraux, deviendront féodaux quant à l'organisation politique, mais commerçants quant à l'économie.

Entre-temps, les navires qui participent aux grands passages (les croisades numérotées) ou aux passages intermédiaires, ne se consacrent pas en totalité aux transports liés à ces passages, le retour, en particulier, demande des compléments de cargaisons qu'il faut aller chercher, principalement, à Alexandrie. Les *Assises de Jérusalem*⁸ stipulent, en effet, que les marchandises constituant la cargaison en remport pour l'Egypte après débarquement de celles destinées à Acre, sont exemptées de droits. C'est la trace écrite de ce commerce triangulaire qui n'est que la suite de celui initié par Amalfi : de l'Europe occidentale vers la Terre sainte, puis de là, vers Alexandrie et enfin retour d'Alexandrie vers l'Europe occidentale. Il n'est pas douteux que ce sont les croisades qui, directement ou indirectement, donnent l'impulsion qui permet alors la montée en puissance des marines occidentales. Cependant ces trafics restent dans le domaine du transport maritime commercial car ils ont donné lieu à des contrats de transport en bonne et due forme. Même pour les passages principaux, un acte d'affrètement est signé entre les souverains et les flottes entières qu'ils mobilisent. Ceci nous fait préciser la

⁸ Jean-Marie Pardessus, *Collections de lois maritimes antérieures au XVIII^e siècle*. Paris, 1828.

définition du transport maritime comme étant un transport par mer donnant lieu à un contrat de transport. Est donc exclus du transport maritime le transport en compte propre, c'est-à-dire, le transport de marchandises appartenant également au propriétaire du bateau. La distinction entre marine de commerce et marine marchande est un peu délicate, surtout historiquement, à la naissance du transport maritime où des marchands dits *parsoniers* construisaient un navire pour aller vendre au loin leurs marchandises⁹. Cependant, elle est bien attestée très tôt, par les textes, dans le Digeste où elle est bien spécifiée et bien avant cela, lorsque Claude interdit aux sénateurs romains de posséder des navires plus gros que ne le supposait le trafic induit par leurs latifundia et par là de devenir transporteurs maritimes pour compte de tiers.

C- Histoire maritime et Histoire navale,

Il faut aussi soigneusement distinguer marine de commerce et marine de guerre, qui font l'objet de deux histoires distinctes : l'histoire maritime et l'histoire navale. Ces deux domaines n'ont qu'un point commun : ils se placent en mer. Ces deux domaines sont presque totalement étrangers l'un à l'autre sauf pour une mince frange mixte. Cette frange, c'est le domaine du corsaire, marin de commerce qui fait la guerre dans un but marchand. Il court sus à l'ennemi de la nation, mais pas tant pour le détruire que pour le capturer et vendre ses dépouilles. Entre le corsaire et le pirate qui fait le même « métier », mais complètement hors la loi, il n'y a que l'épaisseur d'une lettre de course, autorisation expresse de l'autorité qui légalise cette action de corsaire, tout en participant au partage du butin. Marine de guerre et marine de commerce se distinguent en particulier par les navires qu'elles utilisent, qui se sont spécialisés avec le temps. La galère est un navire de guerre et le bateau rond un navire de commerce. Ils sont complètement différents dans la logique de leur conception et de leur conduite car ils répondent à deux stratégies différentes.

Dans la guerre ou la compétition sportive (qui est aussi une forme édulcorée de guerre), les objectifs sont binaires : vaincre ou périr. On est dans une logique du maximum. En économie

⁹ Il faut distinguer le *parsonnier* qui construit un navire en copropriété et est propriétaire d'une partie bien identifiée du navire où il entreposera ses marchandises et le *quirtaire* qui construit aussi en copropriété mais est propriétaire d'une partie indivise du navire en proportion de sa mise de fonds.

il y a plusieurs optima car les objectifs sont multiples. Chaque denrée a son marché chaque marché a ses propres lois. S'il est vrai que les lois de l'offre et de la demande et de la détermination du prix sont universelles, il serait faux de penser que le prix est une donnée universelle, ce n'est vrai que dans une situation toute théorique celle de concurrence pure et parfaite. Ce qui est plutôt universel c'est la recherche du profit maximum qui est un arbitrage entre le coût de production et le prix du marché et c'est par ce biais que les objectifs deviennent multiples, car un profit maximum peut se réaliser selon différentes combinaisons où entrent le prix, le coût, la quantité mise sur le marché, mais aussi la qualité et encore aussi, des rapports entre ces paramètres tels que le fameux rapport prix/qualité etc. Il s'en suit que l'on rentre non plus dans une logique du maximum mais d'optima divers. Il n'y a plus une stratégie binaire unique mais des stratégies envisageant autant de compromis divers. Exceptionnellement, si la galère fut utilisée à des fins commerciales, surtout à Venise, c'est en raison de l'histoire particulière de cette république. De toute façon la galère en faisant du commerce est devenue la galée, son avatar marchand. On ne peut plus parler de galère au singulier comme genre unique, mais de galère *sottile* qui est un vaisseau de guerre et de galée qui est une galère *di mercato*, un bateau marchand.

Ces notions économiques sont bien entendu bien postérieures à notre époque de référence, et on pourrait penser que cela ne s'applique donc pas à des situations passées où la science économique n'était pas encore inventée. Au contraire, on est parfaitement en droit d'appliquer des instruments d'analyse modernes à des situations anciennes, car ces instruments d'analyse proviennent d'une science qui est universelle. D'autre part, on peut remarquer que les anciens avaient une conscience aiguë de ces problèmes économiques, même s'ils les formulaient tout autrement. Nous citerons entre autres exemples l'organisation des marchés par les arabes. El

Bokhari¹⁰ nous explique que nul n'est autorisé à se porter au devant des caravanes pour traiter séparément avec les marchands, la caravane doit débarquer toute sa marchandise en un même lieu, le *khan*, où elle est exposée dans sa totalité aux regards de tous et les lots seront mis aux enchères devant l'assemblée des marchands. C'est un gros effort pour assurer les

¹⁰ El-Bokhâri, *Les traditions islamiques*, traduit par O.Houdas et W.Marçais, 2 volumes, Paris, 1984

Les dispositions décrites par cet auteur se retrouvent facilement dans l'organisation des fondouks portuaires qui ne sont que des Khans destinés à recevoir les marchandises venues par bateaux assimilés à des caravanes, en particulier celui d'Alexandrie tel que décrit par :

Makhzûmiyyât, *Le Midhâdj, études sur l'histoire économique et financière de l'Egypte médiévale* par Claude Cahen, Leiden 1977

conditions d'un marché totalement concurrentiel. El-Bokhari, quant à lui, ne donne aucune raison économique à ces dispositions et ne justifie ces usages que par sa remarque habituelle : « *ce sont les usages entre nous autres musulmans.* » Cet exemple caravanier peut sembler hors sujet, cependant l'organisation du *fondouk* ou du *fondaco* institution musulmane du commerce maritime d'importation en est directement inspirée. Ceci étant, si nous revenons aux optiques différentes entre marins guerriers et marchands nous allons voir que ces optiques vont avoir des répercussions directes sur les types de navires en usage chez les uns ou chez les autres : la galère et le navire rond.

D- La galère.

Connue depuis la haute antiquité, c'est le navire de guerre typique, elle se caractérise par une coque longue et étroite pour présenter une section au maître couple la plus réduite possible afin de favoriser la vitesse¹¹. Le moteur est un moteur humain, **la chiourme**, ensemble des rameurs qui propulsent le navire. Plusieurs régimes ou vogues sont envisageables, selon que l'on privilégie la vitesse ou la durée. **La grande vogue**¹² est la mise en action de tous les rameurs, à cadence maximale, pour développer la vitesse maximum, celle d'attaque. Elle n'est tenable qu'environ une heure, par suite de l'épuisement physique de l'équipage qui se traduit par des pertes de cadence des rangs de nage les plus faibles, qui se termine en un « cafouillage » général dans les rangs de nage. A côté de cette grande vogue, on trouve **la petite vogue** où la chiourme, le moteur, tourne à régime lent et régulier, la cadence donnée par des tambours descend d'un cran dans le but d'économiser la chiourme, mais cette vogue ne pourra de toute façon être maintenue qu'une dizaine d'heures ce qui est suffisant car les combats n'ont lieu que de jour, la nuit masque l'adversaire, c'est la vitesse de croisière. Enfin, il est toujours possible d'adopter **la vogue par quartiers**, où la chiourme est divisée en quartiers qui ne voguent qu'à tour de rôle, et toujours à allure modérée. Cette vogue est

¹¹ M. Balard, *La Romanie génoise*, Rome, 1978. p. 547. Galère ou galée, les historiens ont traduit indifféremment par l'un de ces termes le mot galea, désignant bien souvent tout bâtiment à rames, quel que soit son type; pour ne point ajouter à la confusion, il vaut mieux utiliser le mot galère, puisque ce bâtiment appartient aussi bien à l'Etat qu'à des particuliers, et qu'il passe facilement au XIII et au XIV siècles de la flotte marchande à la flotte de guerre. Le mot recouvre en fait une grande diversité de types, moins connus par leurs dimensions et leurs caractéristiques sur lesquelles les textes du XIII siècle sont avares de détails aussi bien que de leurs prix ;

¹² A. Zysberg, *Les galériens, vies et destins de 60 000 forçats sur les galères de France 1680-1748*, Paris 1987

adoptée pour des traversées plus longues, de quelques jours où il est nécessaire que la chiourme puisse dormir à son banc, par quartiers, autrement dit par quarts. Elle est utilisée pour les traversées au long cours, modeste long cours, car il faut faire des escales assez rapprochées.

Il faut, en effet, signaler que c'est un engin de course dont le moteur, la chiourme, occupe tout l'espace utile ; il est hors de question de penser emporter la moindre cargaison. Le moteur humain est peu puissant et très gourmand en combustible, le galérien consomme pratiquement en une grosse semaine son équivalent en poids de vivres et surtout d'eau douce. On comptait huit litres par rameur et par jour. Dont 5 litres de boisson et le reste pour la confection de la soupe de haricots, menu habituel des galères vénitiennes. C'est donc un navire que l'on pourrait comparer à nos modernes F1 de compétition automobile. Toute la capacité d'emport est occupée par le poids du moteur et du combustible. On comprend aisément que la galère soit dépourvue de charge utile, 25 tonnes en moyenne pour une galère subtile de Venise. Ceci en fait un engin qui ne peut s'éloigner durablement de ses bases, ou bien nécessite, pour des trajets un peu longs, de nombreuses escales techniques de ravitaillement. Par contre, elle est incontestablement supérieure au navire à voile dans les combats, car elle peut virer sur place, grâce à un effet contrarié des avirons, elle peut, de plus, faire route sans vent ou contre le vent où elle ne perd qu'un demi nœud de vitesse, après avoir mis ses mats sur le pont, d'après un professeur de navigation du XVII^e siècle¹³. Elle restera le bateau de guerre par excellence jusqu'à l'apparition de l'artillerie embarquée où l'étroitesse de son pont en fait une piètre plate-forme d'artillerie.

E- Le navire de charge

Il s'agit d'un navire dit rond de forte capacité ne navigant qu'à la voile. Le voilier en ce qui concerne son comportement à la mer souffre de deux handicaps, c'est en quelque sorte le jouet du vent, il ne peut se diriger vers n'importe quel point de l'horizon, il est hémiplégique, toute une moitié de la mer, celle qui est au vent, lui est interdite. Sa route est dictée par le vent

¹³ Commandant des Fontette, *Traité des galères*, 1672 manuscrit recopié par d'Harancourt 1729 manuscrit conservé à la Bibliothèque municipale de Marseille.

et il est prisonnier de sa route comme un train sur son rail¹⁴. Il faut ajouter à cela qu'il manque de précision dans la manœuvre. C'est un trait malheureux pour un navire de guerre, car l'essentiel des combats consiste à aller au contact avec l'adversaire. Cette imprécision le gêne lors des entrées dans le port qui sont difficiles à la voile seule, d'autant plus que le navire n'a pas de frein, et que les voiles amenées, il continue à courir sur son erre en raison de sa masse et donc de son inertie. Les entrées au port se feront soit à la remorque d'une embarcation à rame ou par déhalage à la main par des cordages. Ceci explique également la présence d'ancres très nombreuses¹⁵, elles ont plusieurs rôles. Tout d'abord, elles servent au mouillage, c'est-à-dire, immobiliser le navire en haute mer, dans la mesure où il y du fond,

¹⁴ Ceci explique la manœuvre d'attaque du pirate, caché dans une échancrure de la cote aux alentours d'un passage obligé et restreint qui réduit la possibilité de manoeuvre du voilier : doublage d'un cap ou détroit, il débouche au dernier moment et pousse son sprint vers l'abordage, l'affaire doit être faite dans l'heure ou c'est trop tard. Les flibustiers du XVII et les pirates modernes du détroit de la Sonde ne procèdent pas autrement. Une fois maître du navire, ils ne s'intéressent qu'aux marchandises de grande valeur et de peu de poids, le numéraire et les hommes toujours monnayables d'une façon ou d'une autre. Sauf à mettre un équipage de prise si la taille du navire le permet et à arraisonner et détourner le navire et sa cargaison. Cette analyse ne s'applique qu'aux navires pirates armés généralement par des populations locales, il faut exclure la guerre de course où prédateurs et chassés utilisaient des navires comparables et voyaient souvent le bonheur de leurs armes fruit d'une circonstance fortuite.

¹⁵ Elles sont nombreuses car de plusieurs types. Outre les ancres de jet dont la manœuvre est explicitée dans le texte, les ancres diffèrent selon le fond où elles devront crocher. De nos jours, le navire tient sur son ancre car l'ancre articulée croche dans le fond, mais aussi par le poids élevé de cette ancre (que l'on relèvera, sans peine par un guindeau à moteur puissant) et surtout celui de la chaîne. Lors du mouillage, on bat légèrement en arrière pour élonger la chaîne sur le fond. Le navire tient par l'ancre et le poids de la chaîne, si le mouillage est trop léger et que l'ancre vienne à chasser, on envoie encore de la chaîne pour augmenter la tenue.

Dans le navire ancien, il n'y a pas de chaîne ou très peu, l'ancre est reliée à un câblot dont le poids relatif dans l'eau est nul, on ne peut compter donc que sur la croche de l'ancre. C'est pourquoi on en mouille plusieurs. Les ancres sont des ancres à jas ; elle consiste dans une double pioche au bout d'un manche, la verge, munie d'un anneau où se fixe le câblot ; près de l'anneau est disposé le jas qui est un long bras disposé transversalement mais dans un plan perpendiculaire à celui des pioches. Quand l'ancre touche le fond, elle se pose avec le jas allongé sur le fond et donc une des pioches posée par la pointe sur le sol (ceci en raison de ce que le jas est plus long que les pioches et détermine ainsi l'équilibre de l'ancre sur le sol). Désormais toute traction du câblot sur l'ancre va faire pénétrer la pioche dans le fond.

Si le fond est de vase dure (argile) la pointe s'enfonce d'autant plus que la traction est forte, c'est la pioche qui assure la tenue. Si le fond est de sable mou, la pioche ne croche pas, elle laboure simplement le sable, mais dans ce cas le jas est un jas de plomb très lourd et plat. Il s'appuie lourdement sur le sable, tiré par le câblot, il racle le fond et repousse devant lui un bourrelet de sable qui grossit et finalement l'enterre. C'est le jas qui assure la tenue, la pioche ne sert qu'à maintenir l'ancre dans le sens de la traction, et donc le jas en travers, c'est là où il est le plus efficace. Il y donc deux types d'ancre selon le fond : l'ancre à sable a un jas de plomb et une pioche légère même parfois en bois, l'ancre pour fond vasard est munie d'une pioche en fer, le jas lui peut être en bois lourd. Enfin il faut noter que l'on ne mouille jamais sur fond de roche, car la tenue peut être aléatoire si l'ancre est retenue par une aspérité et peut déraiper à tout moment ou au contraire se fixer dans une anfractuosité et on n'est plus en mesure de la récupérer.

On comprendra que très tôt la sonde est munie d'un dispositif (poix ou cire) pour remonter un échantillon du fond et choisir l'ancre en conséquence

naturellement, soit en situation d'attente (que le vent change, par exemple) soit pour des opérations commerciales, chargement ou déchargement sur rade par l'intermédiaire de barges, accons, ou gabarres. Une deuxième utilisation est de servir de frein, elles cassent l'erre d'un navire qui entre trop vite dans un port trop resserré. Enfin, elles servent à **déhaler** le navire sur ses ancrs de jet. Ces ancrs, au nombre de deux au moins, sont des ancrs assez légères pour pouvoir être transportées par la chaloupe du bord¹⁶.

L'équipage est réduit, quoique très conséquent selon nos standards actuels, mais le tonnage important et surtout l'allure soutenue, jour et nuit, en font un instrument de transport à la productivité élevée et aux coûts de transports sans comparaison aucune avec ceux présentés par les transports terrestres. Si la galère est obligée de faire des escales techniques nombreuses et donc de ne pas trop s'éloigner d'éventuels ports de relâche, le voilier se trouve davantage à l'aise au large. Il faut dissiper quelques malentendus, mais nous reviendrons plus en détail sur ce sujet dans la première partie. Depuis la plus haute antiquité on savait naviguer en droiture sur de longs parcours loin des terres, et cette navigation présente, aussi paradoxalement que cela paraisse, un gage de sécurité. Pour un marin, c'est la terre qui est dangereuse, pas la haute mer, surtout pour un voilier qui manœuvre bien moins facilement qu'une galère. De plus, une fois au large, il a peu de chances de rencontrer des pirates qui chassent à l'affût, embusqués dans des recoins du rivages, près de passages obligés où ils profiteront de l'avantage relatif de leurs galères pour fondre par surprise et très vite sur leur proie. Il suffit de noter pour l'instant que le voilier est plus à l'aise au large mais est bien moins manoeuvrant que la galère, ce qui donne à cette dernière une efficacité maximale près des côtes. C'est pourquoi, si on y ajoute son faible coût de mise en oeuvre, le voilier est le navire parfait pour le commerce au long cours, malgré l'inconvénient de l'imprécision relative de la navigation à voile quant à la durée du trajet, soumis au caprice des vents.

¹⁶ L'ancre est descendue dans la chaloupe qui l'envoie loin sur l'avant du navire toujours reliée au navire par un câblot, difficulté mineure, le câblot est en textile et flotte généralement derrière la chaloupe. L'ancre est mise à l'eau, et l'équipage vire le câblot à la main ou au cabestan. Le navire se déhale, il se déplace jusqu'à venir à la verticale de l'ancre moment où celle-ci est relevée et mise en pendant le long du bord pour être reprise par la chaloupe et réitérer la manœuvre. En fait, la présence de deux ancrs de jet envoyées alternativement accélère considérablement la manœuvre car la chaloupe envoie une ancre pendant que l'équipage est en train de virer l'autre.

F- Ambiguïté des types de navires : galères, galées et navires mixtes.

La galère est spécifiquement un navire de guerre. Néanmoins, il est certain que la galère a été utilisée à des fins commerciales, malgré ses faiblesses en ce domaine. Il faut expliquer cette contradiction. A l'origine, c'est un dévoiement de l'usage principal; les galères, navires de guerre, étaient astreintes aux différents missions d'Etat, dont certaines peu guerrières, mais d'importance stratégique. C'est ainsi que parmi les missions annexes de la marine de guerre figuraient le service de la poste et celui de la valise diplomatique¹⁷. Dans cette valise, circulait la soie byzantine qui faisait, pour les empereurs, partie de l'attirail diplomatique, servant à remercier et honorer les alliés ou les cours étrangères. Venise a commencé sa carrière maritime en sous-traitant les opérations navales dans l'Adriatique pour le compte de l'Empire byzantin. Plus tard, Venise grâce à sa préférence commerciale à Byzance, obtenue, précisément, en raison de services rendus sur le plan naval en Adriatique maritime est devenue une spécialiste du commerce oriental. Ce dévoiement est devenu la base d'un courant commercial très particulier spécialisé dans les produits de luxe et n'était qu'une partie du trafic total de Venise. Dans ce cas très particulier, le fret hors de prix, induit par la très mauvaise productivité de la galère, n'entraîne que des conséquences relativement limitées pour des marchandises chères. Pour établir un parallèle avec des situations actuelles, disons qu'il y a un marché pour le fret aérien et un autre pour le fret maritime, bien que les taux ne soient absolument pas comparables, mais les besoins sont très différents et la vitesse peut justifier cette différence. C'est non pas une question de vitesse mais de régularité qui joue en faveur de la galère. La galère est un navire peu performant mais prévisible, c'est un bateau qui « fait l'heure », on peut calculer au départ la date d'arrivée au port final ce qui n'est pas le cas pour le voilier pur qui doit attendre le vent parfois pendant un temps interminable. Or le commerce de luxe de Venise, tel qu'il s'est consolidé et institutionnalisé au Moyen-Age, est très spécifique. La structure de ce marché fait qu'il est coincé par des contraintes de dates entre l'arrivée au Caire des épices qui dépend de la mousson, d'une part et d'autre part par la

¹⁷ F.C. Lane *Venise, une république maritime*, p. 53-61. Paris 1985 traduit par Y. Bourdoiseau et M. Ymonet du titre original, *Venice : A maritime republic*, 1973. :

présence des acheteurs allemands en Italie qui dépend de la neige dans les cols alpins¹⁸. De plus, après 1204, Venise s'est constituée un solide empire colonial fournissant des bases sûres et nombreuses pour garantir la sécurité et la pérennité de ces escales techniques. C'est pour cela qu'elle a fait évoluer, au XIII^e siècle, la galère de guerre vers une galère marchande, un peu plus performante économiquement¹⁹, **la galée**.

R.S Lopez²⁰ définit la galère comme « *un navire presque aussi bien adapté à la voile qu'à la rame, au commerce qu'à la guerre. Un système complexe de voiles, de mats et de voiles comprenant quelques voiles triangulaires, dites latines, permettait à la galère de tirer parti de n'importe quel vent, en dépit d'une quille assez aplatie.* » Il a raison en un sens, la galère est un bateau de vitesse, fin et étroit. Il est fait pour aller vite, on utilise pour ce faire la rame ; mais rien n'interdit d'utiliser la voile, un bateau fin et étroit va aussi très vite à la voile. A cette différence près, que cela est vrai surtout aux allures portantes. Dès que l'on se rapproche des allures du travers, le navire se met à gîter énormément. En effet, le navire est étroit et n'a aucune stabilité transversale, lui permettant, comme un navire rond, de s'appuyer sur un flanc généreux pour encaisser la gîte. De plus, navire de faible tirant d'eau, il n'a pas, non plus, de quille profonde, munie d'un lest très bas, qui puisse le redresser et compenser cette gîte. Bref, il lui manque de la stabilité de formes et aussi de la stabilité de poids, pour encaisser les vents de travers. A cette allure, il est toujours à la limite du chavirage. Donc navire fin rapide à la voile, mais difficile à tenir. Il exige, en toutes circonstances de temps, une voilure à la surface exactement ajustée au vent qui prévaut et il n'encaisse absolument pas les surventes occasionnelles. Il ne marchera donc bien en mer que s'il dispose d'un jeu de voiles correspondant à chaque régime de vent rencontré. C'est ce que l'on appelle : « un bateau à garde robe ». Une galère a trois jeux de voiles, allant des petits airs au vent frais, en passant par les airs moyens, sans compter les voiles de fortune pour le grand mauvais temps. C'est une solution que seuls les guerriers, toujours richement dotés par les princes, peuvent se permettre. Un modeste commerçant, toujours obligé de compter pour minimiser ses coûts, devra y renoncer, sauf circonstances exceptionnelles. Poursuivons la citation de R.S Lopez concernant la galère : « *Puisque les types les plus spacieux absorbaient mieux le coût de leur*

¹⁸ F.C. Lane *Venise, une république maritime. Op. cit.* p. 112-118 et également : Jean-Claude Hocquet. *Venise et la mer* ;p. 93. Edit. Fayard. Paris 2006

¹⁹ Jean-Claude Hocquet. *Venise et la mer. Op. cit.* Voir l'analyse des coûts et formation des prix du fret p 97-98

²⁰ R.S. Lopez, *Medieval trade in the mediterranean world*. New York

équipage, on tendit à les agrandir. » C'est reconnaître l'existence d'économies d'échelles²¹ qui sont très sensibles dans les navires et, effet, la **galère** d'origine, navire purement militaire, utilisée occasionnellement pour des transports spéciaux a évolué vers la **galée**, plus adaptée aux transports, un navire plus large donc emportant une charge utile accrue et surtout marchant mieux à la voile sous toutes les allures²².

G- La galée

La galée a été mise au point par les vénitiens et copiée par les génois. La course à la taille est en fait une course au volume ; la galée n'est pas plus longue qu'une galère, elle est surtout beaucoup plus large. En prenant du ventre le navire gagne en stabilité latérale et peut s'appuyer sur son flanc quand il part à la gîte. Elle comporte peu ou prou le même nombre de rameurs 160 à 190, sans vouloir entrer en compétition avec un voilier pur ses coûts de revient à la tonne/mille restent pertinents dans un marché de niche, le commerce des épices de la soie et autres produits de luxe. La galée est un compromis bâtarde, entre le navire de charge rond, utilisant un minimum de personnel et donc, avec une productivité par matelot très grande, et la galère avec une productivité dans le transport minimale²³. La galée est un navire mixte, marchant bien à la voile, il reste structurellement, un bateau à rame, donc fin et se déplaçant

²¹ On démontre que lorsqu'on augmente la taille d'un navire, la vitesse ne croît qu'en raison de la racine carrée de la longueur, la puissance nécessaire se calcule en fonction de la surface du maître bau multiplié par le carré de la vitesse. Le maître bau varie en raison du carré de la longueur, mais la vitesse, élément prépondérant, varie moins que proportionnellement aux dimensions. Par contre, la capacité augmente selon le cube. D'autre part, le coût de construction est fonction de la surface de coque, soit selon le carré des dimensions, et l'équipage nécessaire proportionnellement moins que la puissance nécessaire, des progrès en productivité importants sont obtenus, dès que la surface de voilure augmente par l'adoption de machines simples, palans, cabestans etc. Il s'en suit des progrès en productivité spectaculaires, dès lors que la taille du navire augmente. C'est la raison de la course au tonnage des que le marché prend de l'ampleur.

²² Malgré sa spécialisation marchande la galée n'a pas un rendement extraordinaire. Portant au maximum 150 tonnes elle nécessite un équipage de 250 hommes dont 170 rameurs, la durée de la *mude* est de 1 an ceci donne un rendement de 600 kilos transportés par homme. On peut comparer ce chiffre aux chiffres que l'on peut déduire de ce que l'on sait du trafic caravanier tel qu'il est expliqué par Ibn Battuta ; une caravane ne fait qu'une traversée annuelle, les dromadaires devant se reposer au moins 6 mois après cette épreuve. A 250 kilos de charge utile par dromadaire et trois dromadaires par chamelier, on arrive donc à 750 kilos par homme. Conclusion : L'efficacité de la galée est comparable à celle de la caravane, on comprend mieux qu'elle puisse assurer la continuité maritime des mêmes trafics transcontinentaux.

²³ M. Balard, *op. cit.* p. 548 « Au début du XIV^e siècle, d'importantes transformations affectèrent la construction des galères. D'une part on commence à distinguer les galères légères, *sottili*, poussant à l'extrême les avantages du vaisseau long à rames, finesse et rapidité, et bientôt spécialisées, en dehors de leur utilisation à la course ou à la guerre, dans le transport des marchandises légères, mais de grand prix et les grandes galères ou *galee grosse*, dont les constructeurs s'efforcent de combiner les avantages de la galère à ceux du vaisseau rond.- grande capacité de chargement- afin d'accroître la productivité des transports maritimes. »

très rapidement à la voile par vent portant, il est dangereux par vent de travers en raison de cette même finesse. Au même titre, il est pratiquement inexploitable au près. Mais cet inconvénient est très relatif, puisque disposant d'une chiourme importante, il peut s'affranchir des vents contraires et des accalmies. Il tend à combiner les avantages de la galère tout en essayant de compenser sa faiblesse au niveau économique, par des traits empruntés au navire rond, il est loin d'atteindre la productivité du navire rond²⁴. Cependant l'accroissement de productivité est semble-t-il compensé par le passage de la galère birème à la trirème²⁵.

Cependant au cours du XIV^e siècle les *galee grosse* ont augmenté d'une façon significative leur port en lourd qui a atteint 200 tonnes, en moyenne, par rapport aux *galee sottile* qui n'ont guère dépassé 50 tonnes maximum²⁶. Mais alors si la galée profite des économies d'échelle par rapport à la galère pourquoi la galée n'a-t-elle pas continué son évolution vers des capacités supérieures ? Continuons à citer R.S Lopez sur ce sujet : « *Cependant on préféra augmenter le nombre des vaisseaux plutôt que leurs dimensions. Cette préférence peut sembler étrange : qu'est ce qui empêcha les constructeurs de miser dès le début de la*

²⁴ M.Balard, *op. cit.* p. 549 « Galère légère de 1333 : longueur 40,19, largeur au maître bau 5,024 creux sur quille 2,066.

Galère marchande de 1340 : longueur 40,19, largeur 5,954, creux non indiqué. A partir des années 1350, les textes distinguent plus fréquemment grosses galères et galères légères, ajoutant parfois que celles-ci sont armées ; progressivement les premières deviennent donc les seules galères marchandes, alors que les secondes se spécialisent dans une fonction d'escorte et de patrouille. »

²⁵ M.Balard, *op. cit.* p. 550 « L'accroissement en largeur n'est pas la seule transformation que subit la galère dans les premières décennies du XIV siècle : les birèmes sont progressivement remplacées par de trirèmes, à une date que Marino Sanudo Torsello place en 1290, mais qui en fait s'échelonna à Venise de 1290 à 1320. Cette substitution fut sans doute un peu plus tardive en mer Tyrrhénienne ; elle y était moins nécessaire dans la mesure où les besoins de la navigation génoise ont été assurés par l'usage des coques, introduit bien plus tôt qu'à Venise. Ce n'est qu'en 1334 qu'est faite l'obligation aux patrons des galères de Romanie d'emporter au moins 185 rames et *terzoli* ou *terzaroli* ce qui suppose que les rameurs soient trois par banc. En fait la pratique dut précéder de beaucoup le règlement qui l'entérine. En 1296, la galère *S.Iohanes* de Marchisio Bonaventura est encore équipée de 120 rames comme les grandes galères du XIII siècle : trente banc de part et d'autre de la coupée. Vers 1350, la transformation est définitive : la galère d'Antonio di Negro en 1351 est à 27 rangs de trois rameurs – 14 à bâbord, 13 à tribord, l'espace vide étant occupé par le portillon de la cuisine. Désormais et jusqu'au début du XV siècle la galère génoise comporte un effectif de 168 à 180 rameurs disposés sur 28 à 30 bancs dirigés en oblique par rapport aux lisses de plat bord. »

²⁶ M.Balard, *op. cit.* p. 565 « Au cours du XIV siècle l'essor des constructions navales est continu. Un règlement de 1344 limite à 1000 cantares c'est-à-dire à 47,65 tonnes le port des galères légères de Romanie, tandis que les galères marchandes ou grosses galères ne dépassent guère 150 à 200 tonnes de capacité. En fait l'accroissement des tonnages a surtout concerné les coques et les naves ». Et il ajoute dans la note 122 de la même page « 30 juillet 1401 deux galères de Romanie ont un chargement de 350 tonnes d'alun et de coton ; elles portent en outre 88 pondi d'épices diverses, 75 caisses de mastic, des pains de cire et diverses autres marchandises diverses, de sorte qu'on peut dire leur attribuer une capacité d'au moins 200 tonnes chacune. » Ce qui est quand même un progrès très sensible par rapport à la vingtaine de tonnes de la galère du XIII siècle.

*révolution commerciale sur de grands voiliers tels que les bateaux de l'âge des grandes découvertes ? La réponse doit être recherchée principalement dans l'économie plutôt que dans la technique. Tant qu'il fut difficile de remplir de grands bateaux d'un seul coup en ne faisant escale qu'à quelques ports, la galère dut rester assez petite pour pouvoir entrer dans un plus grand nombre de port,s havres de moindre importance et même de jeter l'ancre près de plages ouvertes*²⁷. » Nous rejoignons en gros Lopez dans son opinion. Il faut cependant la préciser comme suit : dans un premier temps on peut dire, contrairement à ce que semble dire Lopez, que c'est bien un problème technique qui a limité la longueur de la galée, ce problème tient à la technique de l'aviron telle que la pratiquaient les occidentaux (la nage ou la vogue), qui a limité les plans de nage, et donc, la taille de la galée. Techniquement, on savait faire des coques plus importantes ; le *Rocaforte* au XIII^e siècle, qui était une nef donc un voilier pur, dépassait semble-t-il les 1000 tonnes, alors que la capacité des galées contemporaines étaient restées limitées de 150 à 200 tonnes environ. Il aurait fallu pour sauter ce pas entreprendre une révolution technique dans le domaine de la propulsion à l'aviron, les exemples extérieurs existaient : la jonque de mer chinoise, bien connue des arabes qui la côtoyaient dans la plupart des ports qu'ils fréquentaient et décrite par Marco Polo, qui avait navigué dessus. Et c'est là où la remarque de Lopez prend toute sa valeur : rien n'incitait les occidentaux à faire un effort dans cette direction, la galée était compétente dans le domaine spécialisé du transport de produits chers et donc rares, dont le marché était très limité. A quoi bon faire une galée de 1000 tonnes, alors que le tonnage total des produits de luxe importés en occident, épices, parfums, tissu de grand luxe avoisinait sans doute au maximum 2000 tonnes. On peut dire que la galée avait atteint une taille économiquement optimale dans son domaine de compétence : un marché de niche.

C'est sans doute, cette même raison de taille économique qui a fait que l'apparition de la jonque de mer chinoise, vers le VIII^e siècle, a stoppé l'expansion maritime arabe vers l'Est. Et pourtant, elle n'a jamais été copiée par eux, ce qui est, en effet, étrange. En effet la jonque de mer chinoise est un navire mixte et de très grosse taille, elle a supplanté le navire arabe sur les voyages de Chine, car elle pouvait, en continuant à avancer à la rame, naviguer pendant la période de calme suivant la mousson et faire le voyage de Siraf puis d'Ormuz en Chine en une seule mousson alors qu'il en fallait deux, (avec entre les deux, un hivernage de 6 mois) soit

²⁷ R.S. Lopez *La révolution commerciale dans l'Europe médiévale* p. 119,120

18 mois de l'aveu même des textes arabes, à un boutre qui ne naviguait qu'à la voile. Mais il est vrai que le marché chinois était déjà colossal et portait sur des quantités non comparables avec celles alimentant le marché arabe. Les arabes se sont donc contentés de leurs boutres, modestes, certes, mais adaptés à leurs marchés, et se sont approvisionnés en produits chinois à Malacca qui est devenu un énorme emporium. Lopez a donc pleinement raison, mais, cependant cela demeure aussi un problème d'architecture navale, et ce domaine constitue une science en soi, que nous n'aborderons pas. Cependant nous ne traiterons brièvement ce point particulier qu'en incidente et donc en note.²⁸

²⁸ Les textes arabes et chinois nous signalent que les persans et les arabes allaient couramment jusqu'en Chine, mais dès l'apparition de la jonque de mer, (et non pas à cause des massacres de Canton comme le croient les chroniqueurs arabes), les arabes se sont arrêtés à Malacca, et les chinois sont venus jusqu'à Ormuz. Les pèlerins chinois du VII naviguaient sur des bateaux persans. Marco Polo et Ibn Battuta naviguaient sur des jonques chinoises. C'est d'ailleurs grâce à Ibn Battuta que l'on comprend pourquoi. Lui, qui n'aimait pas les navires, est enchanté de la jonque chinoise et en fait une description minutieuse.

La jonque chinoise est construite en bois avec des bordés constitués de plusieurs épaisseurs de lattes de bois clouées les unes sur les autres, certains auteurs précisent qu'ils sont parfois entrecroisés. On est donc en présence de bordés constitués de bois lamellé ou mieux de contreplaqué. Ces matériaux peuvent se traiter comme de la tôle moderne. Le type de construction est comparable à celui de nos navires en tôle. Alors que la construction en bois classique utilise des planches pour les parois posées ou renforcées sur ou par des profilés. Cette construction moderne raidit les tôles par des tôles en plans perpendiculaires : des cloisons. On est en présence d'une construction en caissons. La jonque est une barge de forme presque carrée, dont la rigidité est assurée par des cloisons transversales étanches. Elle est raidie dans le sens longitudinal par une multiplication des ponts qui sont renforcés par un cloisonnement plus serré. Le pont est construit en nid d'abeille, réservant donc de nombreux petits espaces, constituant autant de cabines qui enchantèrent Ibn Battuta par leur confort et surtout leur intimité.

Leur taille est énorme, 60 mètres sur 20 mètres, semble être chose courante. Et elles peuvent marcher à la rame : 10 avirons de chaque bord. Ibn Battuta les décrit énormes et il est confirmé par des fouilles archéologiques en Chine. Mais ces avirons fonctionnent selon le principe de la godille (et non de la nage); placés verticalement, leur pelle reste constamment dans l'eau, ils sont suspendus et leur poids, de ce fait, importe peu. Ces avirons verticaux sont activés au moyen de deux cordages horizontaux actionnés par deux équipes de rameurs disposés en file en sens opposé. La première équipe, la plus nombreuse actionne la pelle de l'avant vers l'arrière et fournit l'effort propulsif, la pelle est alors orientée à 90 degrés et tout en restant dans l'eau une équipe réduite n'a aucun mal à la ramener sans effort vers l'avant. En fait, il suffit de fixer les deux cordages à 90° l'un de l'autre sur la circonférence de l'aviron pour le faire trévirer de 90°. Cette disposition de cordages horizontaux et l'énorme surface de pont disponible permet, par des systèmes de poulies, un nombre important de combinaisons pour mettre en œuvre un nombre très grand de rameurs : 800, nous dit Ibn Battuta et même plus, si l'on croit les chroniqueurs, lors des voyages de l'amiral Zhan He au XIV siècle.

Les constructeurs italiens ont fait l'impasse sur la trirème antique qui disposait les rameurs en étages, chacun maniant un aviron, pense-t-on, (car on ignore tout des dispositions des rameurs dans ces navires) sur p 3, 4, 5 plans voire plus. Ils ont toujours hésité entre soit plusieurs rameurs sur un même aviron soit plusieurs rameurs sur un même banc, avec, chacun un aviron. En fait, le mode de nage qui fait sortir l'aviron hors de l'eau à chaque coup de pelle impose de placer le tolet au centre de l'aviron, impose le débattement de l'aviron sur le pont. On est vite limité quant au nombre de rameur par aviron, on est allé jusqu'à 9, mais dans ce cas les uns sont assis, les autres debout et doivent de déplacer en sens contraire. Si on choisit la solution : un rameur par aviron on en arrive à des avirons de différentes longueurs qui entrent dans l'eau en passent les uns au dessus des autres en nappes superposées, mais avec différentes inclinaisons. La situation est sans issue et on en est arrivé à des plans de nages maximum de 3 rameurs sur le même banc en oblique, chacun avec un aviron de taille différente, ce fut le maximum choisi pour la galée, soit de 3 à 5 rameurs sur le même aviron qui fut le maximum choisi pour la

H- Autres navires mixtes : le *linh*

Mais la galée n'est pas le seul navire mixte qui a connu un grand succès. Le Moyen Age a fait un usage extensif du **linh**, tel qu'il est désigné dans les consulats de la mer²⁹ ou le **ligne**, selon la désignation italienne et française. Le *linh* est le prototype du caboteur universel et effectivement on retrouve ce terme ou celui de *ligne* dans la Méditerranée occidentale depuis la Catalogne à la Sicile. Mais en fait les navires de cabotages sont désignés par des termes locaux très nombreux désignant des types de navire différenciés selon les régions où ils naviguent puisque en tant que caboteurs leur domaine d'action est géographiquement limité. Le terme *Linh* est employé systématiquement dans les textes législatifs des *Consulats de la mer*, recueil du XIV^e siècle, écrit en langue catalane. En tant que texte juridique les Consulats de la mer se préoccupent assez peu de technique et lorsqu'ils parlent du *linh*, ils définissent par ce terme surtout la fonction du navire, car c'est la fonction qui définit la loi qui s'applique et non la technique de construction. Ils parlent *de naos amb linhs*, c'est-à-dire de navires hauturiers et de caboteurs. Selon notre lecture, lorsque les consulats de la mer traitent de *naos*, navires de haute mer, cette expression signifie que la loi ou l'usage décrit a un caractère universel et s'applique en tout lieu de la mer ouverte. Il transcende donc toute règle particulière locale qui pourrait s'appliquer à certaines navigations de cabotages limitées à une région et donc susceptibles d'obéir à des règles locales et définies, par opposition, par l'usage du *linh*. Nous conserverons donc le terme de *linh* en gardant à l'esprit que ce terme peut désigner des navires de types divers mais dont certaines caractéristiques restent communes parce que imposées par leur métier de cabotage.

Le cabotage au Moyen Age découle du fait que dans l'économie du transport, chaque ville est dépendante de son *contado*. On désigne sous ce terme, l'espace de campagne qui nourrit, au jour le jour, la cité. Il fournit les fruits et légumes, les volailles etc. Car ces produits exigent de

galère et encore dans ce dernier cas fallait-il choisir un véritable acrobate pour occuper le poste de chef de nage.

²⁹Pardessus (Jean-Marie), *Collections de lois maritimes antérieures au XVIIIe siècle*. Paris, 1828.

la fraîcheur. Mais il est d'autres produits dont la valeur est très faible et qui ne peuvent donc être déplacés que sur des distances réduites pour ne pas obérer leur prix. C'est le cas du bois de chauffage, du fourrage pour les bêtes de trait appartenant à des commerçants urbains³⁰. La dimension du *contado* ne dépasse pas, très approximativement, une journée de voyage ; c'est l'unité de temps qui définit d'une façon pratique la notion de la proximité géographique. D'une part, il n'y a aucune comparaison entre les coûts des transports terrestre et maritimes, un rapport de 1 à 7, pense Pegolotti³¹ dans sa *pratica della mercatura*. C'est ce qu'il a calculé pour le passage des laines anglaises qui vont en Italie par la route des deux mers, connue localement comme la route du stockfisch. Elle va de Libourne à Arles, par terre, puis par mer vers la Provence ou l'Italie. C'est ce différentiel des coûts de transports qui ont fait que toutes les grandes villes se sont développées sur un cours d'eau navigable ou en bord de mer, car la côte joue le rôle d'une rivière, on parle par exemple de Gênes et de sa *riviera*. Le cabotage est donc essentiel à la survie des grandes villes, surtout quand on considère que la taille des caboteurs est modeste et qu'ils peuvent donc remonter les fleuves. En effet, un *linh* est un petit bateau qui charge au maximum 40 tonnes pour les plus gros. De tirant d'eau réduit, il est donc capable de charger à partir de la plage sans installations portuaires; les hommes viennent dans l'eau jusqu'à la taille pour charger le navire. D'autre part, un tel bateau peut naviguer,

³⁰ Si on applique à la vie économique médiévale les règles pratiques du marketing moderne, qui sont un instrument logique, nouveau certes, mais indépendant de l'époque à laquelle on l'applique, les biens, en question dans ce paragraphe, concernent les achats de consommation courante c'est-à-dire à renouveler tous les jours. Ils concernent donc l'approvisionnement des marchés quotidiens et non pas des foires qui sont plus épisodiques et concernent des biens de consommation occasionnelle. Pour déterminer les quantités de ce commerce, il suffit de déterminer la structure de la consommation habituelle. La société médiévale était de toute évidence composée d'une rare élite de gens riches dont la structure de consommation était différente de celle de la plus grande masse de gens ordinaires, qui, eux, se contentaient de la simple suffisance à un déficit important, selon les spécificités locales et les périodes du cycle complexe d'abondance et de pénurie, selon la saison et les circonstances : famines ou abondance. Pour ce vulgum pecus, la structure de la consommation demandait au moins un kilo journalier de nourriture solide, légumes frais en été, céréales et viandes en conserve l'hiver, à peu près la même quantité de boisson hygiénique, vin ou bière. En effet l'eau dite potable était généralement de qualité sanitaire douteuse. Puis venait le bois de chauffe, pas forcément de chauffage, dont on se passait, au moins dans les pays méditerranéens, comme aujourd'hui d'ailleurs, mais ce bois était nécessaire à la cuisson des repas pour les mêmes raisons hygiéniques. Car boire du vin, produit qui comporte de l'alcool excellent désinfectant et manger une nourriture cuite, donc désinfectée par la chaleur évitait les dysenteries, typhoïdes, choléras et autres dangers rampants. Ces mêmes conseils sont valables dans des pays émergents aux conditions d'hygiène attardées. Enfin venaient les matériaux, biens de consommation occasionnels : textiles, fer cuir, etc. consommés en moyenne de façon homéopathiques. Dans une position intermédiaires venaient des biens de consommations que tels que les matériaux de construction, qui donnent lieu à des dépenses extraordinaires, une fois dans la vie d'un homme, mais en quantités considérables, bois d'œuvre, sable, pierre etc. En effet, une simple mesure pèse une vingtaine de tonnes ce qui, réduit à une consommation moyenne par an et par habitant donne quelques dizaines de kilos à comparer à quelques grammes d'étoffe ou de fer, mais les centaines de kilos de nourriture et de boisson.

³¹ F.B. Pegolotti, *La pratica della Mercatura*, edited by Allan Evans, reprint New York 1970

jour et nuit, et est censé couvrir 100 milles de 1500 mètres dans ces 24 heures, soit 150 kilomètres à comparer aux 35 kilomètres que l'on peut couvrir avec un animal de bât dans la journée. Il agrandit terriblement, donc le rayon économique et géographique de l'étendue du *contado*.

Le cabotage s'exerce dans des conditions qui diffèrent de celles du long cours ; il obéit donc à des règles économiques qui lui sont propres. Les trajets sont courts, ils doivent être fréquents. Une règle économique non écrite, mais bien pratique, en ce qui concerne une approche rapide de la rentabilité du transport, exige que le temps à la mer soit au minimum égal à celui passé au port. Les voyages sont courts, les opérations commerciales, chargement et déchargement doivent donc être très rapides. Au contraire du long cours, il est donc obligatoire que l'équipage participe au chargement du navire. Ces bateaux, fréquentant des criques non équipées, ils chargent des marchandises volumineuses, souvent fournies par un chargeur seul. Un seul bûcheron livrant sa seule production hivernale, peut facilement fournir un volume qui emplisse un tel bateau, mais ce même bûcheron est bien incapable de le charger, à lui seul, en quelques heures. Ces bateaux étaient relativement bien plus armés qu'au long cours, c'est-à-dire fournis avec un équipage relativement nombreux, 12 hommes au minimum, mais moins de 20 au maximum, l'équipage est donc suffisant pour effectuer la manutention. Un autre élément est à entrer en ligne de compte, en route libre, si le vent est bon, la vitesse est conséquente, ce sont les manœuvres qui consomment du temps et donc restreignent les milles parcourus, entrée et sortie du port, prise de mouillage etc. Donc, étant donné la taille restreinte du navire et la présence d'un équipage relativement nombreux, deux paires de gros avirons, sans prétendre pouvoir être une alternative valable à la propulsion par la voile seule, aident à gagner un temps considérable, pour prendre le vent sans « cafouillage » ou entrer et sortir du port, indifféremment que le vent soit du large ou de terre, sans devoir attendre la renverse. Bref, avec sa grosse douzaine d'hommes et chargeant et déchargeant pendant les heures de jour et navigant de nuit ce *linh* est un instrument de transport sur courte distance bien plus économiquement efficace qu'un convoi terrestre d'ânes de bât³².

³² Un *linh* de 16 tonnes naviguant pendant 12 heures de nuit à 3 nœuds produit 960 tonnes /kilomètres ce qui nécessite, par voie de terre, une caravane de 430 ânes portant 80 kilos sur 35 kilomètres.

0-5. La méthode

Pour un technicien dans la matière concernée, une méthode semblerait évidente : c'est celle de la mise en situation. D'après cette méthode, il faudrait pouvoir se poser les mêmes problèmes que nos anciens et essayer de les résoudre en tenant compte des contraintes et des moyens de leur époque. Il faut apporter à ceci trois importantes corrections.

1-Tout d'abord, il est difficile de se mettre tout à fait à la place de nos anciens, Nous avons appris bien des choses depuis leur époque dont nous ne nous rendons même pas compte, tellement elles nous semblent naturelles par éducation. Par exemple, il est difficile de s'imaginer pouvoir résoudre des problèmes de navigation sans savoir calculer. C'était, en partie, le cas, car les navigateurs du Moyen Age ne savaient pas poser une opération arithmétique simple.³³ Ils ne calculaient que de tête et uniquement en nombres rationnels. Les quatre opérations de base n'ont été mises au point qu'au XV^e siècle.

2-D'autre part, l'expérience montre que tout problème comporte, non pas une, mais des solutions. Rien ne garantit donc qu'à une solution qui nous semble claire n'ait pas été préférée une autre, moins évidente à nos yeux, mais tout aussi efficiente. Aussi, sans vouloir se priver de l'avantage certain que constitue la connaissance des techniques dans ce domaine, ce qui permettra toujours la compréhension de la solution historique, il importe de valider toute tentative d'explication par une preuve historique que c'était bien cette solution qui était en vigueur en son temps. Autrement dit, on ne peut s'arroger le droit d'imaginer une solution à la place de nos anciens, il faut leur laisser le soin de nous la suggérer. Ceci pose évidemment la question des sources.

3-Enfin, la logique n'est pas une, elle présente diverses facettes. Un même problème, nous le savons par expérience peut être résolu algébriquement ou par la géométrie ou par calcul

³³ Cet art était exercé par les maîtres de l'abaque qui utilisaient une présentation des chiffres pour effectuer les opérations colonne par colonne. Ce «s artisans qui gardaient leur savoir faire pour eux remplaçaient ainsi le boulier des chinois, inconnu en Europe occidentale.

trigonométrique. Des méthodes logiques servent d'outils de résolution, or, ces outils sont datés, par exemple, en algèbre, le calcul différentiel, intégral ou logarithmique sont de l'époque moderne, ils ont même des inventeurs. Nous verrons qu'il peut en être de même pour les approches des problèmes nautiques.

0-6. Sources

Tout d'abord nous n'utiliserons pas de sources originales, n'en ayant aucune à disposition. Elles sont rares et réservées, soit à leurs inventeurs, soit à des équipes multidisciplinaires déjà en place. Nous nous contenterons donc de sources déjà dans le domaine public, mais que nous relirons avec un oeil de technicien, ce qui leur apportera, nous l'espérons, un éclairage nouveau. Les sources sont évidemment diverses quant à leur nature, selon que l'on a affaire aux témoignages archéologiques, aux figurations iconographiques ou aux documents d'époque. Ceux-ci sont, en fait, les plus nombreux et montreront des liens plus ou moins directs avec la matière étudiée. Aussi en ferons-nous, ci-après, un rapide inventaire, par catégorie, en essayant de dégager leur degré d'intérêt en fonction de ce lien plus ou moins lâche.

A- Les chroniques.

Cette littérature historique obéit à la loi du genre dans sa conception antique ou médiévale. L'Histoire pour les anciens et aussi pour les gens du Moyen Age est essentiellement événementielle, elle concerne principalement les faits et gestes des puissants et des rois. Dans leur grande généralité ce sont des guerriers et plus spécialement des guerriers à cheval. Les affaires maritimes les concernent peu. Quant à la méthode, dans le meilleur des cas, quand elle se détache de la simple hagiographie pour déboucher sur une véritable analyse, cette analyse critique se concentre alors sur la vérification des sources³⁴.

³⁴ Avant Ibn Kaldoun et sa conception sociologique de l'Histoire, L'Histoire était, nous venons de le dire événementielle, les meilleurs des historiens considéraient que leur devoir, en la matière, était de distinguer le témoignage de la rumeur ou du mythe. Cette conception était commune à tous les historiens que ce soit du côté occidental ou musulman. Du côté musulman, en particulier elle est beaucoup plus visible car elle a donné naissance à une véritable technique de classification des sources ; lors de la rédaction des livres de *hadith* ou

B- La littérature générale

Les sources chrétiennes souffrent du fait que les chrétiens lettrés sont, en quelque sorte, des spécialistes et font partie d'une caste, les clercs, ce qui se comprend lorsqu'on aborde l'Histoire de l'Eglise. Il en résulte une littérature très « professionnelle », très axée sur les sujets concernant la religion, l'Eglise, la vie monastique, ou bien encore des sujets apologétiques : vie des saints etc. Même les textes juridiques profanes n'apparaissent qu'à partir du XIII^e siècle environ (dans le domaine maritime tout du moins). La littérature profane médiévale consiste surtout en récits héroïques décrivant l'exploit de chevaliers où on ne trouve aucune référence réaliste à des voyages en général et marins en particulier. Il semble que dans les deux autres civilisations du livre, la tradition veut que chaque fidèle peut et même doit avoir accès aux textes sacrés, ce qui évite cette spécialisation très sensible chez les chrétiens³⁵. Il semble donc que, chez les Arabes qui, de surcroît, sont, à l'origine, surtout des commerçants, l'alphabétisation est beaucoup plus diffuse dans toutes les classes de la société. Leurs écrits traduisent, forcément, la variété de leurs centres d'intérêt. Peut être aussi, faut il prendre en compte le fait que les Arabes utilisent très tôt le papier, plus facile d'emploi et bien moins coûteux que le parchemin, toujours est il que les genres littéraires sont beaucoup plus variés et ont volontiers trait à des sujets profanes. Sont donc couchés sur le papier, des sujets concernant des intérêts personnels, à la limite des *hobbies*, touchant à la botanique, aux recettes de pharmacopée, à l'astronomie populaire et surtout à des récits de voyage qui constituent un véritable genre littéraire spécialisé. Ce dernier point est particulièrement intéressant en ce qui concerne notre étude.

description des coutumes musulmanes au temps du prophète, écrites après sa mort, ces historiens ont établi un véritable barème de crédibilité des témoignages selon qu'il soient directs ou indirects ou bien si indirect rapporté d'un témoin direct dénommé par un rapporteur crédible etc.

³⁵ Cette différence doit bien avoir un fondement historique, peut être l'histoire des débuts de l'église qui apparaît à son époque comme un mouvement social et une religion de la consolation. Elle a donc recruté d'abord dans les couches les plus pauvres et malheureuses de la société, donc des illettrés. Les historiens des religions doivent certainement avoir une réponse plus circonstanciée pour expliquer ce qui nous semble être un état de fait.

Outre une alphabétisation plus diffuse, l'obligation du pèlerinage explique des voyages plus fréquents. Cependant il faut noter que les chrétiens étaient aussi des pèlerins fervents et nous pouvons même dire que ce sont les pèlerinages qui sont à l'origine de plusieurs courants maritimes. Compostelle est à l'origine d'un trafic maritime pour les pèlerins anglais. Amalfi a vécu du pèlerinage à Jérusalem, sans compter, bien évidemment, les croisades. Du côté chrétien on trouve aussi des « guides du pèlerin ». Mais on ne trouve là, rien de comparable aux récits d'Ibn Jubayr ou d'Ibn Battuta. Il a fallu attendre le XIII^e siècle en Europe et l'alphabétisation de la classe marchande, par obligation commerciale, pour trouver de la littérature profane, surtout commerciale, voire de rares journaux de marchands qui tranchent sur les archives religieuses et les hagiographies. Pourtant, les occidentaux ont commencé à écrire surtout au XIII^e siècle, Giovanni Piano Carpini, en 1243 et Guillaume de Rubrouk, en 1248, Odoric de Porderone un peu plus tard laissèrent des relations détaillées de leurs voyages qui nous sont restées, mais il se trouve que ce sont surtout des voyageurs par terre qui profitèrent de la *pax mongolica* qui rendait cette route de terre plus sûre. Et lorsqu'ils ont été par mer, ils sont très décevants. Marco Polo³⁶, lorsqu'il visite Ormuz, sans doute le plus grand port du monde à son époque, ne voit presque rien qui puisse nous concerner. Il ne donne que de maigres détails sur l'arrimage à bord des marchandises, c'est normal, c'est un marchand et c'est la seule partie qui l'intéresse. Sa description de la jonque chinoise sur laquelle il est revenu de Chine est bien pauvre au niveau de la description technique comparée au même sujet traité par Ibn Battuta. Que dire alors des croisades auxquelles des chroniqueurs, par ailleurs connus, tel Joinville, ont participé. Si on prend l'exemple de celui-ci : c'est un chevalier, donc un terrien, et un féodal, il n'a d'yeux que pour son suzerain, c'est son unique sujet. Pourtant il est de toutes les traversées maritimes de son roi, même la dernière, puisqu'il se trouve chargé de rapatrier sa dépouille par mer jusqu'en France. Mais aucun détail maritime exploitable, juste une scénette au départ d'Aigues Mortes, qu'il note pour son pittoresque et pour égayer un peu son sujet plutôt austère.

A ce niveau, il est intéressant de noter que les sources sont affectées d'un biais, car les témoins sont généralement fascinés par l'extraordinaire et le somptueux. Même en restant cantonné à un niveau technique, celui du commerce, les auteurs n'ont tendance à ne rapporter que les faits relatifs au commerce à forte valeur, même s'il est effectué en quantités

³⁶ Marco Polo, *Le Devisement du monde, Le livre des merveilles*, 2 tomes, Paris, 1980

relativement modestes. L'exemple le plus frappant est toute la littérature relative à Venise qui ne cite que le commerce des épices ou de la soie, même si ce commerce, d'après tous les spécialistes de cette république, ne représentait en valeur globale qu'environ le tiers du chiffre d'affaire total de la république et en volume, une quantité presque négligeable, de l'ordre du millier de tonnes poids. Alors que la vraie spécialité de Venise, son cœur de métier, en jargon moderne, était le contrôle quasi-total du commerce du blé et du sel de toute l'Italie du Nord soit des volumes de l'ordre de la centaine milliers de tonnes et les deux tiers de la richesse totale de la ville malgré une valeur unitaire sans comparaison aucune³⁷. Mais c'est le brillant qui a marqué la chronique. Nous reviendrons avec plus d'insistance sur ce problème particulier des sources dans un paragraphe ultérieur qui y sera consacré.

C- Le récit de mer.

Ceux-ci sont très rares, singulièrement en Occident, car les navigateurs semblent incultes. Les seuls à avoir quelque culture sont les négociants. Pour des raisons professionnelles ils doivent écrire beaucoup pour propager ou obtenir les informations nécessaires à la connaissance du marché et évidemment savoir compter. Ce commerce se fait parfois par mer et donne indirectement des indications sur les conditions dans lesquelles s'effectue ce trafic, citons en particulier les lettres commerciales telles que celles de la Genizah du Caire du X^e au XI^e siècle.³⁸ Cependant, il reste les récits de témoins directs qui ont été intéressés par le voyage maritime auquel ils participaient en tant que passagers. Outre les témoignages précieux de Paul déjà cité pour le 1^{er} siècle, nous avons également la lettre de Synésios au V^e siècle.

Un peu plus tard nous avons, ici l'appoint précieux des sources arabes. La raison de faire appel aux arabes réside dans la nature de leur littérature. Il ne s'agit pas ici d'argument, à proprement parler, scientifique car il n'y a pas, à ce jour, de statistique classifiant les sources par genre. Mais nous venons de voir que les sources arabes sont beaucoup plus variées que les

³⁷ J.-C. Hocquet, *Venise et la mer, XII – XVIII siècle*, Paris 2006.

³⁸ S.D. Goitein, *Letters of Medieval Jewish Traders; translated from the Arabic with introduction and notes*; Princeton 1973.

sources chrétiennes. Ces lettrés en ont profité pour écrire sur des sujets plus profanes et ont développé une littérature civile importante sur des sujets très divers y compris des ouvrages de pure fiction destinés au divertissement. Nous citerons les aventures de Sinbad le marin, ouvrage de pure fiction rédigé bien loin de la réalité maritime. Il n'est donc d'aucune utilité documentaire, cependant dans le même genre de littérature nous citerons un livre de récits très romancés mais d'un style très mélangé où transparaissent quelques rares mais authentiques récits de mer, écrits de toute évidence, par des professionnels de la mer. Ce sont les récits du capitaine Buzug³⁹. Il n'en reste pas moins que le récit de voyage est devenu chez les musulmans un genre littéraire en soi, par exemple des récits de voyages maritimes de lettrés attentifs tels que Ibn Jubayr ou Ibn Battuta, présentent un intérêt documentaire très important, surtout le premier cité.

D- Sources juridiques.

Les sources juridiques abondent, le droit maritime nous a laissé de très nombreux textes. Des l'antiquité il faut citer les codes de Théodose⁴⁰ ou de Justinien⁴¹ qui traitent largement des affaires maritimes mais aussi ce volumineux code de procédure civile qu'est le Digeste⁴². Dans l'empire byzantin le Digeste a été remis à jour dans les Basiliques. Et dans ces Basiliques le droit maritime a été individualisé sous la forme d'un opuscule détachable la loi rhodienne⁴³. Ces textes ont été appliqués en Italie, sans doute à Amalfi et Bari⁴⁴, concurremment d'ailleurs aux textes du Digeste qui se sont transmis par ce biais aux juristes médiévaux qui les connaissent bien puisque ils les citent dans le droit canon et même dans les

³⁹ Burzug, *Le livre des merveilles de l'Inde*, publié par P.A. Van der Lith, traduction française de L.M. Devic, Leiden 1883-1886.

⁴⁰ Code théodosien, traduction en anglais de *Theodosiani libri cum constitutionibus simonidianis* de P. Krueger et Th. Mommsen. Berlin 1962.

⁴¹ Code justinien, traduction en anglais de *Corpus Iuris Civilis* de R.Schoel et W.Kroll, Bedrlin 1959

⁴² *The Digest or Pandects* Reprinted from an original copy in the collections of the Biddle law library. University of Pensilvania. Cincinnati 1973 et *Digesta Iustiniani Augusti* de Th. Mommsen Berlin 1962.

⁴³ W. Ashburner, *The Rhodian Sea-Law; Edited from the manuscript*, Oxford 1904.

⁴⁴ J ;Gay, *L'Italie méridionale et l'Empire byzantin*, Voir Tome II, chap. VIII, *Le droit lombard, le droit romain, le droit byzantin dans l'Italie méridionale*

rôles d'Oléron. En outre, on trouve comme sources les divers statuts des villes maritimes qui traitent évidemment du droit maritime. En langue française les textes sont aussi nombreux les assises de Jérusalem préfigurent les règles d'Oléron et enfin qui donneront lieu à des copies sous le nom de règles de West Capelle ou de Visby qui régleront les navigateurs hanséates et enfin les catalans collationneront les Consulats de la mer⁴⁵.

Cependant le droit maritime ne donne que peu d'indications sur la façon de naviguer. Le droit maritime n'est qu'une facilité de langage qui rassemble des réalités diverses. A côté du droit public, relatif au domaine maritime et aussi à la position de l'Etat en tant qu'utilisateur de la mer, on trouve le droit civil et, en particulier, le droit commercial. Celui-ci concerne plus généralement le commerce qui s'effectue par mer, c'est-à-dire qu'il s'occupe des commerçants concernés par les transports maritimes mais aussi de leurs rapports mutuels sans aucune référence au navire et à la navigation. C'est ainsi que, dans le Digeste, la part du prêt à la grosse qui concerne prêteurs et emprunteurs dans le cadre maritime occupe une part très importante, le navire et l'aventure maritime dans ce domaine importent peu, ils ne sont que le prétexte de cette forme de prêt. Il n'y a que lorsque le droit maritime s'occupe des relations entre transporteur et son client qu'on aperçoit alors la notion de navire et de responsabilité de l'armateur. Cette notion de responsabilité du transporteur fait que les textes sont obligés de rentrer plus en détail dans l'événement de mer et donne de ce fait un éclairage plus technique sur les problèmes de navigation. D'une façon générale, la loi, en ce qui concerne les contrats, ne trouve sa source que dans la volonté des parties, cette volonté est donc difficile à formaliser en raison de la profusion de ses manifestations. Mais la loi réglemente l'exercice général de cette pratique et surtout en encadre les modalités d'application; les contentieux sont réglés devant une cour et le témoignage écrit a développé dès le droit romain une force probante supérieure. Dans ce domaine donc, la prudence exige des contractants de mettre par écrit leurs intentions devant un « témoin professionnel » agréé par les tribunaux : le notaire. Recueils de jurisprudence et archives notariales font donc que les techniques commerciales sont relativement bien connues. Bien entendu, toute cette activité légale s'exerçant dans le cadre défini par les contraintes techniques de l'activité, par effet induit on arrive à en déduire des informations sur les techniques maritimes.

⁴⁵ Tous ces textes se trouvent dans le *source book* de J.-M. Pardessus, *Collection des lois maritimes antérieures au XVIII^{ème} siècle*, 6 volumes, Paris 1828.

Mais, là encore, dans cette occurrence le juriste ne se place qu'au niveau des conséquences. Explicitons par un ou deux exemples. Le sujet le plus débattu sans doute est celui de l'avarie commune. Résumons le problème : lorsqu'un sacrifice d'une marchandise particulier est fait dans l'intérêt commun, la loi considère que la perte doit être supportée par les parties qui ont été sauvées par ce sacrifice; le code ne dit par pourquoi et comment techniquement un sacrifice particulier peut sauver ou empêcher la perte de la communauté; elle laisse ce soin au navigateur, elle se contente d'édicter des règles et des garde-fous ; par exemple, elle décidera comment sera évaluée la perte : au prix où le bien a été acheté, prix au départ, ou bien, à celui auquel il aurait été vendu, prix à l'arrivée. De même, elle édictera que la volonté de sacrifier doit être rendue évidente, et par quels moyens cette preuve sera reconnue, par exemple, par une réunion de tous les intérêts concernés au moment de la décision du jet. Mais rien ne dit pourquoi et en quoi le jet va sauver le navire, c'est-à-dire que le côté technique maritime est totalement éludé. Par exemple le Digeste, pour faire comprendre la différence fondamentale entre avarie particulière et avarie commune, cite l'exemple du mât coupé volontairement, et celui du mât cassé par la tempête. Ce sont les exemples emblématiques de l'avarie commune et de l'avarie particulière, mais il reste muet sur l'importante question de savoir en quoi et pourquoi couper le mat peut sauver le navire. Dans le même ordre d'idées, ni le Digeste, ni les basiliques, ni les *statuti* ou encore les *fatwa* ne nous indiquent pourquoi il faut faire le jet⁴⁶. Car le droit musulman traite des mêmes problèmes, mais avec une approche différente. Les plus précises dans ce domaine sont les *fatwa* sur l'avarie commune⁴⁷. Une fatwa est une décision d'un juge et obéit à un plan bien défini. Après un bref exposé des faits la décision est annoncée en conclusion après l'exposé du raisonnement qui amène le *cadi* à déduire cette décision à partir des textes de la Loi, ce qui constitue le corps de la *fatwa*. Tous les exposés relatifs au jet commencent peu ou prou par ces mots : le navire subissant le mauvais temps doit après un jour ou deux procéder au jet. Il y a donc un lien direct entre le mauvais temps et le jet, mais en quoi le fait de jeter les marchandises à la mer sauve-t-il le navire ? La solution ne nous est donnée ni par les dizaines de fatwas relatives au jet collationnées par al-

⁴⁶ V. Lagardère, *Histoire et société en occident musulman au Moyen Age. Analyse du Mi'yar d'al-Wansarfisî*, Madrid 1955. ce livre est la traduction d'un célèbre recueil de jurisprudence arabe du célèbre juriste maghrébin du XIV^e siècle : al- Wansarfisi

⁴⁷ Muhammad B. Iyad (m 575/1179) *Madâhib al-Hukkâm fî nawâzil ; la actuacion de los jueces en los procesos judiciales*, Madrid 1998. Voir plus spécialement en droit maritime chap., XXX *Capitulo sobre la asociacion*, et Chap. XXI. *Capiulo sobre el reparto*,

Wansarfisi, ni par le chapitre XXI de l'ouvrage de Ben Iyad qui traite spécialement de l'avarie commune, mais bien par un récit de mer, celui du capitaine Buzurg. En fait, on comprend dans ce texte que, le navire ancien étant par construction très mal structuré, le mauvais temps tord et maltraite la coque qui se met à bailler de toutes ses coutures, et le bateau fait eau d'une façon anormale et considérable. Il suffirait donc de pomper plus vite que l'eau ne rentre ; Hélas ce n'est pas possible très longtemps. En effet, apparaît bien vite le phénomène des impompables. La marchandise imprégnée d'eau s'imbibe et s'alourdit, malgré les efforts de l'équipage à la pompe, le navire s'enfonce et est battu par les déferlantes c'est le début de la fin. Il faut donc jeter par-dessus bord les marchandises imbibées. C'est pour ne pas l'avoir fait à temps que le capitaine, cité par Burzug, a été incapable d'effectuer le jet. Les balles de tissus trop mouillées étaient devenues trop lourdes et son équipage ne peut plus les manipuler. Il perd alors son navire pour avoir voulu trop sauver sa cargaison. C'est dans un seul récit de mer que l'on peut trouver une explication lumineuse de l'efficacité d'un sacrifice nécessaire, pourtant très abondamment cité, sans autre explication technique, dans bien des textes juridiques.

E- La littérature professionnelle.

Si les marins écrivent peu ou pas du tout, il reste qu'ils semblent savoir lire, car quelques documents sont édités pour les aider dans l'exercice de leur métier. Il s'agit des **périples**. Ce sont des descriptions détaillées des côtes, souvent avec des indications chiffrées quant aux distances, mais peu d'indications de directions, ils préfigurent en quelque sorte nos modernes instructions nautiques, toujours nécessaires pour une navigation côtière, ne serait ce que pour suivre le défilement des amers ou points remarquables. Ces ouvrages sont relativement nombreux et les premiers datent de l'antiquité, ils ont perduré pendant le Moyen Age. Nous citerons le Périples de la mer Erytrée, qui date du 1^{er} siècle de notre ère, sans nom d'auteur, les ouvrages d'Arrien du II^e siècle qui retranscrit le périple de Néarque, l'amiral d'Alexandre qui rapatria sa flotte et son armée des bouches de l'Indus à Suse sur un affluent du Chatt-el-Arab, en Iran actuel. Pour son compte propre, il écrit un périple concernant la Mer Noire, partie par expérience et partie par compilation, on lui attribue également un second périple de

la Mer Rouge. Enfin citons, surtout, l'ouvrage d'Edrisi⁴⁸ qui comprend un périple complet du Maroc à la Palestine et que nous utiliserons plus tard. Ce ne sont pas les seuls ouvrages d'assistance, on peut considérer que certains ouvrages sont de véritables **rou tiers** c'est-à-dire des recueils de routes du large destinées au marin hauturier qui coupe à travers golfes et bras de mer. Parmi ceux-ci on peut classer un ouvrage arabe anonyme du VIII^e ou IX^e siècle, connu sous le nom du Voyage du marchand Suleyman⁴⁹, décrivant les routes et atterrissages du Golfe Persique jusqu'en Chine et enfin les *compasso* médiévaux qui sont les ouvrages de base indiquant routes à suivre et distances à parcourir entre ports, dont sont tirés les portulans. Nous citerons, uniquement pour information la traduction du « Livre de la mer » hanséatique, le *Seebuch*, parce qu'il est hors période, datant de la moitié du XVI^e siècle et qu'il concerne une navigation très spécifique, celle de la Baltique, une mer très typée, et utilisant principalement la sonde ce qui est un cas vraiment particulier et dont nous parlerons peu. A ce propos, les documents les plus révélateurs de la période de l'estime sont évidemment les portulans médiévaux, (l'ancêtre de la carte marine), dont plusieurs se sont conservés depuis la fin du XIII^e ou le tout début du XIV^e siècle, pour les plus anciens. Les arabes contemporains de cette époque utilisaient aussi des cartes marines dont aucune ne nous est parvenue, sauf, sans doute, trois exemplaires d'homologues terrestres qui nous donnent une idée de leur principe de construction et de leur utilisation.

Les écoles de commerce, dès le XIII^e siècle en Italie, et les écoles de droit civil à l'usage des notaires ont précédé dans le temps les écoles d'hydrographie qui ne datent que du XVII^e siècle. Les premiers écrits et réflexions professionnelles, en France, ne datent que du temps de Colbert où un effort de formation a été rendu nécessaire par la constitution de toutes pièces d'une marine d'Etat. En effet dans cette création *ex nihilo*, il devait aussi créer une classe de marins. En ce qui concerne les équipages, il créa l'Inscription Maritime et puisa ainsi dans le vivier des marins du commerce déjà formés. Regardant les états major, il fut obligé, par statut, de recourir à la noblesse de province qui était constituée en totalité de terriens à qui il fallut tout apprendre d'un monde auquel ils étaient complètement étrangers. De là, date l'organisation de conférences techniques tant pour la navigation que pour la manœuvre ou le

⁴⁸ Edrisi Description de l'Afrique et de l'Espagne Traduit par R.Dozy et M.J. De Goeje, première édition, 1866 ; Réimpression anastatique Leiden 1968.

⁴⁹ Anonyme. *Itinéraire des navires d'Irak jusqu'en Chine*, p. 3-11. et *Informations sur l'Inde et la Chine*. p.11-23. In *Voyageurs arabes* Traduction de Paule Charles-Dominique. Edit. Gallimard. Paris. 1993

combat. On a conservé certains textes de ces conférences, une source idéale en ce qui nous concerne, mais trop tardive. Tout était inventé ou presque, ils n'exposent que des techniques évoluées et on ne peut saisir la genèse du progrès. Cependant, dans ce domaine si particulier de la littérature professionnelle, nous avons deux ouvrages, tardifs certes mais néanmoins écrits à la toute fin de la période, le journal de bord de Christophe Colomb⁵⁰ et les ouvrages d'Ibn Madjid⁵¹, son aîné d'une génération tout au plus, les textes d'Ibn Madjid, difficiles d'accès sont éclairés par ceux de Suleyman al- Mahri qui a traité des mêmes questions quelques années plus tard. Cependant les écrits de ce dernier sont déjà « pollués » par la technique occidentale qui s'est développée très vite dans l'Océan Indien, dès l'arrivée des portugais à l'extrême fin de la période.

Parmi nos sources nous citons assez peu Marco Polo, et un peu plus, il est vrai, Ibn Battuta, mais pour des propos, somme toute, hors sujet, tels que les voyages en caravane ou les jonques chinoises. Bien que ces grands voyageurs soient, par ailleurs, souvent cités, il n'en reste pas moins que Marco Polo est un voyageur par terre et ses descriptions maritimes sont de moindre intérêt,⁵² en comparaison de ses observations de terrien. Quant à Ibn Battuta⁵³, il haït les bateaux, surtout arabes. Par contraste, son admiration pour la jonque chinoise est diamétralement enthousiaste.⁵⁴

⁵⁰ Cristobal Colon, *Textos y documentos completos. Prologo y notas* de Consuelo Vargas, édition Alianza Universidad, éditions spéciales des 500 ans, Madrid, 1992

⁵¹ G.R. Tibbets, *Arab navigation in the Indian ocean before the coming of the Portuguese, being a translation of Kitab al-Fawa'id fi usul al-bahr wa'l-qawa'id of Ahmad b.Majid al-Najdi*, London 1981

⁵² Marco Polo bien que Vénitien était d'une famille, expatriée au proche orient, qui s'occupait de négoce à l'intérieur des terres c'est en allant à la recherche de nouveaux marchés en Asie centrale que son oncle devint un spécialiste de l'Asie et qu'il initia son neveu Marco. D'ailleurs, lors de sa visite d' Ormuz le plus grand port de la région, Marco ne note que deux choses : les bateaux arabes sont bien petits, et aussi, la façon d'arrimer la marchandise sous des peaux de bête, pour les protéger de la pontée, constituée par des chevaux vivants. C'est bien un réflexe de chargeur.

⁵³ Ibn Battûta, *Voyages et périples*, traduit par Paule Charles-Dominique, Paris 1995

⁵⁴ Ibn Battuta était un grand voyageur mais certainement pas un « sac à dos ». C'était un personnage considérable qui disposait d'un carnet d'adresses très bien fait, qui lui permettait à chaque étape de rencontrer d'autres personnages considérables et d'obtenir toutes les ouvertures utiles. Généralement, il obtenait une charge importante, en adéquation avec ses capacités de juriste, qui devaient être certaines. C'est ainsi qu'il finançait sa vie vagabonde, mais confortable.

Il voyageait donc si possible dans le luxe et le confort avec bagages, serviteurs et concubines. En bon arabe et pudique comme un chat, il avait horreur de la promiscuité forcée des navires arabes et de leur manque de

Les sources seront détaillées à chaque chapitre dans lequel elles sont exploitées. Cependant, nous citerons à travers tout l'exposé et à peu près à chaque chapitre deux auteurs de base Christophe Colomb et ibn Madjid Quoique tardifs, tous les deux ont l'avantage d'être des théoriciens de la navigation et de vouloir écrire une œuvre didactique. En tant que tels, ils donnent le point global de la question à l'instant où ils écrivent, soit le XV^e siècle, et en cela ils sont un résumé de toute l'histoire de la navigation des origines à leurs jours.

0-7. Justification du plan

La navigation actuelle vient de vivre une révolution avec l'introduction de la navigation assistée par satellites artificiels. Cependant c'est une révolution qui n'est pas complète, en ce sens que le G.P.S est une solution privée, elle appartient au gouvernement des Etats Unis et peut être annulée à tout moment, pour des raisons stratégiques ne dépendant que de la volonté et des intérêts de cet Etat, qui lui seraient dictées éventuellement par telle ou telle circonstance. En attendant un système européen ou, mieux encore, mondial, les marins sont

facilités de confort qui heurtaient sa pudeur. A un moment, il raconte que voyageant avec un ami très cher, il préféra prendre un autre bateau, que de traverser la mer rouge en sa compagnie, car son ami avait embarqué ses chameaux. On peut le comprendre ; la littérature arabe cite le cas d'un diplomate persan qui faillit refuser son ambassade, car il devait s'y rendre par mer en embarquant à Ormuz. Il recula d'horreur, devant la puanteur que présentait le navire sur lequel il devait s'embarquer. Il est vrai que, si la pratique actuelle date de la tradition de cette époque, les boutres arabes sont enduits, en guise d'*anti-fouling*, d'une huile de foie de requin, censée les protéger des berniques et tarets, si redoutables sur les coques en bois. Ceci mêlé aux remugles des chevaux, fret ordinaire pour le sud, comme nous le confirme Marco Polo, est suffisant pour justifier les appréhensions du délicat diplomate.

Mais surtout il s'en explique à propos de la jonque. Celle-ci en raison de sa construction, d'un principe tout différent, présentait des particularités qui le ravissaient. La jonque est construite à partir de bordages de lattes superposées, constituant un matériau comparable au bois lamellé-collé moderne ou mieux encore, selon certains auteurs, au contreplaqué. Elle est construite exactement selon le système de construction moderne, utilisant comme matériau la tôle. Il s'agit d'une construction par caissons étanches, qui a frappé tous les voyageurs. Le fond étant plat, il n'y a pas de quille, le raidissement longitudinal est obtenu par un cloisonnement plus serré, au niveau du pont, une sorte de construction en nid d'abeille, selon la terminologie moderne. Et c'est là, le détail qui ravit notre voyageur : chaque cellule constitue une cabine fermée, avec cabinet de toilette, où le voyageur peut s'isoler avec ses proches, et éviter une promiscuité impudique sur le pont d'un boutre. D'ailleurs, dit-il, tout le monde, chinois ou non, désormais ne voyage plus que sur une jonque, d'autant plus, que se ce sont des navires énormes, et donc plus rassurants, qu'un boutre ouvert au ras des vagues.

En fait, il donne l'explication plus tard , la jonque est un navire qui, malgré sa taille, marche aussi bien à la voile qu'à la rame en raison du système de nage ou plutôt de godille qui permet des arrangements de plans de nage énormes, 600 rameurs affirme-t-il. Bref, ces bateaux remontaient vers la Chine pendant les calmes de l'intermousson. Il fit dit-il 35 jours à la rame, sans un souffle de vent, du Nord Vietnam jusqu'à la latitude de Formose. Résultat, c'est le seul navire qui peut faire le voyage d'Ormuz en Chine en une seule mousson.

obligés d'apprendre toujours les vieilles méthodes « juste au cas où... » Pour l'essentiel, la navigation astronomique reste encore d'actualité. Les derniers perfectionnements dans cette méthode datent de 1870 avec la droite de hauteur de Marq Saint-Hilaire. Le principe de la navigation astronomique moderne est un système à deux étages qui procède par approximations successives. Sur une position de départ donnée par l'estime, on précise cette position par un point obtenu à partir d'observations astronomiques. Les observations astronomiques sont traitées par le calcul mais reportées sur la carte pour obtenir une solution graphique : le point. Le marin moderne superpose donc deux méthodes qui ont été trouvées et mises au point successivement dans l'histoire des techniques de la navigation. L'estime est une méthode mise au point à la fin du XIII^e siècle, mise au point pour exploiter au mieux les possibilités nouvelles qu'offrait, en son temps, la découverte de la boussole. Cette estime a bientôt, au XV^e siècle, en raison de la dilatation de l'espace maritime, montré ses limites et a dû être non pas remplacée mais simplement supplémentée par la navigation astronomique qui a débuté avec le calcul des distances Nord-Sud par l'observation de la hauteur de la polaire, puis très vite, par le calcul de la latitude par la méridienne de soleil au XV^e siècle. Cette dernière méridienne est toujours utilisée de nos jours⁵⁵. C'est après ce moment précis que s'achève notre étude. Puis la navigation astronomique n'a cessé de s'affiner au XVII^e au XVIII^e et au XIX^e siècle avec les inventions successives du sextant et surtout du chronomètre et de méthodes établies pour exploiter les possibilités de ce dernier appareil pour calculer les longitudes.

Il faut donc noter qu'avec la méthode des approximations successives, la façon de procéder moderne n'est donc qu'une superposition de méthodes modernes sur des méthodes plus anciennes et présente donc un raccourci vivant de l'Histoire des techniques de navigation. C'est pourquoi il nous semble obligatoire de choisir d'exposer les faits par ordre chronologique. Mais auparavant, il faudra fixer la situation au départ de la période, c'est-à-dire exposer quel était l'état des méthodes de navigation dans l'antiquité et au haut Moyen Age, *the state of art*. Il faudra donc parler de la navigation côtière car tout a commencé par là, c'est en s'éloignant progressivement des côtes et en coupant à travers les golfes de plus en plus hardiment qu'on en est arrivé à la navigation hauturière. **Ce sera l'objet de la première**

⁵⁵ Chaque matin l'officier de quart fait une droite de soleil du matin et à l'heure calculée, la méridienne de soleil qui avec la droite du matin « transportée » donne un point. Ce point est la base du « Point à midi » noté au journal de bord et transmis à l'équipage et aux passagers (au moins dans les compagnies de bonne tradition) sous la forme d'une petite note indiquant par ailleurs l'E.T.A. *Estimated Time of Arrival* au port de destination.

partie. Ensuite, pour respecter la chronologie, **dans une deuxième partie**, il faudra examiner la révolution nautique qui s'est passée à la fin du XIII^e siècle. L'apparition de la boussole a servi de base à une nouvelle technologie de navigation : l'estime, méthode de navigation graphique inséparable de son support le portulan. Mais l'estime a sa limite qui réside dans une incertitude dans la position proportionnelle à la distance estimée. Cette incertitude n'était pas trop gênante dans des navigations restreintes, mais avec la volonté de sortir du cadre géographique connu, il a bien fallu mettre au point des méthodes plus affûtées en se servant des avancées en astronomie. C'est par l'observation du ciel local que les marins, qui sont obligés de ne compter que sur eux-mêmes, lorsqu'ils sont au large, vont pouvoir préciser leur position dégrossie grâce à l'estime. Ce problème s'est posé deux siècles après la mise au point de cette estime. Il avait déjà été résolu dans une certaine mesure par les arabes confrontés aux vastes espaces marins avant les occidentaux. La comparaison s'avérera intéressante. Nous reviendrons sur le développement parallèle mais indépendant des bases théoriques, en cosmographie et astronomie et du passage du savoir arabe dans ces matières vers l'occident. **Ce sera l'objet de la troisième partie.**

D'où le plan :

Première partie, la navigation à vue

Deuxième partie, la navigation au compas, invention de l'estime.

Troisième partie, les débuts de la navigation astronomique.

Première partie

La navigation à vue

Les nouvelles méthodes de navigation durant le Moyen Age

Introduction de la Première partie

1-0. La navigation à vue

Introduction à la navigation empirique.

Le vent, moteur et guide.

Le navire à voile va avec le vent, les marins connaissaient la rose des vents de leur port ; ils savent, en fonction du vent du jour, dans quelle direction ils peuvent aller. Mais l'intérêt de la navigation n'est pas d'aller où le vent vous porte, mais où le marin veut aller, car si le vent vous porte dans un sens, se posera bien vite, le problème du retour. La méthode est moins rigide qu'il n'y paraît, car il est possible de ruser avec le vent, c'est ce que nous allons examiner dans cette introduction.

1-0.1-Aller à la voile

Jusqu'à l'invention de l'estime on a affaire à une navigation à la voile totalement empirique, c'est-à-dire un savoir-faire découlant uniquement de l'expérience pratique des marins à travers les générations successives. Cette technique se transmet par l'exemple le long des générations et donne lieu à une tradition. D'une façon générale, les auteurs ont tendance à tomber dans deux travers : d'une part, minimiser les savoirs faire de ces grands anciens et d'autre part, considérer que la tradition engendre un mode de transmission inamovible. En se

cantonnant uniquement au début de la période historique de la navigation à voile, c'est-à-dire, en gros, à l'antiquité gréco-romaine, il faut revoir ces savoir-faire à la hausse car beaucoup d'idées reçues fausses ne résistent pas à l'examen des textes. Nous excluons la période phénicienne, bien qu'il y ait des témoignages écrits, nous considérons cette période comme faisant partie de la protohistoire maritime ; non pas parce que les Phéniciens ne savaient pas écrire, mais parce qu'ils ont jalousement tu leurs secrets du métier pour imposer leur domination au long cours et rester les maîtres des routes de l'étain et du cuivre, un monopole précieux à cette période qui était encore majoritairement celle du bronze.

Non, les anciens ne se contentaient pas de suivre la côte. Pline l'ancien nous décrit le commerce interocéanique qui rejoignait les Indes à partir de l'Égypte, dès le 1^{er} siècle de notre ère. Il nous reste également le témoignage des textes techniques maritimes tels le Périple de la mer Erythrée ou commerciaux tels le papyrus de Muziris ou encore les inscriptions gravées sur la route terrestre du Nil à la Mer Rouge. Bien entendu, ces navigations au long cours attestent que les anciens naviguaient de jour comme de nuit, contrairement à une autre idée reçue. Outre cet exemple qui fait un peu figure d'exception, dans la navigation côtière telle qu'on la pratiquait habituellement, on quittait souvent la terre de vue. En effet, il est des configurations géographiques où l'on est obligé de couper par la haute mer, sans suivre fidèlement la côte. C'est ainsi le cas quand on veut rejoindre des îles éparses en méditerranée telles que les Baléares, la Corse ou la Sardaigne, on est bien obligé de quitter la côte des yeux. Le même cas de figure se présente lorsqu'on veut aller de Crète en Sicile, le détour en suivant les côtes de l'Adriatique est hors de question, à plus forte raison, lorsque l'on veut rejoindre les côtes de l'Afrique et les Indes. Pourtant dans ce dernier cas, Pline l'ancien nous explique que la navigation de haute mer n'aurait été que le stade ultime d'une expérience qui aurait commencé par le cabotage. Les premiers navigateurs, selon lui, suivaient scrupuleusement à partir d'Aden les côtes Sud de l'Arabie pour couper au plus court le détroit d'Ormuz et coller de nouveau aux côtes du sous-continent indien pour poursuivre leur route vers le Sud. Mais avec le temps et l'habitude de la route, les navigateurs auraient quitté les côtes de l'Arabie de plus en plus tôt, pour finalement couper directement d'Aden sur le golfe de Cambay ou sur les côtes du Malabar. C'est ce qu'explique Pline, qui a pu vérifier, qu'à son époque, que c'était cette dernière solution qui était retenue par les navires de l'empire romain, (des grecs d'Alexandrie, en réalité, mais sujets romains) qui entreprenaient ce voyage en nombre, (70 par saison). Bien évidemment, il nous est difficile de déterminer si

le déroulement historique qu'il nous présente lui a été suggéré par des documents d'époque ou si c'est la seule explication logique qu'il a pu reconstruire. Il faut reconnaître qu'elle sonne juste, ce qui est tout à fait naturel, car n'oublions pas que Pline est un marin de profession⁵⁶. De toutes manières la réalité de cette route directe est indiscutable, car elle est confirmée par un autre document d'époque : *le Périple de la mer Erythrée* qui est un document technique. Un autre document, commercial cette fois, est le rapport d'un *mercator*, c'est-à-dire un acheteur itinérant, un *comprador*, qui a fait cette route pour le compte d'un *negociator* (un négociant dans l'import-export) d'Alexandrie, c'est un papyrus, dit *le Papyrus de Muziris*. L'archéologie et la papyrologie témoignent donc, à l'unisson, de cette route commerciale dont les débuts romains peuvent être datés du Premier siècle de notre ère. Le périple s'inscrit en faux avec la théorie de Pline l'ancien. Car, cette route avant d'être romaine fut le monopole plus ancien des navigateurs indiens qui venaient directement des Indes vers Aden. Les Romains n'auraient fait que copier leur route de retour si l'on en croit l'explication un peu embellie par le mythe et la légende du Périple⁵⁷.

Une autre idée bien ancrée dans l'inconscient collectif et plus difficile à réfuter est celle du *mare clausum*, la mer fermée, à savoir le fait que les anciens n'auraient navigué qu'à la belle

⁵⁶ Pline l'ancien était en fait un amiral, il finit ses jours au service à la mer. Il commandait la base navale du cap Misène lors de l'éruption du Vésuve. Il voulut aller se rendre par lui-même du phénomène et embarqua sur une galère pour observer l'éruption depuis la mer. Il disparut à cette occasion.

⁵⁷ Le périple explique que cette route était un secret gardé par les indiens qui fréquentaient les côtes de la mer rouge et avaient ainsi le monopole du commerce des épices et de la soie deux produits très appréciés des grecs et des romains. Un certain marin grec aurait reçu les confidences du secret de cette route d'un marin indien et l'aurait rendu public. Curieusement le périple ne nous dit pas expressément quelle est la teneur de ce secret.

On pourrait penser que ce devrait être l'alternance des moussons qui permettrait de faire un aller et retour par an. C'est évidemment un peu gros, la périodicité chronographique du phénomène n'a pas pu échapper aux locaux et rester ignorée jusqu'au premier siècle.

D'autres pensent que les connaissances des indiens en géographie étaient bien supérieures à celles de Ptolémée qui dessinait les côtes de l'Inde comme un rivage grossièrement orienté est ouest. Ils auraient remarqué que cette côte était beaucoup plus orientée Nord-ouest, Sud-est et donc parfaitement perpendiculaire à la mousson. On ne risquait donc rien de courir d'Aden aux Indes en droiture, aucun risque de manquer le sous-continent qui immanquablement se dresserait comme un mur à la fin du voyage. Peut-être cependant Ptolémée n'était pas forcément connu des marins grecs et est de toutes façons postérieur.

Nous avons quant à nous tendance à trouver la teneur de ce secret dans les explications d'Ibn Majid. Celui-ci donne toute une liste de dates limites à observer pour faire la traversée. En effet il est essentiel de ne pas partir trop tard de peur que la mousson favorable cesse de souffler avant la fin du voyage, il ne resterait alors que la solution de repartir tête sur queue vers le point de départ. D'autre part l'expérience montre que la mousson de Sud-ouest est bien plus dure que celle du nord-est, en particulier au plus fort de la mousson, lorsque le temps est établi depuis un moment déjà. Il y aurait d'après Ibn Majid des fenêtres de temps favorables au départ selon les ports de départ de la côte africaine et les destinations choisies.

saison. Cette croyance est d'autant plus répandue qu'il y a des textes législatifs qui fixent des périodes de navigation. Il faut, cependant, faire une lecture critique de ces textes. Il est vrai que le code de Théodose et celui de Justinien fixent des périodes à la navigation. Mais ces textes ne s'adressent pas aux marins, ils s'adressent uniquement au fisc. Une partie importante du volume des transports maritimes antiques concerne l'approvisionnement de Rome par mer, puis ensuite celui de Constantinople. Il s'agit surtout des transports de l'annone, c'est-à-dire de l'impôt en nature levé en grains pour la nourriture de l'armée (annone militaire) ou pour celle nécessitée par les distributions frumentaires à la plèbe. Le transport en était réglementé et là, l'Etat agissait uniquement en qualité de chargeur, c'est-à-dire en tant que propriétaire et exportateur de la marchandise. Dans ce domaine réservé, l'Etat exigeait toute garantie pour un transport sécurisé de ses biens, y compris l'assurance du beau temps. A y regarder de plus près, ce droit était exorbitant du droit général, ce qui est en quelque sorte, juridiquement, normal, puisqu'il s'agit d'un droit régalien. Ce n'est pas d'ailleurs ce seul détail qui sort du droit commun. Par exemple, pour toute avarie survenant à ces cargaisons étatiques, l'Etat s'arroge de droit de pratiquer la torture systématique sur le personnel navigant, pour enquête approfondie. D'ailleurs Justinien reconnaît, de sa main, qu'il ne lui revenait pas de légiférer dans le domaine des affaires maritime, soit concernant celles des marins entre eux, ou encore des relations entre commerçants et marins. Il s'agit des nouvelles 106 et 110, où d'abord, Justinien essaya de légiférer dans le domaine du prêt maritime ; devant la confusion générale qui s'ensuivit il fit machine arrière et reconnut que le droit de la mer est un droit purement coutumier spécial connu sous le nom de droit rhodien. En ce qui les concernait dans la conduite de leurs affaires privées, les armateurs continuaient à naviguer hors de ces périodes, selon les possibilités locales de temps maniable, s'entend. D'ailleurs, Claude, à un moment de disette, cherchait des bateaux en plein hiver pour acheminer du blé d'Afrique vers Rome.⁵⁸

Maintenant en ce qui concerne l'idée qu'une tradition reste soit disant figée, il faut se garder de confondre tradition et empirisme. La navigation à voile a été le domaine de l'empirisme quasiment jusqu'à la disparition de la voile commerciale, au début du XX^e siècle. En effet, dans ce domaine, il n'y a pas eu, pendant longtemps, d'explication rationnelle valable pour expliquer l'action du vent dans la voilure. On s'y était pourtant essayé depuis longtemps,

⁵⁸ Suétone, *Vies des douze César*, Patris 1979, réédition de l'édition de la collection Gustave Budé Paris 1931. XVIII p. 279.

puisque Vitruve, déjà, essaye de théoriser le phénomène, mais il ne nous convainc guère⁵⁹. En fait l'aérodynamique, qui est encore une science expérimentale, n'a vu le jour qu'avec l'aviation, (puisque l'aile est aussi une voilure). Cette science s'est donc développée à un moment où le bateau à voile, instrument du commerce maritime, était déjà sorti de l'actualité. Evidemment, on peut considérer que la tradition est, en quelque sorte, un empirisme inter générations, mais il faut cependant admettre, qu'au contraire de la tradition, l'empirisme est réactif à tout changement dans l'environnement structurel. On pourrait en effet définir l'empirisme comme l'établissement de lois ou relations de causes à effet découlant de l'observation directe des phénomènes naturels et l'établissement de règles de conduite. En schématisant, il ne manque que de passer au mesurable et l'établissement de lois pour rentrer dans le domaine de la science expérimentale. La seule différence est que la règle est l'obéissance à un ordre dit naturel, la loi, un début d'explication des faits. L'introduction du mouvement dans l'empirisme passe par deux faits d'expérience. Tout d'abord, il faut noter qu'un « savoir-faire » est une réponse humaine à un problème technique. Or, un problème comporte généralement plusieurs solutions, ceci apparaît d'une façon criante dans l'espace. Par exemple, les techniques chinoises sont fondamentalement différentes des techniques occidentales. Or le monde maritime est un monde en expansion géographique, par nature, pourrions-nous dire. De tous temps des expéditions maritimes furent organisées pour aller au delà du monde connu, les Egyptiens, les Phéniciens et les Phocéens de Marseille ont connu et transmis le nom de ces explorateurs avec Hapshetpout, Hannon ou Pythéas. Dans ces tribulations, les marins ont pu observer d'autres civilisations maritimes et être confrontés à des savoirs faire différents. Quand Salomon voulut visiter la reine de Saba, son ami Hiram, roi des Phéniciens, voulut lui construire sur la Mer Rouge « *une flotte avec des bateaux faits comme ceux de Tartessos,* » c'est-à-dire ceux que les Phéniciens avaient vu vers Gadès, leur dernier emporium sur la route de l'étain, où ces navires d'un peuple maritime non spécifié amenaient cet étain de territoires inconnus. Beau raisonnement logique, pour aller vers l'inconnu copions les navires qui ont fait leurs preuves en ce domaine puisqu'ils viennent

⁵⁹ Dans son livre X Vitruve, qui était, à la base, un ingénieur que l'on qualifierait aujourd'hui du BTP n'était pas une spécialiste de la mer. Cependant il nous décrit des appareils maritimes surtout instruments de levage utilisés indifféremment sur les chantiers terrestres ou sur les quais, mais aussi, un curieux loch à billes utilisé, surtout en tant que curiosité, sur les yachts impériaux du lac Trasimène, ou encore, une théorie de son cru sur la propulsion des navires à voiles. Il part du principe que tout mouvement procède d'une des deux machines simples fondamentales : la roue, inutile ici, et le levier. Il lui faut beaucoup de subtilité pour essayer de nous convaincre que c'est par un effet de levier, exercé par la voile sur le mât, que le navire se déplace. En effet, il lui est difficile de nous expliquer que, dans ce cas particulier, la poussée et le déplacement sont dans le même sens, ce qui, il faut bien l'avouer, peut être exact dans d'autres cas de figure.

justement de l'inconnu. En second lieu, il faut observer que naviguer se fait avec un bateau et ce bateau n'est pas figé. Il est inutile d'en chercher les raisons, sans doute, une compétition permanente entre capitaines. Mais c'est une évidence ; le progrès technique se fait sentir, avec le temps, dans toute civilisation humaine, il n'est que de constater les progrès à travers la préhistoire pour s'en persuader. En ce qui concerne la période historique, les navires égyptiens sont sans doute les navires de même type, pourtant nous pouvons suivre leur évolution à travers le temps, car elle est visible et figure abondamment sur les murs des temples.

1-0.2-Naviguer avec le vent.

Aller avec le vent est donc possible et connu depuis longtemps, mais le problème c'est d'aller dans une direction voulue et, accessoirement, en revenir. Ici commence la navigation. Naviguer, ce n'est jamais qu'appliquer au domaine maritime les grands principes qui dirigent toute action humaine. Designer un objectif, se donner, les moyens de l'atteindre, contrôler à tout instant la progression vers cet objectif en vue d'une correction éventuelle. Or, aller à la voile, c'est donc être tributaire du vent. Evidemment ceci pose le problème d'un voyage vers un port déterminé. Même si le vent est portant pour l'aller le problème se posera forcément pour le retour. Il est donc indispensable de ruser avec les éléments, soit de composer avec la direction du vent, c'est **le réglage**, soit carrément de trouver une route alternative où le vent sera favorable ou bien encore, aller contre le vent par divers artifices. Tout ceci est un problème de manœuvre. Par contre, contrôler sa progression est un problème de localisation géographique qui n'a aucun rapport avec la technique ci-dessus. Mais les deux actions sont complètement indissociables. Naviguer, c'est donc **manœuvrer** le voilier pour le diriger dans le bon sens et c'est aussi designer la direction à suivre et **faire constamment le point** pour vérifier que l'on va dans cette direction. Ce second volet de la navigation est particulièrement crucial dès que l'on quitte la côte de vue, outre le problème qui reste toujours le même, à savoir faire avancer le navire à la voile, vient donc s'ajouter le problème de localisation. Jusqu'à présent, nous avons parlé de l'aspect progression c'est-à-dire la manœuvre, maintenant nous parlons de l'aspect localisation c'est-à-dire de la route et du point. Nous savons que **l'allure** est la direction du navire par rapport au vent, **le cap** est le point de l'horizon où l'on veut se diriger. Les deux sont évidemment liés. Si on veut prendre un cap déterminé, il faut que le vent porte dans cette direction, pas forcément exactement dans cette

direction, mais dans une direction voisine de telle façon que l'on puisse **choisir une allure correspondant au cap désiré** selon le vent existant. Ceci est le fait du pilote qui connaît la route à prendre et détermine avec le maître de manœuvre⁶⁰ l'allure à prendre pour suivre cette route. Première constatation le navire à voile est un hémiplégique : une moitié de l'horizon lui est interdite, sauf renverse totale du vent.

Un navire à voile se déplace grâce au vent par définition. Mais pas n'importe comment. Si la voile est placée en travers du navire le navire se déplace exactement dans la direction du vent le navire va vent arrière. Si on incline la voile à 45 degrés de l'axe du navire on va se déplacer non plus dans la direction du vent mais légèrement de biais : le cap est différent de la direction du vent. On a donc réglé la voilure pour obtenir ce que les marins appellent l'allure du largue. On appelle allure une disposition de la voile par rapport à l'axe du navire, c'est-à-dire **un réglage** de la voilure qui impulse au navire une course autre que la direction propre du vent. On peut donc « ruser » avec la direction du vent pour faire des courses différentes selon un éventail de possibilités qui reste néanmoins centré sur la direction du vent. On peut ainsi faire varier les allures du vent arrière au vent de travers. Ces différentes allures nécessitent autant de réglages différents. Bien entendu, l'inverse est vrai pour changer de course, à vent constant, il faut changer d'allure et pour cela changer le réglage des voiles. Ces réglages permettent, pour un vent donné, d'aller exactement dans le sens du vent (allure du vent arrière) jusqu'à une limite du vent de travers soit d'un côté du vent, soit de l'autre. Autrement dit, le vent sépare l'espace en deux moitiés. En tirant une perpendiculaire à la direction dans laquelle il souffle, on distingue le coté au vent, la moitié d'où vient le vent et le coté sous le vent, la partie vers laquelle il souffle. Ce que nous allons expliciter dans la figure suivante :

⁶⁰ Tous les navires à voiles nécessitent le concours de trois compétences , un maître de manœuvre qui connaît bien le bateau et procède aux réglages avec le concours de l'équipage c'est pourquoi il est aussi le maître d'équipage, un pilote qui connaît la route, il est souvent embauché uniquement pour un voyage déterminé, parfois très court l'entrée dans un port par exemple, connaissant cette route particulière, enfin un représentant de l'armateur qui est chargé de la gestion commerciale c'est-à-dire faire que le voyage rapporte de l'argent, en charge donc des relations avec les clients : marchands embarqués avec leur marchandise ou affréteurs , locataires du bateau. Cette trilogie peut être compressée à deux ou même à un seul acteur polyvalent et même incorporer le marchand armateur, selon la taille du navire ou la facilité du voyage. Mais elle existe dans toutes les marines étudiées, aussi bien dans l'antiquité que dans les navigations arabes ou occidentales médiévales. Le vocabulaire varie évidemment selon les textes, mais les trois fonctions se retrouvent toujours sous des termes variés ; nous parlerons, quant à nous du naute, du pilote et du capitaine.

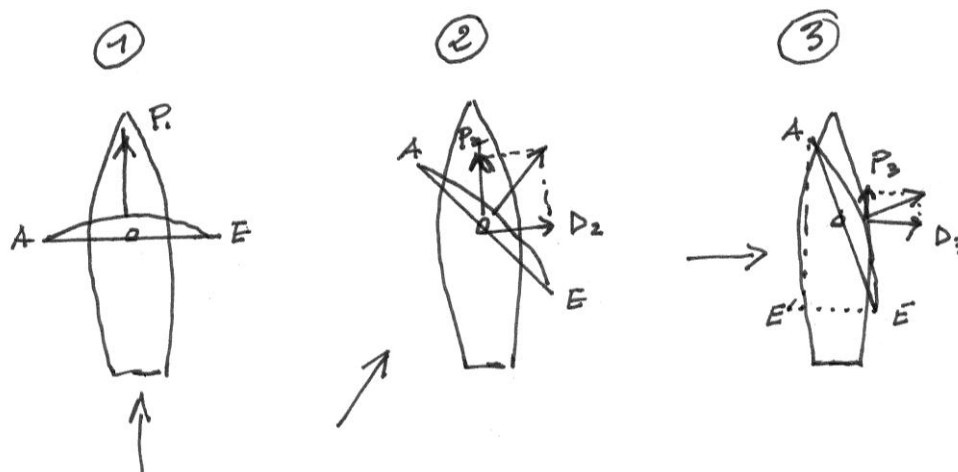


Fig 1

La figure représente 3 navires à différentes allures.

Le **navire 1** est au vent arrière, la force de résistance de la voile au vent s'applique au centre de gravité de la voile (centre vélique) perpendiculairement à sa surface à ce centre vélique, elle est dirigée dans le sens de l'axe du navire : on peut dire que toute la force du vent est transformée en force propulsive.

Le **navire 2** est au grand large, la force de résistance de la voile s'applique dans les mêmes conditions que dans le cas précédent, cette force se décompose en une composante dans l'axe du navire P_2 et une composante D_2 dirigée en travers du navire. La première propulse le navire vers l'avant, la seconde le fait dériver en travers.

La **figure 3** représente un navire vent de travers. On remarque déjà que pour obtenir une composante propulsive, on est obligé de « tricher » ; la voile n'est pas disposée en travers du vent, mais légèrement en oblique. La résistance de la voile est fonction de la surface exposée qui ne sera pas, dans ce cas précis, la totalité de la surface de la voilure représentée par sa largeur AE , mais sa projection dans un plan perpendiculaire au vent AE' . On conçoit que l'on n'exploite pas toutes les possibilités du vent en « rusant » ainsi avec lui. Dans ce cas, on note également que la composante propulsive MP_3 est faible par rapport à la composante D_3 . La dérive va être maximum.

On notera que les **vitesse**s de propulsion et de dérive **ne sont pas proportionnelles aux composantes P et D** , car le coefficient de résistance de la coque à l'avancement dans le sens

l'axe du navire est, par construction, minimum et au contraire le coefficient de résistance à la dérive de cette même coque est maximum. Tout l'art de l'architecte naval est d'œuvrer dans ce sens. Ce sont les formes du navire qui déterminent son aptitude à naviguer vent de travers.

Lorsque le navire est bien réglé c'est-à-dire lorsqu'il navigue exactement à l'allure prévue lors du réglage, la voile porte bien, elle est bellement remplie par le vent sans battre et en forçant d'une façon régulière. Lorsqu'on s'écarte de cette allure, la voile porte mal, elle commence à battre, on dit qu'elle faseye. Si la voile bat c'est que le vent ne remplit plus sa concavité, elle est alignée avec le sens du vent, elle flotte comme un drapeau. Bien entendu, comme la voile est concave, un bord seulement peut être dans le sens du vent tandis que le reste est encore rempli. Si le navire remonte trop au vent par rapport à son réglage la voile faseye du côté du vent, sur son bord d'attaque, par contre si le navire part en sens inverse c'est le bord sous le vent qui faseye, le bord de fuite. C'est donc en regardant sa voile que le timonier va savoir qu'il conserve une course prévue par le réglage. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, garder un cap ne nécessite pas le recours au compas, c'est en se fiant à l'aspect de sa voile que le timonier sait s'il est à la bonne allure et donc qu'il suit le cap déterminé par le pilote. Cependant, il existe une certaine latitude dans l'allure permise, la course suivie n'est pas un trait de rasoir sur l'eau, la souplesse du gréement, des écoutes et de la voile font qu'on ne note à l'œil le besoin d'un nouveau réglage qu'à partir d'un certain changement de cap.

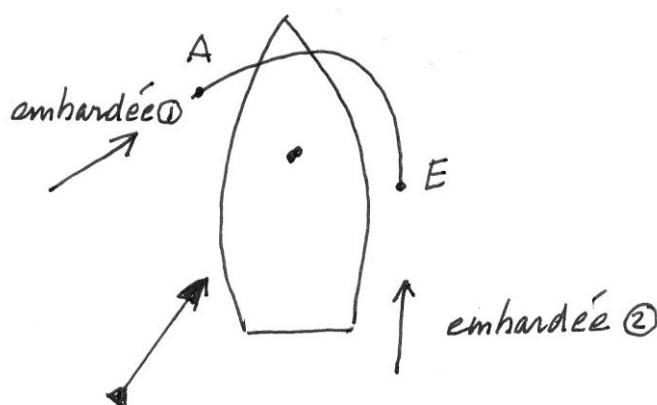


Fig. 2

La figure représente un navire au large, il est bien réglé, le vent s'exerce bien perpendiculairement au plan de voilure, la voile est bien pleine.

*Si le timonier laisse le navire embarder sur la gauche, le vent relatif va tourner pour se placer plus à gauche, en position **1**. On voit que le vent est exactement dans le sens de la voile au point d'amure **A**. Le vent vient à cet endroit tantôt d'un côté ou tantôt de l'autre du bord d'attaque, la toile **faseye** en ce point précis de la voile, on remarquera que le point **E**, quant à lui, reste bien exposé au vent. Si le timonier laisse embarder sur la droite, en position **2**, c'est au tour de la partie de la voile située au point d'écoute **E** situé sur le bord de fuite d'être aligné sur le vent. La voile faseye à cet endroit.*

Cette amplitude possible dans le cap à suivre détermine donc le nombre maximum de réglages différents que l'on peut obtenir entre le vent arrière et le vent de travers. On note le vent arrière, le vent de travers, la position intermédiaire, et si le navire peut remonter au vent, **le près**⁶¹. Bien entendu il y a des nuances intermédiaires selon que l'on va un peu plus vers le vent debout, on dira par exemple, **un large serré** ou, à l'inverse, si on règle un peu plus vers le vent arrière, on dira par exemple **un travers arrivé**. On notait, à l'origine quatre réglages dans ces 90 degrés. On notera qu'il n'y a, à ce stade, aucune référence géographique, car nous avons vu que le réglage n'est pas le cap par rapport à un point de l'horizon ou d'un cap au compas. Par la suite on multipliera ce nombre par deux pour obtenir 8 réglages dans le quart de cercle soit 16 points différents sur le demi-cercle de l'horizon situé **du côté au vent**. On définit ainsi **le rumb de vent** qui deviendra plus tard l'élément constitutif de base de la rose des vents qui décline les divers **caps** envisageables. L'horizon est ainsi divisé en 32 secteurs, les quarts de 11, 25 degrés chacun, par extrapolation à partir des 16 rhumbs du côté au vent qui définissent les 16 **allures** possibles.

1-0.3-Naviguer malgré le vent

⁶¹ Il faut garder à l'esprit que ces dénominations sont modernes, en français les termes ont évolué et les textes anciens parlent de vent arrière et pas de vent de travers qu'ils appellent, le large ; l'intermédiaire devient alors le grand large et le près,, le petit large.

Pour résumer ce qui précède : on voit que, bien que le navire soit l'esclave du vent, il est possible, dans une certaine mesure, de ruser avec lui,. En quelque sorte, alors que le vent porte dans une direction bien déterminée, et que logiquement ceci désigne automatiquement un point précis à atteindre, il est toujours possible de prendre quelques libertés avec cette direction imposée. Tout en respectant la direction générale à suivre donnée par le vent, un réglage judicieux de la voilure permettra d'atteindre un point situé dans un certain éventail autour de ce point précis. Car ce n'est pas au vent de designer l'objectif ; ce soin doit appartenir au marin.

En regardant les choses de plus près on peut dire que le vent de travers n'est pas une limite, on arrive à forcer la voile pour remonter contre le vent. Lorsqu'on veut forcer le bateau à aller plus au vent que le travers, on sait maintenant que le bord de la voile qui est au vent faseye, c'est la marque que l'on a atteint une limite au réglage. Ce faseyement est en quelque sorte un symptôme. Pour aller au-delà on va supprimer le symptôme, il faut, en substance, « ouvrir » le coté de la voile qui faseye au vent. Les anciens utilisaient plusieurs procédés. Les Romains étiraient leur voile vers l'avant et vers le coté sous le vent par un cordage frappé sur la bordure au vent de la voile, **la bouline** et cela à partir de l'Empire, nous le savons par l'iconographie. Les scandinaves la poussaient avec une perche, **un tangon**, nous le savons par l'archéologie.

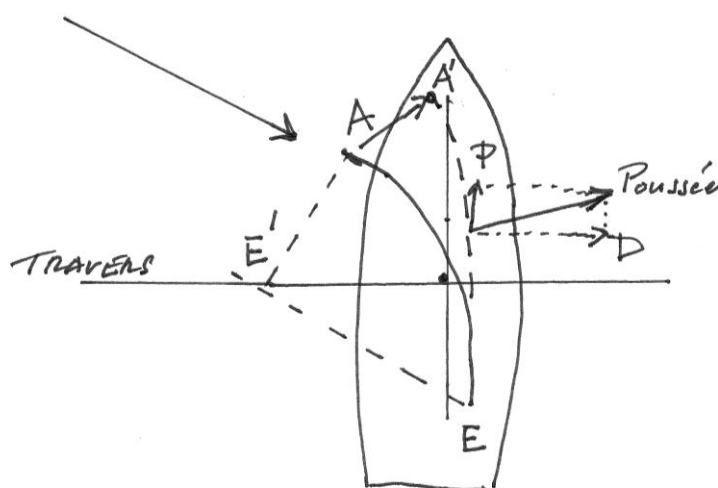


Fig. 3

La figure représente un navire navigant avec du vent de l'avant du travers, à l'allure du près. On voit qu'il demeure une force motrice du vent puisque la projection AE' se présente perpendiculairement au vent. (Bien que bien moins importante que la surface de voilure AE).

Néanmoins, le bord d'attaque de la voile en A est dans le lit du vent et la voile faseye et perd toute efficacité. Il suffit d'ouvrir ce bord d'attaque de A en A' , soit en poussant (tangon) ou en tirant sur ce bord d'attaque (bouline) pour que la voile ne faseye plus. Il reste encore assez de force propulsive pour se décomposer en une composante P de propulsion (faible), et une composante D de dérive très importante.

Donc, l'archéologie nous prouve que le navire antique, à partir d'une certaine époque tout au moins, pouvait faire des bords de près. Cela ne signifie pas forcément que le navire remonte au vent c'est-à-dire progresse dans la direction opposée à celle d'où vient le vent. En effet au vent de travers, nous avons vu que la voile est en gros orientée d'un peu moins de 45 degrés par rapport à l'axe du navire. La force exercée sur la voile va s'appliquer au centre de gravité de la surface de la voile (le centre vélique) normalement à la courbure de la voile à cet endroit⁶². On décompose cette force en deux composantes, l'une, dans le sens longitudinal, la force propulsive, et l'autre dans le sens transversal, c'est cette dernière composante qui fait dériver le navire sous le vent ; il en résulte que le navire semble suivre un cap, mais en réalité, il se déplace « en crabe », en avançant d'une part, mais aussi en glissant sur le côté parallèlement à lui-même. Pour faire un parallèle avec la conduite automobile il semble avancer selon la direction des roues mais en dérapant légèrement sur le côté. On peut visualiser cette dérive en observant le sillage du navire on remarquera qu'il n'est pas dans l'axe du navire mais légèrement en biais. C'est en mesurant très précisément cet axe que les marins du XVIII^e siècle ont pu établir des tables de dérive. Les marins du Moyen Age ne savaient pas établir de telles tables, même s'ils avaient le sentiment de l'existence de cette dérive, comme l'écrit Ibn Madjid. Les dictionnaires de voile du XVIII^e siècle⁶³, qui chiffrent

⁶² C'est cette particularité qui fait comprendre qu'en travaillant la forme de cette courbure par divers artifices (bouline ou tangon) on arrive à faire gagner le navire au vent.

⁶³ Nous nous référons par ce terme principalement à l'ouvrage de Bonnefous et Paris. *Dictionnaire de la marine à voile*. réédition Paris. 1987, première édition 1848. Bonnefous, Pierre Marie Joseph, qui a rédigé toute la partie technique voile est né en 1782 à Béziers, il fut directeur de l'Ecole Navale de 1835 à 1839. Il n'a donc connu professionnellement que la marine à voile. Paris, quant à lui, est son gendre et le décalage de génération lui a permis de connaître les débuts de la vapeur, on lui doit, donc, la partie technique qui concerne ce domaine.

cette dérive, parlent d'une dérive de 15 à 18 degrés à l'allure du près⁶⁴. Il ne s'agit évidemment que de la dérive due au vent en fonction de la composante traversière complètement indépendante de la dérive due à un courant traversier qui peut intervenir concurremment à celle du vent. Mais, ne compliquons pas, pour l'instant, on ignorera⁶⁵ cette dernière. Les dictionnaires de la marine à voile considèrent que la meilleure des allures est celle qu'ils nomment le largue. Il faut faire attention à ce que les mots même techniques subissent eux même « une dérive » au cours des âges. Ces dictionnaires du XVIII^e ne considèrent que quatre allures principales : le vent arrière, le grand largue, le largue et le petit largue⁶⁶ que nous traduisons en langage actuel comme : vent arrière, grand largue, travers et allure du près. Donc, ils appellent allure de largue ce que nous appelons maintenant allure de travers. Car, on distingue maintenant pour chaque allure des gradations : par exemple, un grand largue sera plus ou moins arrivé ou serré selon qu'il se rapproche soit du vent arrière soit du vent de travers.

Autrement dit : un navire qui navigue avec du vent de travers dérive forcément sous le vent, pour annuler cette dérive il suffit de faire un près, le plus serré possible. Pour faire du travers vrai, il faut, en réalité, aller au moins deux quarts sur l'avant du travers apparent. Sur le terrain : bien que les acteurs aient l'impression très nette que le navire remonte au vent, (le vent apparent souffle de la partie avant du navire) on doit corriger cette impression en raison de la dérive et souvent constater que le navire n'avance pas contre le vent. Il se contente d'aller de droite à gauche selon les bords, mais ne fait, à chaque fois, que passer là où il était déjà passé. On dit que le navire tire des bords carrés ; c'est ce que Christophe Colomb appelle, on le verra plus tard, « *ir a la cuerda* ». Il faut donc distinguer entre **remonter au vent**, c'est-à-dire avancer contre le vent apparent et **gagner au vent**, c'est-à-dire progresser dans le lit du vent. L'allure de près, donc n'apporte rien, elle est même à éviter. Elle ne permet pas de véritablement gagner au vent, mais elle fait naviguer contre le vent et aussi contre la mer du vent. Sous cette allure, le **vent relatif** totalise le vent vrai ajouté à celui de la course, le vent subi par le gréement est supérieur au vent qui court sur la surface des eaux et

Par ailleurs nous nous référons d'une manière plus générale au à l'ouvrage de Michel Vergé-Franceschi.
Dictionnaire d'Histoire maritime Lafont, Paris 2002.

⁶⁴ Bonnefous et Paris *Op. cit.* Rubrique *Dérive* p. 277-278

⁶⁵ Nous reviendrons sur le problème de la remontée au vent dans la suite de cette première partie.

⁶⁶ Bonnefous et Paris *Op. cit.* Rubrique *Allure* p. 24-25

de plus, le navire tape dans la mer du vent qui se présente du secteur avant, les fatigues de la coque et de la mâture sont maximales. Il y a de réels risques de casse. Cette allure n'est donc à prendre que pour des circonstances exceptionnelles.

L'ère du navire de commerce à voile s'est achevée, il y a relativement peu de temps. La vapeur a pris son essor dans le courant du XIX^e siècle, mais d'une façon sélective, d'abord dans le domaine de la marine de guerre puis dans celui des paquebots ; le cargo à voile a résisté et c'est la première guerre mondiale qui a sonné le glas des voiliers au long cours, leur silhouette démesurée en fit la cible privilégiée des sous-marins, d'autant plus que leurs difficultés pour évoluer faisait qu'ils ne pouvaient esquiver les torpilles. A la fin des hostilités il n'y eut pas de reconstruction du tonnage disparu, car quand la question s'est posée, l'adaptation du moteur diesel à la propulsion marine a diminué la consommation de combustible par 10 et le dernier élément favorable au voilier est tombé ; les survivants disparurent à la suite de la grande crise de 1929⁶⁷. Il y a une cinquantaine d'années on trouvait encore des marins qui avaient débuté à la voile. C'est désormais un passé bien mort. Or ces magnifiques quatre-mâts barque qui faisaient le nitrate du Chili en passant le Horn, vent debout, ou la laine d'Australie en faisant le tour du monde aux allures portantes étaient construits uniquement d'une façon empirique, en ce qui concerne la voilure tout du moins. Il ne reste donc de bateaux à voiles que des bateaux de plaisance et de sport. Paradoxalement, c'est maintenant, à l'époque contemporaine où le rôle économique de la voile est nul, que des progrès considérables ont été effectués. La recherche aéronautique y est pour beaucoup. L'aile d'avion est une voile et la connaissance dans l'aérodynamique a progressé à pas de géants par des expérimentations et des mesures, en particulier dans des souffleries. Nous avons vu que la compétition sportive suppose une stratégie que l'on pourrait définir comme antiéconomique : les coûts n'ont aucune importance et aucune recherche, quel que soit son coût, n'est épargnée.

⁶⁷ Le domaine du transport commercial à voile s'est éteint relativement tard. Pendant longtemps la voile a concurrencé la vapeur chacun se cantonnant dans son domaine propre. La vapeur se spécialisait dans les transports qui demandaient de la régularité, la poste et les paquebots par exemple, la voile concernait surtout les transports de masse qui demandaient des coûts serrés, le blé, le nitrate, la laine etc. . Bref on retrouvait la même distinction que celle qui divisait distinguait autrefois l'usage de la galère et du bateau rond. Ce fut la première guerre mondiale qui décima la marine à voile, car le voiler paya un lourd tribut à la guerre sous marine. Les lois sociales ont achevé de leur faire perdre leur avantage compétitif, car ils naviguaient sous le système des deux bordées, ce qui signifie des journées de 12 heures, minimum, sans compter les manœuvres d'urgence ou générales ou les deux bordées étaient simultanément en haut. La crise de 29 a vu tous les voiliers français être désarmés dans le canal de la Martinière à Nantes, en attendant des jours meilleurs qui ne sont jamais venus. Pendant longtemps la voile est restée le domaine des sportifs et curieusement sous l'impulsion de la compétition on a progressé dans ce domaine bien plus que durant les siècles précédents. Actuellement, il y a une timide résurgence de la voile commerciale sous la forme de navires de tourisme qui peuvent aller jusqu'au paquebot à voile. Le chapitre n'est donc pas définitivement clos.

Ces progrès ont montré l'importance d'une part de la disposition de voilure et d'autre part de l'architecture des coques. En particulier l'importance des plans minces pour éviter la composante latérale, donnant lieu à la dérive. Il en résulte que les bateaux à voile modernes, en particulier ceux de compétition, tiennent des près serrés inconnus des navires anciens. En conséquence, ils gagnent facilement dans le vent.

Par comparaison, on ne sait plus grand chose des performances réelles des navires de commerce à voiles, et absolument rien des navires antérieurs au XVII^e siècle⁶⁸. C'est, en effet à cette époque que sont apparus les ingénieurs du génie maritime et les marins scientifiques, qui nous ont laissé leurs écrits, leurs plans et leurs calculs. Si l'on sait que les anciens pouvaient aller au près, par contre on ignore complètement s'ils pouvaient gagner au vent. C'est pourquoi cette question des performances du navire ancien est primordiale au niveau historique, car c'est en fonction du navire qu'il a en mains que le marin peut entreprendre les manœuvres qui sont susceptibles de l'amener à destination. Bref ce sont les contraintes que lui imposent les possibilités techniques de son bateau qui sont une limite de sa méthode de naviguer. Mais les performances sont aussi fonction d'un savoir-faire. Il nous faut également dans ce domaine éclairer le tableau en fonction des documents historiques et ce sera l'objet de cette première partie.

1-0.4- Chercher un vent favorable.

Pour aller dans une direction déterminée il faut donc attendre que le vent soit favorable, on peut alors composer avec lui et un certain nombre de destinations possibles se présentent alors. Mais dans le cas de vent défavorable on voit que lutter contre le vent est une entreprise sans espoir ; attendre la renverse peut être aléatoire et parfois juste hypothétique, il faut donc envisager d'autres stratégies. Devant une contrainte aussi générale, les anciens, n'en doutons

⁶⁸ Avec une exception que l'on trouve chez Colomb dans le journal de son premier voyage. Lors du retour, l'Amiral remontait couramment à deux quarts sur l'avant du travers, parfois trois. Observons qu'il ne lui était pas nécessaire de remonter au vent pour faire de la route vers le Nord. Parti vers le Nord-Ouest, donc dans une direction qui l'éloignait de l'Espagne, le vent tournait, au fur et à mesure qu'il remontait vers Nord. Il a donc suivi une courbe. Il connaissait la volta et nous notons qu'il n'a eu aucune hésitation pour choisir son cap, dès l'instant où il a décidé de retourner. Parti vers le Nord-Ouest à la latitude de Saint Domingue, il s'est retrouvé cap à l'Ouest, à la hauteur des Açores, en ayant décrit, entre-temps, tous les caps intermédiaires.

pas, ont développé une prévision météorologique empirique très complète, mais dont il ne reste rien. De même ils ont collecté une masse de données considérable dans ce domaine, dont les lois empiriques ont débouché sur une véritable océanographie pratique qui a modelé la configuration des trafics et des routes dont il reste le souvenir historique. Paradoxalement c'est la traversée de l'Océan Indien qui, nous le verrons, est la plus facile par rapport aux traversées méditerranéennes qui sont pourtant bien plus courtes. La mousson reste, en effet, un phénomène alternatif très sûr qui va dans un sens et dans le sens contraire avec une régularité de métronome. A condition d'accepter le rythme imposé d'un voyage par an, on pourra effectuer le voyage aller et retour dans les meilleures conditions c'est-à-dire toujours avec un vent portant. Par contre en Méditerranée, les traversées sont plus courtes mais la météorologie est bien plus volatile, les vents y sont souvent inconstants et changeants. On peut parler de traversées au pluriel. La traversée de Gibraltar vers l'Italie offre des conditions qui sont fonction de la saison, le régime des vents d'hiver est différent de celui des vents d'été. Elles seront aussi différentes de ce l'on peut trouver lors d'une traversée de la Sicile vers l'Egypte, qui est la portion suivante d'un voyage vers l'Orient. De plus les traversées en sens inverse ne sont pas identiques à celles choisies pour l'aller, étant donné que les vents n'y sont pas alternatifs comme en Océan Indien. En conséquence le retour s'effectuera par une route différente.

Il y a heureusement des conditions météorologiques très localisées qui présentent un aspect très différent de leur environnement général. Il s'agit des **vents thermiques locaux** qui se présentent dans des circonstances bien particulières mais cependant suffisamment fréquentes pour constituer une aide reconnue à la navigation. L'un en particulier a un caractère suffisamment universel pour pouvoir être exploité d'une façon systématique par les marins. L'été, par grand beau temps, un phénomène ayant les mêmes raisons que la mousson, mais à une échelle très limitée, se produit, il provient des variations de capacité d'absorption et de restitution de la chaleur solaire qui sont différentes pour la terre et pour la mer. C'est un phénomène très localisé, une mini mousson qui se produit à cadence quotidienne et non pas saisonnière et de plus très localisée à la zone côtière. L'eau de mer ne voit sa température varier que d'une façon très faible, selon qu'il fait jour ou qu'il fait nuit. Par contre, la terre absorbe davantage de chaleur que la mer pendant la journée, et inversement elle se refroidit plus vite durant la nuit. L'air des zones chaudes a tendance à monter, causant ainsi une baisse très localisée de la pression atmosphérique. Ainsi, le vent se forme des zones froides vers les

zones chaudes. Il va donc y avoir une alternance de circulation d'air entre la terre et la mer selon leur niveau respectif de température. Pour résumer le phénomène, vers deux heures du matin, terre et mer sont à la même température, mais la terre se refroidit par rapport à la mer, une brise commence à souffler de la terre vers la mer c'est **la brise de terre** le *terral* de Colomb, elle souffle le reste de la nuit et une partie de la matinée. La montée du soleil chauffe rapidement la terre et vers midi l'équilibre s'établit le vent tombe et c'est le calme. Le soleil continue à réchauffer la terre et la mer devient plus fraîche. Vers deux heures de l'après-midi le vent de mer se lève ; c'est la **brise de mer** qui va souffler tout le reste de l'après-midi et le début de la nuit. Elle force légèrement et sera à son maximum juste après la tombée du jour. C'est cette brise qui rend les microclimats côtiers si agréables pendant l'été.

Tout ceci donne un choix de solutions pour esquiver le problème du vent contraire, dans beaucoup de situations, mais il se trouve, aussi, des situations où le marin se trouve confronté à un fait établi : le vent lui est contraire et les échappatoires inexistants. Il faut donc se résoudre à s'arrêter et attendre. En effet, aucune situation n'est définitive, avec une météorologie dominée surtout par des phénomènes saisonniers rien qui ne puisse changer au tournant de la saison. Le marin introduit une nouvelle variable dans son équation, le temps qui passe finit par changer le temps qu'il fait.

Ceci est un exposé très général du problème de la navigation à voile ; les solutions, quant à elles, sont liées aux possibilités techniques des navires, qui, à leur tour, dépendent de leur conception mais surtout de la manière de s'en servir. Or la technique évolue avec le temps, elle a une Histoire. Il faut remarquer que dans cette partie la question de l'Histoire du contrôle qui sera au centre de notre étude dans les deux parties suivantes se réduit ici à un problème de reconnaissance de la terre à la vue et donc de navigation côtière. Mais pour élargir le champ des domaines joignables le navigateur va mettre au point des techniques de plus en plus évoluées pour gagner au vent et des stratégies fines pour esquiver le problème du vent de face. Il pourra, alors, mettre en œuvre les moyens de navigation pour atteindre le point d'arrivée, but de la traversée hauturière, c'est-à-dire de la manœuvre du navire et de l'histoire du développement de ses possibilités. C'est donc toujours un problème de manœuvre le positionnement se fait toujours à vue puisque toute traversée commence et finit forcément par une navigation côtière.

Ceci explique le plan que nous allons suivre dans cette première partie

Navigation à vue navigation côtière.

Naviguer contre le vent.

Navigation à vue, navigation hauturière.

Première partie, la navigation à vue.

Chapitre Premier

La Base, la navigation côtière.

Le vent est le moteur et le guide, il emmène le navire dans la direction qu'il choisit. Le grand problème est que les objectifs du navigateur ne sont pas forcément ceux que le vent lui désigne. Nous avons vu précédemment que l'on peut jouer dans une certaine mesure avec cette direction imposée.

1-1.0 Introduction, définitions.

La navigation côtière est un cheminement, la direction à suivre est imposée par le dessin de la côte qui est le chemin que l'on suit en se déplaçant d'amer remarquable en amer remarquable soit le plus souvent de cap à cap, cette navigation prend alors le nom de cabotage. Ces points de repère servent à s'orienter et à se positionner le long de cette côte. On dit aussi navigation à vue car on n'utilise d'autre moyen que les yeux pour se repérer. Ne pas perdre la côte des yeux est donc un moyen de navigation sûr. Mais de plus c'est un cas particulier qui favorise grandement les objectifs du marin. La côte est un guide, une route inscrite dans la géographie, mais de plus elle est aussi le siège d'un microclimat dont le régime des vents très particulier peut parfois aider le navigateur dans sa progression volontaire. Il faut d'abord expliquer le fonctionnement de ce microclimat et son intérêt pour la navigation avant de voir comment nos anciens exploitaient ce phénomène. Nous suivrons en cela un guide précieux Edrisi. En ce qui concerne la navigation côtière, certaines particularités géographiques et météorologiques vont donc être exploitées, ce sont les brises côtières et surtout leurs alternances. Lorsque le temps est chaud terre et mer ne se réchauffent pas durant la journée et ne se refroidissent durant la nuit pas au même rythme. Les rythmes de la terre sont plus extrêmes que ceux de la mer. Il s'en suit que une partie de la nuit la terre qui a perdu sa chaleur dans la première partie de la

nuit devient plus froide que la mer. On remarque donc qu'à partir de la mi-nuit le vent s'organise de la terre vers la mer pour combler le vide que laisse au large l'air chaud qui s'élève. C'est la brise de terre. Inversement, en milieu de journée le vent s'organise de la terre mer vers la terre, c'est la brise de mer.

En ce qui concerne les définitions qui s'attachent aux détails de cette navigation et les explications qu'elle nécessite, le mieux est de suivre le texte de Christophe Colomb qui a pratiqué avec brio cette navigation le long des côtes cubaines et a su tirer le maximum de son usage courant. Cette alternance des brises thermiques, Christophe Colomb la pensait universelle. Dans son journal le 2 décembre il dit⁶⁹ : « *que todas las noches del mundo vienta terral...* » Autrement dit que chaque nuit dans le monde souffle la brise de terre. Il généralise un peu vite, mais il est vrai que ces brises ont rythmé la vie des côtes méditerranéennes et ont induit les coutumes que l'on pense séculaires et qui se sont perpétués jusqu'à nos jours. C'est l'origine, en particulier, de l'organisation de la pêche côtière en Méditerranée : appareillage de la flottille à trois heures du matin, quand la brise de terre éloigne les bateaux du port pour les porter sur les lieux de pêche, au large ; retour en début d'après midi avec la première brise de mer et vente à la criée qui commence à seize heures, quand toute la flottille a eu l'occasion de rentrer au port. Ce phénomène est très local, en ce sens que cette alternance joue dans un couloir étroit limité le long de la côte, d'à peu près trois milles de large et chaque séquence de brise est encadrée par deux périodes de calme plat avant chaque renverse de vent. Bien évidemment, le phénomène, étant faible, s'atténue ou disparaît dès qu'il y a un accident météorologique majeur, par exemple, un coup de tramontane ou de mistral, fort vent de terre annihile toute brise de mer, Le phénomène est d'autant plus prononcé que la période est chaude. C'est pourquoi, il est surtout sensible en Méditerranée pendant l'été et dans les zones tropicales.

Nous avons déjà vu le louvoyage au chapitre précédent. Cette alternance de brises va permettre, en quelque sorte, la manœuvre inverse. Si dans le louvoyage le navire prenait le même vent alternativement d'un bord, puis, de l'autre, pour aller dans un sens, puis de

⁶⁹ Cristobal Colon, *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Vargas* édition Alianza Universidad éditions spéciales des 500 ans, 1992. p. 70

l'autre, en restant en travers du vent. Ici on va profiter de ce que le vent est alternatif, pour le prendre d'un bord puis de l'autre ce qui va provoquer le déplacement du navire, en travers du vent, mais chaque fois dans le même sens, celui que l'on désire. On remarque que le vent étant parfaitement perpendiculaire à la côte on pourra se déplacer par cette méthode aussi bien dans un sens que dans l'autre le long de cette côte, même dans le cas où cette dernière présente des inflexions et des changements de direction, puisque aussi bien on reste dans les deux cas au vent de travers. Historiquement le phénomène et son utilisation sont pleinement décrits, sans doute pour la première fois d'une façon aussi explicite, dans le journal de bord de Christophe Colomb à son premier voyage. On se souvient qu'ayant fait terre aux Bahamas il va descendre sur Cuba. Après une brève pointe vers l'Ouest le long de cette côte, il décide de se diriger vers l'Est, le long de la côte de Cuba puis, en suivant, le long d'Hispaniola. Il va jouer uniquement sur cette alternance, qui va lui permettre, à condition de rester dans ce mince couloir, de progresser jour après jour vers l'Est, alors que quelques milles plus au large, dans le canal des Bahamas, est établi l'alizé de Nord-Est qui souffle directement à l'inverse de la direction générale de sa progression. Or Colomb nous décrit cette partie du voyage qui s'effectue selon la même routine quotidienne. Lundi 26 novembre ; « *A la pointe du jour, il (l'amiral) vira les ancres et sortit du port de Sainte Catherine ; où il était en dedans de l'île Plate et navigua le long de la côte avec un peu de vent du Sud-ouest...* » (Brise de mer, perpendiculaire à la côte et soufflant vers le large.)⁷⁰ L'avantage de suivre une source telle que Colomb qui explique les manœuvres par le menu, c'est que nous allons découvrir un fait moins évident, à savoir que, outre le fait que l'on peut naviguer dans la direction désirée, on trouve dans cette navigation un second avantage d'importance, c'est que l'on navigue aussi d'une façon sûre. Car il faut ajouter un autre détail, naviguer de nuit le long de la côte avec un vent soufflant de terre est une situation plutôt sécurisée. La nuit n'est jamais tout à fait noire, les dangers, s'ils sont émergeants, se voient, les brisants sont souvent phosphorescents et dans tous les cas de figures, blancs et donc discernables dans « *l'obscur clarté qui tombe des étoiles* ». En tout état de cause, la mer qui se brise sur eux s'entend de relativement loin. Donc dans le cas précis de Colomb qui longe la terre sur tribord, avec le vent venant également de tribord, peut, en cas de doute, mettre à gauche toute, partir au large au vent arrière, et attendre le jour pour voir. En revanche la situation s'inverse pendant l'après-midi. La même navigation avec une brise soufflant du large est plus risquée, même au travers, le navire va lentement dériver vers la terre et fatalement on va se retrouver trop près ; la moindre pointe qui s'avance

⁷⁰ Cristobal Colon, *Op.cit.* p. 64

dans l'eau sera un piège, la moindre basse submergée débordant de terre, de même. Donc il vaut mieux mouiller tant qu'il fait jour et que l'on voit où l'on va, quitte à ne pas profiter de toute la brise qui continue à souffler dans la première partie de la nuit. C'est ce que fait Colomb, vers 18 heures, heure du coucher du soleil, sous ces latitudes, il mouille la plupart du temps pour passer la nuit loin des dangers. La plupart du temps, c'est-à-dire quand il avait des fonds de sable. Dans cette partie de la côte au Nord de Cuba et d'Hispaniola, on a généralement des grands beaux temps. Le canal des Bahamas est protégé du grand large par le massif qui supporte cet archipel. Pas de houle du large, un temps d'alizé tropical régulier comme une montre et toujours beau ; on peut mouiller sans risque en rade ouverte sans chercher un abri. La situation change en temps de cyclone ou ce même canal peut devenir un piège, lorsqu'il s'agit de se dégager en fuyant devant soi. Mais, bref, il fait beau à la saison où Christophe Colomb s'y trouve. Aussi, il suit jour après jour la même routine, il met aux postes d'appareillage, chaque jour à minuit, dès les premiers souffles de la brise de terre et part vers le large. Une fois bien dégagé de terre, il suit la direction de la côte (au compas, car il en a un), évidemment à partir de 10 /11 heures, on tombe dans les petits airs, au moment de la renverse. Mais à partir de 14 heures, la brise de mer s'établit et il n'a aucun mal à se rapprocher de la côte pour mouiller en pleine eau, si besoin est, dès que tombe la nuit. Il n'avance pas vite, mais il va sûrement. Si le mouillage n'est pas bon, fond de roche par exemple, ou bien si la route qu'il voit se dessiner devant lui au moment du mouillage du soir et qu'il devra donc parcourir dans l'obscurité du petit matin le lendemain matin ne lui semble pas assez saine et trop difficile pour une navigation nocturne, Colomb pique vers le large, pour y passer la nuit en sécurité, car en navigation le paradoxe est que c'est la terre qui est dangereuse. Il ne tarde pas à y retrouver le flux de l'alizé qui souffle dans le sens inverse de sa progression. Pour ne pas revenir en arrière, il va louvoyer toute la nuit, en tirant des bords carrés, bref, en faisant du sur-place : « *.Esta noche toda estuvo a la corda, como dicen los marineros, que es andar barloventeando y no andar nada.* ».⁷¹ C'est-à-dire, aller contre le vent sans rien gagner au vent ou bien encore : Mardi 27 novembre. « *Hier au coucher du soleil près d'un cap qu'il appela cap de la cloche et, le ciel étant clair et parce qu'il y avait peu de vent, il (l'amiral) ne voulut pas aller à terre.....Pour toutes ces raisons il se mit cette nuit à la corde et temporisa jusqu'au jour...* »⁷².

⁷¹ Christophe Colomb. *Op.cit.* Mardi 13 novembre. p. 56

⁷² Ch. Colomb, *op.cit.* p 65

Mais, le phénomène existait avant Colomb et cette technique de cabotage devait être déjà utilisée, même si elle n'a pas été aussi bien explicitée dans les textes. Colomb nous a aidé à définir les termes utilisés dans la navigation côtière mais il reste cependant à poser la problématique de la navigation côtière. Celle-ci reste une navigation, c'est-à-dire que le navigateur se fixe un objectif, il dispose de moyens pour l'atteindre(les techniques pour faire aller son navire, la manœuvre) et doit garder à tout moment le contrôle de son programme (la nautique) savoir à tout moment où il en est de son voyage et tenter de déterminer le temps lui restant à courir jusqu'à l'arrivée. La navigation, (nous l'avons déjà dit) est la combinaison de ces deux éléments la manœuvre et la science nautique. Nous allons essayer de discerner comment procédaient les anciens dans ce domaine. Evidemment on se doute que cet ensemble de démarches est très ancien mais les textes manquent pour établir dans le détail l'ensemble des méthodes. Il nous a semblé que l'un des plus anciens et des plus complets est le livre d'Edrisi. Il y a des fragments de textes bien plus anciens, le Périple de la Mer Erythrée ou les périple d'Arrien, mais on ne peut y déceler que d'une manière indirecte et toujours partiellement les différents aspects relatifs à ces deux volets de la navigation. C'est pourquoi après avoir exposé nos sources dans un premier point, nous exposerons d'abord les problèmes d'orientation dans un second point puis ceux de la mesure de la route dans le troisième point. Les problèmes de limite seront abordés en conclusion. D'où le plan suivant

1-Les sources

2- Edrisi, un guide de la navigation.

3- Le problème des distances.

Conclusion. Les limites de la méthode

1-1.1 Les Sources.

Pour illustrer cette méthode de navigation à vue, nous allons, pour le plus gros, utiliser le texte d'Edrisi. En effet, nous avons sur ce sujet cité Christophe Colomb, cet exemple reste valable quant à la manœuvre du navire qui n'évolue que beaucoup plus lentement que la science

nautique, et, en ce sens Colomb, est quasiment intemporel, mais la science nautique a déjà, à son époque, considérablement évolué et il navigue avec des méthodes bien plus modernes que ses anciens. Aussi faut-il étudier les méthodes d'un auteur qui traite de la navigation avant même l'invention et l'usage de la boussole ; c'est le cas d'Edrisi. Mais auparavant nous allons parler d'Ibn Hawqal sur qui Edrisi s'est beaucoup inspiré.

A-Ibn Hawqal, le précurseur.

Parti de Bagdad le 15 mai 932⁷³, il commence son voyage par l'Afrique du Nord et va jusqu'à Sigilmassa et Audaghust et même Ghana, puis il passe en Orient et il est à Basra en 969, où il rencontre le riche armateur Ahmad ibn Omar Sirafi. Il se dirige alors vers le Nord, Mosul et la Transoxiane. Il termine par la Sicile en 973 et révisé définitivement son livre en 988. Sa façon de décrire va être reprise par Edrisi : Il adopte dans ses descriptions deux points de vue : tout d'abord il prend comme sujet de description, la terre, par exemple la péninsule arabique et dans un second temps, la mer qui la baigne, comme un autre sujet indépendant. Il s'agit donc de deux points de vue, différents, par l'angle de la prise de vue, sur la même région du globe. De plus il accompagne son texte de cartes comme le fera Edrisi. Ses cartes ne sont pas figuratives et ne correspondent presque pas à la réalité du terrain. Par exemple, nous avons une carte de la péninsule arabique et une de l'océan indien centrée sur cette même péninsule. Autrement dit deux points de vue du même sujet. Elles ne se correspondent pas.

Une carte représente donc la péninsule arabique et les mers qui l'entourent sur 3 cotés et curieusement, l'Océan Indien est représenté comme une mer fermée, les rivières sont rectilignes et même dans le cas du Nil peuvent ne déboucher sur rien. La carte transcrit sa description : « *cette rivière (le Nil) coule à l'intérieur des terres* ». La carte n'est donc qu'un schéma destiné à appuyer le texte. Les ports se suivent sur la côte dont les inflexions sont placées au mauvais endroit, ainsi la côte est rectiligne et horizontale entre Oman et Aden et continue par une droite en continu au delà de Moka au Yémen sur la Mer Rouge et ne commence à prendre une inflexion vers le Nord qu'à partir seulement de Djedda. Dans le

⁷³Ibn Hawqal, *Configuration de la terre, (Kitab Surat al ard)* traduit par H.Kramers et G.Wiet ; 2 tomes. Beyrouth, Paris 1964

même ordre d'idées, la côte iranienne est en continuité avec la côte africaine, donc Siraf est sur la même côte que Berbera, en Somalie, il y a une inflexion de la côte entre les deux, alors que, en réalité, c'est là où est l'ouverture vers le large. La péninsule arabique est mal définie dans ses contours, de plus, elle est orientée trop vers le Nord, alors qu'en réalité elle est beaucoup plus Nord-Ouest. Il en est de même pour le Golfe Persique orienté plein Est et la Mer Rouge qui du Sud-Ouest se dirige ensuite Nord-Est.

Dans la carte où l'Océan Indien et ses deux tributaires, Mer Rouge et Golfe Persique deviennent sujets de la description, curieusement, la carte est représentée beaucoup plus fidèlement⁷⁴. Cette fois, le Golfe Persique et la Mer Rouge débouchent finalement sur le grand océan environnant.

En ce qui concerne l'approche de la discipline, nous notons qu'Ibn Hawqal se préoccupe beaucoup plus de géographie économique qu'Edrisi qui se cantonne à la stricte géographie physique. Ibn Hawqal essaye d'évaluer la richesse des pays visités en se renseignant auprès des fonctionnaires sur le rendement des taxes et impôts, seul élément chiffrable à sa disposition⁷⁵ puisque les pays décrits font partie du monde arabe soumis au même régime administratif. Quoiqu'il en soit, à son époque il note une intense circulation maritime commerciale dans toute la Méditerranée arabe. Un déclin sera constaté par Edrisi⁷⁶. Ces faits sont confirmés par les lettres de la Genizah qui montrent que la route maritime musulmane n'est plus pour les marchands juifs tunisiens du X^e siècle de Tunis vers Alexandrie mais du Caire vers le Sud et Aden.⁷⁷

⁷⁴ Ibn Hawqal *op cit.* p. 42

⁷⁵ A sa lecture, nous avons des surprises, pour lui l'Ifriqiya est équivalente à el-Andalus, le reste du Maghreb y compris le Maroc, ne comptant presque pas, mais ces deux pays sont équivalents, pour chacun, à peu près au dixième seulement, de ce que représenté l'Egypte, qui elle-même est dépassée de peu semble-t-il par la Mésopotamie.

⁷⁶ Ibn Khaldoun constatait, lui aussi, ce déclin drastique de la présence maritime arabe en Méditerranée occidentale « *alors qu'autrefois les chrétiens ne pouvaient même pas faire flotter une planche dans cette mer* ». L'effondrement, car c'en est un, est à dater de la moitié du XI^e siècle, cette date limite est très visible dans les lettres de la Géniza.

⁷⁷ S.D. Goitein, *Letters of Medieval Jewish Traders; translated from the Arabic with introduction and notes*, Princeton, 1973. Et S.D. Goitein, *A Mediterranean Society. The Jewish communities of the Arab world as*

B- Edrisi, élève d'ibn Hawqal.

Les géographes arabes sont très nombreux, l'Encyclopédie de l'Islam en référence plus d'une cinquantaine, parmi ceux-ci, deux catégories principales. En premier lieu, les géographes mathématiques qui sont plutôt des cosmographes, c'est-à-dire qui se préoccupent de la place de la terre dans l'univers et plus précisément de la place du lieu de l'observateur sur la terre en se référant à la position particulière de la terre dans l'univers. En ce sens ce sont les précurseurs de la navigation astronomique et il en sera question lorsque ce sujet sera abordé. En second lieu, les autres géographes qui sont classés dans la catégorie des géographes littéraires ou des tenants de la géographie descriptive ce qui paraît une meilleure définition. En effet, certains auteurs arabes abordent la géographie comme un genre littéraire et cherchent à captiver leurs lecteurs par la description des curiosités géographiques ou ethniques ou de toute autre nature. D'autres, dans ce même genre littéraire, ont des buts profondément utilitaires et cherchent à éditer des guides de voyage. Parmi ceux-ci, certains travaillent pour l'administration abbasside et sont soit ministres des postes ou haut fonctionnaire, c'est le cas de ibn Khurradadbeh et de Qudama. Ils centrent leur géographie sur Bagdad, capitale de l'Empire et lieu de départ de tous les courriers impériaux pour les provinces. D'autres, font part de leur expérience à de futurs voyageurs et, s'il est un voyage que tout musulman aisé veut faire, c'est bien le pèlerinage qui est leur centre d'intérêt. Leur géographie est centrée sur la Mecque. Enfin, il y a Edrisi qui, à notre sens, a une place à part qui s'explique par son histoire personnelle.

portrayed in the documents of the Cairo Geniza, vol. 1 *Economic foundations*, Berkeley, Los Angeles, London, 1967.

Cet effondrement s'explique par plusieurs facteurs. Il faut tout d'abord éliminer l'absence de bois de construction navale, on ignore bien sûr ou en était l'état de la déforestation au Maghreb à cette époque, mais notons que les arabes avaient tout loisir d'acheter des navires en occident, ce qu'ils faisaient couramment. Il y a un article des consuls de la mer qui traite de l'obligation de rapatriement de l'équipage de conduite qui a livré un navire catalan dans un port de Berbérie. L'invasion hilalienne l'obsession d'ibn Khaldoun a dû jouer un rôle en épuisant les ressources commercialisables de l'arrière pays. Les incursions normandes et l'envahissement de la Sicile n'ont en rien arrangé les choses. À ce propos, nous noterons les précautions de style, pour ne pas dire la langue de bois, d'Edrisi qui chaque fois qu'il note la présence normande dans un port, tel que Bône, est bien forcé de constater également qu'il fut mais n'est plus un grand port de commerce intrar-musulman. Il évite soigneusement d'évoquer une quelconque relation de cause à effet. Il ne faut pas oublier que l'emploi et le nourrit. Sans doute aussi la présence des almoravides en Espagne n'a pas facilité le commerce, c'étaient des religieux intégristes et des guerriers, et enfin l'habitude des puissants d'intervenir dans le commerce maritime en période faste, (il faut voir dans la Geniza comment les commerçants considéraient qu'embarquer sur le bateau du sultan est un avantage), pour se tourner vers d'autres sources de profit en période de crise, cette spéculation n'a pas aidé à développer une classe armatoriale qui a fait la fortune des républiques italiennes.

Edrisi est né vers 1100, il fait ses études à Cordoue, et voyage en Asie mineure. Vers 1116-1117 il est embauché par Roger, roi normand de Sicile, il va diriger une équipe de voyageurs pour rédiger cet ouvrage qui sera terminé, d'après son introduction en 1154⁷⁸. Il compose un second ouvrage de géographie pour le fils de Roger, Guillaume, mais cet ouvrage qui a inspiré Aboulfeda, géographe important du XIV^e siècle que nous citerons parfois s'est perdu. Il est communément admis que Roger s'intéressait particulièrement à la géographie de même qu'Edrisi qui en était passionné. Edrisi est d'origine chérifienne, c'est un descendant des rois du Maroc de la dynastie des Idrissides et, en tant que tel, descendant du prophète. C'est donc un personnage considérable et très en vue aux yeux des Marocains. Cet honneur, Edrisi s'en serait bien passé, car il n'est passionné que de son sujet et il se désintéresse totalement de la politique. Roger lui fait remarquer que, malgré cette position personnelle, la politique ne se désintéressera pas de lui. Avec une telle ascendance, il sera pris comme symbole, malgré lui, par l'une ou l'autre faction, et mêlé *nolens volens* à des luttes politiques. Cette position d'enjeu finira obligatoirement par lui causer de gros ennuis et sans doute causera sa perte, promis, par destination, à être assassiné par l'un ou l'autre camp. Bref, Roger finit par le convaincre de rentrer à son service et à se dédier tout à sa passion avec des moyens gigantesques et complètement à l'écart des contingences de ce monde, ce qui était, dans son for intérieur, son vœu le plus cher. C'est ainsi qu'il a à sa disposition tout un réseau d'informateurs qu'il peut interroger tout à loisir ou même envoyer sur place à fin de vérification. Il va travailler à cette œuvre toute sa vie active, soit plus de 40 ans. Le côté sombre de son choix est qu'il sera désormais complètement ignoré de la communauté lettrée musulmane qui le considère comme un renégat et il ne figure dans aucun des dictionnaires biographiques des auteurs, ouvrages courants de la littérature musulmane. On est en droit de penser que Roger, un lettré dont la recherche constante d'un syncrétisme véritable entre les deux cultures de son royaume est bien connue, patronne cette œuvre, un peu comme un despote éclairé avant l'heure, mais on peut aussi subodorer, connaissant l'histoire de son règne, qu'il ne perd jamais de vue l'intérêt stratégique d'une telle mine d'information, avec l'idée d'une action concrète en Méditerranée, soit contre l'Afrique du Nord, ce qui va se produire, en effet, soit contre Byzance, ce qui semble être une seconde nature chez tous les Normands du Sud de l'Italie. Quoiqu'il en soit, à sa lecture, son livre apparaît comme étant un guide particulièrement détaillé et utile à tout envahisseur par terre et surtout par mer, et c'est

⁷⁸ Edrisi *Description de l'Afrique et de l'Espagne* Traduit par R.Dozy et M.J. De Goeje, première édition, 1866 ; Réimpression anastatique Leiden 1968.

ici qu'il nous intéresse particulièrement. Roger avait paré à toute éventualité et l'ouvrage couvre toutes les côtes de l'Afrique du Nord de Safi à Damiette et à la Palestine.

Entendons bien, Edrisi dans cet ouvrage n'est pas un géographe scientifique, il n'a rien d'un mathématicien, encore que, par ailleurs, il se soit révélé être un cartographe éminent. Dans cet ouvrage, il ne s'agit que de géographie purement descriptive. Mais il est intéressant pour trois raisons : d'abord, c'est une autorité morale, c'est un descendant du prophète et, à ce titre, il reçoit toute l'attention sincère et les informations de tous les voyageurs et capitaines musulmans qu'il a bien voulu interroger, d'autre part, Roger lui a offert des moyens considérables, enfin il a consacré sa vie à son œuvre. À ces divers titres il a pu rassembler une masse de données colossales à travers lesquelles transparaissent les méthodes des capitaines, ses contemporains et ses principales sources d'information. Car il apparaît que pour clarifier des points qu'il peut juger douteux, il a toute latitude, y compris les moyens afférents, d'expédier une mission de reconnaissance sur place. Son ouvrage n'est pas original, il suit le plan de Ibn Hawqal, à qui il est intéressant de le comparer puisqu'ils traitent en profondeur le même sujet : le Maghreb. Cependant Edrisi présente, pour nous, un intérêt majeur. Alors qu'Ibn Hawqal ne décrit que ce qu'il a vu, il voyageait semble-t-il principalement par voie de terre, et ne fait jamais référence à des voyages maritimes, en revanche Edrisi, quand il se réfère à la partie maritime, très distinctement individualisée dans son travail, reste entièrement tributaire de ses sources, et celles-ci, reflètent fidèlement l'approche, totalement nautique, des nombreux capitaines qu'il a interrogé et, voire, envoyé en mission. Comme celui de son prédécesseur, l'ouvrage est accompagné de cartes. Mais ces cartes ne nous apprennent que peu de choses. Car à l'exemple des cartes d'Ibn Hawqal, ces cartes sont extrêmement schématiques. Tout d'abord, les arabes éditaient sur papier, plus fragile que le parchemin, ce qui suppose que les exemplaires qui nous sont parvenus ne sont que des copies de copies. Dans ce processus, la conformité des cartes à l'original est loin d'être garantie. Les copistes n'ont pas l'habitude de dessiner, de par leur religion qui le leur interdit. D'autre part, ces cartes ne sont pas dressées scientifiquement, mais sont, simplement, des schémas destinés à visualiser des descriptions plutôt austères de successions de détails que le lecteur a des difficultés à appréhender et à organiser dans son esprit. Nous ne parlons ici que des cartes qui accompagnent son manuscrit, nous excluons la grande mappemonde qu'il produisit pour Roger et à laquelle il consacra 15 ans de sa vie. Cette œuvre a été minutieusement analysée mais ne nous concerne pas, car il ne s'agit absolument

pas d'une carte de navigation mais d'une mappemonde. Nous en parlerons, plus tard, en examinant la cartographie arabe.

Son ouvrage de géographie descriptive est complètement détaché de toutes considérations scientifiques, ou plus exactement il suit, en ce qui concerne cette science, les travaux de Ptolémée, et c'est selon la théorie des climats qu'il découpe les territoires à décrire selon la latitude. Il les limite par des sections qu'il arrête selon la longitude, telle que définie par cet auteur. Mais il s'arrête là : il ne mentionne ensuite, ni notions de géographie scientifique, ni coordonnées géographiques, uniquement des distances de ville en ville ou d'amers en amers. Car son œuvre est double : c'est un itinéraire c'est-à-dire un guide terrestre et aussi un périple c'est-à-dire des instructions nautiques, un guide détaillé de la côte. L'espace est donc découpé selon les climats, c'est-à-dire en bandes parallèles selon la latitude. Il en étudie, en particulier, deux : un qui couvre toute la côte d'Afrique du Nord et l'autre, plus au Nord, qui comprend l'Espagne. De ces climats de 1 à 7, seuls nous intéressent les climats 3 et 4, le troisième climat qui couvre toute l'Afrique du Nord sauf l'extrême Nord du Maroc c'est-à-dire le Rif qui est rattaché, de par sa latitude, au climat quatre qui couvre l'Espagne, y compris le Rif. La première section (division en longitude) va de Safi à Bône, la deuxième, de Bône à Misurata, un peu à l'Est de Tripoli de Libye, la troisième va de Misurata jusqu'en Cyrénaïque, en un point précis qu'il nous est difficile d'identifier, vu les différences dans les toponymies médiévales et actuelles, mais que l'on peut situer, approximativement, vers l'actuelle Benghazi, puis une quatrième qui va de là jusqu'à Alexandrie. Remarquons que si cet ouvrage est totalement descriptif, sans référence scientifique avouée, n'en reste pas moins construit selon une base scientifique rigoureuse, il incorpore, non seulement tous les travaux de Ptolémée, mais aussi, au-delà de cet auteur, les avancées des géographes arabes. Si on traduit ces climats en coordonnées géographiques actuelles, tout est cohérent, Gibraltar, dans le quatrième climat, est à la latitude de Rhodes, bien plus au Nord qu'Alexandrie dans le troisième climat, ce qui est rigoureusement exact. Nous verrons plus tard que cette exactitude n'est plus de mise dans le cas des portulans.

Nous avons dit que cet ouvrage en réalité est double, qu'il s'agit d'un itinéraire terrestre doublé d'un périple maritime. Dans le texte, le passage de l'un à l'autre est soigneusement explicité, chaque fois que le cas se présente, c'est-à-dire : à chaque nouvelle section. Citons la

transition de la première à la deuxième section : « *Nous venons d'examiner les villes et les pays compris dans la présente section, et nous avons décrit avec les détails convenables ce qui nous a paru digne d'être remarqué ; il nous reste à parler du littoral, de la mer, des golfes, des caps, et à indiquer les distances en milles, soit en ligne directe (d'un promontoire à l'autre) soit en ligne oblique* » (en suivant le golfe) ; -les parenthèses sont de Dozy, le traducteur- « *Comme nous ne pouvons donner ici une description complète de la côte, une partie appartenant au quatrième climat, nous avons jugé convenable de mentionner à chaque section, la partie du littoral qui lui est comprise. Celle de la présente section commence à Oran, qui est située sur le bord de la mer, comme nous l'avons dit plus haut* »⁷⁹(dans la partie réservée à la description de l'hinterland). L'avertissement est des plus utiles car les unités changent, tout au moins en ce qui concerne la journée de voyage, qui à terre est de 25 milles, mais en mer de 100 milles ; il précise d'ailleurs souvent dans ce cas « *journée de navigation* » et parfois dans l'autre « *journée de caravane* ». Reste à déterminer la longueur du mille ce que nous ne manquerons pas de faire dans un paragraphe ultérieur. Nous comptons donc que, prisonnier de ses sources, il va indirectement en trahir les secrets.

1-1.2 Edrisi, un guide de la navigation, selon son texte

La route principale est celle de l'Est c'est-à-dire vers Alexandrie et le Proche-Orient, en suivant la côte. Les vents d'Ouest sont globalement portants dans cette direction et le voyage aller sera facile, par voie de conséquence le voyage de retour sera plus difficile ; la solution adoptée est, voyage en droiture par le large à l'aller et le retour, en serrant la côte par le couloir où on peut utiliser la navigation côtière grâce à l'alternance de brise de terre et de mer. Les autres routes mentionnées sont les traversées de la mer dans le sens Nord-Sud de ou vers l'Afrique du nord et l'Espagne. Dans la zone Ouest de la Méditerranée, uniquement ; il n'y a aucune autre allusion précise à des traversées dans le sens Nord-Sud dans le bassin Est ou de cabotage dans la partie Nord de cette mer. Il n'y a aucune référence à une direction

⁷⁹ Edrisi, *Op.cit.*, p.117. Cette complication mérite une explication. Edrisi vient d'examiner la première section du troisième climat c'est-à-dire la côte qui va de Safi à Oran. Mais le troisième climat est limité au nord en latitude et tout l'extrême Nord du Maroc, le Rif, fait partie du quatrième climat en même temps que l'Andalus, d'où la précision. La portion de côte qui va en gros du sud de Larache à l'Est de Nador sera étudiée plus loin avec le climat d'al-Andalus. C'est un bon exemple de la rigueur de l'exposé d'Edrisi et des phases de transition fortement marquées, stylistiquement, pour présenter un ensemble très structuré au point de vue de l'exposition.

géographique ; le navigateur suit la côte en se laissant porter complètement par le vent, sa seule référence est la vue de terre en ce qui concerne la route côtière. Il n'y en a pas davantage en ce qui concerne les traversées il n'y a aucune indication d'orientation géographique à suivre, pas de coordonnées de référence, on ne parle pas d'aller au Sud, lorsqu'on veut aller d'Espagne au Maghreb mais d'aller de l'autre côté de la mer.

Comme nous l'avons vu, d'autres routes sont pourtant possibles, y compris la route antique du retour, par la partie nord de la Méditerranée. Mais Edrisi est victime de ses sources qui sont musulmanes, nous l'avons vu, il y a une méconnaissance générale des territoires qui ne sont pas musulmans, apparemment très peu fréquentés par ses interlocuteurs. D'ailleurs le titre de l'ouvrage est explicite description de l'Afrique et de l'Espagne. Peut être aussi le sujet lui

est-il imposé par son commanditaire, dont l'intérêt immédiat se concentre en Ifriqiya et au Proche-Orient. La route du Nord étant connue de Roger, par ailleurs, en particulier par les Amalfitains, et, certainement, par les navigateurs des ports du Sud, Bari, Trani et Brindisi en contact immédiat avec les Normands. Cependant nous penchons, quant à nous, pour une manque d'informations sur les régions non musulmanes, car il faut noter, sur ses cartes jointes, que les pays de la zone nord sont mal représentés à l'exception des territoires du Nord restés musulmans ou qui l'étaient encore, il y peu. Ces derniers, toujours peuplés de musulmans, sont, en revanche, surreprésentés, l'Espagne est très présente, mais l'Italie se limite à la Calabre, le Péloponnèse, qui fait partie de l'empire byzantin, est quant à lui, inexistant. Il est vrai que l'auteur répond partiellement à cette question⁸⁰: « *voici la carte de la Mer Méditerranée où ont été tracées, pour autant qu'il en ait eu connaissance, les villes réputées situées à l'Est de cette mer, lesquelles appartiennent spécialement aux banu Asfar, ainsi que la position du canal qui coupe l'empire byzantin depuis la région de Trébizonde jusqu'à Constantinople même et la façon dont il renferme le territoire de la Macédoine jusqu'à son débouché dans la Mer Méditerranée avec un retour vers les terres qui appartiennent au pays de l'Espagne.* » Autrement dit, il ignore tout de ce qui n'est pas musulman : en particulier, l'existence de la Mer Noire réduite à un canal; il est vrai que cette mer est un domaine réservé, sous le régime du monopole de la navigation au seul bénéfice de Byzance.

⁸⁰ Edrisi, *Op.cit.* p. 190

Rien à voir, donc, avec la cartographie arabe scientifique que l'on sait avoir existé, mais dont il ne reste, (hélas !) aucun exemplaire. En effet quand on lit un géographe plus tardif comme Aboulfeda⁸¹ qui n'a d'autre mérite que d'être un vulgarisateur très brillant, (ce qui est déjà intéressant en soi), lorsqu'il décrit la Méditerranée, on jurerait qu'il en a la carte sous les yeux, tant sa description en donne une idée frappante. Rien de comparable donc avec le schéma d'Edrisi où on a peine à voir la configuration de la côte nord ou l'Italie, le Péloponnèse, la péninsule ibérique ne sont que de simples bourgeonnements et sont reportées, pour la plus grande partie, à l'intérieur du continent. Quant à la côte sud, de Safi à Acre, c'est une droite. Enfin nous notons, en revanche, que les distances sont extrêmement bien documentées et particulièrement précises.

A- L'utilisation des brises thermiques en navigation côtière.

La lecture de son ouvrage frappe tout d'abord par la densité de la documentation, la côte est décrite pas à pas, car, d'un amer à l'amer suivant, la moyenne de distance est de 6 milles. Tout ceci prouve bien qu'Edrisi a à sa disposition des moyens considérables et qu'il a la possibilité de consulter une foule d'informateurs qualifiés, grâce à sa position de géographe officiel du roi Roger. Nous allons maintenant essayer de démontrer que ces professionnels ont fait passer à travers Edrisi leur façon de naviguer. C'est parce qu'il a bénéficié d'informations collectées par des navigateurs qui les ont obtenues par leur méthodes usuelles que le périple d'Edrisi prend une forme si particulière.

Deuxième constatation, Edrisi note toujours quand il y a une indentation dans la côte deux distances : il note dans un sens la distance en droiture de cap à cap, et d'autre part la distance en suivant la côte et en serrant la côte de près. Dans sa bouche, il parle de distances « *en ligne directe* » d'un côté et de l'autre de « *ligne oblique* » ou aussi « *en suivant le golfe* ». Par exemple il écrit : « *Du cap Maghizan à as-Safi en ligne directe 85 milles ; en ligne oblique 150 milles. As-Safi était anciennement la dernière station des navires; de nos jours, on la*

⁸¹ Joseph-Toussaint Reinaud, *La géographie d'Aboulfeda*. Traduction du manuscrit *Taqwimp al-Bouldan* de Abu l-Fida , 1331, édition originale par l'Imprimerie nationale , Paris , 1848, réédité à Franckfurt am Main, 1985

dépasse de plus de 4 journées c'est-à-dire: 400 milles⁸²s ». Ou bien : « L'étendue du littoral compris dans la présente section. (Il s'agit, ici du golfe de Syrte) est en ligne droite de 7 journées de navigation ou 700 milles ; et en suivant les contours du golfe de 13 jours ou 1300 milles⁸³ à savoir:... » Reprenons cet exemple du golfe de Syrte: On remarque que le voyage est donné en jours de mer. « L'étendue du littoral compris dans la présente section. Les côtes de Cyrénaïque. Est en ligne droite de 7 journées de navigation ou 700 milles ; et en suivant les contours du golfe de 13 jours ou 1300 milles à savoir⁸⁴:

Du cap Canan à la ville de Sort, 3 jours

De Sort a Ksar Mighdach, 1,5 jours

De là à l'île blanche, 1,5 jours

De là Ksar Sarbioun, 1 jour

De là à Ksar Cafiz, 1 demi jour, de là à Berenice, 1 demi journée

De là aux quatre tours, 1 jour

De là à Toukara, 50 milles

De là à Tolmaitsa, 50 milles

Puis a l'extrémité du golfe et du cap 2 jours. »

Commentons le passage. Visiblement Edrisi recalcule les distances à partir des temps de navigation, et en multipliant par son fameux coefficient de 100 milles par jour de mer. Nous remarquons que son calcul est très légèrement inexact, en faisant le décompte qu'il nous indique et en prenant 50 milles pour une demi journée on obtient 12 jours et non pas 13. La différence provient sans doute des trajets arrondis à la demi-journée. C'est un détail non significatif. Ce qui est significatif c'est qu'il y a 5 ou 6 jours de différence entre les deux trajets. Or la longueur des trajets ne justifie pas une telle différence de temps de parcours. Les indentations de la côte ne sont pas telles qu'elles supposent un trajet double, en suivant la terre, comparé à un parcours en droiture de cap à cap. La seule explication est qu'il y a aussi une différence de vitesse. Ceci confirme notre hypothèse : c'est que dans un sens le navigateur allait de cap en cap lorsqu'il était dans le sens du vent dominant, par contre en sens inverse il lui fallait raser la côte au plus près et suivre toutes les indentations de la côte pour

⁸² Edrisi, *op.cit.* p. 84

⁸³ Edrisi, *op.cit.* p. 159

⁸⁴ Edrisi, *Op.cit.* p. 159

pouvoir profiter de cette mince zone où s'exercent les brises côtières alternatives. En effet 100 milles par jour supposent un vent portant moyen mais bien établi, le navire qui va en droiture court aux allures portantes, donc sous un vent d'Ouest dans cette partie de la Méditerranée, il va vers l'Est. Maintenant, si nous jetons un coup d'œil à la carte nous voyons bien qu'en suivant le chemin de retour, comme décrit, c'est dire suivant les côtes du golfe des Syrte, en rasant la plage, on fait beaucoup moins que les 1300 milles annoncés, pour obtenir un tel résultat, le golfe devrait présenter une indentation à l'intérieur des terres bien plus profonde, que celle qu'il présente dans la réalité, Ce dernier chiffre (1300) n'est donc que le résultat calculé par Edrisi à partir du temps du trajet, donné par ses informateurs en jours (très détaillé et segmenté comme on le voit) multiplié par le fameux coefficient de 100 milles par jour.. Nous sommes donc en présence de vitesses moyennes différentes selon le sens du trajet. Edrisi qui n'est pas un marin a fait là une erreur. Ce n'est pas tant un différentiel de vitesse qui joue mais plutôt une inégalité dans la durée du vent utile. Cela ne doit pas, à première vue, nous étonner puisque l'aller se fait aux allures portantes où le vent porte sans cesser (24 heures sur 24) et le retour en utilisant les brises thermiques qui supposent des temps morts entre les renverses, et ce qui est aussi vraisemblable des arrêts de nuit. C'est la seule explication qui s'impose car la différence de vitesse à l'allure du large (allures portantes du large) et celle obtenue au vent de travers, est négligeable si on suit les dictionnaires de voile qui donnent pour le vent de travers d'aussi bonnes vitesses que pour l'allure du vent arrière.

Maintenant, reprenons également un nouvel exemple, celui du voyage le long des côtes de Cyrénaïque. Vers Alexandrie : « *La longueur de ce golfe qui passant par al Bondariya s'étend jusqu' à Alexandrie (il s'agit ici des côtes de Cyrénaïque) est en ligne directe de 6 journées de navigation ou de 600 milles ; mais en suivant les contours du golfe de 11 journées et demie ou 1150 milles.* » Comme précédemment les temps de passage sont donnés en journées de navigation et les distances sont déduites simplement par calcul d'après l'équivalent qu'Edrisi donne à savoir la journée de navigation à 100 milles. (6jours pour l'aller = 600 milles, 11,5 jours pour le retour= 1150 milles. Dans ce cas, également, il s'agit donc de temps effectif à la mer et non pas de distance parcourue. Dans ce cas de figure, la carte est éloquente, il n'y a aucune baie ou golfe le long de cette côte, sauf avant d'arriver à Alexandrie où il existe une indentation très peu sensible. On est en présence d'une côte plutôt massive et simple dans son dessin. Dans ces conditions, aller vers l'Est, en passant assez au

large pour pouvoir profiter du vent portant, donne un trajet équivalent en longueur à celui suivi au retour, en rasant les cailloux, pour profiter des brises alternatives. La démonstration est ici encore plus évidente que dans le cas précédent. Il faut donc développer l'explication. La brise côtière à son maximum peut être aussi forte que la brise du large, mais pas durant toute la séquence du phénomène. En effet, l'alternance implique que deux périodes de calme plat encadrent les deux périodes où le vent souffle dans des directions contraires. La transition se faisant en douceur avec des périodes de petits airs qui s'établissent graduellement. On ira certainement moins vite qu'à l'aller, puisqu'on est obligé d'attendre le vent dans ces périodes de calme. Ensuite, les brises de mer commencent dans l'après midi et continuent en premier partie de nuit, à ce moment là, on a déjà pas mal dérivé vers la terre et c'est l'instant de tous les dangers : trop près de côte, et sans visibilité. La prudence commande d'aller au mouillage dès que l'obscurité, pour attendre la brise de terre qui va faire dériver vers le large et donc est bien plus sûre, même dans le noir. On ne navigue plus que 12 ou 15 heures par jour au lieu de courir 24 heures sur 24 lorsqu'on est sur la route du large. C'est en effet la leçon que nous tirons de l'exemple de Colomb. On voit bien que toutes ces indications collectées par Edrisi viennent en droite ligne des marins pratiques des lieux qui briquent la côte dans un sens ou dans l'autre. En résumé : pour aller vers l'Est, les navigateurs bénéficient d'un courant général d'Ouest, leur intérêt est donc de se dégager légèrement de terre sans toutefois la perdre complètement de vue pour filer aux allures portantes dans les meilleures conditions vers l'Est. En revanche, en sens inverse ce vent général leur est défavorable, il leur faut alors serrer la côte de très près pour profiter du couloir des brises côtières. Dans le processus, ils ne peuvent pas couper à travers les golfes pour ne pas trop s'éloigner de la côte et de sortir du mince couloir où s'exercent les brises thermiques, il leur faut donc suivre toutes les indentations de la côte au plus près, avec les contraintes que cela suppose.

Nous reconnaissons là, la méthode si bien décrite par Christophe Colomb qui suit chaque jour le même programme : appareillage à minuit, au lever de la brise de terre, route au large pour se dégager de la côte et s'affranchir des dangers, puis courir en travers du vent pour suivre cette même côte jusqu'à la renverse du vent vers midi, avec la brise de mer, il se rapproche alors de terre et mouille à 18:00 heures, moment de la tombée du jour sous les tropiques. Il est resté en mer 18 heures mais il est resté encalminé pour attendre la renverse, on retombe sur les 12 à 15 heures de route annoncées plus haut. La méthode est lente mais néanmoins efficace. Rappelons qu'il va ainsi longer la moitié de la côte cubaine et la totalité de celle de

Haïti et Santo Domingo, contre le régime général de l'alizé de Nord Est. Cette méthode que pratique Colomb, Le texte d'Edrisi peut donc attester qu'elle est déjà connue et pratiquée couramment au XI^e siècle. Les erreurs de détail résultent du calcul d'Edrisi qui applique brutalement la formule : 1 jour de mer = 100 milles. Les marins donnent leurs résultats en journées de mer, mais il aurait fallu nuancer. Une journée de port au large permet selon toute vraisemblance de parcourir 100 milles, une journée de mer en rasant la côte, poussé par un vent thermique quelque peu évanescent par moments n'a pas la même valeur, surtout quand la navigation peut être interrompue une partie de la nuit par manque de visibilité. Edrisi fait totalement confiance à ses sources, mais ce sont des données brutes, Edrisi manque d'expérience pratique pour pouvoir en faire une analyse critique.

Le texte d'Edrisi est relativement récent, il ne « date que » du XI^e siècle. Mais maintenant que le détail de la méthode est bien explicité il va permettre d'éclairer d'autres textes, plus anciens, qui, sinon resteraient obscurs. Cette même technique de navigation nous est suggérée aussi par la lettre Numéro 5 de Synésios qui date du VIII^e siècle. Synésios, évêque de Cyrène cabote souvent entre Cyrène et Alexandrie pour y consulter sa hiérarchie. Synésios est difficile à suivre, spécialement dans cette lettre. Il a laissé de nombreuses lettres très « professionnelles » ayant trait à des questions relevant de l'exercice de son ministère. Les lettres qu'il nous a laissées sont donc très sérieuses, mais cette lettre numéro 5 tranche totalement sur le reste du lot. C'est le récit d'un voyage par mer, d'Alexandrie,⁸⁵ à Cyrène, Le navire vient de quitter Alexandrie et va vers Cyrène c'est ce que précise Synésios : « ... *en regardant dans la mesure du possible vers Alexandrie ainsi que vers notre mère Cyrène (nous avions l'une mais nous l'avons quittée ; quant à l'autre, nous ne pouvons la trouver...* » Il va donc dans le sens difficile, (contre le vent dominant) ce que confirme le reste des aventures de ce navire. La lettre est écrite pour distraire un frère malade condamné à rester chez lui à Alexandrie, elle sera donc postée de Cyrène, une fois le voyage terminé. Il y use d'un humour au deuxième degré. Il prétend rapporter ce voyage à travers les yeux d'un parfait néophyte en ce qui concerne les choses de la mer. L'effet est garanti, dans la mesure où les deux parties, scripteur et lecteur, sont, au contraire, parfaitement avertis dans ce domaine. Ce qui est évidemment le cas de ces deux « habitués de la ligne ». Donc, à condition de démonter le mécanisme, on peut lui faire techniquement confiance puisque, c'est un voyageur quasi professionnel. Or ce que dit Synésios, c'est que le capitaine tire des bords au large à perdre

⁸⁵ Synésios, *Lettres* Les belles lettres Paris, p.7

la terre de vue, au grand dam des passagers qui prennent peur, « *jusqu'à être dans ces régions de la mer où l'on voyait les grands vaisseaux à deux mats qui faisaient route vers Alexandrie* », puis revenir à terre et mouiller pour la nuit. Mais dans ce texte l'allusion est moins systématique et surtout moins explicite que dans le texte d'Edrisi. Cependant il note que le capitaine louvoie en vue de terre et pique au large jusqu'à se retrouver aussi loin que possible. En effet, nous sommes dans le bassin oriental où les coups de vent de Nord sont fréquents et font disparaître les brises de mer lorsqu'ils soufflent. Ils vont contraindre donc le capitaine à rester au mouillage pendant les coups de vents de nord (par deux fois en l'espace d'une semaine), jusqu'à ce que, le coup de vent terminé, le régime normal des brises de terre reprennent et permette au navire de repartir vers le large dès la pointe du jour.

B- Le repérage par rapport à la côte.

Jusque-là, nous n'avons examiné que cette partie de la navigation, la manœuvre, qui permet au marin d'avancer dans la direction de son objectif ; il nous faut maintenant examiner ce qu'Edrisi a à nous dire à propos de la nautique, c'est-à-dire du contrôle de la position. Le marin contemporain d'Edrisi ne s'oriente pas, il chemine le long de la côte et c'est la côte qui le conduit. En fait la description de la côte par Edrisi est de la même nature que l'itinéraire de Peutinger, Cet itinéraire est la copie d'une carte romaine, qui ne comporte que le résumé des diverses étapes constituant les diverses routes qui mènent à Rome depuis les pays européens. Toutes ces routes sont représentées par des droites parallèles entre elles quelque soit la ville de départ. Les escales sont mentionnées sur ce graphique linéaire et seules sont mentionnées les distances entre escales. Les directions ne sont pas indiquées, la route est définie par une série de segments de droite qui s'emboîtent les uns après dans un alignement qui va du point de départ au point d'arrivée. Les distances entre étapes sont des temps de parcours retraduits en distances au sol ce qui est une inexactitude, car ne tenant compte ni des méandres du sentier ni des accidents de terrain qui cassent la cadence. Les itinéraires arabes les plus anciens tels ceux contenus dans l'oeuvre de Khurradadhbeh⁸⁶ sont bâtis exactement sur le même principe. Donc si Edrisi, quant à la forme, a suivi Ibn Hawqal on peut dire que, quant

⁸⁶ Ce géographe était ministre des postes de l'Empire abbasside et il a décrit les itinéraires de poste avec les relais et les distances déduits des temps de parcours. Al-Biruni qui s'est servi des distances entre escales pour ses calculs de longitude, déduit un forfait de 20 % à la distance ainsi calculée pour obtenir la distance entre points, dont il a besoin pour ses calculs.

au fond, il est dans la droite ligne des périple qui lui sont antérieurs. Rien d'innovant donc chez Edrisi en tant que géographe, ce qui prouve bien qu'il est en parfaite harmonie avec les méthodes et la pensée de son temps. C'est d'ailleurs une très vieille méthode, il suffit de relire le périple de la mer noire d'Arrien pour reconnaître le même schéma, à la différence, toutefois, qu'Arrien reconnaît le changement de direction à 90 degrés qu'il faut effectuer au fond de la Mer Noire pour mettre le cap sur la côte nord. Il est vrai que cette mer étant fermée, on conçoit bien qu'un périple complet de cette mer, tel celui d'Arrien, suppose que l'on tourne en rond, et qu'il est vraisemblable qu'il y ait des changements de direction brutaux qui sont les seuls à être notés. Tout ce qui est changement insensible est considéré comme non significatif et ne sera pas rapporté. Edrisi utilise la même méthode, Tout d'abord notons l'allure rectiligne qui est donnée à la côte. Naviguant dans l'étroit couloir où s'exercent les brises côtières, le navigateur n'a d'autre choix que de rester à peu de distance des côtes, pour pouvoir en bénéficier. Il n'est nul besoin de noter le cap, il lui suffit de coller à la côte qui est en même temps l'indicateur de la route à suivre, d'où cette impression d'une route droite. Une carte dessinée par Edrisi est jointe à l'ouvrage, elle ne traduit que le texte. Sur cette carte on notera que la côte de Tanger à Jaffa est rectiligne ; l'inflexion décisive vers le Nord se trouve placée à Tripoli de Syrie, alors que l'inflexion est peu après Damiette, en Egypte. Ceci, comme nous l'avons déjà signalé rappelle étrangement la carte de Peutinger.

C-On suit donc la côte sans s'inquiéter du cap

Pour appuyer ce qui précédé, voici le texte le plus symptomatique, il concerne la baie de Tunis et surtout le cap Bon qui, dans la partie terrestre de l'ouvrage, est décrit comme une péninsule. Ce cap est l'endroit où la côte du Maghreb qui est *grosso modo*, jusqu'à présent, parfaitement Ouest-Est, tourne brutalement vers le Sud, pour filer vers Sousse, Sfax et Gabes pour redevenir horizontale ensuite. Une première description, comme toujours chez Edrisi, concerne l'itinéraire terrestre de Tunis à Hammamet. Il est en droite ligne et assez court, car il coupe la base de la péninsule terminée par le cap Bon⁸⁷, « *entre Tunis et al-Hamamat la distance est d'une forte journée. Cet espace est la largeur de la péninsule dite Djarirat Bachou, laquelle est une terre de bénédiction couverte de champs cultivés et de plantations d'oliviers... Il y a dans cette péninsule un fort situé sur le bord de la mer et nommé*

⁸⁷ Edrisi, *Description... op. cit.* p. 138

Nabol. »...« Maintenant nous allons à présent indiquer les ports, les promontoires, les châteaux habités et lieux fréquentés situés sur la côte qui font partie de la précédente section (qui vient d'être décrite, coté terre)...» Ici commence cette description de la côte : « De Carthage à l'embouchure du canal de Tunis, la Goulette qui est au fond du golfe 3 milles. De là a Caçr Djahm, 12 milles. Puis à Cargis, 16 milles. Puis à Afran qui est un cap qui s'avance dans la mer, 14 milles. (On a fini ici de suivre le golfe de Tunis, à raser la côte). Il poursuit sa description : « Le contour de tout le golfe (il résume ce qui précède) est de 74 milles, mais en allant directement du promontoire au cap d'Afran la distance n'est que de 28 milles. Du fond du golfe ou est l'embouchure du canal de Tunis au cap Afran on compte 28 milles en ligne directe et 56 en suivant les contours. » On attaque désormais la description du cap Bon : « Entre Nouba et le cap dit Raso r-Rajhuma est un golfe dont les eaux sont peu profondes et dont le trajet en ligne directe est de 1 mille et les contours de 6 milles. De ce cap au cap al-Bacla (le cap Bon) qui est le promontoire de la montagne d'Adaram qui s'étend du côté de l'Orient, de Raso r-Rakhima à al-Djanouro ç-çagir, 6 milles. Les 2 Djanoun sont des montagnes dans la mer auprès desquelles on va mouiller en cas de vent contraire. La distance totale entre Nouba et Alcibia est de 30 milles. Du cap d'Aclibia à al-Monastir un jour de navigation. »

Ce texte est la description de la côte de Tunis à Hamamet, (et même plus loin puisqu'il va aller jusqu'à Monastir). Ce trajet, il vient de décrire par voie de terre et note son aspect péninsulaire; Par la mer, il s'agit de sortir de la Goulette, sur le canal qui mène de la baie au lac de Tunis, donc, tout à fait au fond de la baie de Tunis, puis de remonter vers le Nord-Est, le long de la côte de cette baie qui se prolonge par un promontoire très aigu terminé par le cap Bon. A partir de là, si on suit la côte, on doit prendre un virage « en épingle à cheveux » pour aller carrément plein Sud et même en appuyant sur le Sud-Ouest. On a là donc un virage qui dépasse 90 degrés. Le cap Raso r-Rajhuma est un cap qui se trouve à la sortie de la baie de Tunis mais sur la côte nord de la péninsule du cap Bon, puisque Edrisi précise que la pointe de cette péninsule est à l'Est de ce cap. Donc, il décrit le voyage le long de cette côte nord à la côte est de la Tunisie sans mentionner quoi que ce soit de particulier à propos de ce cap Bon (cap al-Bacla dans le texte), et en particulier pas un mot sur ce qui nous intéresse. Dans son texte, le cap défile devant le navigateur comme toute la cote décrite avant ou après. Il reste totalement muet quant à un quelconque changement de direction. D'après lui donc, ou plus exactement d'après ses sources, tout se passe comme si on passait une simple avancée de

terre dans la mer, un léger accident de la côte aperçu en suivant les contours d'une baie, et que l'on saute lorsqu'on arrive à sa hauteur, pour enchaîner, en entrant dans la baie suivante, en suivant la plage. On est pourtant venu sur la droite de près de 120 degrés. Le même phénomène se retrouve pour la description du Maghreb où la côte est décrite comme un long ruban qui s'étire de Salé à Damiette⁸⁸, alors que quand il prend comme sujet la Méditerranée, les pays sont bien en place autour de cette mer,⁸⁹ même si la Mer Noire est escamotée sous la forme d'un canal allant de Constantinople à Samsum et Trébizonde⁹⁰. On peut déduire que c'est la façon de naviguer de ses informateurs qui guide sa main dans son dessin. Les capitaines suivent la côte avec une confiance totale. Ils ne s'inquiètent même pas des changements de direction, la côte, de toutes manières, « connaît le chemin et sait » où elle mène le navire.

Nous noterons, en incidente, un détail qui n'a pas de valeur en soi, en ce qui concerne la navigation, mais qui reste une contrainte importante pour son libre exercice. On sait depuis l'antiquité qu'il y a une route alternative qui relie la Sicile à Alexandrie, c'est la vieille route romaine de l'annone d'Egypte qui passe par le Nord, Elle va d'Egypte au Sud de la Sicile en rasant la Crête, profitant des vents du Nord traversiers et donc toujours actifs, sans se préoccuper des alternances de brise, elle permet donc de passer à distance confortable et sûre sous le vent de la côte crétoise. Mais les informateurs d'Edrisi pour aller d'Egypte vers le Maghreb, suivent la côte Sud, c'est-à-dire, en longeant la côte africaine, au vent de la terre, avec le risque qu'un coup de vent de Nord efface les brises thermiques et ne poussent irrémédiablement le navire à la côte (situation si bien décrite par Synésios). Car, nous verrons aussi « qu'à trop serrer la côte on finit par s'y frotter ». Cette route à raser les cailloux demande une précision extrême et une attention de tous les instants. Alors pourquoi la choisir ? Dans la navigation ancienne, aux dangers de la côte, il faut ajouter les dangers des hommes, la piraterie ou tout du moins la course, si l'on veut bien distinguer, est une source de dangers au moins égale ou supérieure à ceux découlant d'événements de mer. Il importe donc de ne se rapprocher que des côtes amies et même préférerait-on naviguer avec la côte sous le vent, ce qui, nous le verrons est particulièrement défavorable et déconseillé, plutôt que de

⁸⁸ Edrisi, *Description... op. cit.*, chap. 18, le domaine des arabes, p. 88

⁸⁹ *Ibid.* chap. 19, la mer méditerranée p 188 du tome 1 et carte entre les .188,189.

⁹⁰ *Ibid.* chap. 42, la mer de perse, p 41 du tome 1. cartes entre les p 20,21 et 42, 43.

longer une côte situé au vent mais occupée par des populations adverses. D'où un partage de la Méditerranée en deux dans le sens de la longueur ; au nord le couloir chrétien, au sud le couloir musulman. Mais ce couloir musulman était par la disposition des vents le plus mauvais. En effet si on suit les lettres de la Genizah⁹¹, les événements de mer semblent fréquents sur cette côte sud, et les mentions de marchands échoués à Tripoli, attendant un bateau pour continuer leur voyage, à la suite d'un événement de mer sont étonnamment répétées.

1-1.3 Le problème des distances

Reprenons la lecture d'Edrisi lorsqu'il nous fait la description de la route de Bône a Tunis⁹² ; « *De ce cap (cap de Garde) commence le golfe de al-Azcac (golfe de Bône) qui n'est pas grand et à l'autre extrémité duquel se trouve Marsa l-Khry (la Calle) 40 milles, de Marsa l-Kharaz à Tabarka 24 milles ; et de là à l'extrémité du golfe Tarfa el-Djoun) 15 milles en ligne directe et 24 milles en suivant les contours. Suit un banc de sable dont l'étendue est de 16 milles et qu'on appelle el-Muchar, de l'extrémité de ce banc à Calat Abi Khalifa 10 milles. De ce point en traversant le golfe en ligne directe 20 milles et en ligne oblique 28 milles. Puis du cap au cap de l'extrémité du golfe (le cap Blanc) 12 milles. De là à Bizerte dont il a été question (dans la partie itinéraire qui précédait) 8 milles. De Bizerte au port de Bin Waddjaç, 12 milles. Du cap de Bani Waddjaç à Raso l-Djabal (le promontoire), 13 milles, en contournant une baie sur laquelle on distingue divers châteaux. On se rend du cap de Bani Waddjaç au fort de Marsa l-Wadi, où une petite rivière vient se jeter dans la mer, 3 milles. De là au fort Tarcha Daoud, encore 3 milles.⁹³ De là à Caçr Counin, 5 milles et puis au promontoire (Raso l-Djabal), 2 milles. Ce promontoire porte le nom de Canisa et c'est là que commence le golfe au fond duquel se trouvent le lac et la vile de Tunis⁹⁴. »*

⁹¹ S.D Goitein. *Letters of Medieval Jewish Traders; translated from the arabic with introduction and notes*. Princeton 1973

⁹² Edrisi, *Description de l'Afrique et de l'Espagne*. Traduit par R.Dozy et M.J. De Goeje, première édition, 1866. Réimpression anastatique. Leiden. 1968 p. 145.

⁹³ Edrisi, *Op. cit.* p.146

Maintenant il reste un important détail à régler. Pourquoi, dans la baie de Tunis, Edrisi nous donne des chiffres en milles, fort précis, et plus loin il nous donne des jours de navigation qu'il transforme en milles par une transformation franchement approximative, d'après ce que nous avons déjà vu. C'est ici qu'il faut traiter le problème de la mesure des distances côtières.

Le texte est particulièrement instructif, à plus d'un titre. **Premièrement** : il faut noter la précision de la description et l'abondance des détails qui doivent sauter à l'œil du navigateur : la petite rivière qui se jette dans la mer et qui coupe la plage, le château remarquable, les villes bien visibles sans compter les caps et autres promontoires qui se détachent parfaitement vus du large, **en deuxième lieu**, ce qui est également frappant c'est l'extrême densité des données, les points de la côte qui sont décrits sont espacés de 6 milles en moyenne. **Troisièmement** : toutes les distances sont données en double « *en ligne directe* » ou « *en oblique* » ou en « *suivant les contours du golfe* ». Ce qui signifie qu'Edrisi, à son habitude, arpente la côte deux fois ; une première fois, il va de cap en cap et suit la côte, de loin, en coupant à travers golfes ; un second passage s'opère en suivant toutes les indentations de la côte, après avoir franchi chaque cap, au lieu de couper vers le suivant, on suit la plage. On vient d'en expliquer la raison, aussi laissons cela et concentrons nous sur les distances côtières. On remarque l'extrême précision avec laquelle Edrisi donne ses distances, au mille près : 12 ou 14 ou bien 16 milles et non 15 ; 2 ou 4 et non 5 etc.

A- Arpenter la mer en galère

Cette précision des distances advient surtout dans des endroits très fréquentés tels que les côtes d'Algérie ou le golfe de Tunis. Exemple en Algérie. « *Il nous reste à parler du littoral de la mer des golfes, des caps et à indiquer les distances en milles, soit en ligne directe, soit en ligne oblique. La côte de la présente section commence à Oran. De là au cap de Maschana, en ligne droite on compte 25 milles et 32 en oblique. Du cap de Maschana au port d'Arzew, 18 milles. Arzew est un bourg considérable où l'on apporte du blé que les*

⁹⁴ Tunis est un port se trouve au fond d'un lac qui communique avec la mer par un canal à l'extrémité de ce canal est donc l'avant port de Tunis, La Goulette. La Goulette est située au centre et au fond d'une grande baie très fermée, la baie de Tunis.

marchands viennent chercher pour l'exportation. De là à Mostaghanim, petite ville située dans le fond d'un golfe. La largeur du golfe entre Arzew et Mostaghanim est de 34 milles en ligne oblique et de 24 en ligne directe. »⁹⁵ Généralement dans les endroits moins fréquentés, c'est à 5 ou 10 mille près qu'il donne ses résultats ; exemple pour les cotes marocaines ; « *Voici la description des routes de la côte marocaine de Sala aux îles des oiseaux ; « on compte 12 milles et par mer, et de Sala a Marsa Fadhala, en direction vers le sud, également 12 milles. Les vaisseaux d'Espagne et du littoral de la mer méridionale abordent au port de Fadhala. De Fadhala à Marsa Anfa, 40 milles, d'Anfa à Marsa Mazighan 65 milles en ligne directe. Entre Mazighan et al Baida est un golfe 30 milles, un second golfe se trouve entre al Baida et Marsa al Ghait, 50 milles. D'as-Safi au cap formé par la montagne de fer Djabalo l'Hadid, 60 milles. De ce cap à al- Ghait dans le golfe 50 milles. Du cap Mazighan à Asafi, en ligne directe, 85 milles ; en ligne oblique 150 milles. Asafi était anciennement la dernière station des navires; de nos jours on la dépasse de plus de 4 journées c'est-à-dire : 400 milles.* »⁹⁶. Tous les intervalles sont mesurés, il s'agit donc d'un arpentage en détail sur plusieurs milliers de kilomètres. Comment cela est-il possible ? La première idée qui vient à l'esprit est que la route côtière est une alternative à la traversée. Si Ibn Jubayr est parti de Ceuta vers l'Égypte en bateau, Ibn Battuta, lui, a préféré faire le même trajet en caravane par la route côtière. Les lettres de la Genizah font souvent allusion sur la possibilité de voyager soit par l'une ou par l'autre route, c'est selon la saison et surtout si on est accompagné de marchandises ou d'espèces. Ce serait la solution si Edrisi ne donnait aussi les distances sur les routes du large par exemple les distances parcourues en suivant le golfe de Tunis qui est un golfe très profond, n'ont rien à voir avec les routes en droiture de Bizerte au cap Bon.⁹⁷ Autrement dit même au large Edrisi peut parfois énoncer des distances précises en milles, alors qu'il n'y a aucun repère visible. On a compris, dans un paragraphe précédent que, parfois, il calcule ces distances en partant de la journée de mer, mais dans l'exemple précis de la baie de Tunis, ce n'est pas le cas. Alors, quelle est sa méthode pour arpenter ainsi la mer ?

⁹⁵ Edrisi. Op.cit. p. 116

⁹⁶ Edrisi *op.cit.* p. 84

⁹⁷ Le cas de figure est révélateur. En effet on pourrait aussi penser que la distance au large est déduite de la distance côtière qui serait elle mesurée en comptant ses pas sur la plage. En effet al-Biruni emploie une méthode analogue pour estimer les distances terrestres, il applique une déduction forfaitaire de 20% à la distance mesurée sur le terrain entre deux cités pour déduire la distance à vol d'oiseau c'est-à-dire sur l'arc de grand cercle qui va seule l'intéresser pour ses calculs trigonométriques. Cette déduction prend en compte les sinuosités de la route terrestre à travers les obstacles naturels.

En fait il faut se rappeler le périple de Néarque, qui, selon le récit que nous en donne Arrien, n'était pas sûr de reconnaître tous les mouillages où il s'était arrêté mais qui n'était sûr que d'une chose : la distance parcourue entre eux. Néarque naviguait à l'aviron, on est en droit de supposer qu'il mesurait ses distances par le nombre de coups de pelles qu'il fallait donner pour aller d'un point à un autre. Il devait être facile d'étalonner la cadence d'une galère avec des distances connues mesurées en vue de terre. « *Sur cette partie du voyage Néarque déclare qu'il ne peut donner des détails aussi exacts (tels ceux que donne Arrien sur la géographie à l'intérieur des terres) sauf sur ses mouillages et les distances parcourues.*⁹⁸ » Quant à Arrien, il a, en outre, écrit un périple de sa main, qui concerne les côtes de la Mer Noire. Une partie de cet ouvrage est une compilation, mais la description de la côte sud de cette mer est entièrement de son cru, à la suite de voyages d'inspection qu'il effectua dans l'exercice de ses fonctions de gouverneur militaire de cette région. Lui, aussi, ne manque pas de donner toutes les distances entre ports chiffrées. « *Les fleuves devant lesquels nous passons au cours de notre cabotage, après Trapézonte sont, l'Hypsos dont le port de Hypsos tire son nom, distant de Trapézonde de 180 stades, l'Ophis distant du port d'Hypsos de 90 stades environ et séparant le pays des Colques de la Thiannique . Ensuite, le fleuve appelé Psychos distant d'à peu près 30 stades de l'Ophis. Ensuite le Calos, lui aussi distant de 30 stades du Psychos. Près du Psychos il y a le Rhizios à 120 stades de distance du Calos et de là 30 stades l'Ascouros, un autre fleuve et un fleuve Adienos à 60 stades de l'Ascouros, d'ici à Athènes 180 stades. Puis tout près d'Athènes il y a un fleuve Zagatis qui en est distant de 7 stades environ ...* » (il ne s'agit pas ici d'Athènes en Attique mais d'une localité homonyme au fond de la Mer Noire bien plus à l'Est de Trapézonde)⁹⁹

Au temps d'Edrisi, si la marine marchande allait à la voile, la marine de guerre n'utilisait que des galères. Le chef de la chiourme qui était responsable de son « moteur » et des ses performances, connaissait intimement ce que l'on pouvait demander à la chiourme et devait connaître évidemment les distances ainsi mesurées pour planifier ses traversées en

⁹⁸ Arrien. *L'Inde, présenté par Pierre Chantraine*. p. 78 Edit. Les belles lettres. Paris 1927.

⁹⁹ Arrien. *Le périple du pont Euxin. Texte établi par Alain Silberman*. p. 78. On remarquera que les distances sont généralement arrondies ici à la dizaine de stades près, mais ailleurs dans le même texte données à 5 stades près et particulièrement ici, près d'Athènes au stade près, soit, à 200 mètres près, environ. Edit. Les belles lettres. Paris 1995

aménageant au mieux les efforts demandés. (A l'époque moderne on n'agit pas autrement, un loch est obligatoire dans la dotation réglementaire du bord. On ne s'en sert jamais. Il est tellement plus simple d'utiliser les tours machines multipliés par un coefficient d'expérience pour avoir la vitesse et donc les distances parcourues). Le calcul du coefficient entre cadence de nage et milles parcourus peut se faire à tout moment lorsque la galère parcourt un trajet maritime qui a été mesuré par comparaison avec son trajet parallèle par la plage.

Cependant cet arpentage marin semble être très parcellaire, car si nous voyons que le golfe de Tunis est mesuré selon toutes ses dimensions avec beaucoup de précision, nous avons vu plus haut Edrisi donner toutes les distances de la Libye à l'Egypte en jours de mers qu'il transforme ensuite en milles par application directe de son coefficient. « *Tel est l'itinéraire qu'on suit en prenant la **voie supérieure par le désert**. Quant à l'itinéraire du littoral le voici: d'Alexandrie au cap Raso l-Canais on compte 3 journées de navigation (Comme au paragraphe précédent nous sautons les détails du rivage pour arriver à la fin de la section)... D'al-Bondariya où la mer forme une courbure exactement dirigée vers le couchant au cap dit Tarfo t-Tadiya, 2 journées, sans habitations, la côte se compose de montagnes et de ravins ou personne ne passe, à cause de l'aspérité et de l'escarpement des sentiers. C'est à partir du cap d'at-Tadiya que commence le golfe de Zadic. La longueur de ce golfe qui en passant par al-Bondariya s'étend jusqu'à Alexandrie est en ligne directe de 6 journées de navigation ou de 600 milles mais en suivant les contours du golfe de 11 journées et demi ou de 1150 milles.*¹⁰⁰ » Nous comprenons que la voie terrestre est par l'intérieur des terres, le bord de mer, de l'aveu même d'Edrisi, est inaccessible depuis l'intérieur des terres. Il y a, en effet, en Cyrénaïque une chaîne côtière plutôt massive avec des vallées perpendiculaires à la côte qui empêchent toute route côtière qui, de plus, est sans objet, car le site est inhabité. La route des caravanes passe donc derrière la montagne à l'intérieur des terres sur un terrain plus égal. On ne peut plus, donc, comparer les distances du parcours maritime avec un chemin terrestre qui suit la même côte, un sentier des douaniers ou l'équivalent. De plus il semble que le site ne soit pas fréquenté par la marine de guerre d'où l'absence totale de mesures en distance et l'obligation de mesurer en temps.

¹⁰⁰ Edrisi, *Op. cit.*:p.165

B- Edrisi mesurait-t-il en milles romains et non pas arabes ?

Il nous faut maintenant déterminer la longueur du mille. Tout le monde, y compris Dozy est parti de l'hypothèse normale qu'Edrisi, auteur arabe, écrivant selon des sources constituées par des informateurs arabes, utilise le mille arabe. Ce mille est formé par mille double pas d'un voyageur à cheval, à l'allure du pas de sa monture. Du fait de la longueur des jambes du cheval, plus longues que celles de l'homme, on obtient pour le mille arabe environ 1900 mètres c'est-à-dire une valeur assez voisine de celle du mille marin actuel,¹⁰¹ simplifiant assez les calculs maritimes. C'est la base ce que les persans appellent la *parasange*, l'équivalent de la lieue, c'est-à-dire une heure de route et 3 milles. Cette mesure nous est parvenue à travers l'arabe, qui ne connaît pas la lettre P, sous le nom de *farsang*.

Mais à y regarder de près avec la réalité, ce n'est pas la valeur adoptée par Edrisi, car, pour notre part, nous avons confronté les chiffres donnés par Edrisi dans la portion de côte qui va d'Oran à Bougie, grossièrement rectiligne selon des distances rejoignant des points encore identifiables dans la toponymie, Oran, Cherchell, Ténès, Matifou, Mers el-Kebir, la Calle, Dellys, Bône etc. Par exemple nous avons des détails donnés très précisément par Edrisi d'Alger à Dellys 18 milles + 20+24 puis Dellys Bougie 90 milles par mer et 70 par terre, ce qui est logique car, par mer, il faut faire le tour du cap, bref : on trouve 132 milles pour 200 kilomètres soit un mille à 1.515 mètres. Il s'agirait donc du mille italien, qui correspond à 1000 double pas d'homme, soit grossièrement la valeur ci-dessus, dépendant évidemment des différences locales. Ce mille italien serait une simple variante de l'ancien mille romain défini de la même façon et estimé à 1480 mètres environ. Nous avons également reconnu dans le texte le trajet entre Salé et Safi ¹⁰²en passant par Fedhala (Mohammedia) Anfa (la presqu'île d'Anfa à Casablanca qui protégeait l'ancien port) Mazighan (al-Jadida), trajet qu'il donne pour 214 milles, il y a une route côtière qui joint tous ces points en 313 kilomètres, soit un mille à 1.547 mètres. Or de son côté Dozy remarque une anomalie entre les valeurs données par Edrisi et celles mesurées par lui sur un terrain connu il note sur le terrain : « *En allant de*

¹⁰¹ La coïncidence n'est qu'une coïncidence, le mille marin se définit comme la longueur de la minute de latitude à la latitude de 45 degrés ou à celle de Greenwich pour le mille marin anglais de 1855 mètres, à moins que ce ne soit l'inverse, nous ne nous en souvenons plus, cependant le mille à 1852 est devenu standard.

¹⁰² Edrisi, *Op. cit.* p.83

*station à station selon l'indication qui précède, on emploie 59 milles pour aller du promontoire au cap Afran, et 42 pour arriver du même lieu à la Goulette*¹⁰³ ». Reprenons, pour notre part, les chiffres de Dozy à propos de la baie de Tunis décrite plus haut. Soit : 59 et 42 avec un mille à 1,9 km on trouve en kilomètres 112,1 et 79,8. Si d'un autre côté, on prend les chiffres donnés par Edrisi pour les mêmes distances et qui étonnent Dozy, 74 et 56 avec un mille à 1,5 km, on trouve en kilomètres 111 et 84 respectivement. Les chiffres donnés par Edrisi concordent alors avec les vérifications sur le terrain exécutées par de Dozy, à condition de prendre un mille à 1500 mètres et non 1900. Un argument supplémentaire en faveur de cette thèse nous est fourni par les équivalences données par Edrisi : 100 milles pour la journée de navigation ; 25 milles pour celle de caravane. Cette dernière à 1500 mètres nous donne 37,5 kilomètres, ce qui correspond bien aux faits qui admettent couramment 35 kilomètres par jour pour une caravane de dromadaires. Alors que si on prenait 1900 mètres on aurait 47,5 kilomètres quotidiens, ce qui paraît un peu fort en regard de la pratique courante, toujours vérifiable de nos jours, mentionnons-le. Donc ce qui est curieux est qu'Edrisi semble utiliser un mille italien et non pas arabe. Nous indiquons tout ceci au conditionnel, ce n'est pas après un rapide calcul que l'on peut affirmer que ces résultats sont définitifs, d'autant plus qu'ils dépendent aussi de l'identification des points géographiques par Dozy, mais là, on peut cependant se considérer en terrain plus sûr. Il faudrait, là, une étude statistique plus complète quant aux données et plus élaborée quant à la méthode.

Cependant, ceci ne laisse de poser quelques questions. Il nous semble plutôt hasardeux d'affirmer qu'Edrisi effectue patiemment toutes les conversions lui-même, il est plus naturel de penser qu'il reporte directement les résultats qu'il reçoit de ses informateurs, navigateurs arabes, pour la plupart, qui utiliseraient donc des mesures disons, latines plutôt qu'arabes. Ce n'est pas illogique. Rappelons que l'Afrique du Nord a été conquise en très peu de temps par des hommes qui n'avaient aucune culture maritime. On se souvient sans doute de l'anecdote fameuse selon laquelle Omar aurait écrit à son général en chef, juste après la conquête de l'Égypte et lui demandant ce qu'était la mer. Celui-ci lui répondit en peu de mots que c'était bleu, immense et très dangereux. À la suite de quoi Omar interdit à tout musulman de s'y aventurer. Ce ne fut là qu'une mesure provisoire, bien évidemment. Ce que suggère cette anecdote, c'est que les arabes ont tout appris du maritime à travers les autochtones. Or, ils ont

¹⁰³ Edrisi, *Op. cit.* p.146. note. 4

fait main basse sur des pays profondément maritimes, héritiers, pour trois d'entre eux, des trois plus grosses *corpora* de naviculaires de l'empire romain. A savoir, dans l'ordre d'importance : les naviculaires d'Afrique, basés en Tunisie, responsables des trois quarts des approvisionnements en blé de Rome, des naviculaires d'Orient, basés à Alexandrie, responsables de l'acheminement du quart de blé restant et surtout, responsables des importations du poivre indien, des autres épices et onguents ou parfums et surtout de la soie chinoise qui leur arrivait via les Indes. Enfin il faut y ajouter les naviculaires de Bétique, basés à Séville et Cadix, responsables des importations à Rome de l'huile d'olive et du fameux *garum* (de maquereau, le meilleur) fabriqué en Bétique, en quantités quasi industrielles et des conserves de thon. Quoi d'étonnant alors que ces marins aient continué d'utiliser leurs techniques et donc leurs mesures qui auraient été alors proches des mesures italiennes par une commune ascendance romaine. Surtout que ce phénomène n'est pas unique, les marins arabes de l'Océan Indien ont été obligés d'adopter, spécialement pour l'exercice de leur métier, le vieux calendrier solaire des perses qui, là aussi leur ont appris le métier, en lieu et place de leur propre calendrier lunaire qui était inutilisable.¹⁰⁴

Ce passage qui paraît un aparté nous servira au contraire lorsqu'il faudra parler de l'estime et de la mesure ou de l'estimation et de la mesure de vitesse des navires à voile au large, là où il n'y a plus de repères.

1-1.4 Conclusion, Les Limites de la navigation côtière.

On pourrait croire que la navigation côtière est possible dans tous les cas de figure du moment que le vent souffle du large ou de terre. En fait ce cas de figure n'est favorable que dans ce cas précis d'alternance de brise de terre et brise de mer. C'est donc un cas assez limité dans le temps, même s'il se produit régulièrement pendant l'été en Méditerranée. Les brises côtières sont faibles et ne manifestent que lorsque le temps est calme et les températures de l'air élevées. Si un vent constant et fort vient à se lever, le mistral par exemple, il efface cette

¹⁰⁴ La lune ne régit que les marées, tous les autres phénomènes sont régis par le soleil, tous les vents sont solaires, étant provoqués par des différences de températures, même les étoiles, bien que leur système leur soit propre, ne sont utilisables que lorsque le soleil le veut bien.

alternance et prévaut sur tous les autres mouvements d'air. En particulier, un vent soutenu soufflant du large est loin d'être une situation favorable. En effet naviguer constamment avec le vent de travers avec la côte sous le vent entraîne une dérive constante vers la terre, il s'en suit que le navire se rapproche de plus en plus de la côte. Immanquablement le navire va se retrouver au fond d'une baie et selon les accidents de la côte il arrivera fatalement que le navigateur verra se dresser devant lui et en travers de sa route un cap qui va constituer un obstacle insurmontable. En effet la mauvaise remontée au vent des navires anciens ne leur permet pas de remonter suffisamment au vent pour donner du tour à cet obstacle. C'est ainsi qu'il faut comprendre la mauvaise réputation qu'ont toujours eu certains caps sur les routes antiques. Synésios nous en donne confirmation par la voix de son capitaine : *« Alors, d'une voix retentissante, Amarantos s'écria : Voila ce que c'est de savoir naviguer avec art ! Oui, pour ma part je m'attendais à ce coup de vent venu du large et c'est la raison pour laquelle je naviguais en haute mer ; à présent je vais louvoyer, puisque à la distance où nous sommes on peut courir de plus longues bordées ; la navigation que nous adoptons nous ne pourrions pas l'adopter si nous longions le littoral, car nous nous trouverions drossés à la côte. »* On ne pourrait s'exprimer plus clairement, profitant d'une bonne brise de terre Adamantos est parti loin au large et maintenant qu'il a un coup de vent de Nord, c'est-à-dire traversier, qui risque de durer, il se retrouve donc avec un vent de travers constant et fort et la côte au Sud sous le vent. Il va essayer de temporiser en espérant une renverse. Il profite du fait qu'il est loin de terre pour courir le plus longtemps possible, au vent de travers, avant que son bateau ne vienne trop près de la côte où il sera alors obligé de mouiller, à condition encore de trouver un mouillage favorable. Il lui faut durer au large en attendant la fin de ce coup de vent de Nord. Pourtant en naviguant avec la brise de mer, on a forcément la terre sous le vent mais l'alternance change tout. Naviguer alternativement avec le vent du large et celui de terre permet de corriger facilement cet inconvénient ; il suffit en effet d'écourter la séquence de marche sous la brise de mer pour rétablir l'équilibre entre les deux bordées et se tenir à une distance raisonnable de la côte et surtout à moduler cette distance en fonction des accidents géographiques. Nous avons déjà évoqué cette pratique, sans insister comme nous pouvons le faire maintenant sur ses raisons profondes, lorsque nous avons noté chez Edrisi, que la journée de navigation côtière était plus courte que celle au large.

L'examen de l'œuvre d'Edrisi aussi bien que le récit de Synésios, un texte dont Edrisi est la clé, nous démontrent comment dès le V^e siècle et, *a fortiori*, au XI^e siècle les marins

utilisaient les brises thermiques pour aller le long de la côte. Un des avantages et non des moindres de ce cas de figure est que cette méthode permet, dans des circonstances bien déterminées de faire route malgré un vent dominant contraire. Cette situation sera théorisée plus tard par Christophe Colomb. Nous avons vu auparavant dans le chapitre introductif de cette première partie que les marins savent grâce à quelques dispositifs naviguer avec un vent soufflant de l'avant du travers, mais remontent-ils au vent, à cette époque, c'est la question qui sera débattue au chapitre suivant.

Première partie

Chapitre Deuxième

1-2.0 Naviguer contre le vent

Nous venons de voir le cas très particulier et somme toute assez facile de la navigation côtière. Cependant il faudra bien quitter la terre des yeux et affronter le large où tout peut arriver, en particulier, un cas très adverse, le vent de face. Il faudra donc apprendre à manoeuvrer dans cette occurrence.

Car c'est de la manœuvre du navire dont nous allons parler dans ce chapitre. Ce chapitre est donc par la force des choses assez technique, mais pas intemporel. En effet, nous allons parler d'une technique particulière consistant à naviguer contre le vent apparent. Cette technique évidemment n'a rien d'inné, elle semble même être contre nature. Elle est donc le résultat d'un savoir faire et de l'utilisation de divers artifices, (y compris l'invention d'une voile nouvelle), elle a donc été inventée et par là même datée. Tout au moins, on peut, à travers les textes et l'iconographie essayer de déterminer à peu près quand elle a fait son apparition.

Le sujet est très technique, il va donc falloir utiliser une source provenant d'un pratiquant ou tout du moins d'un spectateur attentif. En ce qui concerne les écrits de praticiens nous n'avons pratiquement rien avant le journal de bord de Christophe Colomb. Il est un peu tardif, il est vrai, mais ce qui peut être considéré comme un inconvénient majeur en ce qui concerne la science nautique, vaut moins pour la manœuvre qui évolue bien plus lentement si tant est que les instruments utilisés sont les mêmes et ils le sont puisqu'il s'agit de manoeuvrer des bateaux à voile. Cependant, nous avons trouvé dans le récit d'Ibn Jubayr, antérieur au journal de bord de Colomb de près de 3 siècles, un récit très technique bien qu'il ne s'agisse que du journal de voyage d'un passager. Nous en ferons un examen détaillé dans un premier point. Dans le même ordre d'idées, il existe une navigation très ancienne qui se pratique par nature dans un milieu où il faut obligatoirement naviguer contre le vent, il s'agit de la navigation nilotique

que nous examinerons dans un deuxième point. Les manœuvres qui ont été mises au point dans ces circonstances très particulières peuvent néanmoins être utilisées en mer ouverte ce que nous verrons dans un troisième point. Cependant il ne faut pas surestimer la capacité des anciens de naviguer contre le vent avec les mêmes facilités dont font preuve les bateaux de compétition modernes, dont c'est d'ailleurs l'unique fonction, c'est ce que nous examinerons dans un quatrième point avant la conclusion. En conséquence, nous suivrons le plan suivant

1-2.1-Les sources

1-2.2-La navigation nilotique

1-2.3-Remonter au vent

1-2.4- Le navire antique avait une remontée au vent très limitée.

1-2.1 – Les sources.

Ibn Jubayr est né en al-Andalus, alors sous la domination almohade, à Valence en 1145.

C'était un fils de notable puisqu'on retrace l'origine de sa famille jusqu'en 740, quand son ancêtre, arrivé d'Arabie, s'établit en Espagne. Il reçoit une éducation soignée et devient secrétaire du gouverneur almohade de Grenade. Il est dit que, forcé par le gouverneur à boire du vin, il se reproche ce forfait et décide, derechef, de faire le pèlerinage pour se purifier. C'est le 3 février 1184 qu'il quitte Grenade pour la Mekke. Il entreprend, à cette occasion, la rédaction d'une *rihla* ou relation de voyage, un genre littéraire, reconnu et apprécié chez les musulmans. Il est connu et répertorié dans les ouvrages musulmans traitant de l'histoire de la littérature en tant qu'auteur, non seulement pour cet ouvrage mais pour d'autres œuvres diverses, en particulier de la poésie. Cette *rihla* est importante, à plus d'un titre, car il a traversé le pays des Francs quand Saladin essayait de les chasser hors de Palestine, ainsi que la Sicile sous le règne normand. C'est donc un témoin privilégié de cette espèce de coexistence, quasi pacifique, dans un état de belligérance générale qui prévalait sur le terrain entre chrétiens et musulmans dans des pays officiellement en guerre. Il nous fait comprendre que ces guerres n'étaient pas des guerres totales et comment par exemple, à l'instar des

marchands et pèlerins musulmans qui traversaient le royaume franc, les marchands occidentaux ont pu fréquenter sans désenparer le port d’Alexandrie.

En ce qui concerne la partie maritime on peut dire qu’Ibn Jubayr a beaucoup navigué, parti de Ceuta sur un navire génois en plein hiver, il débarque à Alexandrie, puis remonte le Nil pour traverser ensuite la Mer Rouge. Il rentrera par l’intérieur des terres et embarque à Acre, toujours sur un bateau génois, il fait naufrage dans le détroit de Messine. Réembarqué en Sicile, encore une fois sur un bateau génois, pour l’Espagne il arrive vers Almeria et rentre, chez lui, par la voie de terre à Grenade. Ibn Jubayr n’est pas un marin mais c’est un homme que l’on sent, à travers son style, intelligent avec un esprit vif et curieux. Assurément très ouvert ; il sait, manifestement, se ménager la sympathie des professionnels qu’il n’hésite, sans doute pas, à interroger. Toujours est-il qu’il livre des détails techniques qui dénotent qu’assurément ses questions sont pertinentes et il assimile parfaitement les explications fournies. Ces caractéristiques lui donnent une fraîcheur de style étonnante. On croit suivre le récit d’un jeune homme, tour à tour, enthousiasmé et curieux par les nouveautés techniques qu’il se fait expliquer, et ensuite révolté par les injustices qu’il surprend. On a peine à croire, devant tant de fraîcheur sympathique, en corroborant les dates que c’est là le récit d’un homme mûr, il a près de 40 ans lors de ce voyage. Son œuvre est intéressante à rapprocher de celle d’Edrisi, ils ne sont séparés que d’une génération, presque contemporains puisque le livre de Roger fut achevé en 1154 et que ce voyage s’acheva fin avril 1185.

Ce n’est pas la seule source que nous citerons nous nous nous référerons en particulier au journal de bord de Colomb, mais ce sera plutôt en complément du texte d’Ibn Jubayr et pour expliciter plus en détails ses observations.

1-2.2 La navigation nilotique.

Alexandrie a toujours été le premier port de la Méditerranée, au moins en ce qui concerne le volume de marchandises traitées. Dès l’antiquité, l’Egypte est un géant économique. Lors de

sa période lagide, puis romaine, Alexandrie est resté un grand port d'exportation en particulier pour le blé et surtout d'importation car l'Égypte est quasiment dépourvue de bois et de fer.

Au Moyen Age, avant la conquête arabe, elle nourrit Byzance puisqu'elle reste dans sa mouvance. Après la conquête arabe, elle devient un emporium gigantesque par lequel passe tout le trafic des épices qui est, sans doute, assez limité en volume mais qui dégage, assurément, des valeurs considérables servant à financer un énorme trafic d'importation. Avant le XI^e siècle, le trafic reste essentiellement arabe et concerne toute la Méditerranée occidentale qui, à part sa frange Nord, est un lac arabe, comme nous l'attestent les lettres de la Genizah. Puis des navires chrétiens prennent part à ce trafic à partir de la deuxième moitié du X^e siècle pour des raisons qui ont encore besoin d'être éclaircies¹⁰⁵. Les croisades constituent un formidable *impetus* pour les marines occidentales, qui bénéficient, dès lors, de tout le trafic de logistique nécessaire au fonctionnement de la terre sainte franque, Mais la terre sainte est surtout une région qui importe sans exporter et tous ces navires, une fois déchargés, repartent vers Alexandrie pour y charger et rentabiliser le voyage retour. On peut donc dire que le trafic nilotique concerne alors toutes les importations et exportations de l'Égypte passant par cette porte d'entrée, trafic déjà considérable en soi, auquel il faut ajouter tout le trafic fluvial interne de l'Égypte qui est véritablement énorme. C'est sans nul doute le trafic le plus important du monde occidental.

A- Naviguer avec le courant.

On a coutume de dire que les fleuves sont des chemins qui marchent. En fait se laisser aller à vau l'eau est la technique la plus simple pour se déplacer sans efforts. Malheureusement, ce déplacement est à sens unique dans la plupart des cas. Ce genre de navigation se pratique encore à l'heure actuelle et c'est pourquoi nous en connaissons bien la problématique. Cette navigation au fil de l'eau est pratiquée en particulier pour descendre les bois par flottage vers la scierie dans les vastes espaces sans routes du Canada ou de la Sibérie. Depuis toujours,

¹⁰⁵ L'époque est historiquement datable, Ibn Khaldoun la mentionne et Goitein note un écroulement brutal du trafic entre Tunis et Alexandrie à partir de cette date. Trois faits historiques sont concomitants à cette époque. Le nouveau choix des croisés pour des passages par la mer, l'irruption des Normands en Sicile et la brouille implacable totale entre les Aghlabides d'Égypte et leur pays d'origine, l'Ifriqiya. Le choix entre ces trois ou même encore d'autres causes possibles ne nous incombe pas. Nous notons seulement ces faits pour exclure totalement une raison de faiblesse technique du côté arabe ou le manque supposé de bois d'œuvre pour la construction. Ces raisons ne tiennent pas à l'épreuve d'un examen scrupuleux.

donc, on sait faire la différence entre radeau mort, c'est-à-dire abandonné au gré du courant et radeau vif, c'est-à-dire armé par un équipage. Les bois flottés morts s'échouent régulièrement et le système n'est viable que si une équipe suit le convoi par la berge pour remettre au fil du courant les bois échoués. C'est le système qui avait été adopté au grand siècle pour débarder vers Bayonne par le gave d'Oloron, puis l'Adour, les sapins coupés dans « la forêt de la mâtüre ». Les radeaux vifs sont armés d'un équipage divisé en deux équipes : avant et arrière, maniant un immense aviron à chaque extrémité qui sert de gouvernail actif pour remettre le radeau au centre du courant. Un gouvernail normal n'aurait aucun effet puisque le radeau se déplace en même temps que l'eau qui le porte, il n'y a aucun déplacement relatif en surface. En effet, l'expérience montre que le courant d'une rivière n'est pas uniforme, l'eau est soumise à la force centrifuge, dans les virages (les courbes du cours), le courant s'accélère dans la concavité de la courbe qui, de ce fait, est la partie du lit la plus profonde, car soumise à l'érosion maximale, tandis que le côté externe de la courbe est le siège d'un courant beaucoup plus faible, voire nul, ou même voit s'établir un contre-courant, sur des fonds qui sont beaucoup plus faibles et donnent lieu à des vasières ou des bancs de sable. Il s'en suit qu'une épave abandonnée au fil de l'eau, risque fort de ne pas rester longtemps au centre de la rivière. Au gré des courbes et des contre-courbes successives, cette épave va venir finir par s'échouer sur un haut fond, en eau tranquille, après quelques épisodes de rudes frictions contre les berges dans l'intérieur des courbes. D'où, les deux techniques : soit, remettre à l'eau les grumes échouées que l'on veut voir filer vers l'aval, soit, mettre un équipage sur le radeau, pour lui faire garder le centre de la rivière et arriver sans encombre au barrage de la scierie.

B- La solution antique.

Hérodote, nous décrit les grandes civilisations qui sont nées le long des fleuves en particulier l'Assyrie et l'Egypte. Il a insisté sur leurs techniques de navigation respectives. Curieusement elles sont totalement différentes.

En ce qui concerne l'Assyrie elle semble assez peu sophistiquée, les gens du Nord, descendaient surtout le Tigre à partir de Mossoul, place commerçante stratégiquement bien

placée au croisement des routes caravanières venant de l'Asie centrale et du fleuve. Ils utilisaient à cet effet d'immenses paniers de vannerie, rendus étanches par des peaux cousues sur cette structure. Ils emmenaient avec eux un âne qu'ils installaient à bord. Une fois arrivés à l'embouchure, après déchargement, ils vendaient la carcasse de leur navire, récupéraient les peaux, l'élément le plus coûteux, et remontaient à pied les rives du fleuve, après avoir chargé leurs peaux sur l'âne. Il ne s'agit donc là d'une navigation à sens unique, seulement à la descente. On ne remonte pas vers l'aval, c'est très compréhensible ; le courant, en particulier dans le Tigre, est plutôt fort. En fait, la navigation dans les deux sens n'est vraiment possible que dans le Chatt el-Arab, réunion des deux grands fleuves de la Mésopotamie, le Tigre et l'Euphrate, sur quelques kilomètres seulement où se fait sentir l'influence de la marée donnant des courants alternatifs.

En revanche, en ce qui concerne la navigation nilotique, la technique était beaucoup plus complexe. Hérodote nous décrit cette flotte et la manière de naviguer : *« Les bateaux qui servent au transport des marchandises sont construits en acacia, arbre qui ressemble beaucoup au lotus de Cyrène et dont on tire de la gomme. Ils débitent l'arbre en planches de 2 coudées qu'ils assemblent comme on fait pour des briques et construisent le bateau comme suit : on assujettit d'abord ces planches au moyen de chevilles longues et rapprochées et quand la coque est assemblée, on met les baux en place, à la partie supérieure. On n'emploie aucune varangue pour ce travail et on se contente de calfater soigneusement les joints à l'intérieur avec du papyrus. Il n'y a qu'un seul gouvernail qui passe à travers la quille, le mât est en acacia, les voiles en papyrus. Ces bateaux ne pouvant jamais remonter le Nil à la voile, sauf par vent exceptionnel, on les hale de la rive. Pour descendre le fleuve les marins utilisent une claie faite d'un entrelacs de tamarins et de roseaux et une pierre percée d'environ 2 talents. Cette pierre est reliée à l'arrière du bateau par une corde et on les jette toutes les deux dans le courant. La claie qui est très légère est emportée rapidement et aide à tirer le baris { c'est le nom de ces bateaux en égyptien) tandis que la pierre qui est très lourde traîne sur le fond et maintient l'embarcation à peu près en ligne droite. Ces baris sont très nombreux en Egypte et ils peuvent transporter des charges de plusieurs milliers de talents. »*

Analysons ce texte. En ce qui concerne les détails de construction, ils sont relativement bien connus par des fresques très précises, des modèles réduits et même un navire royal en vraie grandeur. Par convention, il a été décidé de ne pas traiter de sujets d'architecture navale, il nous faut faire ici une exception qui sera traitée ci-dessous en note. Les détails donnés par Hérodote sont parfaitement exacts¹⁰⁶, l'exactitude de ces détails dans le domaine de la construction et leur précision qu'il est relativement aisé de vérifier, garantissent, la technicité et la fidélité de la suite du récit d'Hérodote. Ceci est un bon gage de la même qualité dans son exposé dans le domaine de la navigation nilotique où il demeure la seule source possible. Les fresques, par exemple, nous montrent des embarcations avec un énorme et unique aviron de queue et d'autres plus classiques avec un aviron de chaque bord. Il est vrai que selon l'époque les navires évoluent.

En ce qui concerne le maniement de ce navire, il faut expliquer que le vent dominant sur le Nil est toujours du Nord. Il ne peut être éventuellement utilisé que pour la remontée où le navire doit refouler le courant descendant. Il est plus que vraisemblable, ce que note

¹⁰⁶ La description d'Hérodote est criante de vérité, et on retrouve les détails de cette construction sur les modèles réduits que l'on a retrouvés dans les tombeaux. La construction est faite coque première, avec des planchettes de sycomore assemblées les unes aux autres par tenons et mortaises, ménagés dans l'épaisseur de la planche. Les membrures ne vont pas jusqu'à la quille, elles sont uniquement dans les hauts de la coque et sont cousues aux planches de la coque.

D'ailleurs, il n'y a pas de quille et donc pas de varangues, qui sont les profilés de bois partant, transversalement de la quille, sur le fond et qui se rattachent en continuation des membrures.

Ainsi étaient constitués les premiers bateaux, il n'y avait donc rien de suffisamment résistant, en l'absence de quille, pour fixer le mât et transmettre l'effort de la voile. Le mât, bipode, pour diviser cet effort, reposait donc de part et d'autre sur les bords de la coque.

En fait la réalité était plus complexe ce type de bateau a évolué avec le temps et plusieurs types sont apparus. Le type décrit par Hérodote avec un grand gouvernail unique est resté et concerne surtout des embarcations modestes. On connaît fort bien ces divers types de navire par l'iconographie très riche et précise dans le détail.

Il existait un type de navires plus importants, toujours sans quille, mais avec une énorme pièce de bois longitudinale, placée directement sous le pont et faisant toute la longueur du navire qui assurait la rigidité.

Pour éviter les déformations de cette coque ultra souple, puisque complètement déstructurée, la coque est raidie par un câble passant au dessus du pont et reliant par des ligatures l'avant et l'arrière. Ce câble passe sur deux supports en fourche plantés dans cette solide poutre (une hiloire,) et est tendu ou détendu par torsion des torons ; autrement dit, on commet davantage le câble pour le raidir et on le décommet pour lui donner du mou.

L'ensemble fonctionne comme une scie à cadre. Cette scie se caractérise par une traverse centrale munie a ses extrémités de deux montants qui encadrent la lame de la scie a la partie inférieure et une corde a la partie supérieure en commentant plus ou moins la corde on règle la tension de la lame. C'est exactement selon ce principe que l'on met plus ou moins sous tension la coque pour contrer les déformations causées par le chargement.

Hérodote, que ce vent est parfois trop faible pour que le navire puisse remonter à la voile seulement, mais, au moins, la voilure aide-t-elle les autres forces de propulsion, le halage décrit par Hérodote ou aussi l'action conjointe des haleurs ou des rameurs et de la voile dans que l'on peut voir dans les fresques, quand on est sûr que le navire remonte le fleuve. C'est le cas des fresques qui représentent le départ des expéditions d'Hapteschout¹⁰⁷.

Il faut ici définir ce que sont vitesse surface et vitesse fond. Un navire se déplace à la surface de l'eau, on le dit animé d'une vitesse surface. Ce mouvement n'est qu'un mouvement relatif, car par ailleurs, l'eau peut être, de son côté, animée d'un mouvement propre, le courant. Il en résulte que le déplacement absolu par rapport au fond sera différent de celui en surface, c'est le déplacement fond, ces deux grandeurs divisées par le temps sont à l'origine de la vitesse surface et de la vitesse fond. Ces vitesses sont liées par l'égalité vectorielle :

$$\text{Vecteur vitesse fond} = \text{Vecteur vitesse surface} + \text{Vecteur vitesse courant}.$$

Dans le cas particulier d'une rivière, où le navire se déplace selon l'axe du courant, cette égalité devient une égalité algébrique simple. La vitesse par rapport au fond de la rivière sera égale à la vitesse surface augmentée ou diminuée de la vitesse du courant selon que l'on fait route contre ou avec le courant.

Se laisser aller au fil du courant comme une épave amènera inmanquablement le navire soit à être déposé sur la rive basse comme cela arrive à la majorité des débris qu'il charrie, soit à se fracasser contre la berge lors du passage à l'intérieur des courbes où la vitesse du courant est la plus forte. Descendre au fil de l'eau implique, pour une navigation sûre, une action pour conserver le navire au centre du chenal. C'est la raison de la manœuvre égyptienne. La pierre que le navire traîne ralentit sa course, elle ne pèse que 50 kilos et est de forme ronde pour ne pas accrocher elle ne peut donc pas immobiliser le navire¹⁰⁸. La raison de ce dispositif est que

¹⁰⁷ On a cru pendant longtemps que les expéditions ordonnées par la reine Hapteschout vers le pays de Punt étaient des expéditions maritimes vers la corne de l'Afrique. On penserait plutôt aujourd'hui qu'il s'agirait d'expéditions fluviales au delà des cataractes vers le haut Soudan. La scène du départ de l'expédition figurerait donc une flotte remontant le Nil pour se diriger vers l'amont.

la vitesse surface n'est pas nulle, car, freiné par la pierre, le bateau va moins vite que le courant, il reste donc manœuvrant. Le frêle radeau qui le précède ne le traîne pas comme le pensait Hérodote, mais le convoi que forment ces trois éléments : pierre, bateau, radeau, s'organise au fil de l'eau, dans cet ordre, retenu par la pierre qui freine l'ensemble. Par contre, ce radeau doit obligatoirement posséder un équipage, comme ne le précise pas Hérodote, équipage qui, par la rame ou la pagaie, va diriger l'ensemble du convoi vers une rive ou l'autre, suivant le cas. Ce radeau joue le rôle d'un gouvernail actif ou d'un remorqueur tirant en travers. C'est ainsi que le navire peut être maintenu dans le milieu du chenal sans dommage. Au prix, il est vrai, d'une légère perte de vitesse.

Le système s'est amélioré avec le temps. Le navire égyptien de l'époque pharaonique n'a cessé d'évoluer entre la haute époque et le navire qu'a vu Hérodote et va continuer d'évoluer après lui. La dernière évolution du navire à voile nilotique est la felouque. Celle-ci est équipée d'une voile latine. Ici il faut revenir sur la remontée au vent du navire selon le type de voile qui l'équipe. Vers début de l'ère chrétienne le *baris* (puisque c'est ainsi qu'Hérodote l'appelle) a été remplacé par la felouque, qui existe toujours. La voile carrée et basse du *baris* a été remplacée par une voile latine qui peut monter très haut, si on apique complètement l'antenne, elle va travailler ainsi dans des couches d'air où le vent n'est pas perturbé et ralenti parce que masqué par les rives et la végétation. Cette nouvelle voile est beaucoup plus efficace et permet de remonter le courant au vent arrière. En effet, le régime des vents en Egypte est un régime Nord, autrement dit, lorsqu'on remonte le Nil, allant vers le Sud, on est toujours au vent arrière. Avec cette voile plus efficace, le navire peut remonter le courant sans aucune aide extérieure. A la descente, la voile n'a aucune action motrice. Sa forme particulière permet au marin de présenter l'antenne dans l'axe du vent et la voile sera alors

¹⁰⁸ Cette manœuvre se comprendra plus facilement si nous nous reportons à un exemple moderne : l'accostage d'un cargo le long d'un quai dans un port de rivière. L'accostage se fait toujours contre le courant. Avec la machine on annule la vitesse fond du navire, c'est-à-dire que l'on règle la vitesse pour que le navire paraisse immobile par rapport au quai en face de l'endroit choisi pour accoster. Cependant la vitesse surface n'est pas nulle ; par rapport à l'eau, le navire avance toujours, simplement le courant déplace le navire en sens inverse de telle façon qu'il semble rester immobile par rapport à la rive. Sa vitesse fond est nulle. Dans ces conditions l'eau défile le long du bord et le gouvernail qui fonctionne grâce aux filets d'eau qui le frappent, reste actif. En mettant un peu de barre vers le quai, le navire va se mettre légèrement en oblique par rapport au courant et surtout il va se déplacer parallèlement à lui-même vers la berge. C'est ainsi que l'on accoste un navire avec précision dans des espaces de quai parfois assez restreints, entre deux navires déjà à quai ; c'est en quelque sorte la façon maritime de faire un créneau.

orientée dans le sens du vent, le vent en principe n'a aucune action sur cette voile qui ne lui offre aucune résistance. Par contre si le navire s'incline par rapport à l'axe du vent, l'action sur la voile remettra le navire dans le sens du vent. Cette voile, ainsi disposée, dans l'axe du vent, agit simplement comme une girouette. Mais maintenir la felouque dans le sens de la rivière ne garantit pas de rester au milieu du chenal. Cependant, avec un peu de pratique et en bordant la voile d'un côté ou d'un autre, c'est-à-dire en faisant qu'elle travaille avec un effet sur la droite ou sur la gauche, on peut déplacer le navire latéralement. Bien entendu dans ce cas la voile freine légèrement le navire, mais pas assez toutefois pour empêcher le courant d'entraîner l'ensemble dans le sens de la descente.

On est dans le même cas de figure que celui décrit par Hérodote. Simplement, c'est la voile qui joue, ici le même rôle que la pierre que traînait le navire antique, ralentir le navire pour le garder manœuvrant. Avec ici, en prime, le fait que c'est aussi la voile qui va jouer le rôle du radeau et permettre le déplacement latéral. Le système est bien plus simple, on supprime la pierre et le radeau annexe, et aussi son équipe de rameurs. En gardant la felouque sous voile ce n'est pas la force propulsive que l'on recherche, comme c'était le cas dans le sens de la remontée, celle-ci est fournie par le courant descendant, mais on cherche à utiliser seulement la force de dérive pour maintenir la felouque au centre du chenal.

1-2.3 Mettre en panne.

Nous ne pouvons certifier par la présence d'un texte écrit le déroulement de cette séquence. Car ce qui précède est une manœuvre, c'est-à-dire une ensemble de gestes professionnels en vue d'obtenir un résultat et comme tel il n'y a en a aucun témoignage, puisque les professionnels de la mer sont à ce niveau complètement muets sur leur art et de plus le procédé complexe est incompréhensible aux yeux des spectateurs contemporains. Tout ce que nous pouvons dire c'est que nous avons des témoignages qui attestent de l'absence d'une telle procédure à un instant donné tandis que des témoignages ultérieurs en font foi. La manœuvre que nous venons de décrire est en effet un procédé technique et donc effectué dans un but ou plusieurs buts précis. La mise en panne consiste à stopper ou tout du moins à ralentir considérablement la vitesse d'un navire en pleine eau. Le geste n'est pas évident dans la

mesure où l'on pourrait penser qu'amener les voiles suffit à stopper un navire. Ce n'est pas si simple. Il y a un fait d'expérience que l'on peut expliquer par une démonstration de mécanique et de dynamique. Un navire, sans erre se met en travers de la mer ; un navire sous voile, même animé par une erre minimum s'oriente d'une façon qui lui est propre dans le lit du vent : nez au vent s'il est ardent de construction, cul dans le vent s'il est mou. La conséquence c'est qu'il faut garder un navire sous voile même avec une vitesse minimum si on ne veut pas qu'il se mette en travers, car cette position est la plus dangereuse. Il est alors soumis au roulis, toujours plus rapide et d'amplitude plus forte que le tangage qui survient lorsque le navire est face à la mer. Le roulis, si la mer est forte, peut devenir si violent que, sous l'effet d'un mouvement dynamique, le navire peut chavirer et rester alors dans sa deuxième position d'équilibre : quille en haut. De plus, étant un mouvement alternatif, le passage d'un bord sur l'autre va donner lieu à une accélération violente dans un sens puis dans l'autre, d'autant plus violente que cette accélération s'applique en un lieu plus éloigné du centre de rotation. C'est en particulier le cas dans les hauts ce qui fait que les espars de la mâture risquent fort de ne pas résister. D'une façon générale, il faut mettre en panne chaque fois que l'on se trouve dans une des situations suivantes :

- Mette à l'eau ou hisser une embarcation.

- Sonder.

- Mouiller une ancre.

- Mette le bateau dans le sens de la mer du vent lorsque celle-ci devient forte soit mettre en fuite ou à la cape.

- Pour un bateau de pêche, élonger devant soi un filet dérivant ou une palangre afin de déployer cet art dans le maximum de sa longueur et maximiser ses possibilités « pêchantes ».

- S'immobiliser au centre d'un chenal pour se laisser dériver sous l'action du courant en toute sécurité.

La liste n'est pas limitative mais nous reconnaissons dans la dernière rubrique le cas concerné par la navigation nilotique.

Or que se passe-t-il quand on veut garder la toile dessus et annuler sa force propulsive ; il faut la mettre dans le sens du vent, mais, si on a affaire à une voile carrée, dans cette position les bords libres présentés dans le sens du vent faseyent, ce qui n'est pas bon. L'astuce est alors **d'apiquer la vergue**, la mettre de l'horizontale à la verticale. Il y a deux effets immédiats : d'abord c'est la vergue qui sera présentée au vent, or elle est rigide de nature. La voile va donc se mettre en bannière c'est-à-dire, flotter dans le vent derrière la vergue verticale comme le ferait un drapeau derrière sa hampe. C'est un faseyement de grande ampleur. Pour l'annihiler il suffit de raidir à bloc l'écoute, en tirant depuis l'arrière du navire et dans son axe ; on obtient alors une voile plate et disposée dans le sens longitudinal. De ce fait, deuxième effet : la toile va être reculée et le centre vélique passe derrière le mât. Comme le centre de carène est à peu de chose près, situé à l'aplomb du mât par construction tout écart de la position d'équilibre va avoir pour conséquence une action sur la voile donnant naissance à un moment qui ramené automatiquement l'ensemble dans le lit du vent. Il suffira pour des raisons de facilité de manœuvre de tailler la voile triangulairement pour faciliter l'action de l'écoute.

Comme nous l'avons signalé en préambule, arrivés à ce point, nous ne pouvons étayer ces affirmations par des textes explicites. Cependant, il y des preuves évidentes que comme tout acte humain une manœuvre n'est pas intemporelle elle est datée même si la date exacte n'est pas facile à établir mais on peut dater par le fait que les accessoires n'existent pas.

1-2.4 Remonter au vent.

La manœuvre décrite ci dessus n'implique pas de faire route contre le vent, elle implique seulement de rester face au vent. La voile latine que nous venons de décrire agit ici comme le ferait une girouette, elle maintient simplement le navire, presque stoppé, cap au vent, donc, dans le contexte particulier de la navigation nilotique, dans le centre du lit du fleuve. Cependant, lorsque le marinier oriente sa voile d'un bord ou de l'autre pour se rapprocher d'une berge ou d'une autre, on peut considérer qu'il remonte au vent. La voile latine n'est qu'une façon d'utiliser et d'aménager une voile carrée pour mettre aisément en panne mais il se trouve qu'incidemment cette voile latine est réputée pour être particulièrement favorable à

la manœuvre de remontée dans le vent. Mais ce n'est pas vraisemblablement dans ce but qu'elle a été mise au point, car l'art de remonter au vent n'a pas attendu l'apparition de cette voile latine, les anciens savaient parfaitement remonter au vent avec une voile carrée et c'est dans ce cas de figure que nous allons maintenant donner une explication technique. Nous avons déjà expliqué dans l'introduction pourquoi et comment un navire peut remonter au vent.¹⁰⁹ L'étude scientifique de ce phénomène est récente, l'aérodynamique s'est surtout développée avec l'aviation, car l'avion utilise, pour se maintenir en l'air, son aile sur laquelle le vent de la vitesse agit selon les mêmes principes que le vent le fait sur la voile du navire. Cependant nos anciens avaient une connaissance sensible du phénomène. Nous avons donc montré qu'au delà du travers où la voile sera *grosso modo* orientée à 45° de l'axe du navire et non pas exactement selon son axe. Puisque la voile est inclinée à 45 degrés, alors que le navire va en travers du vent, il reste encore un potentiel de réglage, on peut encore continuer de serrer la voile, c'est-à-dire la disposer encore plus dans l'axe du navire, pour voir si on ne peut aller au delà du travers, autrement dit, remonter au vent. Nous avons donc montré que la voile n'est pas plane comme une planche, elle est bombée, car le vent la gonfle comme un parachute. Cette forme incurvée fait que, si on incline le plan général de la voile par rapport au vent, le bord de la toile qui est directement au plus près du vent, le bord d'attaque, pour reprendre une expression d'aéronautique, va avoir tendance à être exactement dans le sens du vent, alors que le reste de la toile est encore très partiellement en travers au vent. La partie de la toile qui est dans le sens du vent commence alors à battre, comme le ferait un drapeau qui flotte dans le vent ; on dit qu'elle faseye, dans ce cas de figure elle n'a plus d'effet propulsif et est soumise non plus à une poussée continue, mais à des poussées alternatives d'un sens et d'autre. Des efforts dynamiques se font sentir et on risque des avaries, déchirer la toile, casser les points d'attache. De plus la voile perd toute force propulsive. Il y a donc une limite au réglage.

Comme ce faseyement est dû à la forme cambrée de la voile qui fait qu'une zone seulement faseye : le bord d'attaque, tandis que le ventre de la voile continue à travailler, l'idée est alors venue de déformer la voile, d'ouvrir la voile, c'est-à-dire de repousser le bord d'attaque seulement au delà du lit du vent pour éviter ce faseyement et pouvoir ainsi pousser un peu plus le réglage. C'est le type de raisonnement classique qui consiste à traiter le symptôme qui est considéré comme la cause du phénomène. Mais le résultat est là, ouvrir la voile fait gagner

¹⁰⁹ Cf *supra* p 48-53

au vent. Il existe plusieurs façons d'opérer, l'opération précédente consiste, en fait, à aplatir la toile, le moyen d'action le plus simple consiste à pousser le bord d'attaque avec un bâton, c'est-à-dire de tangonner la voile. C'était la technique employée par les scandinaves puisque les navires exhumés des vasières montrent distinctement le sabot creusé d'une cavité qui fixé à l'intérieur de la coque permet de caler le pied de ce tangon. Les Romains utilisaient un cordage fixé sur le rebord au vent de la voile et que l'on tirait vers l'avant à partir de l'étrave ; c'est la technique de la **bouline**, nom de ce cordage. Le dessin de tels cordages apparaît clairement dans l'iconographie romaine, à partir du III^e siècle. Cette technique est aussi utilisée au Moyen Age, l'iconographie médiévale montre qu'on utilisait aussi la bouline sur les navires du Nord qui sont parfois munis d'un mat incliné sur l'avant, démunie de voile, qui n'a d'autre utilité que d'être un point de retour pour actionner cette bouline.

Donc, dès la plus haute antiquité, on sait remonter au vent. La première question qui se pose est de déterminer l'efficacité réelle d'une telle manœuvre et son utilité pratique, à savoir, dans quelle mesure cette manœuvre permet de gagner au vent, c'est-à-dire de naviguer contre la direction générale du vent. En effet, de nos jours, gagner au vent est une réalité, mais il s'agit essentiellement de préoccupations sportives et nos modernes 12 mètres JI, qui régatent entre 3 bouées, font effectivement un bord complet contre le vent. Il faut cependant remarquer que ce sont des bateaux de compétition qui ne servent qu'à cet usage et n'ont rien de commun avec un navire de commerce. Ils ne sont capables que de porter le lest de leur quille profonde qui les rend justement aptes à gagner au vent¹¹⁰. Il nous faut donc nous replacer au Moyen Age et il nous faut raisonner à partir des éléments qu'avaient à leur disposition nos anciens (faits et observations). D'une façon générale, lorsque l'on remonte au vent, dans cette position extrême de la voilure, la vitesse est faible. En effet, la voile étant serrée au maximum, la projection de sa surface dans un plan en travers du vent est minimale. Le triangle de décomposition des forces est très particulier ; la composante propulsive (dans le sens de l'axe du navire) est faible, en revanche, la composante placée en travers de cet axe est maximale, la dérive est donc considérable. 18 degrés en moyenne, c'est ce que nous indiquent les

¹¹⁰ Le seul exemple à notre connaissance de navires remontant au vent à des fins commerciales serait celui des navires allant chercher le nitrate du Chili à la fin du XIX^e siècle et qui passaient le Horn à contresens contre les fameux quarantièmes rugissants. Sinon tous les autres bateaux marchaient avec le vent et les fameux *clippers* du XIX^e siècle qui faisaient le thé des Indes et la laine d'Australie préféraient faire le tour du monde dans le sens du vent, plutôt que d'affronter des voyages contre le vent.

dictionnaires de voile du XVIII^e siècle¹¹¹. (A cette époque où la technique est déjà évoluée, on savait, mesurer avec précision cette dérive, en mesurant l'inclinaison du sillage du navire par rapport à l'axe du navire). De plus quand le navire remonte au vent le vent effectif est ce que l'on appelle le vent relatif, c'est-à-dire : la composante du vent vrai et celui du vent de la course. Le résultat est que l'on semble remonter beaucoup plus au vent qu'on ne le fait en réalité. Remonter au vent de deux quarts par rapport à la girouette est à la portée de n'importe quel navire utilisant ces méthodes. Cependant il faut considérer que le peu de terrain qu'il gagne dans le lit du vent, en serrant le vent de près, il le perd en dérivant d'autant sous le vent. En fait, lorsqu'on louvoie pour gagner contre le vent, le bateau va d'un bord et de l'autre, mais et s'il semble remonter dans le vent par rapport à la surface de l'eau, la dérive fait que finalement, il reste pratiquement au même point par rapport au fond. C'est ce que l'on appelle : tirer des bords carrés, le navire louvoie d'un bord et de l'autre, semblant remonter au vent, mais ne fait que repasser dans ses traces du bord précédent. Cette manœuvre qui semble gratuite sera cependant effectuée dans des circonstances particulières que nous expliciterons plus loin. Notre position, déduite du calcul de performances avérées (en particulier à partir des données par le journal de Christophe Colomb) est que le voilier médiéval était, au mieux capable de faire du travers vrai, ce qui déjà n'est pas si mal ; bien des voiliers de promenade modernes seraient heureux d'en faire autant¹¹².

¹¹¹ Bonnefoux et Paris. *Dictionnaire de la marine à voile*. Edit de la Fontaine au Roi Paris 1855. Réimp. Ergesa Paris 1987. Rubrique p .277-278

¹¹²Ces explications sont assez récentes car la théorie de l'aérodynamique est récente et en fait ne date que des débuts de l'aviation ; C'est encore une science expérimentale dont les connaissances ne nous viennent qu'après l'observation des phénomènes rendus visibles et mesurables dans leurs effets par des essais en soufflerie. En ce qui concerne les anciens les connaissances qu'ils en avaient étaient purement empiriques. Vitruve qui le premier s'est risqué à théoriser ces phénomènes n'est arrivé qu'à des considérations toutes hypothétiques dont les conclusions pratiques sont pour la plupart erronées, les écrits postérieurs, en particulier ceux du XVIII^e ou on s'est occupé sérieusement à formaliser le savoir dans ces matières ne sont guère meilleurs ; Ce qu'en savaient les pratiquants anciens est exactement ce qu'en savent les pratiquants modernes, au près une voile doit être plate pour bien remonter au vent, et au portant elle doit être creuse pour développer une traction maximum. L'introduction de la voile latine qui est longitudinale donc avec un bord d'attaque rigide constitué par l'antenne est donc favorable à un près plus serré qu'une voile carrée qui se gonflera comme un ballon¹¹² et sera donc d'un rendement maximum aux allures portantes. Après quelques siècles où les marins se sont contentés de l'un ou l'autre gréement selon les conditions d'utilisation que leur imposaient leur milieu spécifique. La synthèse a commencé à se faire à partir du XV^e siècle où les premiers gréements composites sont apparus avec les caravelles et désormais tous les navires seront pour leur très grande majorité munis de gréements composites jusqu'au trois mats barque du XIX^e siècle où les surfaces des voiles carrées étaient du même ordre de celles longitudinales entre focs, voiles d'étai et brigantine arrière.

En effet, Christophe Colomb, lors de son premier voyage, au retour, quitte la pointe Est de l'île de Saint Domingue, pour remonter au vent, le plus possible, et gagner la latitude des Açores où des vents d'Ouest l'attendent pour le ramener sur le continent. Il note le cap et le vent la direction du vent chaque jour. On voit clairement qu'il remonte, selon ses dires, de deux à trois quarts, au maximum, dans le vent. Si on déduit de cela une dérive donnée par les spécialistes de 18 degrés soit de un à deux quarts, le résultat est qu'il ne remonte que d'un quart, au grand maximum, dans le vent. Il faut tenir compte du fait que nous sommes alors à l'extrême fin du Moyen Age et qu'il navigue sur une caravelle qui est un bateau du XV^e siècle conçu pour aller très bien à la voile, long et fin avec une voilure divisée¹¹³. Notre hypothèse est que les navires médiévaux, plus trapus selon l'iconographie, ne peuvent arriver, pour les plus fins voiliers, qu'à remonter au vent apparent de deux quarts sur l'avant du travers, mais qu'en raison de leur dérive, ils ne réalisent, au mieux, qu'un travers vrai. D'ailleurs Edrisi nous le confirme. Il décrit le lac de Tennis (dans le delta du Nil, près de Damiette) : « *Ce lac a peu de profondeur¹¹⁴. On le traverse (presque partout) sur des bacs. On y rencontre (quelquefois) deux bâtiments s'éloignant l'un de l'autre, voguant en sens contraire à pleines voiles par le même vent et se croisant avec une égale vitesse.* ». Commentons : Les deux bacs partent chacun d'un bord opposé de la rive. Ils sont tous deux vent de travers, mais l'un, bien entendu, reçoit le vent de son côté droit tandis que l'autre le reçoit sur son côté gauche, l'un est tribord amure et l'autre bâbord amure, ils courent à la même vitesse. Ils se croisent au milieu du lac, ce qui signifie que la route fond du navire allant de A à B est exactement la même que celle que parcourt l'autre bateau allant de B en A. Conclusion : ces deux navires font un travers vrai, démontré par leurs trajectoires parfaitement opposées. C'est-à-dire que ce qu'ils gagnent en remontant au vent apparent, compense exactement ce qu'ils perdent en dérivant sous le vent. Notre position que nous avons justifiée par le calcul se confirme dans les faits. La source d'Edrisi a estimé cette performance suffisamment excellente pour mériter d'être reportée.

¹¹³ La caravelle est dessinée pour être un fin voilier. Etroite de coque, elle possède des mats multiples. Ces mats multiples permettent de multiplier les voiles dans le sens longitudinal et d'obtenir un plan de voilure plus long et plus bas, le centre de gravité du point vélique est abaissé, on peut donc forcer sur la toile. On obtient un navire long et su malgré tout survolé, un dessin idéal pour la vitesse

¹¹⁴ Edrisi, *Op. cit.* p. 187

A- Louvoyer, sa signification.

Mais alors pourquoi le navigateur ancien louvoie-t-il ? Puisque les textes mentionnent cette manœuvre. Louvoyer consiste à remonter contre le vent dans un sens puis changer de bord et remonter dans l'autre sens ; on serre le vent, avec le vent venant de tribord, puis on vire de bord et on remonte, en recevant cette fois le vent de bâbord. Le but, dans la navigation moderne, est de gagner au vent. On navigue en zigzags, mais la route résultante gagne effectivement dans le lit du vent. Aujourd'hui, c'est possible avec un voilier de sport, comme mentionné plus haut, hier, c'était difficile pour un navire de guerre plus fin voilier qu'un cargo, au Moyen Age, impossible, peut-on estimer, pour un bateau de commerce. C'est notre position que nous venons d'explicitier dans le paragraphe précédent. Alors, à quoi bon louvoyer ? Puisqu'on ne gagne rien au vent. Ibn Jubayr nous confirme que le capitaine de son navire louvoie et, du même coup, nous explique pourquoi. Son bateau vient de partir de Palestine et fait cap à l'Est, sur le chemin du retour : « *Nous poursuivîmes notre route pendant cinq jours avec un vent favorable, (d'Est) plus ou moins fort. Mais le vent d'Ouest se mit à souffler, vent debout. Le patron et capitaine génois, qui était versé dans l'art de la navigation et expert en pilotage, louvoya tantôt à droite, tantôt à gauche, dans l'espoir de ne pas revenir en arrière*¹¹⁵. » C'est ce que confirme Christophe Colomb, 4 siècles plus tard, et avec une situation inchangée, il nous en donne une définition précise : « *Esta noche toda estuvo a la corda, como dicen los marineros, que es andar barlovento y no andar nada*¹¹⁶. » Toute cette nuit-là, il alla à la corde, comme disent les marins, qui est une façon d'aller contre le vent sans avancer du tout. La définition est si concise, surtout en espagnol, qu'elle n'est pas très claire pour un sujet non averti, mais l'image, elle, l'est. Elle se réfère, semble-t-il, à un chien de garde dont la laisse coulisse le long d'une corde tendue dans l'espace qu'il doit interdire aux intrus, il peut ainsi patrouiller librement sans s'éloigner de la zone à défendre, il va et vient de droite et de gauche toute la nuit, mais finalement il piétine sur place. Louvoyer est une très vieille technique, mais gagner au vent est un résultat moderne. Expliquons-nous. Dans la navigation ancienne, le louvoiement est courant, mais il n'est pas utilisé pour remonter au vent.

¹¹⁵ *Voyageurs arabes*, textes présentés et annotés par Paule Charles Dominique . Paris 1995 p 334

¹¹⁶ Cristobal Colon, *El viaje del descubrimiento , notas y comentarios al Diario de Colon* Instituto de ingenieros technicos Quinto Centenario , 1992 p 116

La vraie signification de cette manœuvre est d'être une situation d'attente. C'est bien ce que nous lisons dans Ibn Jubayr et sans arrêt Christophe Colomb la pratique en direct. **C'est donc une façon de naviguer qui permet de temporiser c'est-à-dire de rester sur place tout en faisant route, on est donc en présence d'une cape active.** Mais pourquoi rester en route sous voile ? La réponse est d'ordre technique. Un navire arrêté sans voiles en pleine mer va automatiquement se mettre en position d'équilibre en travers de la lame. Le vent n'ayant plus aucune action, seuls les chocs des lames contre la coque vont agir sur sa position et donc le mettre en travers. Pour le navire c'est une position dangereuse. En effet, le roulis va se renforcer et il sera d'autant plus fort qu'il n'y a plus la présence des voiles qui pour le freiner. Les mats passent brutalement d'un bord puis de l'autre. Les décélérations et les accélérations sont brutales, surtout dans les hauts où les mouvements sont amplifiés. Il en résulte des forces importantes et contradictoires créant des efforts dynamiques considérables : on casse du bois du bois dans la mâture, d'où l'importance de rester sous voiles.

B- Les anciens à la manœuvre

Encore faut-il pouvoir retrouver à travers nos auteurs la description de la manœuvre par le menu telle qu'elle est pratiquée alors pour pouvoir être certain de la réalité de cette affirmation. Dans cette manœuvre il faut virer de bord, les témoignages nous en indiquent les modalités. Elles sont au nombre de deux : on peut virer vent devant ou lof pour lof.

Virer vent devant est plus facile à expliquer dans le cas d'un voilier moderne. La manœuvre semble aisée, elle demande cependant un bon tour de main et un minimum de chance. Le bateau remontant au vent bâbord amures, (par exemple) autrement dit, recevant le vent du côté bâbord et se dirigeant, donc, vers la droite du lit du vent, on laisse venir le navire à une allure plus arrivée, c'est-à-dire qui remonte moins au vent, ceci pour gagner en vitesse. Dès que l'on a pris un peu de vitesse, on vient d'un seul coup, bout au vent, les voiles sont alors complètement inefficaces et battent dans le lit du vent, néanmoins, du fait de la vitesse acquise et conservée (on dit que le navire court sur son erre) le gouvernail reste actif et on

parvient à continuer l'évolution et à faire basculer le navire de l'autre côté du lit du vent. Les voiles changent de bord quasiment d'elles-mêmes et on arrive ainsi à un cap où le vent peut de nouveau agir sur ces voiles, mais dans l'autre sens, en venant de tribord, cette fois. On fixe alors le réglage en fixant les manœuvres (les cordages de réglage de la voile, amure et écoute); Le changement de bord, vent devant, a réussi. La manœuvre doit donc se faire avec rapidité et détermination. Cependant si la mer est trop formée, le navire qui tape donc dans la mer du vent va être freiné et gêné dans son évolution, il est stoppé avant que le navire ait pu franchir le lit du vent (la mer a cassé l'erre du navire), le gouvernail devient inefficace, les voiles qui battent dans le vent debout ne le sont pas moins : on a manqué à virer. A refaire, ou bien, il faut passer par le lof pour lof.

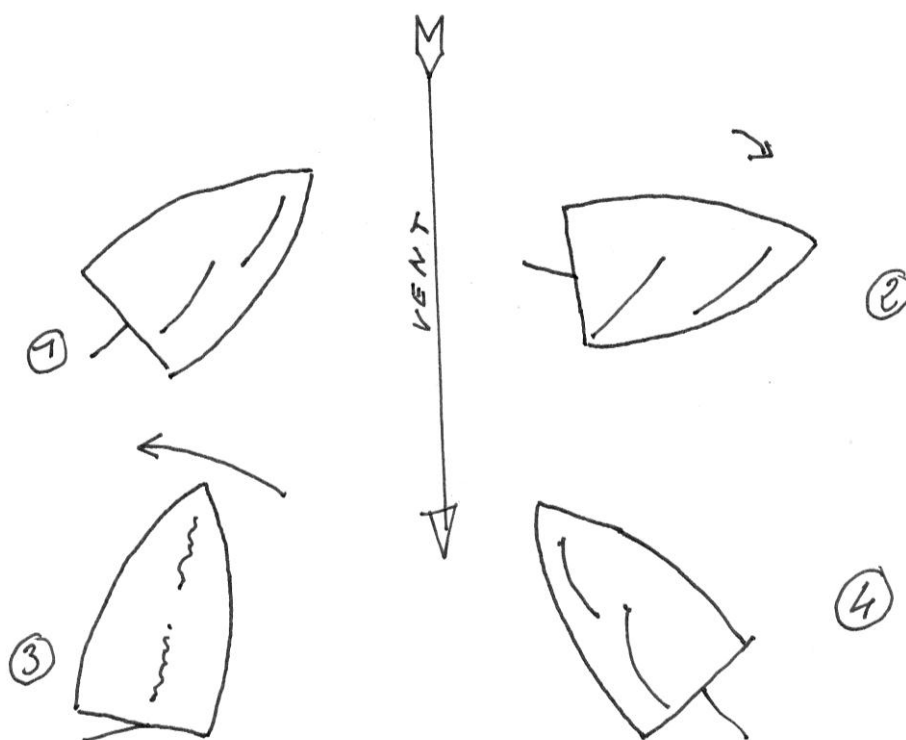


Fig.1

Virement vent debout

En 1, le navire remonte au vent bâbord amures. En 2, le navire vient un peu à droite, au vent de travers pour prendre de la vitesse. En 3, le barreur navire met toute la barre à gauche, le navire vient rondement sur la gauche jusque dans le lit du vent, les voiles sont dans le lit du

vent, elles faseyent, le navire passe le lit du vent dans le même mouvement et se retrouve en position 4, au plus près, tribord amures : virement de bord réussi.

Dans le virement lof pour lof, on prend son temps, mais on y gagne en sécurité. On suppose le navire dans le même cas de figure que précédemment, c'est-à-dire le vent venant de bâbord et faisant route à droite du lit du vent. On laisse arriver le navire, c'est-à-dire que l'on arrive au vent de travers, mais là : on continue, du vent de travers on passe à l'allure de large, puis vent arrière. Là, on franchit le lit du vent, le vent venant de l'arrière, et on remonte au vent de l'autre côté, on continue à remonter toutes les allures en sens inverse, grand large, large, travers et enfin près et près serré. On est désormais dans l'autre sens, remontant au vent, avec le vent venant de tribord et se dirigeant vers la gauche du lit du vent. Bref, cette fois on a fait le grand tour.

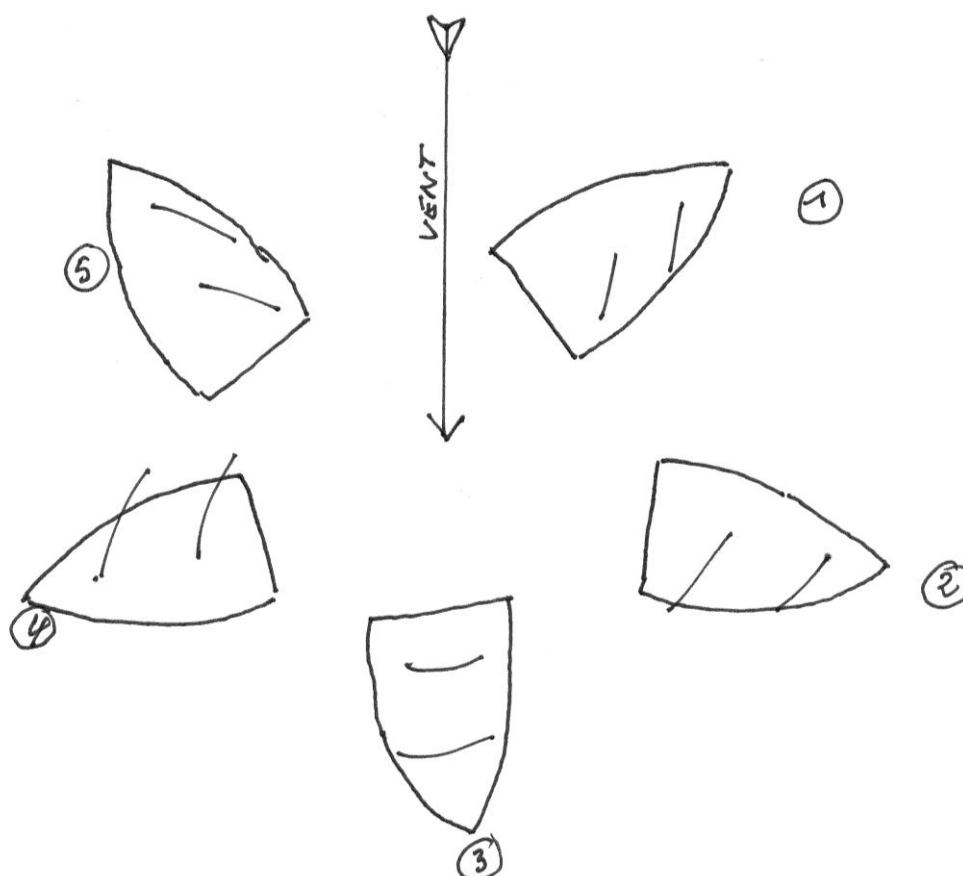


Fig.2

Virement de bord lof pour lof.

En 1, le navire remonte au près, bâbord amures, on laisse aller le navire sur la droite au vent de travers, en position 2, puis au large et enfin au vent arrière, en position 3. A partir du vent arrière, on continue le mouvement sur la droite pour aller au large, puis au vent de travers, en position 4, pour se retrouver au près, tribord amure. On a fait tout le tour de l'horizon pour se retrouver dans la position 5, symétrique de la position 1.

Le principe du choix entre l'une ou l'autre manœuvre est le suivant. Avec une voile carrée, on préférera le lof pour lof ; la voile que l'on oriente, au fur et à mesure, que l'on change d'allure, travaillera à plein durant toute la manœuvre et particulièrement lorsqu'on est au vent arrière, et il n'y a aucune rupture dans la propulsion tout le long de la manœuvre. En revanche, avec une voilure longitudinale, il est probable que l'on est à même de réussir un changement vent devant, opération qui est quand même plus rapide et ne fait pas perdre de la route au vent.

C Le capitaine Amarantos et le lof pour lof par Synésios.

Laissons parler Synésios de son capitaine Amarantos dont, comme à son accoutumée, il se plaint abondamment, feignant de ne rien comprendre à ses manœuvres. Rappelons que, d'après ses explications, le navire vient de quitter Alexandrie et se dirige vers Cyrène où Synésios exerce son ministère : *« N'est-ce pas lui qui d'abord, quand dans notre région nous eûmes doublé le temple de Poséidon, décida d'aller droit sur Taphosiris toutes voiles dehors et songea à se mesurer avec cette Scylla qui nous horripile dans nos livres d'école ? Nous nous en étions aperçu et nous poussions de grands cris, mais ce fut juste quand nous étions arrivés à proximité immédiate du danger que, non sans peine, il se laissa maîtriser et s'abstint d'engager son combat naval contre les récifs ! Il change alors de cap, comme sous l'effet d'une volte-face, et gagne le large, avançant même aussi longtemps qu'il le pouvait, à contrecourant des flots. Mais, par la suite, un fort vent de Notos l'entraîne avec lui, moyennant quoi, nous perdîmes de vue la terre et nous fumes vite en compagnie des cargos à deux voiles qui n'avaient rien à voir avec notre Libye et suivaient au contraire une autre*

route maritime ». Evidemment, les passagers, dès qu'ils quittent la terre des yeux, sont inquiets ; ce que ne manque pas de rappeler Synésios au capitaine dans une petite harangue (faussement naïve) : « *Et maintenant, pourquoi devoir gagner la haute mer ? Allons !* » Dis-je « *naviguons droit sur la Pentapole, à distance raisonnable de la côte : de la sorte, si nous rencontrons quelque difficulté en mer, nous trouverons à proximité un port pour nous accueillir.* » Mais le capitaine qui s'attend, nous le verrons par la suite, à un coup de vent de Nord entend, au contraire, s'écarter au maximum de la terre pour augmenter sa marge de sécurité. Donc Synésios reprend son récit : « *Mais au lieu de se laisser convaincre par mes propos, il fait la sourde oreille, le maudit ! Jusqu'à l'arrivée brutale d'un fort vent du Nord, qui souleva de hautes vagues et amena la houle. Ce vent s'abattit brusquement sur nous et repoussa la voile en sens contraire : de convexe qu'elle était, elle devint concave, et le navire fut prêt de virer complètement sur sa poupe. Nous eûmes en tout cas de la peine à lui faire garder son assiette. Alors d'une voix retentissante Amarantos s'écria : Voilà ce que c'est de savoir naviguer avec art ! Pour ma part, je m'attendais depuis longtemps à ce coup de vent venu du large, et c'est la raison pour laquelle je naviguais en haute mer ; à présent, je vais louvoyer, puisque, à la distance où nous sommes, on peut courir de plus longues bordées : la navigation que nous adoptons, nous ne pourrions pas l'adopter si nous longions le littoral, car nous nous trouverions drossées à la côte¹¹⁷.* »

Débroussaillons le texte. Synésios, évêque de Cyrène¹¹⁸, en Libye était venu à Alexandrie pour les besoins de son ministère et en a profité pour voir son frère cadet qui est resté à Alexandrie. Ce frère est de petite santé, et Synésios, juste parti d'Alexandrie par mer, commence la rédaction d'une lettre amusante qu'il lui enverra de Cyrène, pour le distraire. Rappelons que la *vis comica* de cette lettre repose sur une convention : décrire avec les yeux d'un béotien ce voyage en bateau. Evidemment Synésios et son frère habitués de la ligne sont bien au fait des choses de la mer et c'est ce second degré qui en fait le sel.

¹¹⁷ Synésios, *Op. cit.* p. 8,9,10

¹¹⁸ Pour être très exact, Cyrène est son lieu de naissance, il a été nommé, évêque de Ptolemaïs, une ville également de située en Cyrénaïque (la Pentapole)

Juste parti d'Alexandrie, le navire fait cap sur un récif bien connu de la région, pour une raison que nous ne pouvons saisir, ignorant la topologie exacte des lieux, qui est pourtant soigneusement détaillée, ce qui nous fait supposer que cette manœuvre est totalement banale, quoique décrite sous une forme quelque peu dramatique, à dessein, semble-t-il. Toujours est-il qu'arrivant sur le récif, le capitaine vire de bord et les termes choisis : volte-face, démontrent qu'il s'agit d'un virement lof pour lof, qui implique un virement sur plus de 180 degrés. Il part alors sur un bord vers le large en remontant au vent. (Contre les flots). Pendant qu'il tire son bord vers le large, le vent tourne franchement au sud (le Notos) et le navire appuie sa bordée vers le large, il doit perdre la terre de vue, ou presque, et s'avance assez loin au large pour croiser la route des grands bateaux de l'annonce (les cargos à deux voiles) qui reviennent d'Italie du Sud et rentrent sur Alexandrie (*qui n'avaient rien à voir avec notre Libye et suivaient, au contraire, une autre route maritime*). Ces bateaux dont on connaît bien la route séculaire, passaient par le Nord à l'aller, mais revenaient en prenant la Méditerranée dans l'axe et dans son mitan, directement de Sicile, piquant sur le phare d'Alexandrie. Arrivés au niveau où se trouve le caboteur d'Amarantos, ils sont encore assez loin de la côte libyenne, mais se rapprochent néanmoins, pour ne pas manquer l'atterrissage sur le phare. A partir de là, le capitaine a assez de champs pour pouvoir étaler le coup de vent de Nord qui s'établit brusquement, il explique, fort bien, sa manœuvre ; il tirera des bords contre la vent du Nord, pour éviter de se laisser dépaler sur la côte, qui se trouve, désormais, sous le vent, situation que n'aiment pas les marins et qui exige toute leur vigilance. Il se vante, à juste titre, d'avoir prévu cette renverse de vent et s'être placé dans la meilleure position possible.

D- Les anciens et le virement, vent devant.

Quant à la manœuvre de la voile latine le premier texte consultable est le Traité des galères du Commandant des Fontettes de 1672.¹¹⁹ Le texte du commandant des Fontettes nous démontre que ce type de gréement permet un virement de bord vent devant, donc extrêmement rapide et

¹¹⁹ Il s'agit d'un cours de manœuvre, donné à l'occasion de conférences de formation organisées par Colbert, dans le cadre de la formation des jeunes nobles embarqués. Ce cours a été recopié en 1729 par d'Harancourt. Manuscrit conservé à la bibliothèque municipale de Marseille.

relativement sûr, mais que la marche du navire n'est pas symétrique il y a un bord dit « à bonne main » où le navire remonte correctement dans le vent et l'autre « à mauvaise main » où l'antenne est devant le mât et où le navire ne remonte quasiment plus, mais ne fait que dériver.

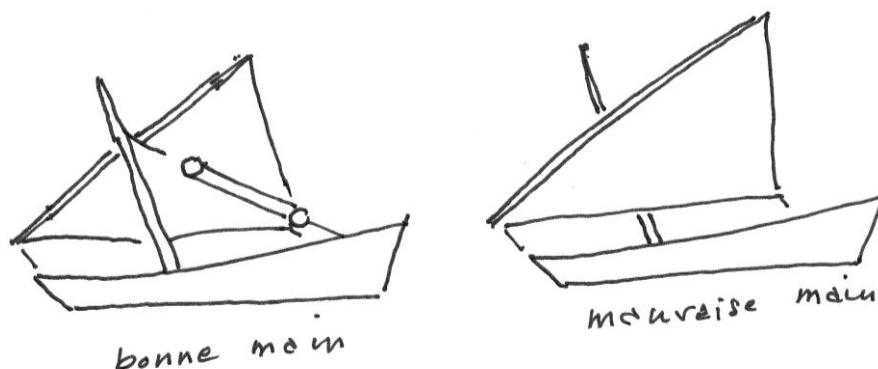


Fig.3

Le vent pour les deux navires va du premier plan pour aller sur l'arrière-plan. Dans le cas du navire « à bonne main », l'antenne et la voile sont sous le vent du mât, la voile est gonflée dans sa plénitude. Dans le cas du navire « à mauvaise main », l'antenne et la voile sont devant le mât, c'est-à-dire au vent du mât. La voile porte sur le mât et le palan de cartahu qui sert à lever l'antenne, ils sont dans le dessin dissimulés par la voile qui porte sur ces obstacles, elle travaille dans de très mauvaises conditions.

C'est ce qu'il explique : « Ce n'est que dans une grande nécessité lorsqu'il faut risquer le tout pour le tout une galère ne puisse aller à bidot comme les barques. (ce qu'il explique ci-après)

Bidot, bideau, aller à **bidot**, faire **bidot**, c'est sur un bâtiment latin, courir la bordée où les voiles sont au vent du mât et portent dessus ; une latine est donc à bidot quand elle est masquée ». Autrement dit : le navire n'avance pas, il dérive seulement, ce qu'il confirme :

« Si vous faites trinquer vos voiles (aller à mauvaise main) vous n'allez alors qu'à la dérive ».

Traduisons ce jargon technique. Cet auteur insiste donc sur le fait que lorsqu'on vire de bord pour louvoyer de cette façon, il y a un bord où l'antenne sera devant le mât par rapport au vent. Dans cette position, la voile porte sur le mât et aussi sur l'important appareil de *cartahu*,

situé dans l'axe du mât, (il s'agit d'un très gros système de palan utilisé pour hisser et amener l'antenne et la voile). La rotondité de la voile est alors cassée par ces projections et la voile perd ses qualités aérodynamiques. Dans cette situation la voile est inefficace, elle n'a plus aucune force propulsive, elle conserve seulement une force de dérive. Si l'on veut profiter de toute la force propulsive de la voile au nouveau bord, il faudra faire passer l'antenne de l'autre côté du mât au prix d'une manœuvre compliquée et surtout longue. Il faut **gambeyer**. Cette manœuvre s'effectue en trois temps. Abandonnons l'original du texte qui est difficilement accessible et n'apporte donc rien pour en donner directement la « traduction ». **Dans un premier temps**, on amène la vergue et la voile sur le pont, en pliant au fur et mesure la voile à grands plis. On dévergue alors la voile, et on re-hisse la vergue sans voile. Elle n'a plus aucune prise au vent, même si elle est lourde, hissée par son point milieu, son poids relatif est négligeable et on la fait passer à la main par devant le mât de l'autre côté du mât. **C'est le deuxième point** : on gambeye. **Troisième phase** : on amène de nouveau la vergue sur le pont, elle est donc maintenant de l'autre côté du mât et la voile est disposée sur le pont de l'autre bord, là où elle a été déposée. La voile ayant été soigneusement pliée, elle se présente sous forme d'un boudin de toile déposé sur le pont : l'équipage n'aura donc aucune difficulté, en la prenant à bras le corps, de la faire passer de l'autre côté du mât, donc, le long de la vergue disposée sur le pont. On re-envergue alors la voile sur l'antenne et on re-hisse le tout.

C'est ce qu'il nous dit dans son langage maritime très technique et typé de la marine du levant: « *Une manœuvre particulièrement longue et difficile sur la galère était « de faire le car » c'est-à-dire de changer l'antenne de côté du vent à chaque virement de bord, pour éviter que la voile ne porte contre celui-ci (la mauvaise main). En effet faire le car signifie : amener pour déverguer, hisser pour mudar (changer de côté l'antenne), faire passer la voile de l'autre bord, amener l'antenne pour re-enverguer et enfin re-hisser.* »

On conclue de l'examen de ce texte que, pour louvoyer, la seule manœuvre efficace est de gambeyer pour être « à bonne main » sur le nouveau bord. Cependant on peut se contenter de louvoyer en restant « à mauvaise main » sur le nouveau bord. La manœuvre est très simplifiée mais le navire avance mal et ne fait que dériver sur le bord « à mauvaise main ».

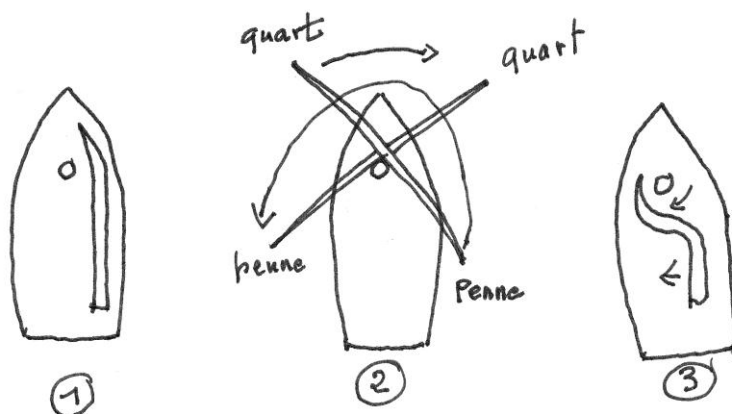


Fig 4

Gambeyer.

En position 1, l'équipage a dévergué la voile qui est posée sur le pont l'antenne est re-hissée seule dans sa position originale, elle est à droite du mât, dans la position 2, le quart est la moitié d'antenne qui est toujours en bas et la penne est la moitié d'antenne qui est toujours en haut. Pour faire passer l'antenne du côté gauche du mât, il faut faire passer le quart et la penne tous deux par devant le mât, ce qui est assez spectaculaire pour la penne, c'est-à-dire la partie haute qui décrit donc un vaste mouvement de droite à gauche. La manœuvre s'effectue depuis le pont par l'équipage qui tient le quart et le fait passer de gauche à droite. On a donc gambéyé. L'antenne est amenée sur le pont et l'équipage fait passer la voile de droite à gauche pour la re-enverguer sur l'antenne. On a changé l'antenne de bord et elle reste « à bonne main ».

Néanmoins, puisque dans le louvoyage on ne cherche pas spécialement à gagner sur le vent la manœuvre est très acceptable d'autant plus qu'elle est bien plus aisée à effectuer. Cependant elle est plus éprouvante pour la mature. On peut supposer que le capitaine génois dont nous parle Ibn Jubayr avait louvoyé en restant sur un bord à mauvaise main, pour avoir choisi la manœuvre simplifiée, puisque Ibn Jubayr nous dit dans la suite de son récit que nous avons

cité plus haut à la note 8 : « *Le patron et capitaine génois ... louvoya, tantôt à droite, tantôt à gauche, dans l'espoir de ne pas revenir en arrière. La mer était calme et tranquille. A peu près à minuit, la nuit du vendredi (27 octobre), le vent d'Ouest se mit à souffler, brisa la vergue du mâât dit d'artimon et jeta à la mer la moitié du mâât avec sa voilure*¹²⁰ ». C'est ce qui nous fait penser que le navire naviguait, à ce moment précis, sur un bord « à mauvaise main ». En effet, la vergue étant au vent du mâât, elle s'appuie sur lui ce qui la fragilise. La vergue est faite pour travailler sous le vent, dans cette configuration normale, « à bonne main », la vergue encaisse alors la poussée de la voile grâce à son élasticité. Si, par contre, elle s'appuie en son milieu sur le mâât, dans cette configuration contre nature, « à mauvaise main », la voile pousse de part et d'autre de ce point de contact. En fait, c'est comme si l'on cassait une canne de bois en prenant appui sur son genou.

Ce panorama des manoeuvres de virement de bord nous fait prendre conscience que le type de voile n'est pas indifférent au type de manoeuvre possible et même s'il est possible de louvoyer aussi bien avec une voile latine ou une voile carrée, chaque type de gréement garde ses particularités.

1-2.4 A défaut de louvoyer, il faut pourtant remonter au vent.

Louvoyer permet, dans le meilleur des cas, à gagner un peu de terrain dans le lit du vent mais pour un navire de commerce, cette utilisation est complètement dérisoire, le peu de terrain gagné est quasiment annulé par la dérive en arrière. C'est pourquoi, d'un point de vue stratégique, pour continuer à faire route malgré un vent de face, il vaut mieux attendre la renverse de vent pour reprendre sa marche en avant. Tenter de remonter au vent en serrant le vent, c'est perdre son temps, passer quinze jours à tirer bord sur bord signifie comme résultat, quelques milles seulement grappillés à grand peine dans une mer dure, où l'on risque à tout moment l'avarie majeure dans la mâture, alors que se contenter à endurer le vent contraire, tout en faisant du surplace est une alternative bien plus intelligente, puisqu'au bout de huit jours, tout au plus, le vent ne manquera pas de tourner et quelques heures de vent portant suffisent à compenser les dures journées passées à essayer de gagner au vent. Paradoxalement

¹²⁰ Ibn Jubayr *Op.cit.* p. 334

c'est la traversée de l'Océan Indien qui est la plus facile en comparaison avec certaines traversées méditerranéennes. Celles-ci sont plus courtes mais elles sont le siège de vents parfois inconstants ; qui vont demander au marin beaucoup d'ingéniosité. Il faut ici se référer au récit d'ibn Jubayr, notre référence en ce qui concerne les traversées méditerranéennes. On peut parler, en effet, de traversées au pluriel. Dans un voyage aller d'Ouest en Est, sur toute la longueur de ce couloir maritime, la traversée de Gibraltar vers l'Italie se distingue de la traversée Ouest-Est que l'on enchaîne en suivant, celle de la Sicile à la Palestine ou à l'Egypte. Pour le retour, c'est encore une situation toute autre, sauf dans sa diversité, selon que l'on navigue en Méditerranée orientale ou occidentale, car il faut là aussi distinguer plusieurs traversées : une de l'Orient vers le détroit de Sicile et l'autre de l'Italie vers le Sud de l'Espagne, présentant chacune des caractères bien différents.

Les contraintes qui s'imposent au voilier déterminent le choix de la route et le moment du départ. Le navire ne peut, pour appareiller, utiliser que les vents portants. C'est ainsi qu'Ibn Jubayr dit que la date de son retour a été fonction d'une courte période où le vent souffle de l'Est en Palestine. Il en résulte que le navire doit souvent attendre, au port, les conditions favorables et appareille dès qu'elles se présentent. D'ailleurs, tous les codes maritimes, aussi bien le Digeste que les Basiliques, spécifient que le navire n'a pas à attendre les passagers, même s'ils ont payé leur passage à l'avance, ceux-ci doivent être présents à bord lors de l'appareillage, auquel on procède, sans préavis. C'est d'ailleurs la mésaventure qu'a connue Ibn Jubayr qui, déjà embarqué, attendait depuis plusieurs jours le départ. Préférant une invitation de passer la nuit à terre à l'inconfort du navire, il eut, au petit matin, la désagréable surprise de constater que le quai était vide et que le navire avait quitté le port durant la nuit, à la levée de la brise de terre. Il dut fréter, à ses frais, une petite embarcation qui fit force de rames et rattrapa le grand vaisseau après une demi-journée d'efforts et il put finalement embarquer en pleine mer. Voici son récit : *« Nous restâmes à bord douze jours, faute de vent favorable. Dans ces régions, les vents sont une énigme. Le vent d'Est ne souffle que pendant deux saisons ; le printemps et l'automne, et on ne peut voyager (il veut dire aller vers l'Ouest et donc quitter la Palestine) que pendant cette période...Au printemps, on voyage à la mi-avril, quand le vent d'Est souffle. Il continue jusqu'à la fin du mois de mai, plus ou moins tard, selon ce que Dieu très haut a décidé. En automne, on voyage à la mi-octobre, car le vent d'Est souffle. Cela dure moins longtemps qu'au printemps, pendant une brève période, quinze jours plus ou moins. En dehors de ces périodes les vents sont changeants avec prédominance*

*des vents d'Ouest*¹²¹. » On ne saurait être plus clair, c'est d'ailleurs pourquoi nous apprécions particulièrement cette source. Attendre le départ à bord n'est pas très agréable dans cette promiscuité et Ibn Jubayr préfère attendre confortablement à terre d'où son infortune : il raconte : « *Depuis que nous avons embarqués, nous logions à terre et revenions à bord, parfois. Jeudi 10 rajab (18 octobre) à l'aurore le navire appareilla... Nous avons manqué de prévoyance et oublié le proverbe qui dit – cavalier ne quitte pas ta selle- au matin, le navire avait disparu. Nous louâmes aussitôt une grande barque à quatre rames où nous embarquâmes pour nous lancer à la poursuite du navire. C'était une aventure dangereuse mais Dieu nous protégea. Dans l'après-midi nous rejoignîmes notre bateau et louâmes Dieu, puissant et majestueux de Sa gratitude à notre égard.*¹²² »

Les aventures d'Ibn Jubayr sont loin d'être terminées. Alors qu'à l'aller le navire avait bénéficié de vents portants habituels en Méditerranée dans le sens Ouest-Est, son nouveau bateau va endurer les mêmes conditions de vents mais qui lui sont ici défavorables. En effet, le vent d'Est ne dure pas longtemps et bientôt le vent habituel d'Ouest arrête le navire. « *Nous poursuivîmes notre route pendant cinq jours avec un vent favorable plus ou moins fort. Mais le vent d'Ouest se mit à souffler, vent debout. Le patron et capitaine génois qui était versé dans l'art de la navigation et expert en pilotage, louvoya tantôt à droite tantôt à gauche dans l'espoir de ne pas revenir en arrière.*¹²³ » Autrement dit, lorsque le vent devient défavorable tout en restant suffisamment maniable le capitaine génois de son premier bateau¹²⁴ de retour, rétablit la situation en louvoyant contre le vent contraire pour attendre la renverse sans perdre de terrain. Cette méthode est confirmée ultérieurement par Christophe Colomb qui l'appelle aller à la corde et qui la définit ainsi dans son journal de bord du

¹²¹ *Voyageurs arabes. Ibn Fadlan, Ibn Jubayr, Ibn Battûta et un auteur anonyme*, textes traduits et annotés par Paule Charles-Dominique (l'auteur anonyme dégroupa les deux textes du manuscrit du marchand Suleiman, le premier : *Itinéraire des navires d'Irak jusqu'en Chine* et le deuxième : *Informations sur l'Inde et la Chine*) Gallimard. Paris 2004. p. 333-334

¹²² Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes...Op ;cit.* p. 334

¹²³ Paule Charles-Dominique, *Ibid.* p. 334. Notons au passage la clarté et la précision de l'auteur, il fait la distinction entre les trois fonctions du marin, le capitaine (directeur de l'aventure maritime) le patron (responsable de la manœuvre) et le pilote (responsable de la navigation), en précisant d'ailleurs que ce génois était tout cela à la fois. Un tel concentré de qualification ne devait pas être rare sur un bateau aussi important qui a embarqué à Acre une foule de plus de 2000 chrétiens de retour de pèlerinage, sans compter les musulmans transportés à part On ne pouvait confier un tel navire qu'à un expert super qualifié.

¹²⁴ Il a pris deux bateaux principaux pour aller d'Acre à Almeria, le premier s'est perdu comme nous le verrons dans le détroit de Messine ;

premier voyage : « *Mardi 13 novembre, Cette nuit tout entière il (l'amiral) courut a la corde, comme disent les marins, ce qui signifie, aller remonter au vent sans avancer du tout.* »¹²⁵

Cette méthode n'est valable que si le vent est modéré, sinon remonter au vent par mauvais temps affirmé, signifie taper dans une mer dure et casser du bois à tout coup, ce qui ne manque pas d'arriver à la phrase suivante. « *La mer était calme et tranquille. A peu près, à minuit, la nuit du vendredi 19 rajab (27 octobre), le vent d'ouest se mit à souffler, brisa la vergue du mât dit d'artimon et jeta à la mer la moitié du mât avec sa voilure.* »¹²⁶ Donc, si le vent souffle trop fort, en sens contraire de la direction souhaitée, ne reste plus comme solution que de mettre le navire à sec de toile et de se laisser dériver, hélas, en sens inverse de la direction désirée, à vitesse minimum pour ne pas trop perdre de route. « *Nous n'avions pas passé le tiers ou la moitié de la nuit du vendredi 1 décembre, qu'en moins de rien, se leva un vent debout qui nous fit reculer et nous empêcha de voir et de guetter. Le vent continua à souffler si violemment qu'il faillit tout briser et fracasser. On cargua les voiles et on s'en remit à son Créateur ! On laissa donc le bateau dériver.* »¹²⁷

Le plus sûr est d'essayer de faire cap à terre (s'il y a une île proche) pour trouver un abri et laisser passer cet épisode contraire. Ibn Jubayr explique tout cela très bien, le passage suivant est relatif à la deuxième partie de son retour sur un deuxième bateau, toujours génois, après le naufrage de son premier navire en Sicile : « *Nous laissâmes l'île de Sardaigne sur notre droite. Puis des vents capricieux se jouèrent de nous et firent errer de long en large sans que nous puissions apercevoir la terre ferme, si bien que le pessimisme nous envahit et que nous nous imaginâmes que les vents nous avaient emportés vers la côte de Barcelone -que Dieu la détruise- Mais Dieu nous apporta un soulagement et nous vîmes enfin la côte de l'île d'Ibiza, la nuit du vendredi 10 ; nous la vîmes distinctement et nous entrâmes dans la rade de l'île avec la nuit, après avoir subi les caprices du vent pour y pénétrer. Nous jetâmes l'ancre... Dimanche 13, nous étions toujours dans le même mouillage. Le vent soufflait de l'Ouest.*

¹²⁵ Cristobal Colon, *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Varela*. Alianza Universidad. 1992, p. 56

¹²⁶ Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes...Op. cit.* p. 334

¹²⁷ Paule Charles-Dominique, *Ibid.* p.340

Nous attendîmes que Dieu parachève Sa grâce, en nous envoyant un vent favorable ... Dans la matinée du mardi 13 nous appareillâmes par chance et bénédiction avec un vent d'Est doux au souffle léger, priant Dieu, puissant et majestueux, de ranimer son ardeur et accélérer sa vitesse. Les montagnes de Denia furent alors devant nous, à portée de vue...Nous débarquâmes à Carthagène dans l'après-midi du jeudi 15... »¹²⁸

Bref, il est possible, au moins en Méditerranée occidentale, où le vent d'Ouest est quand même plus variable que la mousson de l'océan indien, d'aller contre le vent dominant, mais c'est une question de longue patience. Pour avancer dans la direction désirée, il faut saisir la moindre opportunité de vent favorable. Ces occasions sont rares et généralement trop courtes pour être exploitables jusqu'à l'objectif. Il ne faut pas se décourager, après chaque essai infructueux, on attend une nouvelle occasion de réitérer, en espérant que cette fois sera la bonne. Naviguer dans ces conditions s'apparente à une partie d'un sport de gagne-terrain comme le football américain, On essaye d'avancer, si ce n'est pas possible, on essaye de fixer le jeu pour éviter de reculer, puis on tente de repartir de l'avant quand les circonstances s'y prêtent et cela jusqu'à atteindre la ligne en face et à marquer le point. La méthode est fastidieuse, mais, statistiquement, fiable.

Pour illustrer cette affirmation résumons rapidement cette traversée de Trapani en Sicile à Carthagène, dernière étape du voyage d'Ibn Jubayr. Tout d'abord il prend passage sur un bateau génois ; celui-ci est prêt à appareiller et attend les conditions favorables du 4 Février au 25 Mars ; puis :

1ere tentative : départ vers l'Ouest par vent favorable d'Est, le vent les abandonne après 18 milles seulement, mouillage à l'île aux moines ; au large de Trapani.

2eme tentative ; dès le lendemain, vent favorable, un jour et deux nuits durant, puis le vent tourne, retour à l'île aux moines.

3eme tentative : départ vers l'Ouest le vent d'Est est favorable, mais rapidement ils sont soumis à des vents tournants et, les voici à la pointe de la Sardaigne, le vent s'établit

¹²⁸ Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes...Op. cit.* p.367

franchement contraire ; ils reculent jusqu'en Tunisie, mouillage à l'île de la Galite, après 5 jours de mer, pour se retrouver encore plus à l'Est que leur point de départ.

4eme tentative : après 3 jours au mouillage, nouveau départ par vent très favorable et constant qui les amène en vue d'Ibiza, le vent redevient variable, et ils tournent une nuit et un jour devant Ibiza, pour, enfin, pouvoir mouiller devant Formentera, après 9 jours de mer...

5eme tentative et la bonne, après 3 jours au mouillage, ils appareillent et arrivent devant Denia et continuent autant qu'ils le peuvent vers le Sud et atteignent Carthagène ou ils sont obligés de mouiller. Toutes ces tentatives, pour finalement relier l'extrémité Ouest de la Sicile à Carthagène, se sont déroulées entre le 2 Mars et le 18 Avril 1185¹²⁹.

Là, le navire attendra un sort meilleur pour rejoindre Almeria ; Ibn Jubayr, quant à lui, débarque et continue par voie de terre pour rejoindre Grenade et sa maison après 7 jours de voyage terrestre.¹³⁰ : « *La durée de notre voyage à partir de notre départ de Grenade et jusqu'à notre retour fut de deux ans pleins et trois mois et demi ; Louanges à Dieu, maître des mondes !* »

1-2.5 Conclusion

Gréements carrés, gréements latins, origines et différences.

L'apparition de la voile latine, nous le verrons plus loin, peut être replacée dans l'histoire, et en tout état de cause est postérieure à l'existence de la voile carrée. L'iconographe est assez riche et peut en attester abondamment. La voile carrée est celle dont la représentation est la plus ancienne et la plus universelle¹³¹. Bien évidemment, il y a des nuances dans la

¹²⁹ Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes...Op. cit.* p. 364-367

¹³⁰ Paule Charles-Dominique *Ibid.* p.368

¹³¹ Le livre de Jean Rougé. *Recherches sur l'organisation du commerce maritime en Méditerranée sous l'Empire romain.* Paris. 1966. comporte une série de planches qui font le tour des représentations antiques des navires et des activités portuaires. On y voit figurer tous types de navires mais aussi d'embarcations Cela ne montre que les anciens ne connaissaient aussi d'autres types de voilure que le gréement carré mais qui ne concernent que des embarcations. D'autres types de gréement étaient en usage et sont attestés par l'iconographie. Outre la voile latine qui est figurée une stèle de Milet en Ionie, datant du II^e siècle avant notre ère, un bas relief montrant semble-t-il l'entrée du port extérieur d'Ostie et datant donc au plus tôt de Néron, montre une barque armée par le seul barreur faire voile, munie d'une unique voile à livarde. La voile à livarde est une voile longitudinale ralinguée sur le mat et munie d'une vergue pour la raidir. La caractéristique de cette vergue est

constitution de ce gréement, les nuances tournent autour de l'organisation de la voile autour de la vergue transversale, ce qui a des conséquences directes sur les dispositifs d'adaptation de la surface de voilure à la force du vent.

Les navires de **l'Égypte ancienne** sont bien connus par la riche iconographie pharaonique et l'existence de maquettes très bien conservées. Dans les navires égyptiens, la vergue principale est disposée en bas, soutenue par des balancines elle semble être dormante (c'est-à-dire, à poste fixe, par opposition à un espar volant, qui est hissé ou amené le long du mât, en même temps que la voile, selon les besoins). Cette vergue supérieure semble être hissée plus ou moins haut pour ajuster la surface de toile selon la force du vent. Il y a donc un système pour serrer la toile sur la vergue inférieure, puisque l'on voit des matelots s'affairer à la manœuvre, marchant sur cette vergue. Dans **la voile qui aide à propulser la galère grecque**, il semble bien qu'un cordage en erse (une boucle), étrangle la voile autour d'une vergue supérieure pour réduire la toile. Quant à **la voile romaine**, elle est aussi organisée autour d'une vergue qui paraît faire partie du gréement dormant (restant à poste fixe dans la mature). La voile est munie d'un système très sophistiqué de ris, des cargues fonds (cordages servant à réduire la toile courent du haut en bas de la voile passant par des anneaux cousus de place en place passent tous par le calcet du mât (c'est un trou creusé dans l'épaisseur du mat, à sa partie supérieure, et par où passent tous les cordages servant à la manœuvre de la voile). Ils sont réunis sur une courte barre transversale, aux mains du timonier. Le système fonctionne à la façon d'un rideau vénitien ; en tirant sur les cargues fonds, la voile se réduit, pan par pan, à partir du bas. Il n'y a aucun détail visible pour expliquer comment on change au fur et à mesure, les points de fixation des écoutes. Il y eut deux types de voiliers romains par ordre chronologique de figuration : la *corbita* et le cargo à deux mats. La *corbita* (qui est peut être phénicienne à l'origine, car leur présence sur mer est attestée par la Bible, bien antérieurement à la présence romaine, (qui n'est attestée qu'à partir des guerres puniques) est un bateau à un mât principal, plus un mât secondaire, un beauprés très incliné et placé très à l'avant. Il est muni de deux voiles carrées, très inégales, dont la plus petite, la civadière est

qu'elle part en diagonale du pied du mat jusqu'au coin supérieur de la voile qui est carrée. C'est l'ancêtre du gréement de notre moderne dériveur, l'*optimist*, qui a servi aux débuts de tant de barreaux modernes. Un tel type de gréement ne peut virer que vent devant. Il est vrai que cette manœuvre peut être grandement facilitée par le barreur qui utilise un aviron de queue, un coup ou deux de pelle peuvent faciliter aisément la manœuvre. Mais ces gréements longitudinaux n'équipent que des embarcations. Or ce que l'on peut faire avec une embarcation on ne peut le faire avec un navire. En changeant de taille on change de nature. C'est ce que disait un peu plus haut, le chevalier des Fontettes.

installée sur le beaupré. Le cargo à deux mats est un navire plus gros, mais de même silhouette, mais plus longue et élancée, plutôt élégant et relativement bas de l'avant, et plus défendu de l'arrière. Il est équipé de deux mats égaux, munis chacun d'une grande voile carrée. Certains semblent montrer un tout petit mat de tapecul à l'extrême arrière¹³².

Donc, cette voile carrée d'une façon ou d'une autre, dès la plus haute antiquité, les marins la connaissaient et savaient la manier avec quelque sophistication. Le problème de la réduction de la voile dans les vents forts est donc attesté, très tôt, par l'iconographie, bien avant notre ère.

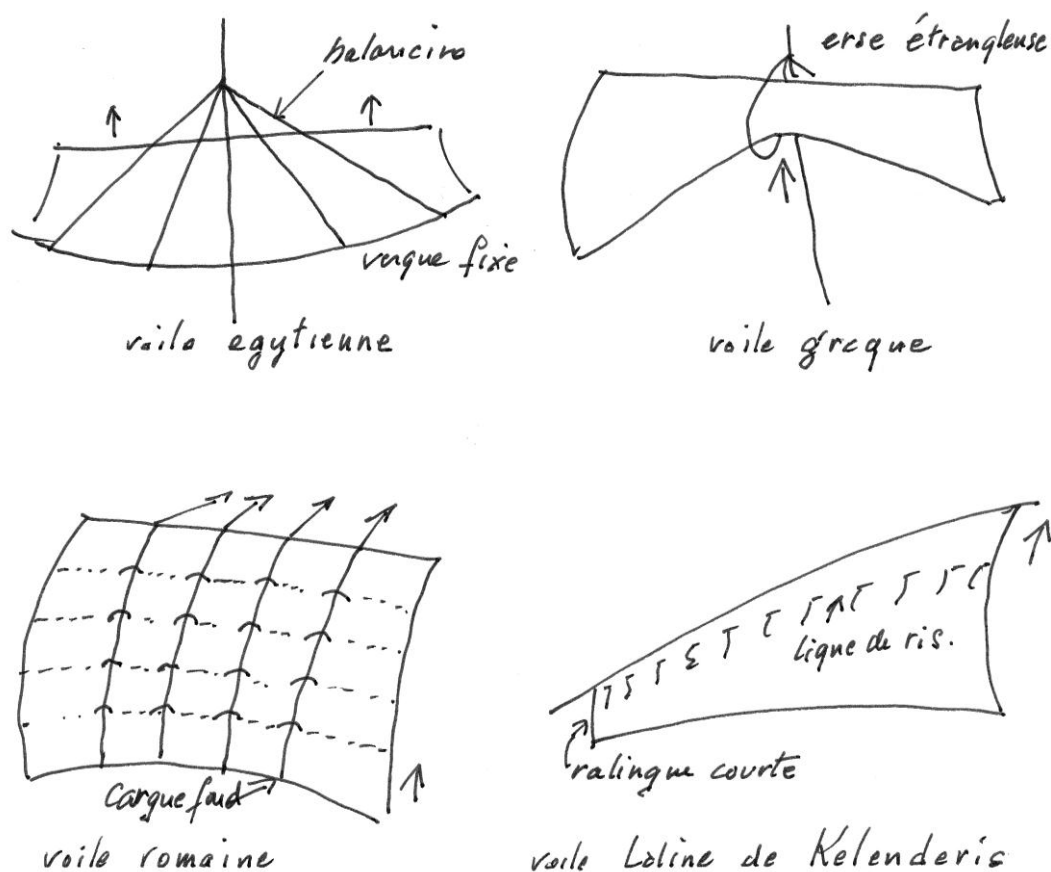


Fig.5

¹³² Ces différents navires sont bien connus par l'iconographie, on en trouve les représentations les plus typiques dans le livre de J. Rougé. *Recherches sur l'organisation du commerce maritime en Méditerranée sous l'Empire romain*, Paris, 1966.

Principaux types de voiles et leurs systèmes de réduction de voilures, figuré par ordre chronologique d'apparition iconologique.

En ce qui concerne la remontée au vent, l'apparition de cette technique doit être postérieure. Il est vrai que les Egyptiens n'avaient à se servir que du seul courant, lorsqu'ils descendaient le Nil avec donc le vent debout, de même les Grecs qui n'utilisaient que des navires mixtes, à l'aviron et à la voile, éludaient aussi le problème de la remontée au vent. Seuls les Romains utilisaient des cargos à voile qui ne pouvaient compter que sur la voile pour se propulser en toutes circonstances.

Apparemment et à notre connaissance, la présence des boulines (la technique utilisée pour remonter au vent avec une voile carrée) apparaît assez tardivement, vers le III^e siècle de notre ère, sur les fameux cargos à deux mats cités par Synésios. Il est bien évident que cette absence de figuration antérieure ne présuppose pas de l'inexistence de ce système avant les premières figurations. A l'appui de cette remarque, il faut noter que dans un texte que nous verrons plus tard dans cette même première partie, relatif au voyage de Saint Paul à Rome, qui se place donc au I^{er} siècle de notre ère, parmi les manœuvres de temporisation devant le temps, le capitaine ne songe pas à louvoyer, il met en fuite et sacrifie son mât pour en faire une ancre flottante et freiner cette fuite, ce qui est, il faut bien l'avouer, une solution terriblement radicale. Notre sentiment, mais c'est très subjectif, est qu'il ne savait pas louvoyer. Comme il faut un début à toute technique, nous supposons que le III^e siècle constitue la date au plus tôt du louvoyage, puisque une première figuration iconographique des boulines, outils spécifiques pour remonter au vent, confirme cette date. Les origines de la voile latine sont bien plus récentes. La voile latine tire son nom de voile *a la trina* c'est-à-dire en triangle.¹³³ La première représentation iconographique de la voile latine se trouve sur une stèle funéraire d'un pêcheur de Milet du II^e siècle avant notre ère, elle est visible au musée d'Athènes. Jusqu'à présent, la preuve la plus ancienne de son existence est cette fameuse stèle, mais à notre sens ce sujet est uniquement folklorique, car c'est une simple embarcation qui y est figurée, et comme nous l'explique plus haut le commandant des Fontettes, ce que

¹³³ Les éléments de cette rétrospective sont inspirés d'une exposition itinérante sur la voile latine organisée par Philippe Rigaud.

l'on peut se permettre sur une barque n'est plus possible sur un navire de grande taille. La seconde concerne une peinture monochrome certifiée du VII^e siècle de notre ère, aujourd'hui disparue, vers 600-630, trouvée près d'Alexandrie dite felouque de Kellia. La première mention écrite est celle de Grégoire de Naziance dans un manuscrit de 880 environ, actuellement à la bibliothèque nationale de Paris¹³⁴.

En ce qui concerne la felouque et sa voile latine, elle apparaît donc vraisemblablement en Egypte avant le VII^e siècle, moment de sa première représentation, car elle est attestée en d'autres lieux de la Méditerranée orientale bien auparavant. La question que l'on se pose est de savoir si cette voile nous vient des arabes. Le fait qu'elle ait été très répandue dans l'Océan Indien n'implique pas obligatoirement une quelconque antériorité. Au contraire, l'iconographie antique des navires indiens, par exemple, montre des navires avec des gréements carrés. La représentation la plus claire de la voile latine évoluée figure sur la mosaïque de Kelenderis en Turquie vers le V^e siècle, étudiée en 2005 par Patrice Pomey. C'est la source la plus ancienne attestant de l'usage de la voile latine. La représentation est parfaitement explicite et montre deux navires à un mat dont l'un, au premier plan, avec une voile, non pas exactement latine, mais présentant une courte ralingue d'amure¹³⁵. Le mât est légèrement incliné sur l'avant et l'embarcation du premier plan montre un gouvernail latéral classique. Les deux bateaux montrent distinctement une ligne de ris, en haut de la voile, largués mais qui indique que l'on pouvait prendre des ris en serrant une partie de la voile contre l'antenne. Comme on le voit c'était déjà un gréement très évolué.

Ce qui doit nous occuper maintenant c'est de savoir si l'arrivée de la voile latine représente un progrès décisif en ce qui concerne la manœuvre du navire. Nous avons vu que la voile latine est légèrement supérieure quant à la remontée au vent. Cependant elle demande une manœuvre complexe et exige davantage de personnel. Ces deux types de voilure doivent, plutôt être considérées comme complémentaires que franchement concurrentes. Une histoire

¹³⁴ Paul Adam, *A propos des origines de la voile latine en méditerranée et dans l'océan indien. 6eme colloque international d'histoire maritime*, Paris, Sevpen, 1970.

¹³⁵ C'est ce que l'on appelle la voile arabe qui est une variante de la voile latine, alors que la voile latine est parfaitement triangulaire la voile arabe se présente comme un trapèze dont un des côtés verticaux celui qui est au vent (c'est-à-dire celui qui est amure) est très réduit par comparaison avec celui qui est sous le vent(donc muni du point d'écoute).

schématisée montre que la voile latine s'imposa en Méditerranée tout au moins, pendant le Moyen Age. La nef, qui fut le long courrier universel en Méditerranée, tant du côté occidental que musulman n'est jamais que le descendant direct de ce cargo à deux voiles apparu sous l'empire romain au III^e siècle, mais où les voiles latines ont remplacé les voiles carrées d'origine. Cependant, le Nord, scandinave, frison et hanséatique, à cette même époque médiévale, reste fidèle à la voile carrée. Les conditions locales expliquent, sans doute, ces choix. La prévalence des brises thermiques, pendant l'été, en Méditerranée entraîne l'obligation de longs bords de travers. Dans le Nord, la présence des courants de marée dans ces mers soumises à ce phénomène alternatif, bordées d'estuaires gigantesque véritables bassins des chasses naturels, fournit au navigateur des modes de propulsion certes alternatifs, mais toujours disponibles, quel que soit le vent. Ces courants permettent un déplacement, lent mais aisé, où le travail de la voile n'est qu'une aide à la navigation pour maintenir le navire au mieux du courant. C'est un début d'explication.

Les traditions, peut-être, sont une autre explication, mais il ne faut pas trop y croire. L'archéologie montre en Méditerranée une profusion de gréements tant carrés que latins. De plus, l'ouverture du détroit au XIII^e siècle voit un déferlement de navires carrés en Méditerranée qui s'inscrivirent dans le trafic général et connaissent un beau succès dans un marché de niche. La coque, puisque c'est d'elle dont il s'agit, dont l'origine est cantabrique se métisse rapidement pour donner un navire hybride, mélange des genres, une voile carrée, une voile latine sur le même bateau. Ce mélange prouve d'une part que les traditions ne valent qu'un temps et que d'autre part que ces deux gréements sont véritablement complémentaires. L'Avenir va consacrer ce choix, dès le XV^e siècle, il deviendra la règle pour les navires de long cours jusqu'à la fin de la voile commerciale au début du XX^e siècle.

En résumé, on ne peut pas dire que la voile latine est un progrès décisif par rapport à la voile carrée quant à la remontée au vent du voilier. Ce serait plutôt le mélange des genres qui est l'apport intéressant, chaque voilure apportant son point fort, la voile carrée aux allures portantes et la voile latine aux allures du près. Mais cette combinaison est tardive, pas avant la fin du XIV^e siècle avec la coque mixte, ancêtre de la caraque et surtout au XV^e siècle avec la caravelle. Cependant bien que les manœuvres aient progressé en agilité et rapidité les épisodes de vent contraires ne peuvent être affrontés que sous forme de vents variables et

encore pour des parcours très limités, la règle reste de faire route aux allures portantes ; ceci signifie pour les grandes navigations hauturière d'utiliser au mieux les possibilités de l'océanographie plutôt que la virtuosité manœuvrière.

Première partie, la navigation à vue

Chapitre Troisième

1-3.0 La navigation hauturière.

Nous avons vu avec Edrisi que la navigation côtière est une technique spécifique et efficace, si bien que pendant longtemps on pensait que les anciens ne s'en écartaient pas. En fait l'Histoire et même la Préhistoire montrent qu'il n'en n'est rien. Très tôt il faut traverser, il y a des îles et aussi des bras de mer ouvrant sur l'océan qu'il faut bien couper si on veut aller de l'autre côté et par là même, il faut quitter la terre des yeux. Mais lorsqu'il s'agit de traverser, Edrisi élude quelque peu ce problème. Nous remarquons encore une fois qu'il est entièrement prisonnier de ses sources. Il n'y a aucune mention de telles traversées à l'Est, à partir d'Alexandrie vers la Grèce ou inversement, de la Palestine vers l'Egypte. Elles sont pourtant courantes au XI^e siècle. Les assises de Jérusalem nous listent les marchandises, admises à Acre exemptées de droits de douane, parce qu'elles sont en remport pour Alexandrie. Mais les capitaines d'Edrisi ne fréquentaient pas ces routes. Finalement les traversées chez Edrisi sont courtes et n'appellent que peu de commentaires particuliers, elles s'effectuent uniquement dans le cadre décrit, c'est-à-dire entre l'Espagne et l'Afrique du Nord, Avec un régime d'Ouest dans cette portion de la Méditerranée, ces traversées Nord-Sud ne sont donc que des traversées de ferry ou traversier, des allers et retours, au vent de travers. Les marins d'Edrisi maîtrisaient parfaitement cet exercice simple. Nous l'avons vu dans le chapitre consacré à la navigation nilotique, dans sa remarque sur les ferries de Damiette. Mais le mieux est de le citer dans sa description des rares traversées hauturières qu'il décrit : « *La mer de Syrie, (la Méditerranée), qui baigne les côtes méridionales de l'Espagne, commence vers le couchant et se termine à Antioche. La distance qui sépare ces deux points est de 36 journées de navigation. Quant à la largeur de cette mer elle varie beaucoup; ainsi, par exemple de Malaga à a- Mazimma et à Badis, lieux situés sur la rive opposée, on compte une journée de navigation. En supposant un vent de force moyenne et favorable. A Almeria correspond sur l'autre rive Honain, et la distance est de 2 journées. Denia est située vis à vis de Ténès et la distance est de 3 journées. Enfin de Barcelone à Bougie, ville située en face sur la côte de l'Afrique moyenne, on compte par mer 4 journées. Or la journée de navigation équivaut à 100 milles.... L'île d'Ibiza est jolie et plantée de vignobles et produisant beaucoup*

de raisin; on y remarque une ville petite mais agréable et bien peuplée. Le point le plus voisin de cette partie du continent de l'Espagne est Denia, ville située à 1 jour de navigation. A l'Orient de cette île et à 1 journée de distance est l'île de Majorque, dont la capitale est grande et dont le prince gouverneur commande une nombreuse garnison et peut disposer de beaucoup d'armes et de ressources. Egalement à l'Orient on remarque l'île de Minorque située en face de Barcelone. A 12 journées de distance. De Minorque à l'île de Sardaigne on compte 4 journées de navigation ». On notera simplement que ces traversées Nord-Sud Edrisi les décrit en notant les ports par paires. Au port espagnol correspond son vis-à-vis en Afrique, ou vice-versa, dénommé comme « *le port en face* ». Nous remarquerons que le port africain est dans chaque cas situé chaque fois situé au Sud-Est du port de départ espagnol et non pas selon un axe Nord- Sud. Le port en face est donc le port que l'on atteint le plus vite, donc pas forcément le plus proche mais celui que l'on atteint après la traversée la plus rapide, c'est-à-dire, avec le réglage le plus efficace. Sur un navire à voile, celui-ci est réputé aller du grand largue au vent de travers, bien plus efficaces que le vent arrière¹³⁶. Avec un vent d'Ouest, le navire au largue court au Sud-Est d'où la définition du « port en face ».

Il y a donc des traversées qui s'imposent au marin ce sont celles qui s'effectuent au vent portant soit que l'on traverse au vent de travers et l'on établisse une navette entre deux ports, comme vient de nous le montrer Edrisi, soit que l'on saisisse l'opportunité de vents alternatifs pour effectuer la même navette en profitant de l'alternance pour effectuer la traversée retour. Mais traverser n'est pas naviguer, dans le premier cas le navigateur va là où le vent veut bien le mener et surtout le ramener. Si cela peut lui amener des opportunités de commercer, c'est tant mieux, mais cette opportunité est surtout une restriction des destinations possibles. D'après ce que nous venons de voir au chapitre précédent la navigation hauturière se fait toujours au portant. C'est ce que nous examinerons en deuxième partie, après consultation des sources. Mais s'il veut aller là où il sent le besoin d'aller, le navigateur a de

¹³⁶ La majorité des navires méditerranéens hauturiers ont deux voiles et sont dérivés des fameux cargos à deux voiles, cités par Synésios, sauf que les voiles carrées ont laissé la place à des voiles latines. Il y a une grande similitude entre les navires des occidentaux et ceux des arabes. Leur origine est commune, les arabes sans traditions marines ont accepté l'existant des autochtones, l'iconographie le confirme et les textes, en particulier les *Consulats de la mer* font foi de ventes de navires occidentaux au Maghreb puisque dans un article, la loi règle les détails des dispositions légales auxquelles ont droit les équipages de conduite, pour leur rapatriement en Occident après la vente.

Sur ces navires à deux mâts, l'allure du vent arrière n'est pas la meilleure, la voile arrière masque la voile située à l'avant, en tout ou en partie, car on peut pallier partiellement à cet inconvénient en mettant les voiles en ciseaux, mais dans tous les cas de figure c'est une allure délicate à tenir. La meilleure allure, c'est le grand largue, le vent de trois quart arrière. Les voiles sont encore perpendiculaires au vent, elles travaillent chacune au maximum et les deux d'une façon égale qui s'additionne.

fortes probabilités de trouver du vent contraire en quelque partie du parcours ou en quelque période de l'année bien définie. Il lui faudra donc trouver un moyen de ruser avec cette contrainte.

Nous allons commencer avec la traversée la plus spectaculaire mais pas forcément la plus difficile. La traversée du bassin de l'Océan Indien entre Aden et la côte de l'Inde est favorisée par deux faits, le premier est que cet espace est soumis à la mousson, vent alternatif soufflant la moitié de l'année du Sud-Ouest vers les Indes et l'autre moitié, inversement du Nord-Est, c'est-à-dire des Indes vers l'Afrique. L'autre facteur est que la côte des Indes se présente comme une barrière continue posée juste en travers de la mousson donc plus ou moins sur la route du navigateur, il n'y a aucun risque donc de manquer le sous-continent, même après une longue traversée. Si le vent vous porte dans la direction désirée c'est tant mieux, mais même dans ce cas, on ne peut lui demander aussi une précision extrême. Si on doit ruser avec le vent, nous verrons que le contrôle de la route à tenir est encore plus délicat. Il faudra bien retrouver en fin du compte la terre, mais où ? Voilà un premier problème, c'est l'atterrissage reconnaître au moins l'endroit de la côte où l'on arrive pour pouvoir, de ce point que l'on n'avait pas forcément choisi, aller au port que l'on s'était fixé. C'est le second problème à résoudre : arriver. Ils feront le sujet du troisième et quatrième et dernier point

En effet atterrir n'est pas arriver. Atterrir est un acte de navigation, c'est tout d'abord toucher terre en fin de traverser et deuxièmement la reconnaître. Arriver est accomplir un acte commercial c'est mettre le navire à quai ou au mouillage dans un port déterminé pour remplir les conditions d'un contrat de transport. Les conditions de l'arrivée dépendant donc des modalités du contrat de transport et en particulier des conditions de temps. Dans cette recherche il va falloir nous appuyer sur des textes pour essayer de débrouiller quelles sont les solutions que les marins ont trouvées. Edrisi dans ce domaine est vraiment trop laconique et il faut trouver d'autres auteurs, paradoxalement ils sont assez nombreux mais peu sont vraiment techniques ; nous les détaillerons au début des deux premières parties, mais ils nous serviront pendant tout l'exposé. D'où le plan suivant :

1-3.1 Les sources

1-3.2 Traverser au portant

1-3.3 Atterrir.

1-3.4 Arriver, la dimension temps

1-3.1 Les sources.

Nous avons plusieurs descriptions détaillées du commerce vers les Indes au départ de la Mer Rouge. Pline l'Ancien en parle un peu dans son livre VI de son livre Histoire naturelle, ouvrage antérieur, donc, à l'an 79 de notre ère. Un second ouvrage est un livre technique, directement relatif à cette même traversée. Il s'agit du Périple de la mer Erythrée. On le date du premier siècle de notre ère. Enfin un troisième ouvrage est relatif à une traversée analogue mais beaucoup plus longue, de Siraf jusqu'en Chine, traversée différente, certes, mais utilisant le même moteur, la mousson. C'est le voyage du marchand Soliman qui date du VIII^e siècle de notre ère. Nous allons nous appuyer beaucoup sur le périple de la mer Erythrée, Aussi est il bon d'analyser cet ouvrage. Rédigé en grec, entre la première moitié du 1^{er} siècle et le début du III^e siècle, certains le datent avec de bons arguments entre 40 et 70¹³⁷, c'est-à-dire quasi contemporain de Pline qui serait mort peu avant, lors de l'éruption du Vésuve. Tout d'abord ce n'est pas le périple le plus ancien. C'est un genre littéraire largement représenté dans la littérature antique, Casson cite Scylax, Arrien et Marcien d'Héraclée¹³⁸. Le premier connu est le périple du Pseudo-Scylax qui date de 521 avant notre ère où Darius 1^{er} aurait fait entreprendre par un des trois Scylax que l'on connaît dans le monde maritime, un voyage à partir du cœur du Pendjab actuel. Il aurait descendu la rivière Kaboul puis l'Indus jusqu'à la mer et longé les côtes du Baloutchistan. Puis, il aurait traversé le golfe persique pour atteindre les côtes d'Oman et ensuite celles de l'Hamadraout et enfin remonté la Mer Rouge jusqu'à Arsinoé près de l'actuelle Suez, où il existait déjà un canal jusqu'au Nil et la Méditerranée. Il avait donc ouvert « *la route pour aller du Nil jusqu'en Perse, en passant par Saba* » une formule que l'on peut trouver, inscrite sur une borne retrouvée à Suez. Le second, pour rester cantonné à la même région, est celui de Néarque, rapporté par Arrien, des bouches de l'Indus au Chatt al-arab tout le long de la côte Est du Golfe Persique jusqu'à Suse située dans un

¹³⁷ Lionel Casson. *The Periplus Maris Erythraei. Text with introduction, translation, commentary*. Princeton University Press, 1989. p. 6-7.

¹³⁸ Lionel Casson *Ibid.* p. 8.

affluent du Chatt el-Arab, soit, en gros, de Karachi au Pakistan à Khoramshar en Iran, au temps d'Alexandre, donc deux siècles plus tard.

a, le périple de la mer Erythrée

Pour en revenir à notre Périple, il s'agit de la description de deux périples distincts qui démarrent après un axe commun. Celui-ci est décrit par ailleurs dans le papyrus de Muziris¹³⁹. D'Alexandrie on remontait le Nil pendant 12 jours jusqu'à Coptos, au nord de Louxor sur 309 miles romains de 1479m. Soit 456 km puis vers Berenike par le désert sur 257 miles, soit 381 km, en 12 jours de caravane. Autre port important, Myos Hornos plus au Nord de Berenike et plus près de Coptos. En face, sur l'autre rive de la Mer Rouge, Leuke Come, relié par caravanes à Petra et au delà à Gaza et ceci jusqu'à la conquête de Palmyre par Trajan.

A partir de là, un premier périple est une description des côtes, à partir du port de Myos Hornos sur la Mer Rouge, rive égyptienne, vers le Sud, en suivant la côte, rive gauche, passant devant l'actuelle Massawa, descendant jusqu'au Cap Gardafui, la corne de l'Afrique, puis descendant de nouveau jusqu'au port de Rafah situé près de Dar-es-Salam au Kenya actuel¹⁴⁰. Il évoque, sans la décrire, la côte encore plus vers le Sud et, chose curieuse à noter en incidente, nous parle d'un passage vers l'océan de l'Ouest, donc il évoque le cap de Bonne Espérance. Un second trajet est décrit à partir de Leuke Come, port du Nord de la Mer Rouge, en face de Myos Hornos, desservant Petra et situé, donc, sur la rive asiatique. De ce port on descend la côte, en suivant le rivage de l'Arabie, puis, au détroit de Bab el-Mandeb, on continue en longeant la côte sud de l'Arabie. Arrivé au détroit d'Ormuz, on coupe le golfe persique à son entrée, pour poursuivre sur la côte de l'actuel Pakistan et descendant de proche en proche tout le long de la côte occidentale du Dekkan, on finit par arriver jusqu'au cap Comorin, le point le plus sud du sous continent indien¹⁴¹. A partir de là, l'auteur suggère la côte Est, sans la décrire en détail, jusqu'au Gange, en évoquant, même, l'existence de la côte

¹³⁹ Lionel Casson, *The Periplus...Op.cit* p. 13-14.

¹⁴⁰ Lionel Casson, *Ibid.The Periplus...Op.cit. The Text.* § 1- 18, p. 51-61

¹⁴¹ Lionel Casson, *Ibid. The Text.* § 19-60, p. 61-89

birmane et malaise et aussi semble-t-il la Chine¹⁴². Mais apparemment, l'auteur, qui connaît bien personnellement tout le premier trajet jusqu'à Rafah ainsi que le second jusqu'au cap Comorin, ne parle plus du reste que par ouï-dire.

Le texte a été écrit par un marchand, en langue grecque casuelle, celle précisément des marchands ; il décrit, très en détail, les marchandises qui peuvent être échangées dans chacun des ports évoqués, y compris les ports intermédiaires, les possibilités commerciales de chaque port, en particulier, il indique également s'il est nécessaire de se munir de cash, ou pas, selon les possibilités de troc ou non¹⁴³. Il s'agit donc davantage d'un livre du chargeur que d'instructions nautiques. Cependant le côté nautique n'est pas oublié, car sont mentionnés les points précis aidant à l'atterrissage, les distances à parcourir et, surtout, y sont répertoriées les fenêtres de départ pour chacun des voyages à entreprendre. Ces trajets sont des enveloppes maximales recouvrent, comme emboîtés, tels des poupées russes, plusieurs scénarios de voyages, certains sur toute l'étendue du parcours décrit, d'autres sur des portions plus limitées des « *ranges* » bien spécifiques (selon la terminologie du shipping moderne) : c'est-à-dire une portion plus restreinte de côte comportant plusieurs ports intéressants. Un *range* Nord de l'Indus au golfe de Cambaye, pour la soie et les tissus de coton, un *range* Sud, sur la côte des Malabars, pour le poivre et les épices. Des voyages, plus courts mais très courus, par exemple, jusqu'à Aden seulement, avec transbordement de cargaisons d'origine plus lointaines, ou bien un autre voyage limité jusqu'à Gardafui, pour collecter des carapaces de tortue, de l'encens et de la myrrhe. Tous ces divers scénarios supposent, pour chacun d'eux, une date de départ bien déterminée qui est soigneusement notée. Il s'agit en général de dates au plus tard. Pour le plus grand des voyages, celui du Sud¹⁴⁴ le Périple et Pline sont d'accord, on partait mi-juillet, première escale à Ocelis, puis le détroit de Bab el-Mandeb, 30 jours après, selon Pline. Il faut partir d'Ocelis en droiture sur Muziris, au nord de Cochin, ou mieux, sur Becare, un peu plus au Sud. C'est un voyage sans escales de 40 jours.

¹⁴² Lionel Casson, *Ibid. The Text.* §61-66, p. 89-93

¹⁴³ Lionel Casson, *The Periplus...Op.cit* p. 7-10.

¹⁴⁴ C'est celui pour lequel nous avons un manifeste des marchandises transportées : *le Papyrus de Muziris*.

Le voyage total, depuis Alexandrie, jusqu'à Muziris dure 94 jours. Nous notons que d'après ces calculs, tels qu'ils nous sont donnés, on arrive sur site nécessairement, avant la fin de la mousson de Sud-Ouest, mais peu de temps avant l'intersaison (sinon on n'arrive pas, le vent devenant contraire). Nous en concluons que ces dates limites n'intéressent que le voyage aller. Il faut éviter d'arriver dans la deuxième partie de la mousson de Sud-Ouest qui rend la mer non maniable. Toutes les autres périodes sont maniables, aussi, la date de retour n'est pas spécifiée, elle prend place, sans doute, dès que le navire a terminé ses opérations commerciales¹⁴⁵. Il suffit d'être rentré avant le départ du nouveau cycle, l'année suivante, à la nouvelle mousson de Sud-Ouest, ce qui laisse toute latitude pour rester sur la côte d'Inde. D'autres itinéraires différents de celui de Pline joignent Ocelis à Barbaricum, au débouché de l'Indus, près de Karachi ou vers Barygaza près de l'actuelle Broach dans le Gujarat. Ces deux ports étaient reliés à l'Asie centrale par l'Inde du nord¹⁴⁶, le Cachemire et l'Afghanistan. L'Inde n'était pas la seule destination, la Mer Rouge avec Adulis, Massawa, fournissait de l'ivoire et la corne de l'Afrique qui produisait alors du cinnamomum et de l'encens ainsi que de la myrrhe. Il en était de même de l'Hadramaout pays des sabéens. Le périple décrit Ceylan et quelques ports jusqu'à Pondichéry, ensuite il connaît l'existence du Gange, puis plus rien.

b, le voyage du marchand Suleyman.

¹⁴⁵ Le périple cite les ports d'Oman où l'on peut hiverner sans trop de soucis, sans doute si on a trop tardé pour prendre la bonne mousson, en attendant la renverse ou la reprise. C'est un accident majeur, car il suppose un hivernage de 7 à 8 mois, c'est-à-dire un an de retard dans la rotation globale. On comprend pourquoi l'auteur cite les marchandises courantes que l'on peut écouler dans n'importe quel port. De telles durées d'hivernage, et, d'une manière générale la durée de toute des escales commerciales normales suppose un minimum de commerce, au jour le jour, sur place, ne serait-ce que pour subsister. L'équipage ne manquait pas lui-même d'embarquer quelques marchandise pour commercer pour son compte c'est l'origine de la pacotille catégorie douanière bien connue. D'ailleurs la quantité autorisée à embarquer était statutaire.

La présence des vestiges de ces marchandises posent un problème archéologique. De telles marchandises, telles les poteries, n'exigeant qu'un financement des plus réduits et d'un écoulement facile, n'importe où, introduisent un biais dans l'archéologie moderne, les tessons trouvés sont bien une preuve d'origine et de destination des trafics et des indices de fréquentation, mais, pas forcément, la preuve d'un commerce *per se*, il s'agit plutôt d'un petit commerce opportuniste greffé sur un courant commercial à définir, mais dont les traces ne sont pas aussi évidentes que des tessons, totalement non recyclables.

¹⁴⁶ C'était donc par là qu'arrivait la soie chinoise. Cette soie au début de notre ère arrivait partie par mer directement de Chine et partie indirectement par l'Asie centrale. L'armée chinoise se fournissait en chevaux au Ferghana, leur pays trop intensément cultivé manquait de grands espaces qui abondaient dans les steppes de l'Asie centrale. Le Ferghana était payé en soie qui servait à son tour de moyen de paiement pour des achats d'épices et de tissus de coton indiens. Malgré ce circuit compliqué les riches romaines se couvraient de soie payée en or, car les romains n'avaient que peu de produits capables d'intéresser les indiens. Pline fulminait contre ces sorties qu'il jugeait colossales. Cette complexité dans l'échange faisait que les romains acheteurs de soie n'avaient aucune idée précise quant à sa provenance et même de sa nature exacte. Ils pensaient qu'on la cueillait dans les arbres.

L'autre document que nous possédons est un document arabe qui décrit la voie maritime vers la Chine qui était connue et pratiquée par les Perses avant l'ère musulmane. Si les marins d'Alexandrie et ceux d'Arabie allaient directement en Inde et à Ceylan; les Indiens visitaient toute l'Inde et l'Indonésie¹⁴⁷. L'Empire romain entretenait des relations directes avec l'Inde et Ceylan jusqu'au déclin passager que subit l'Empire du II^e siècle. Mais en 260 de notre ère les Perses sassanides infligèrent aux Romains une défaite plus lourde que celle des Parthes, s'emparèrent de l'empereur Valérien et déportèrent toute la ville d'Antioche¹⁴⁸. Ces Sassanides construisirent une puissance navale et commerciale qui allait d'Aden, qui devint un port perse, jusqu'en Chine. On en trouve des témoignages écrits par la plume des pèlerins chinois. En particulier, Faxian, voyagea en suivant une branche sud de la route terrestre de la soie, en 399/400. Son nom de famille est Gong. Moine bouddhiste à 20 ans, il partit à 25 pour l'Inde, car c'est par le travail des traducteurs que le bouddhisme progressa en Chine à partir du 2^e siècle. Après être resté 14 ans en Inde et en Asie centrale à la poursuite du Vinayapitaka, il le trouve enfin et le recopie ; il s'embarque cette fois pour la Chine à l'embouchure de l'Hougli et en 14 jours de navigation atteint Ceylan. C'était un haut lieu du bouddhisme, il nous la décrit comme le paradis des commerçants de toutes nationalités ; il y séjourna 2 ans et rentra en Chine sur un grand navire persan, hébergeant plus de 200 hommes qui eut des malheurs nautiques. Il leur fallut 5 mois pour toucher Java où ils restèrent 5 mois, sans doute en attente de la mousson, car à Java point de bouddhistes mais des brahmanistes. Au départ, nouvelle tempête, les marchands du bord, hindous, veulent le débarquer, lui qui avait sauvé ses livres du jet à la mer; il échappe à cela, mais c'est pour se retrouver 70 jours après le départ avec ses compagnons de voyage sans vivres et eau et perdus. Ils cherchèrent la terre et encore après 12 jours de mieux, ils atterrissent enfin au Sud de la presqu'île du Shandong alors qu'on voulait aller à Guangzhou. C'était en 413. Différence de latitude de 34° 40' au lieu de 23° 06'. soit 694 nautiques. Ces 1285 km. d'incertitude dans la position nous laissent

¹⁴⁷ Il exista une véritable thalassocratie de civilisation hindouiste qui englobait l'Inde du sud et Ceylan, le royaume du Champa au sud Viet-Nam, le Cambodge, Siam, Malaise et Birmanie y compris de nombreuses principautés à Java et Sumatra jusqu'à Bali, Il y eut donc une civilisation maritime et ses techniques particulières qu'Ibn Majid appelle la science nautique *cholo*..

¹⁴⁸ Cette déportation est à l'origine de la dissémination des chrétiens en Asie centrale, c'est en raison de ce christianisme exotique que le Pape et Saint Louis envoyèrent des émissaires auprès des mongols qui connaissaient et appréciaient ces chrétiens nestoriens et sogdiens.

réfléchir à l'imprécision de cette navigation au long cours effectuée sans instruments. Les Arabes en fondant l'Empire abbasside ont opéré un condominium de fait arabo-pers et y ont incorporé tout l'héritage sassanide y compris cette navigation qui de perse est désormais qualifiée de musulmane incorporant dans les mêmes flottes de Basrah, Siraf ou Oman, Arabes et Perses tous arabophones à cette époque¹⁴⁹.

En ce qui concerne ce second texte relatif à cette longue route, il s'agit en fait de deux textes réunis, par les hasards de l'édition en un seul manuscrit. Il est également connu comme le voyage du marchand Sulayiman, car dans le texte ce marchand est cité comme une source d'informations. Daté de 851 par les spécialistes, il est immensément connu dans le monde musulman et a été copié par beaucoup d'auteurs traitant de géographie et, en particulier, par l'un des plus fameux d'entre eux, al-Mas'udi. D'autres l'attribuent à Abu Zayad al-Sirafi car al-Mas'sudi qui s'en est inspiré cite ses sources et dit qu'à Basrah où il le rencontra, c'est Abu Zayad qui, originaire de Siraf, comme son surnom l'indique, qui lui a fait connaître l'ouvrage, qu'il avait, d'ailleurs, augmenté. Mais le livre de al-Mas'udi qui date de 953, contredit cette hypothèse, car le document qui nous est parvenu est acéphale, il lui manque donc l'introduction qui contient, traditionnellement le nom de l'auteur et la date de sa rédaction. Abu Zayad qui l'a eu, lui-même, en main, confie qu'il a lu cette date de 223, ère de L'Hégire. Datation très précise donc, mais antérieure d'un siècle à al-Mas'udi. Il s'agit de *l'itinéraire des navires d'Irak jusqu'en Chine* suivi de et joint à *Informations sur l'Inde et la Chine*¹⁵⁰, parfois aussi connu comme *documents sur l'Inde et la Chine* qui reste donc un document anonyme. Ces deux textes sont différents de nature. Le premier est véritablement un périple, le second une description ethnographique, principalement de la civilisation chinoise. Le premier texte est un texte important pour l'histoire de la navigation et en particulier pour la navigation hauturière¹⁵¹.

¹⁴⁹ Les perses du temps des abbassides sont devenus arabophones, pour l'élite tout du moins. Ils sont redevenus officiellement à leur langue d'origine lorsque la domination mongole les a coupés de l'espace mésopotamien resté arabe.

¹⁵⁰ A ne pas confondre avec *Merveilles de l'Inde et de la Chine* qui concerne un recueil de contes et de récits maritimes attribués au capitaine Buzurg et relatifs à des événements, les uns vécus, les autres merveilleux, survenus dans les mêmes parages.

¹⁵¹ Jusqu'à présent en occident nous connaissons surtout la navigation en Méditerranée. D'autres navigations ont existé concurremment dans les mers du nord, mais nous avons moins de témoignages. En ce qui concerne les

C'est le premier document qui atteste de cette présence musulmane en Chine. Nous sommes donc à l'apogée d'un trafic centenaire qui va jusqu'à Canton. Il va subir son coup d'arrêt justement presque à la même date de parution. En 875, un dissident chinois massacra 120 000 musulmans, dit-on, à Canton et ruina la ville en rasant les mûriers. C'est en raison de cette ruine totale que les historiens arabes expliquent le repli du commerce musulman sur la presqu'île de Malacca. Ils se trompent, à notre avis. La raison est plutôt à chercher du côté de la mise au point par les Chinois, à partir du VIII^e siècle de la jonque de mer, redoutable machine à naviguer qui élimina sur cette ligne longue les bateaux arabes. Ceux-ci étaient modestes de taille, et ne marchaient qu'à la voile, c'est ce que confirme Marco Polo quand il visite Ormuz. La jonque, magistralement décrite par Ibn Battuta, marchait aussi bien à la voile qu'à l'aviron (ou plutôt à la godille) et pouvait couvrir le voyage d'Ormuz à Canton en 10 mois, naviguant donc pendant l'inter mousson, tandis que le boutre devait hiverner 6 mois pendant la mousson contraire et de ce fait, avait besoin de 18 mois pour faire le même trajet. Ce document l'explique bien.

Il confirme que les jonques chinoises¹⁵² venaient déjà charger à Siraf, puisque ce port existait encore, il ne fut détruit qu'en 977 par un tremblement de terre. Ici l'auteur énonce une impropriété, en effet il explique que les jonques n'allaient pas plus loin car le tirant d'eau était trop fort pour remonter jusqu'à Basrah. Il faut chercher ailleurs l'explication car Basrah, qui n'a pas changé de place depuis, accommode, dans le Chatt el-Arab qui coule au milieu de la ville, des navires modernes de 20.000 tonnes et plus, sans problèmes majeurs, sauf au printemps où il y parfois des engraissements subits et passagers des bancs. K.N. Chaudhuri, l'explique plutôt par le fait que ces ports différenciés (Aden et Djedda, ou bien Ormuz et Siraf) sont les points correspondants à différents rayons d'action des navires¹⁵³. C'est un peu l'explication d'Ibn Majid qui explique que la mousson ne porte que jusqu'à Djeddah et

navigation hauturières, nous n'avons que la navigation romaine aux Indes et celle des Norvégiens en Islande. Cette dernière est d'ailleurs contemporaine de ce document, 828, arrivée des Norvégiens en Islande. Voici donc un document qui va élargir un peu nos connaissances.

¹⁵² *Voyageurs arabes, Op.cit.* p. 7

¹⁵³ K.N. Chaudhuri. *Trade and Civilisation in the Indian Ocean. An Economic History from the rise of Islam to 1750.* Cambridge University press. Cambridge; London. New York. New Rochelle. Melbourne. Sydney.

seulement pendant trois mois, contrariée par le vent de Nord, habituel en Mer Rouge. Il se produit dans le Golfe Persique le même phénomène qu'en Mer Rouge, la mousson ne reste opérationnelle pour ces jonques (qui ne remontent absolument pas au vent) que, pour une partie du parcours total. Les ports de Siraf dans le golfe et de Djeddah en mer rouge, marquent les limites de progression à la voile des navires de mer. A partir de cette limite, la navigation change de nature car les fonds deviennent coralliens. Les marchandises doivent transborder dans deux ces ports sur des unités plus légères et spécialisées dans cette navigation côtière pure très spéciale, à raser la côte pour profiter des alternances et obligées de jouer avec les récifs. Il s'agit d'un genre de navigation très spécifique décrite par Ibn Jubayr¹⁵⁴ et Ibn Battuta et aussi Ibn Majid, domaine exclusif de marins spécialistes pointus de cet exercice délicat, ce que ne peuvent se permettre les chinois et leurs lourdes jonques. Ceci est confirmé par les expéditions du chinois An Zhee, bien plus tard sous les Mings, qui alla en Mer Rouge jusqu'à Djeddah précisément.

Maintenant, il nous reste à exploiter ces sources, afin de mettre en évidence les méthodes qu'employaient ces anciens navigateurs pour se diriger vers les ports qu'ils désiraient atteindre. Il y a trois démarches dans cette quête, d'une part il faut déterminer un cap à suivre et les moyens de s'y tenir (**traverser**), ensuite, la côte étant atteinte, il faut déterminer quel est le point que l'on a atteint (**atterrir**), et enfin, si on n'a pas atterri exactement au port désiré, comment atteindre ce port (**arriver**).

1-3.2 Traverser au portant. L'allure et le cap

Mais d'abord comment le navire pouvait-il déterminer la direction à prendre. Jusqu'à présent nous n'avons jamais parlé de cap ou même de l'orientation géographique des vents.

Pour en revenir au premier cas de figure, c'est-à-dire, celui du voyage aux Indes décrit par le Périple, nous négligerons toute la partie qui a trait à la traversée vers l'Afrique, car il s'agit

¹⁵⁴ *Voyageurs arabes, Op. cit.* p.105-106

uniquement de navigation côtière. Même si la côte est mal connue dans le détail, il suffit de la suivre des yeux, de plus ou moins loin, sans trop se préoccuper des réglages sinon pour ne pas trop se rapprocher de terre ni la perdre de vue. C'est la partie qui concerne le voyage aux Indes qui nous intéresse ; il s'agit là de véritable navigation hauturière. En l'absence de boussole, le pilote ancien n'a qu'une référence, c'est le vent. Dans le cas particulier de la mousson, la direction est immuable. Voici les conseils de l'auteur au départ d'Aden. « *Voici donc la route côtière dans tous ses détails depuis Kanê ou Eudaimon Arabia. Les marins, autrefois, la suivait dans leur navigation sur des petites embarcations en suivant la courbure des baies. Mais le capitaine Hippalos, en localisant les ports du commerce et en fixant la configuration de l'océan fut le premier à découvrir la route du large.... Dans ces parages les vents que nous appelons étésiens soufflent saisonnièrement depuis l'océan et c'est ainsi qu'un vent du Sud-Ouest apparaît dans l'océan indien. Cependant, on l'appelle selon le nom de celui qui a découvert comment passer en coupant au plus court. C'est pourquoi de nos jours on quitte la côte à Kane ou au Cap des épices et celui qui veut cingler pour Limyrike s'en va avec le vent à la hanche pour la plus grande partie du parcours, sauf ceux qui vont à Barygaza ou vers les ports de Skytia (le Sind) qui gardent cette allure 3 jours pas plus, sinon les autres (ceux qui vont vers Limiryke) continuent ainsi tout du long, le reste du voyage, à ce même cap, au large de la côte en haute mer, traversant l'océan bien au large des terres, ils by-passent les baies que nous avons mentionnées(lors de la description de la route côtière¹⁵⁵)* » Explicitons : il y a en fait deux routes, pour schématiser nous dirons celle du poivre et celle de la soie. Celle du poivre c'est celle de l'Inde du Sud, celle de la soie c'est celle de l'Inde du Nord, des bouches de l'Indus au golfe de Cambay. La soie chinoise y arrive d'Asie centrale où elle a été troquée contre la fourniture de chevaux de cavalerie. Cette soie sert à son tour de monnaie d'échange pour l'achat d'épices locaux ou importés par cabotage, dans les ports du Gujarat et des bouches de l'Indus.

C'est paradoxalement la plus longue celle de l'Inde du Sud qui est la plus simple à suivre, il suffit de courir une seule et longue bordée d'Aden avec *le vent à la hanche*, c'est-à-dire entre travers et large. Evidemment l'auteur est un marchand et pas un marin, il ne peut parler en détail de ce réglage, seul un pilote le pourrait, encore faudrait-il qu'il le veuille bien, car c'est vraisemblablement son secret et son gagne-pain et, de toutes manières, chaque bateau a sa propre personnalité technique. En ce qui concerne la route du Nord la route est plus complexe,

¹⁵⁵ Lionel Casson, *The periplus... Op.cit.*; §57 p.87.

elle exige un changement du cap à suivre en cours de route. D'après les indications de l'auteur, les marins partent sur les mêmes bases que dans le cas précédent pour s'éloigner des côtes d'Arabie et de ses dangers. Ils prennent ainsi du champ par rapport à la côte de l'Hadramaout et tournent au large « au chrono » après avoir navigué cap au large *3 jours pas plus*. Ils vont ainsi suivre de très loin, hors de portée de vue, cette côte qui est par le fait sous le vent et dont il faut donc se méfier. Recevant le vent de tribord, ils ont tout le champ libre en cas de dérive exagérée qui les porterait trop à terre. On suppose que le délai de 3 jours, pas plus, est un fait d'expérience et les fait atterrir droit sur Barygaza ou le golfe de Cambay.

Puisque ces indications sont le fruit de l'expérience, tout ce savoir accumulé a une histoire qui nous est inconnue. Pline supposait également que les navigateurs antiques avaient commencé par suivre la côte Sud de la péninsule arabique, puis après avoir coupé au plus court c'est-à-dire en traversant le détroit d'Ormuz auraient trouvé le sous-continent indien et descendu au cours des âges de plus en plus Sud jusqu'à atteindre Muziris et l'extrême sud de l'Inde. Malheureusement nous ne connaissons pas ses sources et ceci nous semble plutôt une explication qui semble logique à Pline, car réalisable pour le marin qu'il était. C'est la démarche qu'il choisirait si le problème se posait à lui personnellement en ces termes : Comment aller à Muziris si on ne connaît pas la route. Bref nous le soupçonnons fort d'écrire l'Histoire telle qu'il l'aurait faite lui, mais pas forcément comme elle s'est faite. Pour l'auteur du Périple c'est Hippalos qui a découvert la route. Casson pour sa part note que Strabon mentionne un voyage de découverte par un certain Eudoxus de Cyzicus aux alentours de 116 avant notre ère qui daterait selon lui les premiers voyages aller et retour sur les Indes¹⁵⁶. Il semble bien que dès le 1^{er} siècle avant J.C., Aden soit devenu une plate forme commerciale qui recevait des produits d'Inde et de Chine et les redistribuait par caravanes vers le Moyen-Orient romain. C'est ce qui incita les Romains à tenter une expédition de conquête en -26, sans lendemain, mais en tout cas avant que les premiers sujets romains, les grecs d'Alexandrie, n'entreprennent leurs premiers voyages.

Bref, nous n'en sommes, là, qu'à des supputations, mais nous notons qu'au temps du Périple, les marins grecs connaissaient, non seulement, la route, mais plutôt, les routes des Indes,

¹⁵⁶ Lionel Casson *The periplus...Op. cit.* p 11-12

puisque'ils fréquentaient des régions indiennes aussi éloignées les unes des autres que l'embouchure de l'Indus et Babaricum, le golfe de Cambay avec Barygaza et les côtes de Malabar autour de Muziris. Notons qu'aucun des documents dont nous disposons ne nous indique le détail de ces réglages. Il est vrai qu'aucun n'est l'œuvre d'un pilote, lesquels devaient garder leurs secrets pour continuer à en vivre et, d'autre part étaient bien incapables sans doute de rédiger de tels documents.

L'auteur du Périple n'est pas prolix en ce qui concerne les détails des routes, le marchand Suleyman est quant à lui totalement muet sur ce sujet. La raison est que son récit est la description d'un voyage virtuel. Personne ou presque n'a fait le voyage du Golfe Persique jusqu'en Chine. Un texte est très clair sur ce sujet. Il s'agit des récits du capitaine Buzurg¹⁵⁷. Nous n'avons pas retenu ce récit car, d'une part, ce n'est pas un récit de voyage, mais des récits qui semblent avoir été collationnés dans un manuscrit afin d'en faire un ouvrage de littérature distrayante de facture très romanesque. Les divers récits qui le composent semblent provenir d'auteurs divers et en tout cas d'inspiration très diverses. A côté de récits au limites du fantastique et du merveilleux qui rappellent la littérature des mille et une nuits et les aventures de Sinbad le marin dont l'intérêt documentaire est nul, on trouve quelques rares textes, en fait 4, qui paraissent avoir eu des gens de mer pour auteur, marchands certainement, car l'intérêt documentaire qui est grand concerne principalement des arrangements commerciaux que l'on peut y trouver. C'est ainsi que l'on y trouve exposés les détails de l'avarie commune y compris, chose la plus importante, les raisons du jet à la mer que l'on cherche en vain dans tous les textes juridiques spécialisés qui le précèdent ou même le suivent, y compris le Digeste et les Basiliques. On y trouve également des détails intéressants sur les arrangements contractuels entre capitaines et commerçants chargeurs et même une description, criante de vérité, d'une tempête tropicale, pour ne pas dire un typhon, mais absolument rien sur notre sujet, la route. Simplement, il y est expressément dit que très peu de capitaines ont l'occasion de parcourir cette longue route tout du long et que les navires arabes l'accomplissent par segments. Les navires et donc les capitaines se spécialisent sur telle ou telle partie du parcours entre les emporia qui constituent autant d'escales qui jalonnent cette longue route. Ce que note notre texte, sujet de la présente étude, c'est que les navires chinois vont de Siraf en Chine, il ne dit rien des bateaux musulmans. Ceci sera

¹⁵⁷ Les merveilles de l'Inde et de la Chine

confirmé par Ibn Battuta, seuls les bateaux chinois sont capables de faire tout le trajet en un seul voyage.

1-3.3 Atterrir.

Traverser est une bonne chose mais il demeure cependant un problème important lié à l'incertitude de la position. Chaque méthode de traversée entraîne ses propres causes d'incertitude dans la position. La manière dont les marins ont répondu à ces défis, diffère également suivant ces mêmes méthodes. C'est ce qui apparaît dans les rares informations précises qui nous sont parvenues. C'est donc la qualité et la précision des documents accessibles qui vont guider notre exposition de ces problèmes. Nous irons du plus vague au plus explicite.

A- Atterrissage par tentatives itératives. Les silences d'ibn Jubayr.

C'est ibn Jubayr qui décrit le mieux cette méthode itérative qu'il a vu employée par, au moins, deux capitaines au cours de son voyage de retour, mais il reste sans explications sur les moyens de préciser les atterrissages. Ces tentatives têtues, se traduisant par un jeu constant d'allées et venues répétées, ne sont pas faites pour clarifier la situation et le navigateur risque d'être rapidement perdu. Il est peu probable qu'il aperçoive la terre là où il s'attendait à la voir et surtout celle qu'il s'attendait à voir. On arrivait donc sur une côte mais où ? Ibn Jubayr n'est d'aucune ressource en la matière, il n'affirme que ce qu'il entend dire par les marins. On lui affirme que la terre aperçue est la Crête ou bien la Sardaigne ou bien la Sicile, mais apparemment on ne lui a pas dit pourquoi le capitaine pense que c'est la Sardaigne et pas la Sicile que l'on aperçoit, après avoir du battre en retraite devant le vent contraire. Il faut donc se rabattre sur le Périple et l'ouvrage de l'anonyme sur la route de Chine ; ces deux ouvrages malgré leur faiblesse technique nous expliquent comment s'y retrouver. Et pourtant l'amplitude de ces mouvements browniens est gigantesque. Laissons la parole à ibn Jubayr lors de son voyage de retour (dernier épisode, de Sicile en Espagne) : « *Nous revînmes à notre point de départ, au port de l'île au Moine où nous arrivâmes dans la nuit du mercredi 24 dhû*

al-hijja. Nous appareillâmes de nouveau dans l'après-midi du vendredi suivant, sans les autres navires. Un vent violent nous harcela qui détourna le bateau de sa route. Le dimanche matin 27, nous étions à la pointe de l'île de la Sardaigne. Nous venions donc de la longer sur plus de 200 milles. Nous nous réjouîmes grandement. Le navire avait parcouru en un jour et deux nuits plus de 500 milles. C'était vraiment extraordinaire ! Alors le vent favorable s'apaisa, puis souffla un vent qui nous amena dans la nuit du dimanche 28¹⁵⁸ (1er avril) vers la cote d'Ifriqiyya. Nous mouillâmes lundi, dans l'île de Jalita (Galeta) – île déserte, jadis habitée dit-on¹⁵⁹. » Autrement dit : partis de la pointe occidentale de la Sicile, cette île est sans doute l'île Egadi à 17 km. à l'ouest de Trapani, ils arrivent à la pointe sud de la Sardaigne qu'ils remontent un peu. Ils ont couvert 500 milles génois, soit 750 km. ce qui correspond grosso modo à la réalité, puis, ils repartent complètement au Sud, puisqu'ils arrivent à mouiller derrière la Galite, gros caillou isolé, près des côtes de Tunisie à 200 km. exactement au Sud de la pointe sud de la Sardaigne. Visiblement, il ne fait que répéter ce qu'on lui dit, le détail des 500 milles est significatif. Donc, il ne nous sert pas à grand-chose, la seule chose qu'on ne lui ait pas dite, c'est comment a-t-on su qu'on était à la Galite et non pas à Marettimo ou Ustica, îles au large de la Sicile.

B- Atterrissage au terme d'une traversée en droiture, l'atterrissage selon le Périple.

Tout d'abord, en ce qui concerne le cas de ceux qui ont la chance de traverser en droiture, l'incertitude due à l'imprécision de leur course est gigantesque. Nous avons vu que la précision de la route avoisine le quart, soit 11,25 degrés, soit transformé en radian, (à 57,4 degrés le radian), dans le cas où l'usage du compas permet de quantifier le cap, ce qui donne une ouverture de l'angle d'incertitude de un vingtième de radian. Autrement dit, l'incertitude à l'arrivée est de 20% de la distance parcourue. Un navire romain, qui traversait vers les Indes, après 2000 kilomètres de course, ne pouvait espérer faire mieux que de préciser son point d'impact sur la côte indienne qu'à 400 kilomètres près.

Le Périple, quant à lui, pose quelques problèmes qui ne sont pas explicités et auxquels on ne peut répondre que par des hypothèses. En effet, il faut avouer que la lecture de cet ouvrage

¹⁵⁸ Apparemment les dates commencent la veille au soir car le dimanche matin est le 27 mais la nuit du dimanche au lundi est le 28.

¹⁵⁹ Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes...Op. cit.* p.365-366

nous a laissé perplexes. Alors que l'on attend plutôt à une description physique des côtes, ainsi que le fait Edrisi dans son ouvrage, on trouve là, une description des côtes indiennes, uniquement traitée du point de vue de la géographie économique et politique. Il s'agit, là, d'une énumération, dans l'ordre géographique, des ports principaux, des princes qui les régissent, de l'état dans lesquels ils se trouvent, en paix ou en guerre avec leurs voisins et enfin des différentes commodités que l'on peut y négocier et des modalités d'échange à savoir ce qui est vendable ou pas sur place. La question qui intéresse particulièrement l'auteur est de savoir si le troc est possible. On le comprend, sinon il faut payer en espèces et donc les prévoir au départ.

Bien que Lionel Casson, qui en a fait une traduction en anglais parle, d'instructions nautiques, il n'en remarque pas moins que l'auteur est un négociant non un marin et, en effet, on penserait plutôt à un autre genre de littérature professionnelle¹⁶⁰ : ce ne serait pas *un livre d'instructions nautiques* mais plutôt *un livre du chargeur*. Ce type d'ouvrage dont le plus bel exemple médiéval est la *practica della mercatura* écrit par Pegolotti en 1340¹⁶¹, ne s'adresse qu'aux marchands. A l'époque de Pegolotti, il s'agit d'informations concernant les monnaies et des changes, de tableaux comparatifs des poids et mesures courants en usage dans les ports identifiés et de listes de denrées et surtout de leur spécificité locale au point de vue de la qualité. Le négoce de cette époque consistait surtout dans un négoce direct effectué par un acheteur qui se déplaçait sur place et non plus, comme le plus souvent aujourd'hui, dans un négoce traité à distance sur des produits standardisés. Ce type de commerce survit toujours pour quelques produits dont les standards sont trop difficiles à définir. Il était la règle dans l'antiquité et au Moyen Age, nous aurons l'occasion d'en reparler lorsque nous traiterons dans la conclusion générale de la coque et surtout des raisons de son succès au XIV^e siècle.

Pour en revenir au Périple, c'est la lecture du journal de Christophe Colomb, qui nous a fait saisir comment ce Périple fonctionnait en tant qu'instructions nautiques. En effet, lors du retour de son premier voyage, la caravelle de Colomb séparée de celle de Pinczon par le

¹⁶⁰ Lionel Casson *The periplus...Op. cit* p.8: « Le titre périple de la Mer Erythrée est trompeur, car cet ouvrage n'est pas du tout comme les autres périples qui nous sont parvenus tels ceux de Scylax, Arrien, Marcien d'Héraclée etc. Ceux-ci étaient d'abord des guides pour marins tandis que le périple de la mer Erythrée est surtout un guide pour marchands. »

¹⁶¹ Francesco Balducci Pegolotti, *La pratica della Mercatura*, edited by Allan Evans reprint New York 1970.

mauvais temps se retrouve aux Açores, après un épisode de mauvais temps prolongé. Incapable, de ce fait, de procéder à une observation de la polaire pour préciser l'atterrissage, Colomb est dans le doute le plus total, quant à sa position ; Le vendredi 15 février : « ...après le lever du soleil ils virent la terre , elle leur apparut à l'avant à l'Est-Nord-Est ; les uns disaient que c'était l'île de Madère, d'autres que c'était le rocher de Sintra au Portugal, près de Lisbonne (Le cap Roca, juste au nord de l'entrée de la mer de paille, rade de Lisbonne) le vent tourna ensuite sur l'avant à l'Est-Nord-Est et la mer devenait très grosse par l'Ouest, la caravelle était alors à 5 lieues de distance de terre. L'Amiral par sa navigation, se trouvait être en présence des îles des Açores et croyait que ceci était une de ces îles. Les pilotes et les marins se seraient déjà trouvés en terre de Castille¹⁶²... ». En ce qui concerne sa propre navigation, il se vante, il fait porter la faute de l'incertitude sur les autres (c'est son côté agaçant qui lui est assez coutumier) en fait il n'est sûr de rien, la suite va abondamment le démontrer. Il passe le week-end à tirer des bords pour ne pas quitter la terre de vue sans pouvoir aborder en raison du mauvais temps pour arriver enfin au lundi 18 février : « Depuis hier au coucher du soleil, il courait en donnant du tour à l'île pour voir où on pouvait mouiller et **prendre langue**.¹⁶³ » Enfin le mot est lâché : quand on ne sait pas, on demande... Et c'est ce qu'il finit par pouvoir faire, ce même jour : « Après le lever du soleil il arriva de nouveau à la partie du Nord de l'île (il en faisait le tour depuis la veille) et là, où ça lui parut possible, il mouilla une ancre , il envoya la barque à terre et **ils purent parler avec les gens de l'île et surent, alors, qu'il s'agissait de l'île de Sancta Maria, aux Açores et ils (les îliens) leur montrèrent le port où ils leur fallait mettre la caravelle, et ces gens ajoutèrent que, jamais ils n'avaient vu un temps aussi affreux que ces quinze derniers jours etc**¹⁶⁴. ». L'affaire nous paraît entendue bien qu'il affirme par deux fois dans le texte être sûr de se savoir aux Açores¹⁶⁵, il lui a fallu un grand week-end de quatre jours et beaucoup d'efforts à bourlinguer contre le vent pour être certain de sa position, parce que, finalement, on la lui avait indiquée.

¹⁶² Jose Martin Lopez , *El viaje del Descubrimiento...* Op.cit. p. 217

¹⁶³ Jose Martin Lopez, *El viaje del Descubrimiento...* Op.cit. p. 218

¹⁶⁴ Jose Martin Lopez , *Ibid.* p. 218

¹⁶⁵ Il faut aussi comprendre Colomb, ce texte est un rapport de voyage à remettre à ses commanditaires, les rois catholiques, un peu de publicité bien comprise fait partie de l'exercice du genre. Il est plutôt facile et sans frais d'avoir prévu ex ante ce que l'on a pu vérifier ex post. On le surprendra plusieurs fois la main dans le même sac.

Ce qui apparaît clairement dans cette narration c'est que le renseignement auprès des naturels du lieu est une méthode pour préciser sa position à l'atterrissage. C'est, en incidente, l'exemple parfait du cas où, ce que nous avons appelée la projection arrière peut être pris en défaut. Cette méthode, d'une évidence brutale, laisse un marin moderne sans voix et le prend complètement à contre de tout ce pourquoi il a été formé : la navigation est une méthode qui permet de déterminer la position du navire d'une façon indépendante. Ce n'est pas le cas pour Colomb. En tout état de cause, pour en revenir au Périple, et en restant dans le même esprit, le nom du prince est un excellent indice pour déterminer l'endroit où l'on se trouve. Quel est le pêcheur trouvé en mer assez primitif pour ne pas connaître le nom du prince qui le gouverne ?

C- En ce qui concerne le document arabe sur le voyage sur la Chine.

Sur les solutions apportées à cet énorme problème, le document sur la Chine est le plus explicite, et curieusement c'est pour le plus long voyage que la méthode est la plus évidente.

Ce document comprend deux fascicules, n'a pas de titre ni de date de rédaction, car la page de garde manque, seulement celle de la copie qui nous est parvenue. G. Ferrand à sa traduction de 1922 a donné le titre suivants : *Voyages du marchand arabe Sulayman en Inde et en Chine rédigé en 851, suivi de Remarques par Abu Zayd Hasan (vers 916)*. J. Sauvaget en 1948 a établi et traduit le texte qu'il intitule simplement *Documents sur la Chine et sur l'Inde* qu'il faut se garder de confondre avec un second ouvrage *les merveilles de l'Inde* connu aussi sous le titre *Les voyages du capitaine Buzurg* qui date de 956 et qu'il a augmenté de précieuses annotations. Nous préférons le titre donné dans la traduction la plus récente par Paule Charles-Dominique datée de 1995. Les deux titres (un par fascicule ont le mérite d'être très explicites sur leur contenu. Elle a intitulé le premier fascicule *Itinéraire des navires d'Irak jusqu'en Chine* qui est le fascicule maritime et le second fascicule est intitulé *Informations sur l'Inde, la Chine, et sur leurs souverains* qui est le fascicule ethnographique. C'est donc le premier qui est le plus intéressant pour notre seul point de vue. La traduction de Paule Charles-Dominique¹⁶⁶ est assortie de commentaires qui ont l'intérêt de se rapprocher à chaque pas des textes de Marco Polo et de Ibn Battuta qui se rapportent au même voyage. Ils sont particulièrement intéressants au niveau de l'Histoire comparée et de l'ethnographie. La

¹⁶⁶ Paule Charles-Dominique , *Voyageurs arabes ... Op.;cit.* p.3-11

traduction de Sauvaget¹⁶⁷ n'est pas essentiellement différente mais est assortie de commentaires géographiques et historiques puisque Sauvaget est membre de l'Ecole Française d'Extrême Orient, ces commentaires sont particulièrement intéressants au niveau de la navigation. Le texte comporte 23 paragraphes, base de référence de l'ouvrage de Sauvaget. Les paragraphes qui nous intéressent vont du §4 au §17, tous deux inclus ; en effet les paragraphes initiaux ont trait à la faune marine et les paragraphes finaux sont des considérations ethnologiques qui seront développées dans l'ouvrage suivant.

L'auteur a découpé la route en tronçons. Le navire commence ses opérations commerciales à Siraf où les marchandises de Basrah sont transbordées puis continue à charger à Suraf en Oman et complète son chargement à Mascate juste à la sortie de ce golfe. Les limites de ces tronçons sont variables il peut s'agir d'un port de départ et d'un port d'arrivée. Par exemple, c'est le cas quand il cite que les navires partent du port de Siraf pour escaler au port de Mascate¹⁶⁸ ou bien encore du port de Suhar dans l'Oman Il s'agit de ports où l'on fait des opérations commerciales ou administratives (péages). Ensuite commence la grande traversée, où on ne fait que naviguer, avec cependant des escales qui ne sont désormais plus que techniques, il faut faire de l'eau, et du bois de chauffage, essentiel pour cuire les légumes secs et les viandes séchées ou salées qui constituent le gros des vivres et aussi éventuellement acheter des vivres frais, La première escale est celle de Kulam-Malaya en Inde.¹⁶⁹ L'océan de Harkad commence aux Laquedives « *La troisième mer est la mer de Harkand ; entre cette mer et la mer de Lâr se trouvent de nombreuses îles au nombre de mille neuf cents ; elles séparent donc les deux mers*¹⁷⁰. » Il finit aux îles Nicobar « *Plus loin sont situées les îles appelées Lanjabalus.... Au-delà de ces îles il en est deux, séparées par une mer appelée Andaman* ». ¹⁷¹

¹⁶⁷ J. Sauvaget, *Documents sur la Chine et sur l'Inde*, Paris, 1948

¹⁶⁸ J. Sauvaget, *Documents...Op.cit.* p. 7

¹⁶⁹ J. Sauvaget, *Ibid.* p. 8 identifiée avec Quilon en Inde du Sud

¹⁷⁰ Paule Charles-Dominique, *Ibid.* p 4, § 4

¹⁷¹ Paule Charles-Dominique, *Ibid.* p 5, § 7-8

Si on suit le texte on note les faits suivants : La première partie du trajet concerne des ports commerciaux. De Siraf où commence le voyage, le navire va à Mascate et Oman pour compléter son chargement puis commence la grande traversée avec une seule escale il file sur Koulam Malaya, qui est le Quilon moderne, sur la côte des malabars. Là, il faut payer des droits, sans doute autorisant le navire à naviguer dans cette vaste thalassocratie hindoue de l'Inde du Sud et de leurs territoire vassaux ou associés de l'Insulinde, jusqu'au premier port commercial Pandouranga, où « *on trouve de l'eau douce si on en veut* ». Autrement dit on n'y va pas uniquement pour cela. Donc, c'est le premier port où l'on fait des opérations commerciales déchargement et chargement. Sauvaget le situe à partir de sources croisées hindoues et chinoises sur la péninsule malaise mais faisant partie d'un royaume basé à Sumatra. A partir de ce port, les escales suivantes ne sont que des escales techniques. On recherche pour cela des mouillages sûrs où l'on peut trouver de bonnes aigüades, du bois de chauffe et, sans doute, des vivres frais, car on est parti depuis longtemps déjà.

Les tronçons sont comme suit

Mascate à Kulam Malaya (Quilon) 30 jours¹⁷²

Quilon Kakah –bar sur la cote malaise 30 jours.¹⁷³

De à Tiyyuma 10 jours¹⁷⁴

De là à Kanduray 10 jours¹⁷⁵.

¹⁷² Paule Charles-Dominique, *Ibid.* p 8, §14

¹⁷³ Paule Charles-Dominique, *Ibid* P 8-9 §15 note de J. Sauvaget sur Kalah Vara. « Vara désigne à la fois un royaume et une côte c'est le royaume de Javaga qui est à droite de l'Inde, endroit indéterminé, sans doute Kra ou Khelah sur la partie ouest de la péninsule de Malacca. »

¹⁷⁴ Paule Charles-Dominique, *Ibid* P 8-9 §15 ici il faut ajouter une note de J. Sauvaget « Touyoman est une petite île sur la côte orientale de la péninsule malaise, elle servait de point de repère encore au XVI^e siècle et d'aiguade aux Portugais qui allaient à Macao. On trouve à l'Est de bons mouillages et de la bonne eau. L'élévation des îles de Poulo Timon fait découvrir cette île de fort loin, elle porte des montagnes dont la plus haute, 1050 mètres, peut s'apercevoir de fort loin ; de 50 à 60 milles par temps clair. »

¹⁷⁵ Paule Charles-Dominique, *Ibid* p. 8-9 §15. Note de J. Sauvaget sur Panduranga. « Un texte chinois de 805, donc antérieur dit « puis après un jour de route on arrive au territoire de Pen to Lang puis après deux jours de route au mont Kiun Tou Long ». la première rubrique visant ici Panduranga elle-même, mais la frontière entre le royaume de Champa et le royaume de Panduranga, ce doit être cette dernière localité que le texte désigne sous Kiun Tou Long, il faudrait donc lire Kanduranga en arabe soit Panduranga. Je laisse aux spécialistes le soin de juger de cette interprétation nouvelle. »

De là à Sanf 10 jours¹⁷⁶

De là à l'île Sanf Fulaw 10 jours¹⁷⁷

De L'île Sanf Fulaw à Canton 30 jours, mais le navire fait un détour par les portes de la Chine qu'il met 7 jours à traverser¹⁷⁸ (sans doute parce qu'il ne navigue que de jour dans ce passage délicat.) On remarque que les bornes des tronçons sont pour la plupart des îles, près des côtes possédant une montagne ou près d'une côte montagneuse. On comprend la démarche, la montagne sert d'amer lointain, l'île qui se détache distinctement de terre dès que l'on s'approche un peu, sert à préciser la position d'une part, et offre d'autre part un mouillage sûr. En effet les marins aiment les îles. Elles offrent toujours, par définition, une côte sous le vent pour un mouillage abrité. Si, de plus, elle est inhabitée ou peuplée par des îliens habitués à la venue des marins et heureux de commercer avec eux, on est dans un territoire sûr et favorable aux opérations techniques décrites plus haut.

Quant à l'océan lui-même on voit qu'il possède une porte d'entrée et une porte de sortie. Cette double disposition facilite grandement le repérage. Tout d'abord nous trouvons, dans l'Océan Indien, partie Ouest, en premier lieu, la ligne Nord-Sud des îles de l'archipel des Laquedives, des Minicoy et des Maldives, ensuite Ceylan, et enfin la ligne également Nord-Sud des îles Andaman et Nicobar qui clôturent le golfe du Bengale. Ces trois groupes sont facilement identifiables. Les archipels sont des chapelets d'îles en ligne Nord-Sud qu'on ne peut manquer d'apercevoir au passage, en passant au travers. Ceylan est presque un sous-continent

¹⁷⁶ Paule Charles-Dominique, *Ibid* p. 9 §16 Note de J. Sauvaget qui identifie Sanf au royaume de Champa « L'identification du Champa a été faite par A. Barth (B.E.F.E.O.1912) le royaume de Champa s'étendait entre la mer et les montagnes le long de la côte orientale de l'Indochine du col des nuages au cap saint Jacques était alors soumis à l'influence arabe culturelle de l'Inde . »

¹⁷⁷ Paule Charles-Dominique, *Ibid* p. 9 §16 note de J. Sauvaget qui identifie Sanf Fulaw à l'île des Tchams « c'est une île remarquable au large du Champa qui était en face de la rivière qui arrosait la capitale du Champa, elle est remarquable car haute de 518 mètres, abri sûr et aiguade commode »

¹⁷⁸ Paule Charles-Dominique, *Ibid* p. 9 §16 Note de J. Sauvaget « Comme le montre un texte autorisé presque contemporain (*Les merveilles de l'Inde* de 956) qui mentionne dans le Tchong Khai (la mer de Chine) entre l'île des Tchams et la Chine des îlots couverts par les marées. Les écueils cités sont plutôt les Paracels, îles de différentes grandeurs avec des bancs de sable et des roches en différents endroits et le banc de Macclefield qui s'étend un peu plus à l'Est. Par beau temps clair, un petit bâtiment peut s'y engager en veillant du haut de la mâture car les arbres de certaines îles, les têtes découvertes de certains récifs et les brisants signalent les dangers. Cette localisation implique que les navires à destination de Canton se détournent de la route directe, on justifierait ainsi la durée de un mois que le texte attribue à la traversée entre l'île des Tchams et Canton. »

très massif dont la présence se détecte même au delà de l'horizon, le jour par une masse nuageuse qui le surplombe, de nuit, par des phénomènes d'électricité statique : les éclairs de chaleur. Le texte ne précise rien de tout cela mais nous le savons par d'autres écrits, en particulier, ceux d'Ibn Battuta et d'Ibn Majid qui ont noté cette heureuse disposition qui scande le chemin Ouest-Est que doivent suivre les navires en route vers la Chine.

Ensuite, nous remarquons que le document expose uniquement le voyage aller qui, au point de vue navigation, est le plus simple. Car à l'aller, après s'être recalé sur les îles Nicobar, on pénètre dans le détroit de Malacca. Entrer dans un détroit se dit « emmancher » en termes maritimes, c'est une situation qui facilite l'atterrissage. Le navire lorsqu'il emmanche, navigue à l'intérieur d'un entonnoir et, même ignorant sa situation exacte, le navigateur apercevra la terre, soit à droite, soit à gauche, ce qui va le guider jusqu'à ce qu'il atteigne le goulet final. Mais ici il ne s'agit pas tant d'atterrissage que d'arrivée, ce qui est le sujet du paragraphe suivant. D'ailleurs la seule allusion du texte en ce qui concerne ce voyage de retour nous explique : « *Les marchandises sont rares aussi, parce que les navires allant en Chine ou en revenant font naufrage en route, qu'ils sont pillés ou qu'ils sont astreints à de longues escales, les marchandises étant alors vendues que dans les pays arabes. Parfois le vent déroute ces navires vers le Yémen ou autre pays où sont vendues les marchandises*¹⁷⁹ ». On voit les difficultés du voyage ; d'une part le navire n'est pas sûr de finir son voyage dans le temps de la mousson, la renverse le prend avant son port de destination, il doit hiverner, il est alors contraint de vendre sur place, d'autre part il peut manquer l'entrée du Golfe Persique, en effet rentrant par mousson de Nord-Est il doit naviguer vent de travers le long de la côte indienne et risque en effet d'être dépalé sur les côtes de l'Hadramaout en direction d'Aden. Cette remarque de l'auteur peut aussi signifier simplement qu'Aden est un marché concurrent de Siraf qui prend de l'importance¹⁸⁰. Cependant on comprend mieux la remarque de Chaudhuri à propos des ports disposés par paire, selon le rayon d'action, dans cette hypothèse Aden correspondrait au rayon court et Djeddah au rayon long.

¹⁷⁹ Paule Charles-Dominique, *Voyageurs arabes ... Op.;cit.* p. 7, §11

¹⁸⁰ La fameuse route de la soie de Chine avait une branche maritime à laquelle se joignait une route des épices d'Insulinde. Elle aboutissait dans le golfe persique pour remonter sur Bagdad centre de toutes les richesses de l'Empire abbasside. Il y avait néanmoins une dérivation qui continuait sur Aden et la Mer Rouge pour aboutir à Alexandrie, le plus grand emporium de la Méditerranée. L'importance de ces deux routes dépendait de l'importance relative de Bagdad et d'Alexandrie, il y eut donc des évolutions cycliques selon les différents épisodes concernant ces deux sous régions.

1-3.4 Arriver ; La dimension temps

Atterrir est un problème technique de navigation pure, il faut reconnaître la terre que l'on voit se dessiner à l'horizon. **Arriver** est différent; c'est l'aspect technique d'une obligation de droit commercial, c'est mettre le navire à quai dans un port spécifié sur le contrat de transport. Il y a, bien entendu, une condition nécessaire d'ordre technique : encore faut il pouvoir le faire, mais ceci n'est considéré que comme une contrainte dont on doit tenir compte et qu'il faut dominer.

Si on relit le Digeste, on est frappé avec quelle force les anciens insistaient sur la bonne arrivée au port de destination. De nos jours, cette clause est aisée à contourner ; en cas de force majeure, le bateau peut laisser la marchandise au port le plus proche et le contrat n'est pas considéré comme rompu¹⁸¹. Les contraintes ont évolué. Les anciens n'avaient pas à leur disposition une telle diversité et un choix aussi étendu entre des moyens de communication terrestres ou maritimes. En ce qui concerne les passagers, on voit bien que le traitement de cette question est similaire à la solution moderne. Ibn Jubayr nous dit que, quand son navire arrive en Calabre, tous les passagers à destination de l'Italie préfèrent débarquer, tous ports de destination confondus, ils ont une bonne raison, ils sont à court de vivres. De même arrivé, à Carthagène, Ibn Jubayr, pressé de retrouver sa maison à Grenade, débarque, sans attendre le port de destination, Almeria et finit à pied. Dans les deux cas, c'est une démarche volontaire, car le navire quant à lui devait continuer plus avant pour débarquer sa cargaison.

Pour les marchandises, en revanche, le contrat est sans appel. Il doit être exécuté à la lettre. Dans le Digeste un des cas où est discuté la différence entre l'avarie frais et avarie dommage et aussi la différence entre avarie commune et avarie particulière¹⁸² concerne le cas d'un

¹⁸¹ C'est vrai en droit pur, commercialement, c'est plus difficile, surtout dans le cas de ligne régulière où les chargeurs et les armateurs ont des relations commerciales suivies. Tout dépend du contrat, en cas de charte partie au voyage ou l'armateur et le chargeur ne sont liés que pour un voyage, l'armateur sera davantage enclin à faire jouer ces clauses de force majeure.

navire qui doit délester et affréter des bateaux de rivière pour pouvoir faire passer la barre à une partie de sa cargaison. Les frais de transbordement ne peuvent pas être mis en avarie commune, il ne s'agit que d'une avarie frais particulière, elle incombe totalement à l'armateur ; pas de règlement d'avarie dans ce cas. Au moyen âge, le cas d'Arles était typique, les armateurs d'Arles avaient un problème récurrent avec la barre du Rhône, capricieuse et fantasque, si bien que l'on ne savait jamais à l'avance, si on pouvait passer en l'état, ou bien s'il allait falloir alléger. Pour résoudre ce problème pérenne, les armateurs prenaient systématiquement une pontée de flottables, par exemple du bois, et en cas de difficulté, ils constituaient un radeau, avec ces flottables, et passaient alors la barre, avec une partie de leur chargement en remorque.

En ce qui concerne le cas du Périple, qui va nous occuper maintenant, il semble clair que le bateau ne va pas aux Indes, destination, non autrement spécifiée, mais dans un port ou une série de ports (un *range*) bien déterminés. Celui qui va à Barygaza ne va pas à Muziris ; dans le premier port, il va chercher de la soie chinoise qui descend du Ferghana et des tissus de coton très spécialisés qui ont la faveur des occidentaux, dans le second cas, du poivre, des onguents et des parfums. Dans le premier port, il peut faire du troc avec des marchandises produites en occident, dans le second cas, seul du cash et singulièrement l'or est accepté.

Le traducteur Casson emploie et le fait remarquer, deux termes : *harbor* et *port*. *Harbor* est un havre où le navire est en sécurité, *a port* est un havre doublé d'un emporium où l'on peut aussi commercer, ce qui est la finalité de la navigation commerciale. Le grand principe à la base du Périple est là, traverser avec la mousson atterrir et trouver un havre, voir comment le temps va évoluer et permettre de poursuivre sa route pour arriver au port. Ceci pose alors la problématique de la méthode de navigation entre le point d'atterrissage et celui d'arrivée. Ceci n'est en rien explicitée par le Périple, ouvrage de commerçant et non de marin. Le navire, forcément poussé par la mousson de Sud-Ouest, fait terre, peut être à 400 kilomètres

¹⁸² L'avarie dommage est un dommage qui doit être indemnisé, par exemple une marchandise qui passe par-dessus bord et est perdue, une avarie frais est une dépense entreprise pour restaurer à l'état de neuf une chose cassée, par exemple réparation d'une vergue cassée.

Une avarie commune est une perte ou des frais engagés survenant à un bien particulier mais qui est l'objet d'un sacrifice volontaire pour sauver le reste des biens présents dans l'aventure ; cette perte ou débours doit être pris en compte par toutes les parties restant en présence et réparties selon un règlement d'avarie dont les détails et modalités sont prévus par la loi..

de son objectif, disons : Muziris. Le Périple va aider, grâce aux détails de géographie politique, à préciser plus exactement le lieu de l'atterrissage, ce qui est un premier pas. Mais maintenant, il faut donc rejoindre Muziris en longeant la côte, en naviguant en travers du vent, avec la côte sous le vent, c'est la pire des solutions.

Le Périple ne nous l'explique pas mais Ibn Majid, quelques siècles plus tard, expose parfaitement la problématique. La mousson dans l'Océan Indien ouest est un phénomène alternatif, mais pas exactement symétrique, la mousson de Sud-Ouest est la plus dure. Au fur et à mesure qu'elle s'établit, elle lève une mer constante qui se transforme en grosse houle quand elle arrive sur les côtes indiennes. La barre s'installe empêchant le débarquement sur les plages et interdisant l'accès à toute rivière. La houle se creuse sur les fonds moyens et empêche toute tenue au mouillage. Le vent constant et fort efface toute trace des brises thermiques, le vent de terre est submergé par le vent du large (la mousson) et disparaît. Il ne faut pas arriver en vue de côte au plus fort de la mousson, en effet arriver sur une côte inconnue, sous le vent, implique beaucoup de chance pour pouvoir survivre. Il faut trouver, sur le champ, un abri providentiel, une île ou un havre, tous deux, fort problématiques, afin de pouvoir se mettre à l'abri. Sinon, à vouloir faire route avec la côte sous le vent avec le vent du large par le travers qui pousse constamment sur une côte battue par la mer, on n'ira pas bien loin ; statistiquement, c'est la perte assurée. Donc, il n'y a pas d'autre alternative que d'attendre la renverse de la mousson ou tout du moins la saison de l'entre-deux où on va pouvoir bénéficier de vents faibles et variables et peut être de brises thermiques et même voir se lever le début des vents de Nord-Est. C'est dans ces seules conditions de temps que l'on pourra tenter une navigation le long de la côte.

Le secret de la réussite réside donc dans le choix de la date de départ. Il faut reconstituer le voyage à l'envers, étant donné la date d'arrivée la plus favorable, on calculera la date de départ souhaitable. Cette date dépend donc du point d'arrivée visé et Casson dans son commentaire relève ces dates. Nous reprenons son tableau ci-dessous¹⁸³

¹⁸³ Lionel Casson, *The periplus ... Op.ci.* p. 15

<u>Destination</u>	<u>Date de départ</u>
Adulis	Entre janvier et septembre
Les ports lointains (Raphtha)	Juillet
Muza	Septembre et même plus tôt
Kanê	Légèrement plus tôt que pour Muza
Barbarikon	Juillet
Barygaza	Juillet
Muziris	Juillet

Ajoutons notre commentaire : Casson n'explique pas la raison de ces dates car le Périple n'en dit lui-même mot. Ce n'est que grâce à la lecture d'Ibn Majid que nous en avons compris la raison. On remarquera donc que les ports de la Mer Rouge ou proches tels Adulis, Muza et Kane ont des dates de départ plutôt souples, en effet, ils n'ont pas ces problèmes de houle à l'arrivée puisque dans ces voyages on ne touche pas les Indes. Paradoxalement en apparence, les ports des Indes plus lointains ont des dates de départ tardives : Juillet, mais nous avons expliqué pourquoi. La seule date que nous ne nous expliquons pas, c'est celle du départ pour Raphtha (Dar-es-Salam).

Pline, insiste également sur ces dates de départ qui sont, là encore, différentes pour chaque type de voyage à entreprendre, sans d'ailleurs rien divulguer des raisons de leur importance. Cela lui semble, peut-être, trop évident pour être explicité. Elles sont impératives ; huit jours après, c'est déjà trop tard. Pour résumer, il est inutile de partir trop tôt. Il faudra, de toute façon attendre la fin de la mousson faiblisse pour pouvoir accoster. Mais où attendre ? pas en pleine mer, semble-t-il, ce qui semble confirmer que le navigateur de cette époque ne sait pas encore temporiser au large. En revanche, une fois arrivé à la bonne période, il n'y a plus de problèmes pour rentrer. La mousson de Nord-Est est beaucoup plus maniable et c'est sans doute la raison pourquoi le Périple reste muet sur le retour. C'est vrai, à plus d'un titre, d'une part la mousson de Nord-Est est bien plus maniable, le départ peut avoir lieu dès que le

bateau a terminé ses opérations commerciales. Quant à l'atterrissage lui-même, il est bien plus simple. En effet, l'entrée en Mer Rouge est située au bout d'une manche entre l'Arabie et la terre africaine. On ne peut le manquer : les côtes forment un entonnoir qui guident le marin incertain de sa position, si vous voyez la terre à tribord, c'est la côte arabe, si vous la voyez à bâbord c'est celle d'Afrique il est facile de corriger le tir, juste un changement d'allure mais toujours au vent portant. Autrement dit, atterrissage simplifié et arrivée assurée.

Ces fenêtres constituent, à notre avis, le deuxième secret mythique d'Hyppalos. On constate également que le marin antique se déplace dans un univers plus complexe que le notre, un univers en trois dimensions, car il faut y introduire le facteur temps. Sur nos modernes cargos, nous partons pour un voyage, quelle que soit la date. Le voyage sera plus ou moins pénible selon la météo, mais toujours faisable. Le marin antique se déplace dans un univers qui est n'est pas sans rappeler l'univers des voyages dans l'espace il faut introduire la variable temps.

Cette contrainte agit d'ailleurs à plusieurs titres. A titre technique comme nous venons de le voir mais aussi dans un cadre beaucoup plus structurel. En fait la demande de transport est aussi fonction du temps. De nos jours les biens transportés, surtout les plus gros volumes, sont des matières premières dont le marché est relativement indépendant du facteur temps¹⁸⁴. Ce n'est que dans des secteurs très limités que l'on retrouve le facteur temps : par exemple, dans le secteur du transport agro-alimentaire, le transporteur spécialiste des agrumes est sensible aux saisons de production, les saisons et les contre-saisons contrastées selon l'hémisphère déterminent ses routes, (agrumes du Maroc, l'hiver et oranges du Cap l'été.) Mais pour l'armateur ancien, c'est la règle et non pas l'exception. C'est une analyse avec l'introduction systématique du facteur temps qui éclaire l'économie du transport antique et c'est le seul moyen d'expliquer certaines singularités. Pourquoi, par exemple, Venise est elle restée fidèle à la galère, un navire pourtant totalement contreproductif ? La raison s'éclaire en réintroduisant le facteur temps. Venise est coincée pour son commerce des épices entre deux dates. D'une part, la date d'arrivée sur le marché du Caire des épices est tributaires de la date

¹⁸⁴ Bien entendu, le facteur temps ou plus exactement la durée reste un facteur important : par exemple, un stock de charbon sur un quai attendant l'embarquement est un peu dépendant du temps, en ce sens qu'il représente une charge de trésorerie qui est, elle, une fonction directe du temps d'immobilisation. Mais en dernière analyse la mine est maîtresse de son planning et déclenche l'extraction en fonction de ses commandes et ses affrètements en fonction des cargaisons etc.

de la mousson retour, et d'autre part, il faut que les épices arrivent sur le marché vénitien en même temps que les acheteurs allemands arrivent dans la Sérénissime, date qui est conditionnée, à son tour, par l'ouverture des cols alpins à la fin de l'hiver. Cette dernière date marque la péremption du poivre qui n'est plus vendable, une fois les allemands partis. Seule la galère peut résoudre cette équation, non pas qu'elle soit plus rapide ; la *muda* dure un an comme une rotation de voilier, mais elle est prévisible¹⁸⁵. Si on part à la bonne date, soigneusement déterminée par la République, on a le temps de tout faire et retourner à temps pour l'ouverture du marché. Pour le marin antique il y a un temps où il est impossible physiquement de partir et de plus il y a un temps où il est inutile de partir, même si le vent le permet. Car nous sommes à l'intérieur d'un phénomène économique ; la conjonction des décisions individuelles génère la loi commune. Le marché ne s'ouvrira que lorsque tous les commerçants seront rassemblés devant toutes les marchandises. Autrement dit : il y a aussi un temps pour que s'ouvre le marché et ce temps dépendra à la fois de la disponibilité de la marchandise et de la présence des marchands.

1-3.5 Conclusion

Pour conclure ce chapitre, il faut noter que ce qui frappe dans ce qui précède, c'est que l'espace pour le marin ancien n'est en rien comparable au notre. Tout d'abord, il inclut une dimension supplémentaire : le temps. Cette notion de temps inclut que le temps qu'il fait est déterminé par le temps qui passe. Il en résulte que la géométrie de cet espace est différente de la notre, l'aller ne vaut pas le retour. C'est ainsi que les trajets dans un sens ou dans l'autre ne sont pas symétriques. Quant au temps de route, la différence va du simple au triple. C'est bien ce que dit Ibn Jubayr. Lorsque son navire arrive en Calabre, la plus grande partie des passagers débarque, car ils ont épuisé leurs vivres, (le navire, selon le droit ancien, ne nourrissait pas les passagers). Rien d'étonnant d'après l'auteur : « *Que penser d'un séjour de deux mois de mer pour faire une traversée que les passagers pensaient faire en dix ou douze jours, tout au plus, les plus prévoyants avaient fait des provisions pour trente jours ; la*

¹⁸⁵ Venise ne vivait pas que des épices c'était une part négligeable en volume mais importante en valeur, un tiers environ, mais c'est aussi la plus apparente aux yeux des contemporains, médiatiquement parlant. Le gros du commerce de Venise concerne le blé le sel et le bois d'œuvre. Ce trafic de masse nécessite, à côté des galères qui restent une singularité vénitienne dédiées aux marchandises riches, l'organisation d'une flotte de voiliers très importante et fortement prépondérante en tonnage.

plupart pour quinze ou vingt.. »¹⁸⁶ Tous les passagers se sont laissés piéger par leur expérience très parcellaire et ont fait les vivres en fonction de leur expérience du voyage aller¹⁸⁷ qui est, lui, toujours bien plus rapide. En effet, il est facile de traverser la Méditerranée d'Ouest en Est. Ibn Jubayr est parti de Ceuta le 24 février 1183 et il est arrivé à Alexandrie après trente jours de mer et débarqué le trente-et-unième. Par contre son voyage retour a été bien plus long avec un naufrage en prime. Son premier navire est parti d'Acre le 18 octobre 1184 et a fait naufrage dans le détroit de Messine le lundi 11 décembre 1184. Il est reparti sur un second navire d'Atrābanish (Trapani) le 25 mars 1185 et arrivé jeudi 15 avril à Carthagène, soit 54 et 21 jours de mer respectivement. Il faut donc comparer 31 jours de mer, au total, pour aller de Ceuta à Alexandrie, et 75 jours de mer, au total, pour revenir d'Acre à Carthagène. On voit bien que deux trajets comparables, en milles, ne le sont plus exprimés en jours de mer.

La deuxième conséquence de l'introduction de la variable temps dans les calculs du marin est que la route la plus rapide n'est pas forcément la plus directe, car ruser avec le temps implique des chemins détournés. On conçoit donc que faire sa route exige selon les contraintes et les opportunités des combinaisons dépendantes de la saison voire des interruptions de voyage momentanées. Il existe selon le temps qu'il fait des routes alternatives qui dépendent donc de la saison. On ne saurait mieux expliquer ces nuances de stratégie que par l'exemple vivant donné par Christophe Colomb. Dans une lettre autographe adressée aux rois catholiques, datée de Grenade, le 6 février 1502, il délivre un véritable cours de navigation sur le sujet.¹⁸⁸ Colomb dans ce texte nous parle de deux routes celle des Flandres et celle de Cadix à Naples. Il dit peu de chose sur la première, il ne la connaît manifestement pas bien. En revanche, il parle en détail de la route de Méditerranée occidentale, celle-là même qu'empruntaient déjà les naviculaires de Bétique de l'antiquité et après eux, Pisans et Génois, dès le XI^e siècle pour aller à Ceuta et à Séville, encore arabes. D'ailleurs, dans son *curriculum vitae* il dit avoir appris son métier de pilote en Méditerranée¹⁸⁹. Pour en revenir à

¹⁸⁶ *Voyageurs arabes, Op.cit.* p.341

¹⁸⁷ *Ibid.* p. 74-75. En effet au voyage aller le navire avait fait une escale en Sicile et avait fait la traversée vers Alexandrie du 18 au 26 mars soit 12 jours de mer. .

¹⁸⁸ Cristobal Colon, *textos y documentos Op.cit.* p 305.

cette route de Cadix à Naples et c'est ce pourquoi nous la relatons ici, Colomb constate qu'il y a deux routes bien distinctes pour le même voyage selon que l'on est en été ou en hiver. En été, le temps est beau et tout le bassin est soumis à un vent d'Ouest à peu près constant et régulier, car c'est un vent qui va des hautes pressions aux zones de relatives basses pressions, ces zones sont plus ou moins stationnaires et peu accentuées. Traverser en droiture de Gibraltar à Naples, en coupant directement à travers tout le bassin occidental de la Méditerranée, est une croisière facile et même agréable. Le vent de secteur ouest soufflera de l'arrière ou de l'arrière bâbord, selon les jours, ne nécessitant que quelques réglages légers pour ajuster l'allure au cap. En hiver, il en est tout autrement. Comme en été, nous allons avoir des courants thermiques mais beaucoup plus violents. Sur la cime des montagnes les températures sont très franchement négatives, surtout la nuit, de l'ordre de -10, et moins. La température de la mer est au pire de 13 à 15 degrés. C'est une différence de température considérable. Il va en résulter des épisodes de temps où le vent dégringole littéralement de la montagne pour balayer la mer, perpendiculairement à la côte. Si les phénomènes alternatifs d'été sont de faible ampleur et n'intéressent qu'un mince couloir côtier, ici, le vent court sur de longues distances avant que l'air ne se soit un tant soit peu réchauffé. Le vent qui court sur la mer la façonne et la creuse. Il s'agit, là, d'un phénomène cumulatif. Plus le vent creuse la mer plus les lames s'élèvent et donnent prise au vent et, donc, plus la mer continue à se creuser. Autrement dit, avec des vents de terre soutenus, plus on va au large et plus la mer durcit. De rugueuse près des côtes où le vent ne fait que débiter son action, elle devient au large franchement démontée. D'autre part quand le vent vient de la montagne, il saute par-dessus la falaise pour rejoindre la mer, il faut donc profiter de cette zone de calme très relatif. D'où le conseil de Colomb, en hiver il faut suivre la côte d'Espagne, puis de France et enfin d'Italie. Pour avoir du vent, il y en aura, et parfois trop, et toujours du travers, puisque pendant l'hiver le vent souffle de terre que ce soit la tramontane ou le Mistral et toujours perpendiculaire à la côte. Pour ce qui est du seul golfe du Lion, nous commencerons par la tramontane qui tombe des Pyrénées, parfois en bourrasques destructives, venant de l'ouest, lorsque la côte est Sud-Nord, au large de la Catalogne, puis le long des côtes du Languedoc, le Cers du Nord Nord-Ouest, donc toujours du travers. Ce vent que l'on appelle communément au plan local Mistral, n'en n'est pas un. Il prend naissance sur le Causse, à seulement 1000 mètres d'altitude, mais le plateau du Causse est franchement gelé en hiver, d'où la confusion. Et enfin on trouvera le Mistral authentique et particulièrement violent sur la petite et grande

¹⁸⁹C. Colomb est arrivé au Portugal à la suite du naufrage du navire sur lequel il était embarqué au large du Cap Saint Vincent.

Camargue et au-delà, au large du Rhône, alors que la côte est franchement Ouest-Est. Dans ces parages, il faut coller à la côte, si près, que l'on passe entre Marseille et l'île Pomègue et entre les îles d'Hyères et Giens, et éviter, à toute force, de se laisser entraîner au large où le vent prend toute sa vitesse et ferait dériver le navire jusqu'en Berbérie. Là, le navire se retrouverait au vent d'une côte abrupte sans trop d'abris surtout aux vents de Nord, bref un vrai cauchemar de marin. C'est au moins le conseil de Colomb.

La troisième conséquence de la prise en compte du temps implique qu'il reste néanmoins des voyages que l'on ne peut raisonnablement entreprendre que, si la saison est favorable et il se trouve parfois des conditions de temps si défavorables qu'on ne peut même pas espérer trouver une route alternative. Il vaut mieux, parfois, savoir parfois attendre les conditions favorables. Toutefois, les saisons peuvent bloquer la situation d'une façon parfois catégorique, mais toujours temporaire, et le navire sera parfois bien obligé d'attendre des conditions plus favorables avant de continuer son voyage. C'est la philosophie de l'hivernage qui est un phénomène déterminé directement par les saisons, mais qui n'est pas uniforme dans l'espace. Il faut comprendre que l'arrêt de la navigation ne se décrète pas, comme on a cru pouvoir le lire dans les textes législatifs anciens. Comme on l'a déjà noté, ces textes concernent les chargements et non pas les navires. Les navires eux n'obéissent qu'à la mer, et tous n'ont pas les mêmes arguments, face à elle, c'est donc, aussi, une question de position individuelle. C'est ce qu'avait fini par comprendre Justinien, lui-même.

Ces trois configurations ne mettent en jeu que des options intéressantes au premier chef la manœuvre et assez peu les problèmes de positionnement. En tant que problèmes de manœuvre, ils demeurent universels car les progrès dans la manière de manœuvrer le navire à voile évolueront lentement et pas tant par les principes que par une amélioration marginale des résultats. Les progrès dans la construction du navire et surtout la manière de s'en servir permettra dans l'avenir, non pas tant d'améliorer les performances au près, par exemple, que d'affronter des mers de plus en plus grosses, mais le navire reste toujours le prisonnier du vent. En ce qui concerne le positionnement, la révolution est encore à venir, ce que nous examinerons dans la prochaine partie. Jusqu'ici, on continue comme précédemment. En l'absence de boussole c'est la direction du vent qui est la référence du navigateur. Lorsque le vent est constant, comme c'est le cas pour la mousson, le système ne pose pas de problèmes

particuliers. La situation se complique lorsque le vent devient inconstant, il constitue alors un repère peu fiable. Au point de vue de l'orientation et, par voie de conséquence, du positionnement, cela va entraîner de sérieuses difficultés qui constituent les limites de la navigation à vue. C'est ce que nous allons aborder, plus en détail, en guise de conclusion de cette première partie dans le point suivant.

Première partie, la navigation à vue

1-4.0 Conclusion de la première partie

Les limites de la méthode

En Occident, on peut difficilement parler de navigation hauturière. Les occidentaux jusqu'au XIII^e siècle, à l'exception notable des navigateurs norvégiens qui sont des précurseurs en la matière, s'éloignent rarement de leur bassin d'origine pour des besoins purement commerciaux. Le commerce des gens du Nord et celui des méditerranéens ne se rejoignent que par des liaisons terrestres à travers la France ou la Suisse selon les époques. Il ne s'agit donc que de navigations côtières avec quelques courtes traversées qui dépassent rarement, dans leur cours normal, une semaine de mer ; encore que la combinaison des épisodes côtiers et des courtes traversées s'enchaînant selon des séquences bien rodées les fassent aller d'un bout à l'autre de leur champs clos.

Le pilote ancien dans son port de Narbonnaise sait qu'avec la tramontane le vent porte vers Gênes ou la Corse, le mistral vers l'Algérie. Faut-il une boussole pour savoir la direction du vent ? Point. Les sensations suffisent ; inutile de consulter la girouette pour savoir que c'est le « marin » qui souffle, l'humidité de l'air, poisseux de sel, l'horizon brouillé par la boucaille le renseignent à coup sûr. De même, la tramontane se signale par un ciel très clair, une vue immense et un air frais mais sec et revigorant. L'un ne sert qu'à courir le long de la côte, l'autre porte vers les régions situées au Levant. Mais ceci n'est vrai que localement à Sète, la tramontane est un vent de Nord-Ouest, ailleurs par exemple à Port Vendre c'est un vent qui tombe de la montagne carrément du plein Ouest.

Bien évidemment, on n'est pas sans remarquer que le vent peut changer d'un jour sur l'autre. Mais, alors, en mer, comment voir si le vent change ? Le pilote est bien obligé de se référer à

une orientation géographique, car c'est le vent qui le mène et si le vent change, il va changer automatiquement de cap. Le pilote lit la direction du vent sur la mer, pas de girouette ou de doigt mouillé. Le vent lève de petites lames, la mer du vent. On observe que la direction des crêtes, même si ce ne sont que de simples rides, est toujours perpendiculaire à la direction du vent. Le pilote sait, dès l'aube de la navigation, que la nuit, la polaire est positionnée au Nord et que le soleil, quand il est au plus haut, est en direction du Sud. Sans boussole, il se contentera de cela pendant des siècles. Oui, mais à quels risques, témoin le récit si circonstancié du naufrage de Paul en route vers Rome.

1-4.1 La Source

Ce texte de Luc, l'évangéliste que l'on peut lire dans les actes des apôtres est un des rares textes aussi anciens qui nous fait rentrer dans le détail de la pratique usuelle¹⁹⁰ à la mer. Les exégètes et spécialistes de l'histoire religieuse¹⁹¹ estiment que le texte a bien été écrit par Luc entre 80 et 90. Son style est remarquable par sa vivacité et sa concision, en revanche, il est douteux que Luc ait été compagnon de Paul dans ce voyage, mais il l'aurait écrit d'après le témoignage d'un ou de plusieurs compagnons d'infortune de Paul. Mais, d'une part, on doit noter en qualité de bras droit de Paul, il a briqué la Méditerranée de long en large dans l'exercice de son ministère. Il comprend fort bien les choses de la mer. D'autre part notons sa formation de médecin, observateur rationaliste, (bien, que juif, il est de formation grecque).

¹⁹⁰ A coté des détails de navigation qui sont si bien décrits mais que la lettre de Synésios nous mentionne également, ce texte de Luc est un des rares qui nous fait entrer dans la communauté de bord, nous saisissons là les assemblées au moment de la formation du fait juridique aussi bien au moment de la décision de départ que lors de la déclaration d'avarie commune. Dans le Digeste l'assemblée de départ n'est jamais mentionnée, elle est pourtant au centre de la notion de fortune de mer, sort commun et donc librement accepté. Il faudra attendre les rôles d'Oléron où elle est décrite pour comprendre les motivations ; les contraintes qui définissent sa raison d'être perdurent de l'antiquité au moyen âge et donc un texte éclaire l'autre, mais les actes des apôtres sont le seul texte antique qui nous explique ce délicat processus. C'est dire l'importance de ce texte, mais ici nous ne verrons que l'intérêt qu'il représente dans son aspect navigation.

¹⁹¹ Voir l'article de D. Marguerat, professeur à la faculté de Théologie de Lausanne dans *Dossiers d'Archéologie* n.275, qui le voit ainsi « Il est certain en tout cas que l'auteur des actes est un homme du voyage, bien informé des itinéraires, et surtout des voies maritimes : il « voit » les déplacements de Paul depuis la mer. »

Enfin, Luc fait oeuvre d'historien et s'en explique par ailleurs. Ses méthodes sont les méthodes des historiens antiques, sa principale préoccupation réside dans le contrôle de ses sources. On ne sait toujours pas si Luc était à bord. Témoin direct ou non, il explique sa façon de collecter ses données ¹⁹² « ... il m'a paru bon, à moi aussi, après m'être soigneusement informé de tout à partir des origines d'en écrire pour toi, Théophile, un récit ordonné... ». Sa méthode d'historien, c'est donc celle de la vérification des sources, il n'accepte que les récits de témoins directs. Ou bien, il relate des faits dont il a été lui-même le témoin direct, à la rigueur des faits relatés par un témoin direct qu'il juge fiable, donc, uniquement des récits de première main. C'est d'ailleurs la méthode classique à cette époque.¹⁹³

Question de dates, Paul aurait été exécuté à Rome deux ans après son arrivée en 64 ou 67 ce qui daterait le voyage durant les années 60.¹⁹⁴ Le texte n'est pas si long, et nous allons le citer in extenso, seulement pour la partie maritime, s'entend, avant de l'analyser :

1-4.2 Le texte de Luc

27,1¹⁹⁵. « *Quand la décision fut prise de nous embarquer pour l'Italie, on remit Paul, avec quelques autres prisonniers, au centurion Julius de la cohorte Augusta. Montés à bord d'un navire d'Adramyttion qui cabotait le long des côtes asiatiques, nous avons levé l'ancre. Il y avait avec nous Aristarque, un Macédonien de Thessalonique....*

¹⁹² Luc1,1-4

¹⁹³ Observons que cette méthode sera utilisée par les rédacteurs musulmans des hadiths (récits des faits et des dires du prophète pendant sa vie, à côté du Coran, qui est le livre inspiré directement au prophète par Dieu) qui élèveront cette méthode au niveau d'une véritable science.

¹⁹⁴ Paul a été condamné en Palestine pour son rôle d'agitateur. Bien que juif, Paul est citoyen romain et, en tant que tel, réclame son droit et fait appel à l'Empereur. Il sera donc jugé en appel à Rome (où il perdra son recours et sa tête par la même occasion). Il est embarqué *manu militari* sur un navire à Césarée en partance pour l'Italie. Il est placé sous la responsabilité d'un centurion qui était rapatrié avec quelques autres légionnaires, sur la mère patrie. Ce centurion est donc considéré comme officier de place, ce qui place le capitaine sous sa juridiction, ce qui explique son rôle dans la suite de l'histoire.

¹⁹⁵ *La Bible* Edit. Bayard, Paris, Montréal 2001. *Le nouveau testament*, traduction de Pascalle Monnier et Daniel Marguerat. P. 2457-2471

3. *Le lendemain on nous a débarqués à Sidon. Julius traitait Paul avec humanité. Il l'autorisa à se rendre chez des amis pour profiter de leur sollicitude.*

4. *De là nous avons repris la mer, naviguant, à cause de vents contraires, au-dessous de Chypre. Après la traversée de la haute mer qui borde la Cilicie et la Pamphylie, nous avons débarqué à Myre de Lycie. »*

Le but des navigateurs était d'atteindre la côte sud de l'Anatolie pour la suivre en filant vers l'Ouest vers la Crète à travers l'archipel. C'est la route classique que nous avons décrite, au chapitre précédant, sous le nom de route de l'annone. Mais les vents de Nord particulièrement fréquents en Méditerranée ouest ne facilitent pas cette entreprise.

6. *« Le centurion y a trouvé un navire alexandrin qui mettait le cap sur l'Italie. Il nous a fait monter à son bord. Nous avons navigué à faible allure pendant un bon nombre de jours. Parvenus avec difficulté en vue de Cnide, nous ne pûmes nous en approcher à cause du vent debout. »*

Le bateau précédent n'était qu'un caboteur qui devait approcher les passagers pour trouver un navire pour l'Italie. Ils le trouvent sous la forme d'un bateau d'Alexandrie chargé de blé, nous l'apprendrons au verset 38.

8. *« Nous faisons route au-dessous de la Crète, au large de Salmonè. Longeant difficilement cette côte, nous sommes parvenus à un endroit appelé Bons-Ports, à proximité de la ville de Lasaia. »*

Les naviculaires d'Alexandrie formaient la *corpora* d'Orient, la plus puissante avec celle d'Afrique, basée en Tunisie. Toutes ces deux *corpora* transportaient quasiment tout le blé de l'annone destiné à Rome, en gros 3/4 pour les africains et 1/4 pour les orientaux. Les orientaux avaient en outre tout le trafic égyptien et surtout, plus tard, furent également chargés des transports de blé sur Constantinople.

9. *Du temps a passé – la période de jeûne était révolue ; la navigation devint périlleuse. Paul les a avertis : « Hommes, je pense que la traversée sera dangereuse et entraînera des*

dommages importants, non seulement pour la cargaison et le navire, mais aussi pour nos vies. »

Apparemment on était à l'entrée de l'hiver. On décida d'hiverner dans un port du Sud de la Crête¹⁹⁶.

11. Mais le centurion se fiait plus au pilote et au capitaine qu'aux dires de Paul. Le port se prêtait mal à l'hivernage ; la majorité a préféré appareiller. L'idée était de gagner Phénix, un port crétois regardant au Sud-Ouest et au Nord-Ouest, afin d'y passer l'hiver. Une légère brise soufflant du sud, ils pensaient mener à bien ce projet.

La traduction que nous utilisons¹⁹⁷ est très claire et très concise, elle donne un texte élégant et de facture très moderne ce qui en fait sa clarté, cependant nous utiliserons parallèlement une traduction à l'usage des hellénistes, donc plus près du texte et qui reflète, sans doute, davantage le style original, elle est intéressante pour les détails du *modus operandi* des acteurs de cet événement de mer : voici cette autre traduction¹⁹⁸

12 « Le port n'offrant pas un bon mouillage pour passer la saison des tempêtes, la majorité décidait qu'on gagnât de là, par le large... »

Pendant l'hiver, le blé annonaire ne devait pas naviguer, selon les édits impériaux. L'empereur ne voulait pas risquer ses cargaisons et surtout prêter le flanc à des tentatives d'escroquerie : la perte volontaire de la cargaison, dont une partie aurait été auparavant frauduleusement vendue ou baraterie¹⁹⁹ dont un exemple très célèbre fut supporté par la

¹⁹⁶ Les textes de droit maritime anciens font sans arrêt référence à des sortes d'assemblées générales à bord à l'occasion de toutes les décisions importantes dans des circonstances graves où le capitaine exposait ses projets aux passagers et où il devait en quelque sorte les convaincre du bien-fondé de ses décisions. On a déjà eu un aperçu avec les discours du capitaine Amarantos du navire de Synésios. On est loin du seul maître à bord après Dieu de la littérature. Ceci se comprend aisément dans le sens où les passagers sont considérés comme partie prenante à l'aventure commune et qu'ils seront appelés à participer financièrement au cas d'avarie commune. C'est la notion de société de mer. Une seconde raison était que ces navires étaient surchargés, 276 passagers, dira Luc, et que le capitaine était toujours à la merci d'une révolte des passagers où lui et l'équipage seraient forcement en position de faiblesse.

¹⁹⁷ Cette traduction moderne de la bible associe un écrivain de métier et un exégète pour chaque texte, dans le but avoué de produire précisément un texte clair et moderne, dans le cas présent, le texte a été traduit par Pascal Monnier et Daniel Marguerat dans une édition de 2001 chez Bayard à Paris ;

¹⁹⁸ E. Delebecquje *Les actes des apôtres* Paris, les belles lettres 1982

République lors de la des premières guerres puniques et dont le souvenir resta très vif. Le navire va donc passer deux à trois mois dans un port crétois. Le choix du port est très important. La plupart des 276 passagers sont des marchands. D'après les usages maritimes en vigueur, le bateau ne doit aux passagers payants que l'eau et une place limitée sur le pont²⁰⁰, ils doivent emporter leurs propres vivres. Evidemment ils manqueront fatalement de vivres, ces marchands comptent faire localement du commerce, (ils naviguent avec leurs marchandises) pour pouvoir subsister²⁰¹. Il n'y a pas qu'une seule autorité à bord, outre le capitaine, le pilote et le maître, les passagers ont voix au chapitre. Les marchands font partie de la société de bord²⁰² participant à la même aventure. Dans l'antiquité on considère que naviguer est une aventure périlleuse qui exige, pour réussir, l'union de tous les participants. C'est la notion de fortune de mer qui implique, d'une part, le principe de la spécificité du droit maritime dont les règles dérogent du droit coutumier terrestre (par exemple le prêt à la grosse énonce que le gage ayant disparu en mer, la dette est effacée, même au cas où le débiteur survit à l'aventure) et d'autre part, le principe de responsabilité collective (dans l'avarie commune, tout sacrifice bénéficiant à la collectivité ne peut être laissé à la charge de la seule partie qui a souffert du préjudice). C'est ce second principe qui commande l'exigence d'un consensus ou du moins d'une consultation des parties pour toute décision importante. Il y a toujours délibération et la coutume médiévale a suivi la coutume antique dans ce domaine.

14. *« Ils ont levé l'ancre et longé les côtes crétoises ; Peu après, un ouragan nommé Euraquilon s'est abattu sur la région. Le navire fut emporté. Incapables de remonter au vent, nous dérivions. Filant sous le vent de Cauda, une petite île, nous sommes parvenus à grand-*

¹⁹⁹ C'est l'ancêtre de l'escroquerie à l'assurance, Démosthène, avocat spécialisé dans les affaires maritimes, avait déjà plaidé sur ces cas.

²⁰⁰ 2 coudées en long sur 1 coudée en large, d'après le texte des Basiliques, on comprend comment 276 personnes peuvent tenir sur le pont somme toute assez restreint de 25 à 35 mètres, peut être. Ceci dit, c'est la superficie totale, surfaces de communication et de service comprises, allouée à un voyageur de 2nd classe d'un wagon corail.

²⁰¹ Ibn Jubayr nous fait entrevoir les trafics des passagers à bord lorsque les vivres viennent à manquer, de même Synésios nous décrit les passagers, lors d'un mouillage de 2 jours, faire de la pêche pied sur la plage, cherchant coquillages et crustacés pour ménager leur vivres.

²⁰² Voir plus haut, note 7

peine à retenir la chaloupe. Après l'avoir hissée, ils utilisèrent des moyens de fortune²⁰³ pour l'amarrer. »

Ici, citons l'autre traducteur

15 « *Le bateau ayant été saisi d'un coup ; et ne pouvant faire face au vent, ayant cédé à la rafale et serré les voiles nous étions emportés...*

16. « *ayant filé sous le vent d'une petite île nommée Cauda, nous eûmes à peine la force de nous rendre maître de la chaloupe ;*

17. *qu'il fallut hisser à bord avant de recourir à des moyens de secours en ceinturant le bateau et dans l'effroi d'être détournés jusqu'à la Syrte, on lance les apparaux à la mer, et on se laissa emporter »*

Partis avec un vent maniable pour une petite traversée sans histoires ils sont pris par un coup de vent du secteur Nord qui leur tombe dessus déboulant des montagnes de Crète. Ces vents qui dévalent des crêtes sont généralement irréguliers et parfois brutaux. Ils ne maîtrisent plus la situation, le navire est emporté loin de la côte. Ils passent à proximité d'une île détachée de la côte et tentent de se mettre sous le vent de l'île pour mouiller. Mais ils n'y réussissent pas. Le détail est d'importance : cela veut dire qu'ils n'ont pu naviguer suffisamment en travers du vent pour gagner cette île. Apparemment, leur navire ne peut pas naviguer suffisamment au près pour faire un travers vrai. Nous avons vu qu'il faut pour cela serrer le vent apparent de presque deux quarts sur l'avant. Nous remarquons également que le navire met en fuite ; ce n'est pas la meilleure manœuvre à mettre en œuvre, mais apparemment, c'est la seule qu'ils connaissent.

Nous remarquons que dans la même situation, le capitaine de Synésios fait des bords au large pour ne pas dériver sur la côte. Ici, cette manœuvre n'est pas tentée. Notre sentiment est qu'ils ne savaient pas encore la faire. L'argument de la voile carrée ne tient pas ; le navire de

²⁰³ En français maritime, une solution de fortune n'a pas le sens commun d'un bricolage ou de moyen improvisé ; au contraire la fortune est le hasard marin lié au mauvais temps, et une solution de fortune est une solution particulièrement adaptée à des conditions plus dures qu'à l'accoutumée. Ainsi, une voile de fortune est une voile spéciale de mauvais temps, plus petite mais faite d'une toile à gros grammage, pour résister aux bourrasques.

Synésios était grée pareillement. La description de la prise de ris l'indique formellement²⁰⁴. L'argument de mer formée non plus. Le vent est fort cela ne fait pas de doute, mais ils sont encore près de terre. Le vent a besoin de courir une certaine distance sur la mer pour commencer à la creuser. Au contraire mettre en fuite les amène plus au large et plus ils s'éloignent et plus la mer se creuse, ce que confirme Luc dans le verset 19. De plus, à propos de la fuite, le vent se forme en fonction du centre de la dépression mais le centre de la dépression se déplace également. Il en résulte qu'une fois sur deux, statistiquement, le vent et ce centre vont dans le même sens ; c'est ce que l'on appelle le demi-cercle dangereux. Mettre en fuite signifie alors que le navire accompagne le mauvais temps et va y rester plus longtemps. C'est ce qui est confirmée plus loin, au verset, 27. Mais apparemment ils ne savent rien faire d'autre, alors que presque 5 siècles plus tard le capitaine de Synésios a la solution : il louvoie.

18. *« Pour ne pas être drossés sur la Syrte, on a filé au vent, avec l'ancre flottante. La tempête secouait violemment le navire ; aussi, le lendemain, ils l'ont délesté de sa cargaison. Le troisième jour, volontairement, ils ont dématé. »*

L'autre texte, pour les mêmes versets, se lit :

18 *Comme nous étions toujours le jouet de la tempête, le lendemain on balançait de la cargaison...*

19 *Le surlendemain on jeta de ses propres mains les agrès du navire »*

Evidemment la fuite doit être organisée il faut mettre une voile de fortune tout à fait à l'avant, pour orienter le navire de telle façon qu'il présente l'arrière, qui est la partie la mieux défendue, dans le vent. Cette voile est nécessaire, car le navire remonte ses avirons-gouvernails²⁰⁵, et c'est seulement l'action de cette voile de fortune qui va maintenir le navire, l'arrière dans le vent. Cette opération est confirmée plus tard, au verset 40, quand ils remettent le gouvernail en place. Dans la traduction de base, il semble évident que l'ancre flottante a été

²⁰⁴ La *corbita* romaine se caractérisait par une voile principale carrée. Cette voile était vraisemblablement fixée sur une vergue dormante, c'est-à-dire qui reste à poste en haut du mât.

²⁰⁵ Ceux ci, en effet sont très efficaces mais très fragiles, articulés autour d'un seul point de fixation sur la coque, la moindre déferlante sur les pales va développer, en raison de la longueur du bras de levier, un moment considérable sur ce point de fixation, qui risque d'être arraché et de déchirer la coque.

mise en place avant qu'ils aient coupé le mât. Mais dans la seconde version, beaucoup moins cadencée dans le rythme du récit, que nous citons également, on pourrait comprendre qu'ils ont abattu le mât précisément pour construire ce que Luc appelle l'appareil, qu'ils mettent à l'eau, et dans lequel on reconnaît clairement une ancre flottante. Rappelons que la présence de la voile de fortune implique une certaine vitesse ; on a calculé 1,8 nœuds²⁰⁶, ce qui est considérable pour une allure de fuite. Evidemment, le capitaine s'attend, à tout moment, à apercevoir la Libye et d'y être jeté à la côte, sans aucune autre parade. De toute façon, si le mât n'a pas servi à confectionner l'ancre flottante, il fallait quand même le couper, il donnait trop de prise au vent. Il fallait réduire la vitesse, c'est essentiel.

20. « *On ne vit ni soleil ni astres durant bien des jours.* »

Cette simple phrase est la clé du récit, pendant quatorze jours on ne voit pas le ciel, évidemment, comme nous l'avons déjà expliqué plus haut, le navire accompagne la dépression et reste fixé au centre ou à proximité du centre, là où le ciel est le plus bas. C'est la raison pour laquelle ils n'ont pas pu voir que le vent avait tourné, heureusement pour eux. Soufflant du Nord, à l'origine, il a tourné peu à peu à l'Est, ce qui fait que le navire en fuite avec un vent arrière constant, faisait cap, plein Sud, au début de son aventure, s'est retrouvé insensiblement, cap à l'Ouest, ce qui l'a sauvé d'un fracas sur les côtes libyennes.

21. « *La tempête continuant sans faiblir, nous finissions par perdre tout espoir d'être sauvés. Les vivres manquaient depuis longtemps ; Paul venant au milieu d'eux, a dit : Hommes, pour ne pas endurer cette violence et ces pertes, il aurait fallu m'obéir et renoncer à lever l'ancre en Crète. Désormais, je vous conjure de garder l'espoir, car aucune vie ne sera perdue, seul le navire le sera. Cette nuit, en effet, un messenger du Dieu à qui je suis et que je sers s'est présenté à moi.* »

24. Il disait : « *Paul, ne crains rien, tu dois comparaître devant l'empereur, et Dieu t'a accordé, par faveur, la vie sauve pour tous ceux qui naviguent avec toi ; gardez l'espoir, j'ai confiance en Dieu : tout se déroulera comme il m'a été dit. Il faut nous échouer sur n'importe quelle île.* »

²⁰⁶ Les exégètes ont clairement identifié le point de départ et celui d'arrivée. Luc donne la durée de l'aventure, les chiffres paraissent donc sérieux.

Paul énonce là le principe de base de cette navigation. A cette époque le navire ne peut aller qu'aux allures portantes, pour aller, il faut attendre le vent favorable. Si le vent vient à devenir contraire, la seule façon de ruser est de jouer à cache-cache avec lui, c'est-à-dire à s'abriter derrière une des nombreuses îles de cette mer qui en est particulièrement bien fournie, pour attendre la renverse.

27. *« Nous dérivions depuis quatorze nuits dans l'Adriatique, quand vers le milieu de la nuit, les marins ont eu le pressentiment qu'une terre venait à eux. La sonde qui a été jetée indiquait vingt brasses. A quelque distance de là, elle indiquait quinze brasses. Dans la crainte d'échouer sur des récifs, ils ont mouillé quatre ancres à l'avant. Ils ont appelé de leurs vœux le lever du jour. »*

Autre traduction :

29 *« dans leur frayeur de nous voir échouer sur des pointes rocheuses, ils jetèrent de la poupe quatre ancres et appelaient de leurs vœux la venue du jour. »*

On remarquera qu'en pleine nuit, avec une vue nulle, les matelots sentent la terre, les passagers, eux, non. Ces matelots ne sont pas particulièrement intuitifs, mais leurs sens sont très aiguisés, ils notent des détails passant inaperçus aux profanes. Parmi ceux-ci on peut classer les marins modernes, qui, habitués à une masse d'informations données en abondance par une instrumentation redondante ont perdu l'attention nécessaire à la captation de ces minuscules détails ; l'odeur de la terre, le bruit des brisants, la houle qui se creuse sur les petits fonds, sont parmi d'autres, des indicateurs très sûrs qui permettent de « voir » arriver la côte, même par nuit noire.

30. *« Les matelots cherchaient à fuir le navire : ils ont mis la chaloupe à la mer sous prétexte d'allonger les ancres depuis la proue. Paul a dit au centurion et aux soldats : Si les matelots ne restent pas à bord, vous, vous ne pourrez pas être sauvés. Pour cette raison, les soldats ont coupé les amarres de la chaloupe et l'ont laissée partir à la dérive. »*

Précisons grâce à la seconde traduction :

30 « ...comme les matelots tentaient de s'enfuir du bateau et avaient mis la chaloupe à la mer comme pour élonger les ancres partant de la proue »

Paul avait beaucoup navigué, mais, il commet là, une énorme faute d'interprétation, elle va causer indirectement la perte du navire. Rappelons que le navire est sans voile principale, il ne reste que la petite voile de l'avant, la civadière que l'on hisse de nouveau au beauprés où elle remplace la voile de fortune qui a servi de voile de fuite²⁰⁷, le navire manœuvre très mal sous cette voilure déséquilibré pour tenter de se rapprocher de terre. D'ailleurs ici, une autre traduction parle plus précisément d'une passe dans un cordon de sable, alors que nous avons dans notre texte une simple plage, sans autres détails. Passe ou pas, le meilleur moyen d'approcher la terre est l'usage des ancres de jet, manœuvre qui exige l'usage de la *scapha*, la chaloupe, c'est d'ailleurs une des raisons de sa présence à bord. L'équipage n'utilise pas un faux prétexte ; il dit effectivement ce qu'il faut faire. Ces ancres de la proue sont différentes des quatre ancres qui ont été jetées de la poupe. Ces dernières sont pour fixer le navire, les ancres de l'avant, sont des ancres de jet, pour déhaler le navire, de son mouillage, vers la plage.

33. « Jusqu'au lever du jour, Paul recommandait à tous de se nourrir. Il disait : C'est le quatorzième jour, aujourd'hui, que vous attendez, jeûnant, n'avalant rien. Aussi, je vous demande de vous nourrir pour votre salut. Il ne se perdra, en effet, aucun cheveu de votre tête. »

35. « Il a prononcé ces paroles et puis, devant tous, il a pris du pain et a dit sa gratitude à Dieu. Ayant partagé le pain, il a mangé. A ce moment tous les autres ont repris courage et ont mangé. »

Nous remarquons que personne n'a rien mangé durant les événements ; ils se nourrissent maintenant que la terre est en vue.²⁰⁸

²⁰⁷ Il faut se rappeler le faux sens constant en français concernant le gréement. Pour tous les marins du monde, l'artimon est le mât de l'avant, sauf en France où ce terme désigne le mât de l'arrière, que tous les marins du monde appellent misaine, sauf nous autres français qui le plaçons à l'avant.

²⁰⁸ Il faut expliquer le pourquoi de cette remarque, bien que ce détail ne concerne pas, directement, la navigation, mais plutôt le droit maritime. Nous avons vu que l'un des principes du droit ancien maritime, c'est la constitution de cette société de bord qui lie *de facto* les participants à l'aventure maritime qui est commune par nature. Si, pour le biens matériels, cette notion débouche sur les règles bien connues du droit ancien, et aussi moderne, de l'avarie commune, précisément dite commune, car supportée par la société de bord, d'autres règles en découlent également, en ce qui concerne la sauvegarde des vies, qui suivent des modalités différentes. Dans

37. « *Nous étions au total à bord de ce navire deux cent soixante-seize personnes. Rassasiés, ils allégeaient le navire en jetant le blé par dessus bord.* »

39. « *Quand le jour s'est levé, ils ne reconnaissaient pas le rivage. Ils ont aperçu une baie et ont décidé de tenter d'échouer le navire sur la plage. Ils ont laissé filer les ancres à l'eau et largué les amarres du gouvernail. La voile d'artimon²⁰⁹ hissée, vent arrière, ils se dirigeaient vers la plage. Le navire a touché un banc de sable et s'y est échoué. La proue s'est enfoncée et ne bougeait plus ; la poupe s'est brisée sous la violence des vagues.* »

Ici changeons de texte

39 « *Quand vint le jour, ils ne découvraient pas quel était ce pays, ils observaient un golfe avec une grève sur laquelle ils projetaient d'échouer le navire.*

40 *Ils filèrent les câbles des ancres et les abandonnèrent à la mer, non sans avoir, en même temps, relâché les cordages des gouvernails et ayant hissé l'artimon au souffle du vent ils vinrent vers la grève terminer leur course.* »

42. «... *Les soldats ont décidé de tuer les prisonniers pour empêcher que l'un de d'eux ne s'enfuit à la nage. Mais le centurion voulait sauver Paul et les en a dissuadés. Il a ordonné à ceux qui savaient nager de se jeter à l'eau les premiers pour gagner le rivage. Les autres s'accrochèrent à des planches, à des débris du navire. Ainsi, Ils sont tous arrivés sains et saufs sur la plage.* »

les usages anciens le navire ne doit que l'eau potable aux passagers, ils apportent chacun leurs propres vivres. Si le voyage dure trop longtemps, les vivres risquent de manquer mais d'une façon inégale et de graves troubles sont à attendre. N'oublions pas que les passagers sont en bien plus grand nombre que l'équipage et que la situation exige du doigté. Sur le navire de Paul, il y a 276 personnes, sans que l'on sache s'il s'agit du grand total ou des passagers seulement. De toute façon, l'équipage doit avoisiner une cinquantaine de personnes au maximum. Sur le bateau de Synésios, qui n'est qu'un caboteur, il y a plus de 50 passagers pour 13 membres d'équipage, y compris le capitaine. Dans le cas de disette, la société de bord demande que les vivres de tout un chacun soient réquisitionnés et que le capitaine établisse un rôle de répartition en fonction de critères qui lui sembleront les plus équitables. Ici, on assiste à la liquidation de ce système qui n'a plus lieu d'être puisque l'on connaît, désormais le moment de l'issue du voyage, heureuse ou pas..

²⁰⁹ Sur ce faux sens voir la note 18

28,1. « Une fois sauvés, nous avons appris que l'île s'appelle Malte²¹⁰. Les indigènes manifestaient à notre égard une amabilité extraordinaire ».....

11. « Trois mois plus tard, nous embarquions sur un navire qui avait hiverné dans l'île. C'était un navire alexandrin, à l'enseigne des Dioscures. Nous fîmes à Syracuse, une escale de trois jours. »

« De là, levant l'ancre, nous sommes arrivés à Rhégion. (Reggio di Calabria) Un jour plus tard, le vent du sud s'étant levé, nous accostions à Pouzzoles, où nous avons trouvé des frères qui nous demandèrent de rester parmi eux sept jours. C'est de cette manière que nous sommes arrivés à Rome. »

Comme nous pouvons le voir, ce Luc est une vraie mine. Faut il y ajouter foi dans ces conditions à ce texte ? À notre avis, oui, pour trois raisons. La première raison est que c'est un texte reconnu écrit par lui même, peut être de seconde main, mais sur des documents dûment contrôlés par lui ; nous avons vu au paragraphe précédent sa façon de travailler.

La seconde raison est que si le texte nous paraît si bien documenté, c'est en raison de l'expérience de la mer de Luc qui se reconnaît à sa description des manœuvres du capitaine, un bon marin. Il faut ajouter à cela sa formation de médecin (c'est Paul qui le dit, il le connaît bien, c'est lui qui l'a recruté) et par là même il est habitué à bien observer les gens et analyser les situations. Enfin, il semble être aussi un fin connaisseur des institutions et du droit romain. Marguerat nous dit que Winters a vérifié systématiquement la fiabilité des données dans les actes. Le troisième détail qui nous semble significatif est l'objectivité du récit, il ne se laisse pas emmener par ses sentiments personnels. L'objectif du capitaine est bien exposé : embouquer la passe, puis de se mettre à l'abri dans le port. Il veut utiliser la méthode du jet alternatif des ancres avec la *scapha*. Citons le à nouveau « ... Mais l'équipage qui cherchait à fuir le navire (version de Paul) descendait le canot à la mer sous prétexte d'aller élonger des ancres sur l'avant (version du capitaine) ».

²¹⁰ La meilleure façon de faire un point exact, Rappelons nous l'aventure de Christophe Colomb aux Açores.

Bref Paul qui est un orateur (on s'en doute, il a fait preuve de ses talents, au moins à deux reprises précédemment au cours du même voyage) fait part de ses soupçons au centurion qui le croit et fait couper l'amarrage de la *scapha* qui part à la dérive. C'est une catastrophe.

Car la *scapha* est nécessaire pour transporter et mouiller alternativement les ancres de jet en allongeant leur câblot qui étant en cordage flotte et n'offre aucune résistance à cette manœuvre, puis les virer au cabestan. Cette manœuvre est classique et dura autant que la marine à voile. Le navire ne peut entrer sous voile dans un port fermé, il lui faut trop d'erre pour rester manœuvrant. Cette erre, une fois à l'intérieur, devient un sérieux handicap, il n'aura pas le temps de la casser une fois la passe franchie et risque de s'écraser contre le quai au fond du port. Seules solutions donc : soit le remorquage par un navire à rame soit le déhalage (de plus dans le cas présent le navire n'est plus manœuvrant). Et pourtant ce capitaine a fait son maximum et montré toute sa compétence : Il a successivement au serré les bordés pour parfaire l'étanchéité²¹¹, jeté la cargaison à la mer pour soulager le navire et lui permettre de monter plus facilement à la lame, mis à bas le mât et sa vergue, restée en position haute avec sa voile carguée, pour diminuer le fardage (la prise au vent) et réduire encore plus la vitesse, confectionné et mis à l'eau l'ancre flottante pour réduire la vitesse. N'oublions pas que le capitaine pensait être en train de courir vers le Sud-Ouest et trop vite à son goût pour être confronté à une côte dont la mauvaise réputation est déjà bien établie. Donc, il n'y avait aucune raison pour que ce capitaine ne maîtrise pas cette situation, qui, bien que difficile présentait une amélioration certaine sur ce qu'il venait d'endurer. Paul semble être, à notre avis, le grand responsable de la catastrophe finale en contrariant l'ultime manœuvre de ce capitaine qui s'était montré si compétent jusque là. S'il ne prend pas formellement parti, Luc expose pourtant avec une parfaite objectivité les arguments du marin.

Luc qui admire Paul sent bien que celui-ci a commis une erreur de jugement, il n'en pipe mot mais n'en pense pas moins, car il se sent obligé de minimiser l'incident en expliquant que le bateau ayant littéralement explosé lorsqu'il s'est échoué sur le banc, presque tous les passagers (et ils étaient 276) ont pu rejoindre la côte, chacun sur son morceau de bois. Donc cette erreur de jugement (jamais explicitée, mais sous-entendue très fortement) n'aurait

²¹¹ Serrer un navire est une action bien connue de tous les patrons pêcheurs qui ont navigué sur de vieux bateaux en bois. Elle consiste à entourer de l'extérieur le navire par des boucles de cordage et à les tendre au maximum sur le pont. Le navire est ainsi littéralement ligoté comme un rôti prêt à aller au four. L'opération a pour but de resserrer la coque du navire et à empêcher les liaisons de trop jouer pendant la tempête. On évite ainsi les entrées d'eau trop importantes qui ne font qu'ajouter un souci supplémentaire à une situation déjà délicate.

entraîné que des conséquences mineures. Néanmoins le lecteur averti corrigera de lui même grâce à l'exposé de Luc.

1-4.3- Exemplarité du texte de Luc

Nous avons placé ce récit en conclusion, car il illustre à merveille les difficultés auxquelles se heurtait le navigateur, quand sa seule méthode était la navigation à vue.

Difficultés de manœuvre tout d'abord, esclave de la direction dictée par le vent il est difficile pour le marin de s'en écarter. Nous avons vu qu'en fin de période, avec Edrisi, le navire peut aller en travers du vent et même aller jusqu'au travers vrai. Deuxièmement, le marin n'a qu'une vue très approximative de sa situation géographique il sait vaguement où il va avec le vent choisi, mais vienne à changer le vent et c'est la grande aventure. Dans cette période qui va du début de notre ère jusqu'au XII^e siècle, la navigation pratiquée en Occident et aussi dans l'Orient arabe restera la navigation à vue (la première forme de navigation possible qui fut accessible au navigateur antique). La première conclusion que nous en tirerons, concerne cet aspect de la navigation qui s'occupe de la localisation, la navigation à vue reste entièrement tributaire de son moteur le vent, c'est également le vent qui va déterminer la direction à prendre et le point de destination. C'est donc le choix du vent qui reste la seule option du navigateur en fonction de sa destination. Le temps qu'il fait devient donc une variable d'ajustement et le navigateur doit moduler ses projets en fonction de la disponibilité des vents et donc de la période de l'année.

La deuxième conclusion est que paradoxalement cette navigation s'est aussi effectuée sans vue, c'est-à-dire : hors de vue de terre. Pourtant, c'est la vue de terre qui est le guide du navigateur. Cela ne signifie pas que le navigateur est astreint à ne pas quitter la terre des yeux, les faits abondent en traversées en haute mer, hors de vue de terre. Mais dans ce cas, le navigateur doit savoir très exactement où il va arriver au terme de cette traversée. Il doit donc être assuré que le vent qui le pousse ne va pas l'abandonner ou changer sa course. Sinon il

sera perdu. C'est un risque, que, à la limite, il peut accepter dans une mer fermée, où il a au moins une certitude : c'est d'aborder quelque part et de se repérer ensuite.

La troisième conclusion découle du fait que si les progrès dans le domaine précédent ont été très limités, ils sont, en revanche, significatifs dans les tentatives pour s'affranchir de l'obligation de suivre le vent. Le navigateur a amélioré sa technique d'utilisation de la voile, en vue d'une plus grande latitude de mouvement vis à vis de la direction première du vent. En effet on peut dater du III^e siècle en Occident les efforts réussis de naviguer de plus en plus en travers du vent. Pour un vent donné, l'éventail des destinations possibles s'élargit. L'apparition de la voile latine doit alors s'analyser plus comme une facilité accrue dans cet effort d'ouvrir l'éventail des allures plutôt que comme un progrès décisif. L'effort d'élargissement des allures possibles pour un vent donné a commencé avec la voile carrée et avec succès ; si la voile latine s'est généralisée c'est sans doute plutôt pour des facilités d'usage qu'il nous est difficile d'analyser, faute de sources, sauf à reconstruire des explications *ex post*. Cette solution risque de déboucher sur des hypothèses qui, hors de leur contexte, risquent d'être plus que hasardeuses, et c'est pourquoi nous n'irons pas plus loin dans cette investigation.

Mais la navigation hors de vue de terre est cependant limitée en fait à deux cas. **Dans le premier** cas la possibilité de quitter la terre de vue est subordonnée à l'existence de vents bien réglés, tels les moussons. La direction donnée par la mousson est le seul repère apparent fixe dans l'immensité de l'Océan Indien. Partant d'un point, on sait très bien, en suivant le vent, où on va atterrir en face. Si on va à droite ou à gauche du vent, en s'écartant plus ou moins de cet axe, on sait également par expérience où le voyage va aboutir. C'est ce qui explique le paradoxe de ces navigations au long cours qui apparaissent très tôt dans l'Histoire.

Le problème devient difficile à résoudre lorsqu'on est en présence de vents tournants et on doit, de toute façon, opérer un début de repérage par rapport aux repères fixes du ciel, c'est-à-dire : l'axe du monde et les points cardinaux. L'incertitude augmente et **dans ce second cas** la navigation hors de vue de terre ne peut concerner que des mers très resserrées telle que la Méditerranée ou la Baltique ou bien encore le sud de la Mer du nord, où, en fait, on ne peut pas se perdre. La Méditerranée par exemple est une mer totalement fermée, on butera

fatalement sur la terre. Les Romains du 1^{er} siècle pouvaient aller aux Indes et en revenir parce que la mousson est un phénomène parfaitement prévisible ; le capitaine génois du navire qui rapatriait Ibn Jubayr luttait avec ténacité pour atteindre la côte espagnole dans le chaudron de la Méditerranée occidentale. Les norvégiens de l'an mille ne pourront aller en Islande que l'été, car justement les vents deviennent tournants et le régime du vent systématique du secteur Ouest qui prévaut huit mois sur douze est momentanément interrompu. Mais alors le système de navigation en se guidant sur le vent est complètement inopérant et sans aucun repère dans le vaste océan, il leur faudra bien trouver une nouvelle solution que nous étudierons dans la deuxième partie

Deuxième Partie

L’Invention de l’estime

Deuxième Partie

L'invention de l'estime

2-0. Introduction de la deuxième partie

Nous avons vu que, dans la navigation à vue, le marin, même lorsqu'il quittait la terre des yeux se repérait par rapport au vent. Cette méthode, bien que simpliste a cependant amené les marins antiques à effectuer des traversées, parfois, très longues. Nous avons vu que les Romains, ou plus exactement des Grecs, sujets romains et habitant l'Egypte, allaient aux Indes dès le 1^{er} siècle de notre ère. De plus, le voyage était mesuré en temps passé à la mer. Ceci était parfaitement cohérent, le vent était le moteur du navire et c'est essentiellement une variable saisonnière. Les périodes, favorables ou non, obéissaient donc à des séquences temporelles dans la durée de l'année. Il s'agit d'une navigation régie par des lois naturelles et le soin de se repérer dans l'espace de cet univers sera laissé à l'exercice des organes naturels des sens et, en particulier, de la vue. Nous avons passé en revue ces méthodes dans la première partie. Il en résulte que c'est le vent qui désigne les trajets possibles, les moments favorables et les délais. Le meilleur exemple, nous le trouvons dans le Périple de la mer Erythrée, un catalogue des destinations possibles et des dates de départ limites. Ce sont donc les limites vite atteintes et surtout immuables de cette méthode.

Cependant le marin veut dépasser ces limites et désire se rendre, pour les besoins de son commerce, selon un trajet bien déterminé qui n'est pas forcément favorisé par les éléments naturels. Les produits rares et donc profitables ne sont pas forcément répartis en fonction des facilités d'accès. Il doit donc braver des conditions adverses. Nous avons vu avec l'exemple du voyage retour d'Ibn Jubayr que, même lorsque les conditions générales sont adverses, cette opération est parfaitement réalisable. Il suffit d'attendre une période de vents changeants pour profiter de cette opportunité passagère. Ces espaces de temps favorables sont provisoires et il faut alors figer la progression, dès que les conditions redeviennent défavorables, en mouillant au premier abri ou en faisant du « sur place », et recommencer cette progression têtue à la

première nouvelle occasion favorable. L'expérience montre que cette obstination finit par vaincre ces conditions globalement défavorables.

Des problèmes nouveaux se posent

La navigation élargit donc son cadre géographique. Elle affronte des routes nouvelles et se risque à affronter des temps moins cléments que ceux de la pleine période estivale. Tous ces navigateurs se sont trouvés confrontés à des difficultés communes, qui d'exceptionnelles vont, désormais, devenir habituelles.

-La première difficulté provient du fait que profiter des vents changeants, au large, fait perdre tout repère fixe. Autrement dit, profiter des vents changeants permet aux risées changeantes selon leur direction de servir de moteur et de pousser le navire dans la direction souhaitée. Mais le vent perd alors sa valeur de guide. Il faut un nouveau repère fixe dans l'espace pour pouvoir déterminer dans quelle direction exacte souffle la nouvelle risée. Il faut donc se repérer finalement selon les astres. On navigue selon le vent, c'est un fait, mais on doit vérifier que le vent continue à souffler dans la direction favorable. L'exemple du navire de Paul indique que c'est un repère géographique donné par les astres qui est le seul possible, hors de vue de terre. D'une façon générale, la solution est assez facile, lorsque le ciel est clair, le marin peut vérifier en regardant les astres si le vent n'est pas en train de tourner et, dans ce cas, vers quelle nouvelle direction et reprendre les réglages du navire en conséquence, pour continuer sa progression.

2-La seconde difficulté, nous la voyons également dans le voyage d'Ibn Jubayr. Si les vents changent sans arrêt et surtout si les épisodes de vent maniable alternent avec les épisodes de vent contraire où l'on est obligé de mettre en fuite tout en rebroussant chemin, on entreprend avec le navire une errance difficile à contrôler. Il faut garder la mémoire de toutes ces marches et contremarches. Il devient, par la force des choses, difficile de savoir où l'on se trouve, car nous avons vu le navire d'Ibn Jubayr tenter par 5 fois sa traversée.

Se repérer dans l'espace.

Des méthodes pour déterminer un repère fixe dans l'espace, il en existe déjà depuis l'antiquité mais ce sont des méthodes terrestres qui sont utilisées, en particulier, dans les rites culturels antiques et d'une façon professionnelle par les arpenteurs ; les premières méthodes consistent à déterminer d'une façon rigoureuse la ligne Est-Ouest, la direction du Nord étant déduite à partir de cette ligne. En mer c'est plutôt la direction approximative du Nord qui est la plus

facile à déterminer grâce à l'étoile polaire, mais ce n'est qu'une approximation, car, en réalité, celle-ci n'est pas exactement positionnée sur le Nord géographique et sa position varie selon l'heure autour de cette direction. Les méthodes terrestres sont difficilement applicables à bord, sauf cas très particuliers. C'est la découverte des propriétés de l'aiguille aimantée qui va changer la donne. Par sa fixation sur la direction du Nord magnétique celle-ci donne une indication relativement stable et consultable jour et nuit et quelles que soient les conditions de l'aspect du ciel.

Le point nodal de la méthode c'est la boussole, c'est elle qui va donner l'orientation des routes (le cap) par rapport à une référence commune, le Nord. C'est une orientation géographique, elle ne contredit en rien l'orientation selon le vent, simplement, un vent particulier se voit, lui-même, designer une orientation dans ce système de repérage plus général. En fait, le Nord utilisé n'est pas exactement le Nord, mais plus exactement le Nord magnétique, celui que désigne la boussole. La direction entre le Nord vrai et le Nord magnétique diffère par la déclinaison magnétique. Il n'est pas certain que les premiers utilisateurs soient très conscients de ce phénomène. De toute manière, cette différence n'est pas significative. On a besoin d'un repère fixe et le même pour tous. Nord vrai ou magnétique, c'est une affaire de conventions, dans la mesure où la déclinaison est une correction universelle. C'est en effet vrai dans le cadre restreint de la Méditerranée où elle varie peu. Le problème changera lorsqu'on finira par sortir de ce cadre relativement étroit.

Mémoriser les routes.

La boussole permet de standardiser les routes. Noter un cap est une façon simple, commode et définitive de caractériser une route, alors que le système des allures suivies dépend entièrement du vent en présence. Pour aller de Barcelone en Italie il faut passer par Bonifacio. Si le vent est du secteur Ouest on y ira soit vent arrière ou largue d'un bord ou de l'autre selon qu'on est en présence de Noroît ou de Suroît, mais on peut aussi y aller vent de travers, si souffle un vent de Nord, autre possibilité fréquente en hiver. La boussole simplifie les choses, dans tous ces cas on sait désormais qu'il faut faire de l'Est. Autrement dit, si on connaît le cap à suivre, il suffit alors de n'importe quel vent poussant dans la direction générale du port d'arrivée pour que l'on sache progresser vers ce port, il suffira simplement de régler la voilure en conséquence. Pour énoncer une direction à prendre, on peut dire que la notion de cap est beaucoup plus claire et précise que celle de vent portant.

Il reste, cependant, que les vents contraires continuent de compliquer la tâche du navigateur et que l'on sera toujours obligé, soit de louvoyer, soit de renoncer momentanément à la route prévue et de fuir devant le temps. Mais désormais il est plus facile de noter et comparer tous les caps suivis puisqu'il n'y a plus qu'un repère commun à toutes les routes. On peut en conserver la mémoire. Mais pour exploiter ces données cohérentes mais dispersées, il faut pouvoir en garder la trace. Ce n'est pas encore possible alors par le calcul mais bien plus facile à faire par la géométrie. Il suffit de faire un modèle. Le terme de mémoire est synonyme de l'idée de modèle. Le modèle en situation se rapproche de l'idée de plan. Les arpenteurs anciens sont obligés de passer par des plans pour effectuer leurs calculs. Nous verrons que l'un des accessoires essentiels du *mentor* est sa *tabula*, c'est à dire la planchette sur laquelle il dessine un croquis où il reporte les résultats de ses mesures. Il est alors plus aisé d'y effectuer les calculs accessoires nécessaires aux résultats qui lui sont demandés, par exemple, la superficie des parcelles arpentées.

L'estime est donc une méthode qui permet, en reportant sur un plan le modèle des déplacements suivis par le navire, de garder la mémoire du détail de ces déplacements. Elle permet, également, d'obtenir une résultante des trajets divers entrepris ainsi figurés. C'est l'extrémité de cette résultante qui permet de se situer à tout moment à partir d'une situation de départ. Si le premier problème du navigateur : savoir quelle direction prendre est résolu par la boussole et le routier ou catalogue des routes usuelles, c'est grâce à l'estime que l'on va résoudre ceux qui sont afférents au contrôle de cette route. Pour ne pas se perdre entre toutes les marches et contremarches que les circonstances imposent au navigateur, il faut tenir un trace de tous les caps suivis et des distances parcourues à chaque cap, il est évident que la méthode la plus aisée est graphique. Ce modèle doit être reporté sur un plan d'ensemble où doivent figurer le point de départ et le point d'arrivée souhaité. C'est donc sur la carte, qui va être la transposition graphique du routier que va être appliquée l'estime qui permet de suivre les tribulations du navire dans l'espace. Il n'y a pas de traces écrites de cette méthode. Nous ne disposons pas d'un traité de l'estime datant de cette époque, vraisemblablement elle se transmettait par apprentissage direct entre le pilote et son assistant. Le premier écrit technique d'un marin utilisant cette méthode est le journal de bord de Christophe Colomb qui date déjà de deux siècles après l'époque supposée de l'invention de la méthode. Ce journal de bord est tout à fait exceptionnel en ce sens qu'il faisait partie en quelque sorte du cahier des charges du contrat liant les Rois Catholiques au Navigateur et rien ne prouve que ce soit, alors, une pratique courante. En tout état de cause, ce journal n'aligne que des données et très peu de

résultats de calculs intermédiaires, ce qui n'enlève rien à son intérêt. En revanche, ce qui nous est resté de la méthode ce sont les instruments de l'estime, en particulier le support du graphique, la carte.

Définition des termes

Pour résumer, il y a un instrument de base, la **boussole** qui évolue par la suite vers le compas qui définit le cap, c'est-à-dire l'angle que fait la route du navire avec le Nord ; cette orientation géographique permet de formaliser les routes qui sont désormais répertoriées sur un **routier**, ouvrage qui garde la mémoire des principales routes du large pour aller de port à port. Ces ouvrages prennent parfois le nom de *portolano* ou de *compasso da navigare*. Ils sont donc différents des **périples** qui recueillent le détail des routes côtières en usage dans la navigation côtière qui est un cheminement à vue d'amer en amer. Car les routes du large sont suivies directement, hors de vue de terre, par une méthode nouvelle l'estime. L'**estime** est une méthode de navigation où la position actuelle du navire est déduite en reportant la direction suivie et la distance parcourue à partir d'un point de départ parfaitement connu. C'est, à ce moment, une méthode graphique qui doit être reportée sur une carte, le **portulan** transcription graphique du routier c'est le cadre dans lequel s'inscrit le graphique de l'estime. Le portulan est donc le complément indispensable de l'estime.

Le problème historique de l'estime : origine et datation.

Comme nous l'avons souligné plus haut, il n'y a pas de traces écrites de l'histoire de cette méthode. Nous ne disposons pas d'un traité de l'estime datant de cette époque, vraisemblablement elle se transmettait par apprentissage direct entre spécialistes. Le problème de la carte lui n'est pas nouveau, mais on ne trouve dans l'antiquité rien qui ne soit exploitable sur le plan pratique, à l'exception des levers cadastraux mais qui sont des solutions terrestres. En revanche, l'orientation en mer a des précédents que l'on peut retracer en particulier chez les scandinaves

Depuis l'antiquité les hommes savaient déterminer la ligne Est-Ouest et à partir de là le Nord, et cela avec une grande précision. Ces méthodes étaient relativement faciles à mettre en œuvre sur la terre ferme, mais dans un univers marin, fluide, sans aucun repère fixe que l'on puisse mettre en évidence, dans cet univers lisse et sans relief, un horizon uniforme et un ciel changeant, la question n'a pu être résolue facilement. Il y eut un décalage dans le temps. Les premiers navigateurs à utiliser un repérage géographique furent les Scandinaves, vers le X^e

siècle, ils privilégiaient l'axe Est-Ouest. Puis vinrent les méditerranéens qui, avec la boussole, utilisaient l'axe Nord-Sud, dès le XII^e siècle. Enfin, conséquence de la boussole, l'estime fut mise au point vers la fin du XIII^e siècle. C'est pourquoi dans un **premier chapitre** nous étudierons *les précurseurs et les moyens de la navigation scandinave*. En ce qui concerne l'étude de l'estime elle-même, nous avons vu que ce sont les instruments de l'estime qui nous sont parvenus c'est pourquoi dans une **deuxième chapitre** nous étudierons *les instruments de l'estime, Boussole, compasso*. Enfin, à défaut d'un traité d'époque de la pratique de l'estime, c'est à travers l'usage de ces instruments que nous étudierons dans un **troisième chapitre** ces instruments et que nous reconstruirons cette méthode à travers *la pratique de l'estime. Le portulan*

Deuxième partie

Chapitre premier.

2-1.0 La navigation scandinave.

Les Nordiques sur la route de l'Ouest.

Nous avons vu que le propre de l'estime c'est de s'orienter par rapport à la direction du Nord.

Dès la plus haute antiquité les anciens savent déterminer les quatre points cardinaux déterminés par les lignes Est-Ouest et Nord-Sud. En fait, le plus facile est de s'orienter selon la ligne Est-Ouest, la ligne Nord-Sud se déduisant de cette première ligne, puisque c'est la direction perpendiculaire. C'est la seule façon de se repérer à terre, les vents n'y ont que peu de signification car leur direction n'est pas aisée à déterminer précisément, ils sont modifiés localement par les reliefs. Ce sont en particulier les problèmes d'arpentage qui donnent lieu à la résolution des problèmes de repérage et c'est à travers eux que l'on conserve les traces de ces solutions. Les arpenteurs ont, dans ce domaine, développé une technique très élaborée. Cependant ces techniques sont difficilement transposables en mer et c'est pourquoi les marins contemporains des arpenteurs romains ou égyptiens conservent leurs techniques propres et ne se repèrent que par rapport à la vue des côtes ou bien, se dirigent par rapport au vent avec cependant des références furtives aux astres pour déterminer si le vent n'est pas en train de changer.

Il y a cependant des exceptions dans le monde antique et l'auteur du Périple de la Mer Erythrée fait souvent référence aux points cardinaux, il est vrai que dans ce cas particulier c'est aussi une référence par rapport au vent dominant puisque celui-ci a une direction orientée géographiquement d'une façon très précise, Nord-Est à Sud-Ouest ou inversement. Au Moyen Age, seuls les Scandinaves se repéraient par rapport aux quatre points cardinaux. On ne sait pas pourquoi. Peut être que les Norvégiens, car c'est surtout d'eux dont il s'agit, qui habitent un pays globalement disposé selon une ligne Nord-Sud ont devant eux le large qui s'étend vers l'Ouest. Le marin qui s'enfonce vers le grand large, s'il veut revenir, doit faire du plein Est, dans ce cas, il est certain, en fin de course, de retrouver la terre mais ce n'est qu'une assomption fondée davantage sur la logique que sur des faits.

Les Scandinaves et particulièrement les Norvégiens développent alors une méthode de l'estime simplifiée qui leur permet d'explorer puis de naviguer d'une façon quasi routinière dans tout l'Atlantique Nord²¹². Contrairement aux Méditerranéens, ils se repèrent par une orientation sur des bases purement géographiques, les quatre points cardinaux. Deuxième originalité, ils développent très tôt une navigation intercontinentale, puisqu'ils naviguent jusqu'en Islande dès 870²¹³ et au Groenland au tournant de l'an 1000²¹⁴, avec, d'une façon quasi certaine des pointes sur le continent Nord-Américain²¹⁵. Il y a eu un précédent, puisque nous avons vu que les marins grecs d'Egypte, sous l'empire romain, allaient aux Indes, dès le 1^{er} siècle de notre ère. Mais de leur propre aveu, ils avaient copié la méthode sur les Indiens. Ce n'est pas le cas des Scandinaves et spécialement des Norvégiens qui sont surtout concernés par les routes de l'Atlantique Nord, car ils ont le mérite d'avoir mis la méthode au point, par leurs propres forces.

C'est compréhensible car ils n'ont personne sur qui copier. En effet, les divers peuples du Nord évoluent, à cette époque, dans un monde maritime complètement étranger au bassin du Sud, celui de la Méditerranée. Ce monde, à l'origine, se trouve composé de deux bassins, celui de la Baltique et celui de la Mer du Nord, ce dernier ouvert sur l'Atlantique du Nord-Est. Le commerce²¹⁶ s'articule autour de quelques emporia, dont celui très important d'Haitabu²¹⁷. Ce port, situé à la base du Jutland, du côté Baltique, au fond du fjord de la Schlei, constitue alors le point de convergence des marchandises de la Baltique et la base de départ d'un court portage pour amener ces marchandises sur les rivages de la Mer du Nord, où aboutissent des routes maritimes menant aux bouches de la Meuse et du Rhin, ainsi qu'aux ports du Nord de la France et aux estuaires de l'Angleterre. Haitabu constitue donc le carrefour où se rencontrent marchands et marins de tous ces pays : Scandinaves du Nord, Angles originaires de la région, Saxons et Frisons, venus du Sud et de l'Ouest de la mer du Nord²¹⁸. Tout ce monde vit, en équilibre, de ce commerce fort actif et qu'attestent de nombreuses traces

²¹² Régis Boyer, *Les Vikings. Histoire, Mythes, Dictionnaire*. Ed. Robert Laffont, Paris, 2008. p. 554

²¹³ Régis Boyer, *Ibidem* p 569-570.

²¹⁴ Régis Boyer *Ibidem*. p. 567.

²¹⁵ Régis Boyer, *Ibidem*. p. 283-286

²¹⁶ Régis Boyer, *Ibidem*. p. 33 et 393-400.

²¹⁷ Régis Boyer, *Les Vikings .Op.cit.* p. 527-528.

²¹⁸ Régis Boyer, *Ibid.* p. 492-494

archéologiques. Lorsque, à la suite de la mort de Charlemagne, son empire entre en décadence, les divisions et les guerres ruinent ce commerce. Les Scandinaves, quant à eux, vivent dans des pays à la marge du monde habitable, dans un climat où les moindres variations climatiques, un tant soit peu anormales, se traduisent aussitôt par une production au dessous des niveaux de survie. Ce commerce leur est nécessaire pour assurer des compléments de revenus indispensables à cette survie²¹⁹. La ruine de cet équilibre les pousse alors à un épisode passager et assez bref de leur histoire : l'épisode Viking.²²⁰ La spécificité de cette époque relativement courte nécessite quelques éclaircissements et de préciser certaines définitions. Ne pouvant plus commercer avec les gens du Sud, ils entreprennent, pour maintenir ces compléments de revenus, de monter des raids maritimes contre les emporia des Frisons de Dorestad et Quentovic, pour les razzier²²¹. Ce sont ces raiders que l'on appelle les Vikings. D'une façon générale, les Scandinaves se spécialisent, selon leur localisation d'origine, dans une exploration très étendue de leur univers voisin. Les Danois descendent vers le Sud, en Mer du Nord, investissant la côte Est de l'Angleterre où ils finissent par s'installer, ravageant les pays de la Frise et s'établissant également en Normandie. Ils voyagent, sous forme de raids, bien plus au Sud, vers la France méridionale, l'Espagne de l'Ouest et même, passant Gibraltar, atteignent la Camargue. Leur passage est noté par les auteurs arabes, à l'occasion d'une bataille navale où les Vikings eurent le dessous, à leur passage retour du détroit de Gibraltar²²². Les Suédois, quant à eux, partent vers l'Est, à travers la Baltique, et de là, vers le Sud par les fleuves qui descendent vers la mer Noire, le Dniepr et la Caspienne, la Volga²²³. Il s'agit moins de raids que de commerce, en particulier celui des esclaves qui ne sont pas, obligatoirement, razziés. Ils portent alors le nom de Varègues. Ils arrivent jusqu'à Constantinople où ils commercent et se placent comme mercenaires et, sans doute, également jusqu'en Iran.

Jusque-là, on ne perçoit aucune difficulté de navigation, il s'agit de navigation côtière, sans lâcher la côte des yeux. Mais la situation va changer avec les voyages des Norvégiens Car,

²¹⁹ Régis Boyer, *Les Vikings .Op.cit.* p.393-400.

²²⁰ Régis Boyer, *Ibid.* p. 35 et 851-853.

²²¹ Régis Boyer, *Ibid.* p. 384-388

²²² John Haywood, *Atlas des Vikings. 789-1100.* Ed. Autrement, Paris, 1996. p. 58-59

²²³ Ibn Fadlan in *Voyageurs arabes Ibn Fadlan, Ibn Jubayr, Ibn Battûta et un auteur anonyme. Textes traduits, présentés et annotés par Paule Charles-Dominique.* Gallimard , Paris 1995 Chap. *Les Rûs*, p 58-64 .où l'auteur décrit sa rencontre avec les Varègues de la basse Volga.

dans ce même mouvement d'expansion géographique, ceux-ci cherchent également de nouvelles terres, où s'établir surtout dans des contrées avec un climat et une géographie semblable à leur pays d'origine pour pouvoir y pratiquer l'élevage, base de leur économie agraire. Ceci concerne donc, en particulier, les Norvégiens auxquels ne restent que le grand Nord et surtout l'Ouest. Ils explorent donc le Nord de leur péninsule et vont, par la voie côtière, au moins jusqu'à la péninsule de Kola et, peut-être, jusqu'à Arkhangelsk. En revanche, vers l'Ouest, ils partent au large pour explorer les îles Féroé, les Orcades et les Shetlands où ils s'établissent pour partir, ensuite, vers l'Ecosse et l'Irlande, qu'ils atteignent donc en venant du Nord. Ces mouvements d'expansion se développent par mer ou en suivant les fleuves, en ce qui concerne le cas particulier des Varègues. Les navires sont donc très importants. Les scandinaves connaissent, à cette époque, divers types de bateaux : en schématisant, nous retrouvons les bateaux longs et les bateaux ronds²²⁴. Ces types sont relativement bien connus, car nous en avons une connaissance directe par l'archéologie et, en particulier, par les bateaux remontés du fond à Roskilde, sans compter les navires exhumés de tumuli abritant des tombes. On distingue, donc, le navire long ou *langskip* qui est ce que nous n'appellerons, surtout pas, le *drakkar* (affreux gallicisme d'après les spécialistes des civilisations nordiques.) Ce navire n'est en fait qu'une galère, le navire favori des **Vikings**, c'est à dire des scandinaves spécialistes du raid. Animé principalement par l'aviron, le nombre élevé des rameurs est un avantage puisque chaque rameur se transforme en combattant, le navire dispose d'une voile auxiliaire, intéressante pour les raids au long cours, elle permet à l'équipage de se reposer. Ce navire est long et mince avec peu de tirant d'eau, lui permettant de remonter dans les terres, mais avec une charge utile ridiculement faible, 500 kilos pour un navire de 20 à 22 bancs soit 40 à 44 rameurs. Cet équipage relativement réduit, d'une cinquantaine de raiders reste donc cantonné à des objectifs modestes. Ce sont donc essentiellement des pilliers d'églises ou de petits monastères. La résistance est faible et 50 hommes résolus feront facilement l'affaire. Le butin est tout ce qu'ils recherchent, des métaux précieux, qui sont les seuls biens valables qu'ils peuvent ramener dans leurs bateaux trop légers. C'est ce qui leur a valu leur fâcheuse réputation dans notre histoire, puisque leurs victimes de prédilection sont aussi les seuls à savoir écrire la chronique. Cette chronique leur fait donc une réputation fâcheuse et occulte totalement que ces Scandinaves sont aussi des commerçants avisés. Justement, dans le but de commercer, ils construisent spécialement un

²²⁴ Régis Boyer, *Les Vikings...* Op.cit. p. 345-352 et aussi J. Gravier, *Les Scandinaves*. Ed. Lisdias Brepols, Paris, 1984. p. 162-169

navire de charge, un bateau rond **le knörr**²²⁵ qui se déplace, quant à lui, principalement à la voile et très accessoirement avec quelques rames, pour les manœuvres de port uniquement, ou pour tenir le milieu du chenal tandis que la marée le pousse, pour remonter les fleuves. La charge utile peut atteindre 40 tonnes, y compris des animaux vivants, principale valeur des Scandinaves qui habitent un pays bien plus favorable à l'élevage qu'à la culture.

Pour résumer cette période qui s'étend de la fin du monde carolingien jusqu'à la christianisation du Nord et en restant dans le domaine de la navigation, on peut dire que les Scandinaves ont lancé des expéditions maritimes et établissent des liaisons pérennes avec leurs établissements d'Outremer. Si les Suédois et les Danois restent cantonnés dans le domaine fluvio-maritime, pour les premiers, et dans celui de la navigation côtière, pour les seconds, en revanche les Norvégiens ont dû développer une navigation hauturière systématique, car les îles de l'Atlantique, l'Islande ou le Groenland ne furent atteints que par une navigation hauturière au long cours. Nous verrons qu'ils l'ont fait à partir d'un système d'estime simplifiée basé sur la ligne Est-Ouest. Il est probable qu'ils l'ont mise au point eux-mêmes, mais ce système n'était pas une première. Ceci induit le plan suivant : dans un **premier point** nous établirons par les textes que la navigation scandinave, en général, et norvégienne, en particulier, se réfère, même en ce qui concerne la navigation côtière, aux points cardinaux. Dans **un second point** nous verrons qu'ils privilégient, pour leurs traversées loin des côtes, la ligne Est-Ouest comme ligne de repère, ce qui n'est pas forcément original, car, ils ont eu dans ce domaine des précurseurs. Cependant, leur méthode pour établir cette ligne, en pleine mer, laisse bien des questions en suspens sur lesquelles il faut bien se pencher et c'est pourquoi, une hypothèse dans ce domaine sera au centre du **troisième point**.

2-1.1 La navigation scandinave s'oriente sur les points cardinaux

Nous avons des récits de voyages côtiers dont l'intérêt principal est de montrer que le système de repérage des Scandinaves était basé sur les points cardinaux.

²²⁵ Jesse Byock, *L'Islande des Vikings*. Ed. Aubier, Paris, 2001. p. 27

A Les sources.

Nous avons donc une source sûre en ce qui concerne la navigation côtière avec les récits d'Ohthere et de Wulfstan²²⁶. Cette source, nous la devons au roi Alfred (qui régna de 871 à 899). Il fait traduire en langue vulgaire, le vieil anglais, de nombreux ouvrages historiques, voulant faire une chronique de son peuple à des fins de construction de l'unité politique. Parmi les ouvrages traduits figure un ouvrage d'Orose qui décrit l'état du monde connu en 417. Il y fait ajouter, pour compléter les connaissances de la géographie nordique, à peine esquissée, les récits de voyages dont il questionna lui-même les auteurs. Ces relations sont donc recueillies à la source et l'exactitude du texte est attestée par la présence de deux manuscrits d'époques différentes mais qui se recoupent parfaitement. Deux navigateurs, un norvégien, Ohthere et l'autre, sans doute saxon, Wulfstan, rapportent trois voyages qu'ils entreprirent eux même. Deux sont le fait d'Ohthere. Un premier voyage d'exploration le fait partir de son lieu de résidence, l'Halgoland, au Sud des îles Lofoten vers le grand Nord, jusqu'à la Mer Blanche et la presqu'île de Kola. Le second est un voyage de routine depuis l'Halgoland, puisqu'il s'agit de son domicile, vers le Sud, vers le fjord d'Oslo puis encore plus vers le Sud, plus précisément, Haitabu. Wulfstan, quant à lui, part de Haitabu vers l'Est, à travers la Baltique jusqu'à Truso, le moderne Elblag, à l'embouchure de l'Ilfing, un des bras du delta de la Vistule. Si le premier récit est très riche en détails nautiques, le second s'attache surtout aux détails ethnographiques des peuples Estes, très mal connus et dont le domaine est en continuation de celui des Wendes. Les Wendes habitent un territoire qui s'étend depuis Haitabu jusqu'à Truso où commence celui des Estes qui se développe à partir de là vers l'Est, le long des rivages de la Baltique. Tous deux effectuent des voyages qui sont des voyages côtiers, même si leur longueur est impressionnante. Ils sont contemporains ou tout juste postérieurs à l'arrivée des premiers Norvégiens en Islande.

B- Les méthodes de la navigation côtière.

Commençons par le texte d'Ohthere et laissons le se présenter : « *Ohthere dit à son seigneur, le roi Alfred, qu'il était de tous les Norvégiens celui qui vivait le plus au Nord ; il dit qu'il vivait tout au Nord du pays qui longeait la mer de l'Ouest. Il dit qu'à partir de là, la terre s'étendait encore très loin vers le Nord, mais qu'elle n'était plus habitée, sinon qu'ici et là, en de rares endroits, les Finnas venaient installer leur campement pour chasser pendant l'hiver,*

²²⁶ Article de Stéphane Lebecq, *Ohthere et Wulfstan : deux marchands- navigateurs dans le Nord-Est européen à la fin du IX^e siècle*. In *Horizons marins itinéraires spirituels*, Paris 1987 Volume II, *Marins, Navires et Affaires*

*et pour pêcher en mer pendant l'été*²²⁷ ». Plus loin dans le récit, très exactement quand il commence le récit de son second voyage, il donne sur sa situation des indications supplémentaires : « *Ohthere dit que la région qu'il habitait s'appelait le Helgoland*²²⁸. *Il dit que personne n'habitait plus au Nord*²²⁹ *que lui.* » En fait ce norvégien s'appelle, sans doute, Ottar²³⁰ qui est un nom norvégien et Ohthere ne serait que la transcription phonétique de ce nom en vieil anglais. Il habite le Halogaland qui se situe juste au Sud des îles Lofoten, à l'embouchure du fjord de Malangen, selon les recoupements des spécialistes. C'est, en effet, très au Nord, car la dernière ville norvégienne est, à l'époque, Nidaros, à l'emplacement de la moderne Trondheim. Il a raison en ce qui concerne le caractère désertique, les Sames ou Lapons, qu'il appelle Finnas, sont des nomades et leurs campements sont toujours provisoires. Selon les mêmes spécialistes lorsqu'il appelle le roi Alfred « *son seigneur* » ce ne signifie en aucune façon un lien fonctionnel mais seulement qu'il est l'hôte du roi, ce qui suppose donc un troisième voyage, en Angleterre celui-là, celui précisément où a lieu l'entretien, cet Ottar est donc un voyageur professionnel, c'est un marchand.

Maintenant venons-en au récit proprement dit de son premier voyage : « *Il dit qu'un jour il voulut rechercher jusqu'à quelle distance le pays s'étendait vers le Nord ou s'il y avait quelqu'un pour habiter au Nord du désert. Donc il s'en alla vers le Nord en longeant les côtes, laissant tout le temps le désert à tribord et la mer ouverte pendant 3 jours. Il était alors aussi loin vers le Nord que le point extrême qu'atteignent les chasseurs de baleine. Puis il continua à faire voile vers le Nord tant qu'il put naviguer pendant trois jours encore. Alors le pays s'infléchit vers l'Est ou bien la mer pénétra dans les terres, il ne savait lequel des deux. Il sait seulement qu'il attendit là un vent d'Ouest et un peu du Nord et qu'il navigua alors vers l'Est en longeant la côte tant qu'il pût naviguer pendant 4 jours ; là, il dut attendre un vent de plein Nord parce que la côte était maintenant orientée plein Sud, à moins que, il ne le savait pas davantage, un bras de mer pénétrât dans cette terre. Alors il fit voile plein Sud le long de la côte aussi loin qu'il le put pendant 5 jours jusqu'à ce qu'un*

²²⁷ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan : deux marchands- navigateurs dans le Nord-Est européen à la fin du IX^e siècle*. In *Horizons marins itinéraires spirituels*, Op.cit. p.173

²²⁸ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan...Op.cit.* p. 174

²²⁹ Stéphane lebecq, *Ibid*, p. 171 *passim*. En fait il y avait des Sames de son propre aveu car il a voulu aller voir ce qu'il y avait au Nord et il a contourné le cap Nord où il fit route vers l'Est pour s'enfoncer, ensuite, plein sud dans la Mer Blanche où il alla jusqu'à un grand fleuve qui peut être aussi bien la Dvina du nord c'est à dire la région d'Arkhangelsk ou la rivière Kalandashka qui arrose le port éponyme dans le sud de la péninsule de Kola.

²³⁰ Stéphane Lebecq, *Ibid.*, p. 168

*grand fleuve les invitât à pénétrer dans le pays. Ils en remontèrent le cours, n'allant pas au delà par crainte des réactions hostiles dans la mesure où l'autre rive du fleuve était toute entière habitée*²³¹ ». Première remarque et, sans doute, la plus importante. Le système d'orientation est désormais basé sur les points cardinaux. Ici ils sont apparemment au nombre de quatre, Nord, Sud, Est et Ouest, mais il y a des notations intermédiaires « *un vent d'Ouest et un peu de Nord.* » Quant aux distances elles se comptent en jours de route. « *Pendant les 3 jours qui suivirent, il continua de faire voile vers le Nord aussi loin qu'il le put* » ou bien encore « *Alors, il fit voile plein Sud le long de la côte, aussi loin qu'il le put pendant 5 jours, jusqu'à ce qu'un grand fleuve les invitât à pénétrer dans le pays.* » Notons, dès à présent, que les Norvégiens (à cette époque vers 950) sont des chasseurs de baleine. Les anciens norvégiens distinguent les phoques des baleines, mais dans les baleines entrent, non seulement baleines franches et cachalots, mais aussi les morses, qui bien que plus près des phoques du point de vue zoologique entrent, pour eux, dans la même catégorie que les cétacés en raison de leur masse, ils font 46 à 50 aunes de long soit 2,5 mètres : pourtant ce sont bien des morses²³². Ce sont donc surtout les morses qui sont exploités en raison de leur lard qui donne de l'huile, essentielle avec la cire pour la fabrication de chandelles, de leur peau dont on fait des cordages résistants et imputrescibles et de l'ivoire provenant de leurs défenses. C'est vraisemblablement des morses qu'il recherche dans le grand Nord et dont il va négocier l'ivoire plus au Sud, lors du deuxième voyage à Haitabu ou Hedeby. D'ailleurs lors de ce troisième voyage en Angleterre, il en a amené également, puisqu'il est mentionné qu'il en a apporté, en cadeau, pour le roi Alfred. Remarquons, également, qu'il s'agit d'une découverte, puisque le norvégien, habitué à une côte très découpée, avec des embouchures de fjords parfois importantes, n'exclut pas l'hypothèse d'une indentation importante dans le dessin de

²³¹ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan... Op.cit.* p. 173. D'après les explications qu'il développe à la suite, mais qu nous omettons de rapporter, car notre but n'est pas l'ethnographie il n'avait rencontré jusque là que des campements épars de Finnas mais à partir de là sur cette rive sud de ce fleuve était établi un nouveau peuple les Beormas qui cultivaient intensivement la terre donc une autre civilisation. On est arrivé semble-t-il au grand fleuve de la péninsule de Kola la grande rivière Kalandasha (qui abrite de nos jours le port éponyme en eaux profondes.. D'après les spécialistes de l'ethnologie historique aurait servi de séparation entre les populations laponnes au nord, éleveurs chasseurs et les ancêtres des Caréliens venus du Sud qui sont aussi des finno-ougriens mais sédentaires. Ils cultivent la terre, c'est très relatif, mais vraisemblablement, ils exploitent le foin de prairies pour nourrir leurs bêtes pendant l'hiver. C'est aussi la principale culture des norvégiens, avec quelques labours, pour de l'orge principalement, le blé ne poussant pas sous ces latitudes situés sous le cercle polaire. En tout cas, des prairies fauchées donnent un paysage soigné et ordonné, preuve du soin apporté par les populations à la terre.

²³² Stéphane Lebecq, *Ibid.*, p.174. C'est Othere qui l'explique : « *S'il était allé là-bas, c'était surtout, en plus du désir d'explorer cette terre, pour les baleines-cheval (les morses), parce qu'elles avaient dans leur défenses un excellent ivoire.... Cette baleine est beaucoup plus petite que les autres baleines : elle n'a pas plus de sept aunes de long . Mais c'est dans son propre pays que la chasse à la baleine est la plus fructueuse : elles ont quarante huit aunes de long...* »

côte. Notons également son hypothèse toujours présente en faveur d'une indentation dans la ligne de côte qui se trouve être exacte, dans ce cas là, le découvreur a fait le tour de la péninsule de Kola et quitte la mer ouverte de Barents pour pénétrer dans la Mer Blanche.

Insistons sur le fait que notre norvégien navigue sur un voilier pur. En effet il progresse vers l'Est parce qu'il a « *le vent de l'Ouest et un peu du Nord* » soit un vent de l'Ouest-Nord-Ouest qui lui permet de faire une route plein Est, il avance donc à l'allure grand largue et quand il arrive au tournant de la presqu'île de Kola, il doit attendre 3 jours que le vent tourne et devienne favorable (*plein Nord parce que la côte était orientée plein Sud*) pour pouvoir poursuivre son voyage. Il ne progresse pas du tout à la rame. Nous notons également que son navire n'est pas un très bon voilier, puisqu'il semble dire qu'un vent d'Ouest, donc traversier, ne suffit pas pour faire du Sud. Mais, sans doute, extrapolons nous ici, car, il se trouve, peut-être, que le vent est tout simplement tombé.

Abordons maintenant le second des voyages d'Ohthere, cette fois vers le Sud : « *Ohthere dit que la province qu'il habitait s'appelait Halgoland*). *Personne, dit-il, n'habitait plus au Nord que lui. Mais il y avait un port dans le Sud du pays que l'on appelle Sciringes Heal* (Kaupangr, à l'entrée du fjord d'Oslo²³³) *Il dit qu'à la voile, on pouvait y arriver en un mois, pourvu qu'on campât la nuit et qu'on eût chaque jour un vent favorable ; et il fallait tout au long de la route longer la côte. A tribord on laissait d'abord l'Irland ; puis les îles qui se trouvent entre l'Irland et cette terre (il est en visite en Angleterre lorsqu'il fait ce récit) ; enfin cette terre (l'Angleterre) jusqu'à ce que l'on arrive à Sciringes Heal ; et tout au long de cette route on garde la Norvège par bâbord. Au sud de Sciringes Heal, une très grande mer s'enfonce dans les terres ; elle est si large qu'on ne peut voir d'une rive à l'autre. De l'autre côté s'étend le Götland (le Jutland) et ensuite le Sillende : jusqu'à ces terres la mer s'étend sur plusieurs centaines de milles. Et ce de Sciringes Heal il dit qu'il faisait voile pendant 5 jours jusqu'au port qu'on appelle Haethum (Haitabu). A Haethum qui se trouve au milieu des Wendes, des Saxons et des Angles et qui appartient maintenant aux Danois. Tandis qu'il naviguait de Sciringes Heal en direction de ce port, il avait pendant 3 jours le Denamearc sur son bâbord, et la pleine mer sur son tribord ; ensuite pendant les 2 jours qu'il lui fallait pour rejoindre Haethum, il avait à tribord le Götland puis le Sillende et beaucoup d'îles. Dans ces parages avaient vécu les Angles, avant qu'ils ne vinssent sur cette terre (l'Angleterre) et pendant ces 2 jours, il avait à bâbord les îles qui appartiennent au*

²³³ Régis Boyer *Les Vikings...Op.cit.* p. 598-599.

*Denamearc.*²³⁴ Tout d'abord notons qu'Othere ne navigue pas de nuit, c'est un choix de confort, pas de nécessité, il est en Norvège et se sent en sécurité, en effet nous l'avons connu plus circonspect dans la péninsule de Kola. De même, nous verrons que son collègue Wulfstan, qui va de Haitabu à Trüso c'est à dire de la côte danoise un peu au Nord de Kiel jusqu'à l'embouchure de la Vistule en longeant le pays des Wendes,²³⁵ semble, quant à lui, naviguer jour et nuit²³⁶. « *Wulfstan dit qu'il partit de Hedeby, qu'il fut à Trüso en 7 jours et 7 nuits et que tout le temps son bateau navigua à la voile. Il avait le pays des Wendes à tribord et, à bâbord, il avait Langeland, Lolland, Falster et la Scanie*²³⁷, et ces pays appartenaient tous au Danemark. Puis après Bornholm à bâbord, les pays qui s'appellent d'abord Blekinge et Møre, puis Oland et Gotland »²³⁸ Ensuite notons, qu'à partir d'un certain point de la côte ouest de la Norvège, il y a possibilité de bifurquer, il semble dire qu'il y a 3 bifurcations successives : « *on laissait d'abord L'Irland puis les îles qui se trouvaient entre l'Irland et l'Angleterre et enfin cette terre (l'Angleterre).* » Stéphane Lebecq qui traduit le texte hésite pour traduire Irland entre Islande et Irlande²³⁹. Il tranche, quant à lui, pour l'Islande, bien que sa découverte soit très récente sinon postérieure. Ceci n'est qu'un débat et chacun peut se bâtir sa propre opinion. L'important, nous semble-t-il, est que les départs de ces trois routes se succèdent en latitude, alors que la logique moderne voudrait que l'on quitte la côte de Norvège vers le 62° pour aller au plus court sur les Orcades, puis d'aller soit sur la droite, soit sur la gauche, ou pratiquement continuer tout droit, selon les destinations finales. Il faut donc comprendre que chaque destination exige un point de départ bien particulier, nous comprendrons plus loin, lorsque nous examinerons la navigation hauturière, pourquoi. Enfin entrons dans les détails de la route suivie depuis le fjord d'Oslo (*Sciringes Heal*) à Haitabu ou Hedeby située près de la petite ville allemande actuelle de Schleswig entre la frontière danoise et la ville de Kiel. Stéphane Lebecq pense qu'il descend plein Sud, en longeant la côte, ce qui

²³⁴ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan...Op.cit.* p. 174-175.

²³⁵ N'oublions pas que ce texte est de 950 environ bien avant la fameuse poussée vers l'est des germaniques, les slaves peuplaient toutes les terres à l'Est de l'Elbe.

²³⁶ Il est vrai qu'en Baltique il peut naviguer à la sonde ce n'est pas le cas du cabotage norvégien qui se caractérise par la montagne qui plonge directement dans la mer donc une mer sans fond, la sonde étant limitée à 40 brasses nous dit Colomb.

²³⁷ La Scanie aujourd'hui partie sud de la Suède était alors danoise

²³⁸ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan...Op.cit.* p. 175

²³⁹ Dans notre esprit il s'agit aussi bien de l'Irlande qui fut visitée surtout par les norvégiens, les danois se réservant l'Angleterre centrale, les îles désignant peut être le nord de l'Ecosse dont la géographie particulièrement tourmentée mélange îles plus ou moins détachées de terre et terre ferme, le chemin de l'Angleterre proprement dite se détacherait donc plus au sud.

semble incontestable, laissant à bâbord les côtes de la Scanie qui était alors danoise et à tribord, au delà de l'horizon le Jutland : « ...quand il naviguait jusque là (*Hedeby*) au départ de *Sciringes Heal* il avait le *Danemark* à bâbord et à tribord la mer ouverte pendant 3 jours et encore pendant 2 jours pour atteindre *Hedeby*, il avait à tribord le *Jutland* et le *Sillende* et beaucoup d'îles danoises ... » C'est, à partir de là, qu'il y a deux interprétations. Stéphane Lebecq pense qu'arrivé à l'entrée du Sund (le bras de mer qui sépare le Danemark actuel de la Suède, entre Elsenør au Nord et Copenhague au Sud, il serait venu à droite, pour suivre le Nord de l'île de Sjælland et aller chercher, soit le grand Belt, soit, encore plus à l'Ouest, le petit Belt²⁴⁰ (les deux autres passages Nord-Sud à travers l'archipel danois) pour aller vers le Sud en direction d'Hedeby. Il s'appuie, pour cela sur une analyse philologique qui ferait que Sillende ne représenterait pas le Sjælland, (l'île centrale de l'archipel danois où se trouve Odense) mais le sud du Jutland, autrement dit le Schleswig-Holstein actuel. Notre interprétation est différente et basée sur des réactions de naviguant. Pourquoi négliger le Sund qui s'ouvre devant lui, comme une voie royale, vers le Sud où il veut aller, pour aller vers l'Ouest chercher les Belts qui sont, même en ce qui concerne le grand Belt, des chenaux tortueux, traversés de courants violents et encombrés d'îles, en fait, des passages compliqués, à travers un archipel multiple et plutôt difficiles à négocier. Mais il ne s'agit que de détails accessoires et qui ne sont pas significatifs dans notre étude.

On ne sait rien du troisième voyage qui a amené Ohthere devant Alfred le Grand dans sa cour en Angleterre, aussi nous allons aborder maintenant le voyage de Wulfstan. Il est très riche en ce qui concerne l'ethnographie historique, mais plutôt chiche en renseignements nautiques et complètement muet en ce qui concerne la personnalité de ce Wulfstan que l'on suppose être probablement un Saxon, car ils sont nombreux à Hedeby qui est, si on en s'en tient à la description que nous en fait Ohthere, comme une mosaïque de tous les peuples commerçants et maritimes de l'Europe du Nord. : « *Wulfstan dit que voyageant depuis Haethum, il gagnait Truso en 7 jours et 7 nuits, le navire restant sous voile tout au long de la route. Il avait le Wendland à tribord ; et à bâbord il avait Langeland, Lolland, Falster et la Scanie ; et toutes ces terres appartiennent au Danemarck. Ensuite nous avions Bornholm à bâbord² ; les habitants y ont leur propre roi. Ensuite après Bornholm nous avions à bâbord les terres qui s'appellent d'abord Blekinge puis Möre, Öland et Gotland, ces terres appartiennent aux Suédois et tout le long de la route nous avions à tribord le Wendland jusqu'à l'embouchure*

²⁴⁰ Stéphane Lebecq, *Ohthere et Wulfstan...Op.cit.* p. 171.

de la Vistule. La dite Vistule est un très grand fleuve, elle sépare le Witland du Wendland et le Witland appartient au pays des Estes. La Vistule coule du Wendland dans l'Estmere. L'Estmere a au moins 15 milles de large. Ensuite l'Ilfing se jette dans l'Estmere depuis le lac sur lequel se trouve Truso. Et l'Ilfing à l'Est depuis l'Estland et la Vistule **au Sud** depuis le Wendland se jettent ensemble dans l'Estmere et ainsi la Vistule prive l'Ilfing de son nom, s'échappe du lac pour se jeter **au Nord-Ouest** dans la mer, car on appelle l'estuaire les bouches de la Vistule²⁴¹. » Le texte continue par une description minutieuse des us et coutumes de ces Estes, qui ne sont pas les ancêtres des Estoniens, mais des peuples parlant le vieux-prussien, c'est-à-dire des populations baltes qui parlent actuellement le lithuanien et le letton, langues indo-européennes et non pas l'estonien, qui est une langue finno-ougrienne. Le texte est très précis au point de vue géographique mais nous apprend peu de chose au point de vue navigation, sauf, d'une part que Wulfstan naviguait à la voile de nuit et de jour et qu'il utilisait, comme Ohthere lui aussi une rose des vents repérée non pas sur les vents mais sur les points cardinaux et qu'il comptait les traversées également en jours de navigation. La seule différence, minime, est qu'il semble utiliser 8 points, puisqu'il utilise les points intermédiaires et qu'il nous précise que la lagune dans laquelle se jettent la Vistule et un des bras de son delta, l'Ilfing s'ouvre sur la Baltique au Nord-Ouest ce qui est rigoureusement, encore, le cas.

On aurait été heureux d'avoir des détails sur la méthode qu'il utilise pour entreprendre un si long voyage de 7 jours et nuits sur le parcours de Kiel à Gdansk, apparemment sans escales. Il n'en souffle mot. On peut supposer qu'il utilise, déjà, les méthodes des marins de la Baltique qui nous seront rapportées bien plus tard par un ouvrage hanséatique du XIV^e siècle. On sait par cet ouvrage²⁴² que les marins hanséates naviguaient en se fiant énormément à la sonde. En effet, cette mer est au centre d'une dépression qui a le même relief, en creux, que les terres qui l'entourent, presque plates ou doucement ondulées. Ce relief doux se manifeste sur la carte par des courbes de niveaux régulières et concentriques par rapport au centre de cette dépression, de sorte que la sonde donne une très bonne indication sur la distance à laquelle on se trouve de terre. Suivre une ligne de sonde amène le navigateur à faire une course parallèle à la côte, en toute sécurité, même en cas de visibilité médiocre ou nulle. Tenir une route selon l'axe longitudinal de cette mer n'offre donc, au point de vue navigation, que peu de difficulté. Mais, de cela, très honnêtement, Wulfstan ne souffle mot.

²⁴¹ Stéphane Lebecq, *Othere et Wulfstan... Op.cit.* p. 175-176.

²⁴² Référence et extraits du *seebuch* in Philippe Dollinger, *La Hanse* Paris 1965.

2-1.2 La ligne Est-Ouest guide de la navigation hauturière.

De ces deux récits on peut donc conclure que les scandinaves et plus particulièrement les Norvégiens repéraient leurs directions et aussi leurs vents selon les points cardinaux les 4 principaux et 4 intermédiaires semble-t-il. En ce qui concerne la navigation côtière cela n'apporte aucune nouveauté mais c'est pour la navigation hauturière que la solution est originale. Vivant le long d'une mer ouverte sur l'ouest, c'est vers l'Ouest qu'il faut aller pour quitter la terre et c'est vers l'Est qu'il faut aller pour y revenir.

A Les précédents, Les arpenteurs romains

D'autres hommes, en d'autres circonstances, ont résolu ces difficultés. Dès l'antiquité les anciens connaissent comment résoudre les problèmes de topographie et en particulier d'arpentage. Ces derniers se rapprochent beaucoup des problèmes de navigation, puisqu'il faut également se situer dans l'espace. En fait, établir un cadastre c'est dresser un levé cartographique. Vitruve en a parlé²⁴³, Héron d'Alexandrie a écrit un traité sur l'arpentage²⁴⁴, et enfin quatre auteurs latins nous ont laissé des textes techniques qui nous donnent une bonne connaissance de leur art²⁴⁵. En ce qui concerne le cadastre un *ensor* latin, Hygin le gromatique, expose ses méthodes de *centurisation*²⁴⁶ par le menu dans ce qui apparaît comme un manuel. L'arpenteur romain découpe le sol en rectangles de 240 pieds sur 120 soit 76

²⁴³ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains, Tome I. Hygin le gromatique, Frontin. Tome II. Hygin, Siculus Flaccus*. Edit. Les Belles Lettres. Paris 2005 et 2010. p. 9.

Vitruve était un ingénieur et s'occupait beaucoup de construction et donc de topographie, en tant que trait directeur de la construction, il décrit en particulier le chorobate, (8-5-1) sorte de niveau à eau de grande taille utilisé pour régler les pentes des aqueducs.

²⁴⁴ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains....Op.cit.* T. I. p. 2

L'arpentage a été développé très tôt en Egypte en raison des inondations qui nécessitaient à chaque fois un nouveau bornage des terres. Et déjà Herodote en parlait (2-109) Héron est un scientifique grec qui s'est intéressé à beaucoup de choses dont le cadastre il a écrit entre autres sujets un traité sur la dioptré dont nous parlerons ultérieurement lorsqu'il sera sujet de l'estime. Son traité est intéressant en ce sens qu'en tant que scientifique il se préoccupe de démonstration mathématique de ce qu'il expose à la différence des latins qui purs professionnels exposent les méthodes sans justification scientifique.

²⁴⁵ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains, Tome I. Hygin le gromatique, Frontin. Tome II. Hygin, Siculus Flaccus*. Edit. Les Belles Lettres. Paris 2005 et 2010.

²⁴⁶ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains, Op.cit.* Tome I. § 26p.83.

mètres sur 36, par la *cultelation*,²⁴⁷ expliquée par un autre *mentor*, Frontin, ces rectangles sont les projections, dans un plan horizontal, du sol réel. C'est ce qui fait qu'ils établissent une projection au sens cartographique du terme sur un plan horizontal tangent à la borne origine. D'ailleurs, le même Frontin reporte sur sa *tabula* une *forma*, c'est-à-dire qu'il trace sur sa planchette le plan de la parcelle qu'il doit arpenter²⁴⁸. Cette projection se fait selon des axes principaux Nord-Sud et Est-Ouest ; il faut, dans un premier temps, trouver ces axes. Hygin nous décrit deux méthodes, une qui détermine la direction Nord-Sud²⁴⁹, une seconde qui détermine la direction Est-Ouest²⁵⁰, étant entendu que chacune des deux suffit amplement au travail de l'arpenteur. En effet, si l'arpenteur détermine l'axe Nord-Sud, méthode la plus simple, et matérialise cet axe sur le terrain par une ligne de jalons, il peut matérialiser le long de cet axe de place en place au moyen de sa perche d'arpenteur des axes Est-Ouest grâce à son *groma*. Le *groma*²⁵¹ est l'outil principal de l'arpenteur romain, il s'agit de deux règles métalliques fixées ensemble à 90 degrés dans un plan horizontal ; à chacune des quatre extrémités, pend un fil à plomb. Ces quatre fils à plomb font fonction, pris deux à deux, d'alidades, disposées, donc, à 90 degrés. En visant à travers une alidade la ligne Nord-Sud, on observe automatiquement dans l'autre alidade, perpendiculaire à la première, la ligne Est-Ouest que l'on peut, alors, matérialiser à son tour par une nouvelle ligne de jalons.

²⁴⁷ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains*, Tome I. §7p. 165

²⁴⁸ Frontin IIII –1-5. En effet il y avait plusieurs aspects de l'arpentage et un de ces aspect était de calculer la surface d'une parcelle bordée par des limites irrégulières déjà établies. Le découpage en surfaces régulières et la méthode des angles droits comme l'appelle Frontin permettait de calculer ces surfaces sur le plan par ce qui n'était autre qu'une intégration graphique. Cet aspect cartographique est très clairement défini par Héron : « en même temps que nous faisons les visées , nous dessinons sur une feuille ou une tablette la figure de notre relevé a la dioptré , c'est a dire les brisures des droites et de plus nous inscrivons les longueurs de chacune d'elles » I-9-12

²⁴⁹ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains....Op.cit.* T. I. § 9-10 p. 102-105

²⁵⁰ Hygin le Gromaticus à ne pas confondre avec Hygin dit aussi le Pseudo Hygin autre mentor qui s'est occupé beaucoup de topographie du Tome II.

²⁵¹ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains....Op.cit.* T. I. p. 5 à 8.

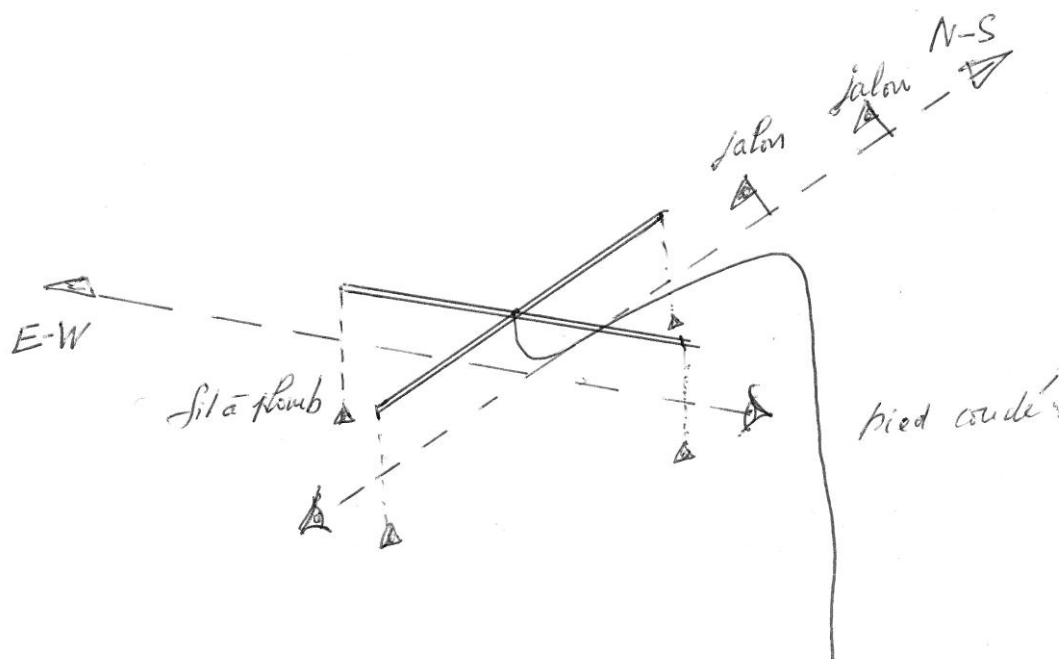


Fig 1

Le Groma

Les 2 bras du groma sont à 90°, une visée selon l'axe Nord-Sud matérialisé sur le terrain par 2 jalons, entraîne une visée selon le bras perpendiculaire sur l'axe Est-Ouest.

Mais auparavant, il faut déterminer l'axe Nord-Sud.²⁵² Pour cela, il suffit de tracer sur un sol bien horizontal un cercle avec l'aide de son cordeau d'arpenteur. Au centre du cercle, on plante un bâton dont on vérifie la verticalité au fil à plomb. Le matin l'ombre du bâton est très longue et hors du cercle vers le Nord-Ouest. Au fur et à mesure que le soleil « tourne » durant la journée, l'ombre raccourcit et tourne vers l'Est. A un moment donné, si le diamètre du cercle a été judicieusement choisi, l'ombre traverse le cercle et on note soigneusement ce point. Dans le cours de la journée l'ombre continue d'évoluer ayant raccourci jusqu'à midi vrai où elle indique le Nord. Mais Hygin ne peut apprécier cette direction, faute de montre pour pouvoir déterminer cette heure avec précision. L'ombre se met de nouveau à s'allonger et retransverse le cercle, dans l'après midi, du côté Est cette fois. Ayant noté ce point, Hygin joint sur le sol ce point et celui qu'il a noté durant la matinée et construit la médiatrice de ce

²⁵² Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains....Op.cit.* T. I. § 9. p. 102-103.

segment, en se servant de son cordeau comme d'un compas par une méthode purement géométrique. Cette médiatrice est la ligne Nord-Sud.

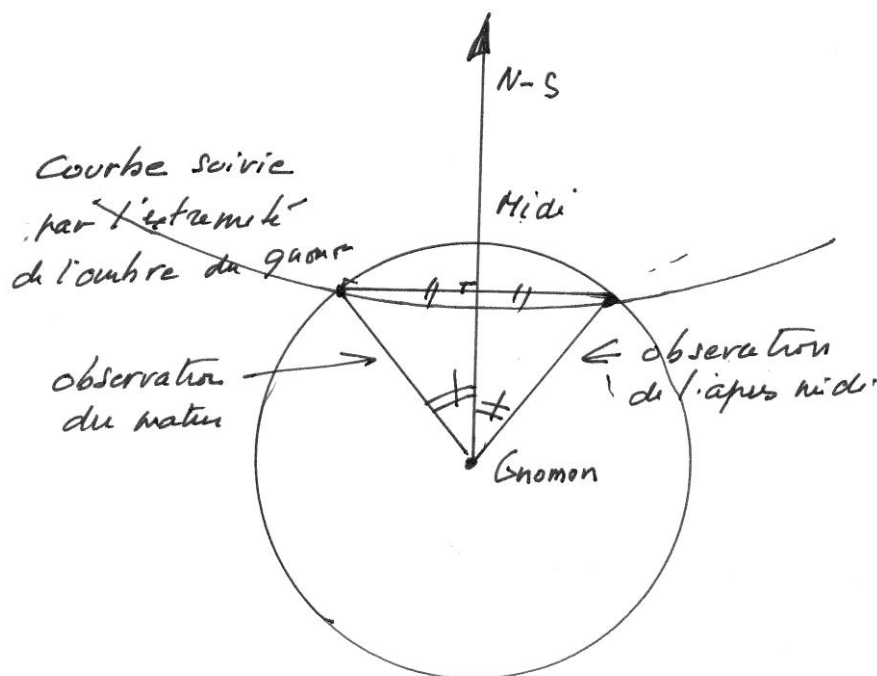


Fig 2

On trace un cercle autour du gnomon, l'ombre du gnomon, le matin, est au Nord-Ouest, puisque le soleil se lève au Sud-Est. Elle se raccourcit en cours de matinée et décrit une courbe. Elle coupe entre dans le cercle en cours de matinée et, continuant sa course, sort du cercle durant l'après-midi. La direction du Nord est donnée par la médiatrice du segment qui unit ces 2 points.

Bien que Hygin n'expose qu'uniquement la méthode, sans la justifier par une démonstration, l'analyse en est simple. La hauteur d'un astre se calcule par la formule $\sin H = \sin D \cdot \sin \Phi + \cos D \cdot \cos \Phi \cdot \cos P$ où H est la hauteur, D , la déclinaison de l'astre, Φ , la latitude, P , l'angle au pôle de l'astre, c'est à dire l'angle que fait sa direction avec la direction du Nord. Sans vouloir résoudre ici le problème algébrique, simple par ailleurs, on peut dire que, puisque les hauteurs sont rigoureusement égales lors de chacune des deux observations et en supposant la déclinaison, inconnue mais constante durant cette journée d'observation, ainsi que la latitude, inconnue mais constante, Hygin dessine sur le sol grâce à sa médiatrice (qui est également la

bissectrice de l'angle formé par les directions de l'ombre AM et de l'ombre PM) un axe qui divise cet angle en deux sous-angles égaux. Il trace les deux angles au pôle : celui entre l'observation du matin et le midi vrai et celui entre ce midi vrai et l'observation du soir. Mathématiquement, c'est légèrement inexact, car la déclinaison du soleil a varié d'une quantité infime dans l'intervalle des deux observations. Cependant la méthode est exploitable ; l'erreur qui découle de la méthode est inférieure aux erreurs dues aux incertitudes des observations. En effet, Hygin place ses jalons, sans lunette, en les alignant l'un par l'autre, à l'œil nu, ce qui implique des minuscules incertitudes dans ces alignements.

Sa deuxième méthode est plus délicate à expliquer et Hygin manque de clarté dans son exposé²⁵³. Elle repose sur l'observation de trois ombres le matin par exemple puis la reproduction à l'échelle sur un graphique annexe où l'on effectue des projections des points extrêmes sur les axes du graphique, le report de ces projection en vraie grandeur sur la matérialisation des ombres sur le sol détermine des points qui, une fois joints, donnent directement la ligne Est-Ouest. Là, non plus, aucune démonstration et celle-ci est, il faut l'avouer, moins évidente que la première. Nous supposons que les projections sur le graphique doivent être une méthode graphique pour déterminer les sinus et cosinus des hauteurs et angles au pôle. Heureusement les spécialistes de Hygin ont retrouvé cette méthode sous la plume de al-Biruni, sans doute le plus grand astronome arabe au X^e siècle. Elle y est, cette fois, bien mieux expliquée et al-Biruni dit l'avoir trouvée dans Diodore d'Alexandrie, ce qui explique, un peu mieux, comment Hygin pouvait la connaître. L'avantage de cette méthode compliquée est simplement d'ordre pratique, dans le premier cas, il faut attendre l'après-midi pour déterminer l'orientation, dans le second cas, on est en position de pouvoir tracer la ligne Est-Ouest avant le passage du soleil au méridien, soit avant midi local.

Il est peu probable que les Norvégiens aient lu Hygin, et de plus la méthode est difficilement transposable à bord d'un voilier où les notions d'horizontale et de verticale sont mouvantes. Simplement, nous voulons montrer que ces problèmes de ligne Est-Ouest peuvent être résolus sans boussole ni instruments compliqués. La lecture de ces auteurs anciens et, en particulier, celle du livre d'Hygin nous apprend aussi que les anciens avaient remarqué certaines particularités de la nature qui leur permettaient de s'orienter uniquement par observation. Selon Hygin, cette méthode lui vient des haruspices étrusques qui regardant l'Est avaient

²⁵³ Jean-Yves Guillaumin, *Les arpenteurs romains....Op.cit.* T. I. § 10. p. 103-103, et graphique détaillé p 240-241.

défini une zone sur leur droite qui était la zone propice, ils l'appelaient la zone directe et représentait donc le Sud, et par opposition celle du Nord ou se trouvait toujours leur ombre étant donc la zone sinistre. L'observation du vol des oiseaux, dans l'une ou l'autre zone, était une réponse propice ou non à une question préalablement posée.

B La navigation hauturière scandinave.

Bien qu'ils n'aient vraisemblablement pas connu les Etrusques et leurs méthodes, les Norvégiens, sans doute en raison de leur position géographique particulière déjà exposée plus haut, eux aussi ont privilégié dans leur navigation la direction Est-Ouest.

Les sources

Le deuxième type de sources que nous utiliserons nous vient de la littérature islandaise. Les islandais ont une littérature ancienne très riche. Ils y reportent à travers les *sagas* et les *livres de la colonisation*. Ces ouvrages sont bien postérieures à la date de la découverte de l'Islande et même de celle du Groenland et datent, en gros, du XIII^e siècle, même si y sont décrits des événements antérieurs et datant, pour certains, de l'arrivée des premiers colons en Islande. Grâce aux traductions, en particulier celles de Régis Boyer, les textes des sagas nous sont, maintenant, plus accessibles et l'étude des techniques de navigation scandinaves plus aisée. Il est en effet troublant de savoir que les Norvégiens atteignent l'Islande dès les années 850 ou 860, et qu'il s'agit là d'un fait historique, puisqu'on connaît le nom du découvreur, le norvégien Naddoddr. A l'occasion d'un voyage aux Féroé, il est dérouté par un coup de temps et atterrit sur la côte Est de l'Islande ; cette découverte est également le fait d'un suédois, Gardarr Svarvarsson qui, de son côté et à peu près à la même époque, atteint les îles Austfirðir en Islande, alors qu'il ignorait la découverte du norvégien. Un peu plus tard vers 900 ou 930, sans que l'on puisse en dire davantage, un certain Gunnbörn, lors d'un voyage de Norvège en Islande, est dérouté par un coup de temps et aperçoit un groupe d'îles au delà de l'Islande qu'il baptise en toute modestie de son propre nom les Gunnbjörnnarskir. On pense qu'il s'agit des îles proches d'Angmagissalik sur la côte Est du Groenland, à la hauteur du Snaefellsness en Islande. Il n'y aborde pas mais signale sa découverte en Islande. Un peu plus tard, en 985, un grand *bondi* (chef de clan) islandais Eiríkr Raudi, c'est-à-dire Eric le rouge ou, plus exactement le roux, est banni de son pays et s'établit avec toute sa famille et ses gens, débutant ainsi la colonisation de Groenland, qui comptera plusieurs établissements, essentiellement deux. Un, nommé établissement de l'Est et l'autre, établissement de l'Ouest,

bien que tous deux soit situés sur la côte Ouest du Groenland. L'établissement de l'Est se situe, en fait, beaucoup plus au Nord-Est, effectivement un peu plus à l'Est du second. Il en résulte un mouvement constant entre l'Islande et le Groenland mais aussi des voyages en droiture de Norvège au Groenland, en atterrissant donc sur le cap Farewel (extrémité Sud du Groenland) dont il faut faire le tour, puisque les établissements sont tous deux situés sur la côte Ouest. De là, on connaît les rumeurs qui courent sur un établissement possible sur la côte américaine, le Vinland, sans que l'on puisse en démontrer la réalité historique. On ne peut ici démêler entre le mythe et la réalité historique, les preuves, soi-disant archéologiques, sont sujettes à caution mais il est plus que probable que les Islandais établis au Groenland ont au moins reconnu les côtes américaines²⁵⁴.

Comme autre source, nous disposons également **du livre de la colonisation**²⁵⁵. Le principe de ce livre dont nous possédons huit versions différentes consiste à partir en bateau d'un point de la côte islandaise et à faire le tour de l'île dans le sens des aiguilles d'une montre ; là où le narrateur pense qu'il y a un intérêt, on s'arrête et on évoque la figure du premier occupant en détaillant sa généalogie, les circonstances de son arrivée, les raisons de son départ, les événements remarquables qui ont jalonné sa vie, sa descendance etc. La version la plus connue date de 1200, soient 4 siècles après l'arrivée des premiers colons. Malgré ce décalage nous ne pouvons refuser toute valeur historique à ce livre de la colonisation, notamment en ce qui concerne certains faits rapportés et surtout les coutumes, la mentalité, ou les structures profondes. Quant à l'autre type de littérature que nous venons d'évoquer, celle des sagas que Régis Boyer compare au roman historique tel que l'on le concevait chez les romantiques, elles ne sauraient passer pour de véritables documents historiques²⁵⁶. Cependant en ce qui concerne les sagas et regardant le problème très spécifique des routes et des méthodes de naviguer qui y sont exposées, elles reflètent très certainement la vérité du moment, car la plupart des islandais avaient la pratique de la navigation, puisqu'un passage en Norvège faisait partie obligatoirement du curriculum des personnages importants, des invraisemblances ne seraient donc pas passées dans ce domaine

²⁵⁴ Les pierres couvertes de runes retrouvées en Amérique sont des faux. Mais des traces d'habitations scandinaves, y compris d'une forge, exhumées à Terre Neuve, font penser à des campements d'été scandinaves. Les dernières hypothèses font état de campagnes d'été de groenlandais venus faire provision de bois de charpente et de fer, nécessaires à la vie scandinave, et particulièrement rares au Groenland.

²⁵⁵ Régis Boyer, *Livre de la colonisation de l'Island*,; traduit de l'islandais ancien, annoté et commenté par Régis Boyer. Ed. Brepols, Paris. 2000.

²⁵⁶ Dans Régis Boyer, *L'Islande médiévale*, Paris 2eme édition. 2002.

Cette littérature traite souvent de routes maritimes. Les sagas nous permettent de retracer l'histoire de l'extension vers l'Ouest de la présence norvégienne puis islandaise et donc de l'établissement de cette route maritime. Il y en plusieurs segments décrits qui vont de Norvège au Groenland, mais toutes ces descriptions ont ceci en commun : elles définissent la route par un point de départ et un point d'arrivée sur le même parallèle.

Les faits

Nous avons vu que les sagas et les livres de la colonisation ont fait rentrer la découverte et la colonisation de l'Islande et du Groenland dans le domaine de l'Histoire. C'est un événement considérable et un précédent qui n'aura son équivalent que cinq siècles plus tard, avec l'intrusion des Ibériques dans ce qui restait quasiment à découvrir du monde. En effet, l'arrivée des Grecs de l'Empire Romain aux Indes par la voie maritime peut être considérée certainement comme une première pour les Occidentaux, mais sûrement pas pour une découverte. Les Indes étaient bien connues des Occidentaux, au moins depuis Alexandre le Grand, puisqu'il y alla.

En revanche, cette première découverte dans l'Atlantique Nord passe à peu près inaperçue, sauf pour les Nordiques qui en sont les inventeurs, et leur méthode de navigation pour établir des liaisons constantes et nombreuses prennent, certes, un caractère routinier mais ne sortent pas des milieux maritimes scandinaves. Les Norvégiens mettent là au point un système d'orientation qui reste en usage depuis le IX^e jusqu'au XIV^e où le compas magnétique l'éclipsera totalement, en raison de la facilité de la mise en œuvre de ce nouveau système. Les marins norvégiens, à l'instar des autres marins, n'écrivent rien sur leur art et leur méthode se perdra. Pourtant l'Histoire l'atteste, les Norvégiens de l'an mil circulent dans un espace maritime qui comprend, outre la Norvège, les îles Orcades et Shetland²⁵⁷, Féroé²⁵⁸, l'Irlande et l'île de Man²⁵⁹ et enfin l'Islande²⁶⁰ et le Groenland.²⁶¹ Nous ne comptons pas les côtes américaines,²⁶² assurément visitées, mais, sans doute pas, semble-t-il, exploitées à demeure.

²⁵⁷ John Haywood, *Atlas des Vikings. 789-1100*. Ed. Autrement, Paris. 1996. *Les Vikings en Ecosse 800-1014*. p 76-77

²⁵⁸ John Haywood, *Ibid. Iles Féroé et l'Islande 789-1100*. p. 90-91

²⁵⁹ John Haywood, *Ibid. Les Vikings en Irlande 1ere vague, coups de main 795-873. 2eme vague, l'intégration, 874-1014*. p. 72-73 et 74-75

²⁶⁰ John Haywood, *Ibid. La colonisation de l'Islande*. p. 92-93.

²⁶¹ John Haywood, *Atlas des Vikings... Op.cit. Ouest 986-1341, Est 986-1490*. p. 90-97

Tout ce domaine restera parcouru par les navigateurs durant tout le temps médiéval et les relations commerciales intercontinentales demeureront importantes et vitales, en particulier en ce qui concerne l'Islande. Cette île a, depuis sa colonisation, une économie, parfois complémentaire, parfois en concurrence, mais toujours reliée à la terre ferme du continent européen. Elle restera un pôle commercial, spécialisé dans l'élevage ovin et la production de laine, et donc complémentaire de la Norvège qui reste surtout spécialisée dans l'élevage bovin et est un exportateur de beurre. Les deux pays sont concurrents, en ce qui concerne les exportations de poisson ; la Norvège par Bergen approvisionne, durant toute l'époque médiévale l'Europe continentale, en *stockfish*, la morue séchée, alors que l'Islande approvisionne l'Angleterre. Seul le Groenland sera oublié dans les années 1400 et on ignore ce que devint la population²⁶³. Le Danemark, responsable du pays à cette époque, négligera, par manque de moyens financiers, d'envoyer le bateau annuel chargé de maintenir le lien. Les Groenlandais seront, quant à eux, bien incapables de construire un navire apte à faire la traversée, par manque de bois. Cette population qui comptera jusqu'à 4.000 âmes disparaîtra sans que l'Histoire n'en garde trace, sauf quelques fouilles archéologiques et quelques mentions littéraires.

L'Explication, des conditions parfois favorables.

C'est donc un fait historique, l'espace de l'Atlantique Nord est donc sillonné de façon continue, dès le Xe siècle et pendant près de 500 ans, par les Scandinaves qui ne connaissaient pas la boussole. Il est donc évident que ces marins avaient une méthode, ce que confirme leur littérature, sans que nous sachions qu'était-elle. On est parfois impressionné par l'audace de leurs voyages, cependant, on est en droit de relativiser quelque peu. Il faut exposer la problématique de telles traversées.

L'Islande est située dans l'Atlantique septentrional. Cette partie de l'Atlantique est paradoxale. L'Hiver, les dépressions s'enchaînent les unes après les autres et produisent des temps véritablement affreux, avec des vents, toujours d'Ouest, soufflant, le plus souvent en

²⁶² John Haywood, *Ibid. Les expéditions maritimes vers le Vinland 1000-1020*. p. 98-100

²⁶³ Le Groenland qui comptait jusqu'à 4000 colons scandinaves et siège d'un évêché, fut soumis au refroidissement général du climat qui subit toute l'Europe occidentale au Moyen Âge. Les conditions climatiques du Groenland se détériorèrent et le pays ne fut plus apte à l'élevage, qui était le mode de vie des scandinaves. Incapables ou non désireux de s'adapter, les scandinaves ne surent pas revenir à une économie de chasse et de pêche comme le firent les populations autochtones groenlandaises. Certains prétendent que les portugais lorsqu'ils y abordèrent en 1500 pour y chercher des terres à morue, déportèrent les populations restantes sur les rivages de Terre Neuve pour y fonder des pêcheries, d'autres disent qu'ils furent exterminés par les Inuits ce qui paraît étonnant en raison du caractère pacifique de ces populations.

tempête. Inutile de dire, donc, qu'il n'est pas question de traverser contre ce type de temps avec un frêle *knörr* à moitié ponté, d'une vingtaine de mètres de long et qui navigue principalement à la voile. Pour résumer, il est hors de question d'aller à la voile en Islande, l'hiver, des vents forts d'Ouest en interdisent l'accès. Le retour est aussi impossible, les probabilités de rencontrer une mer démontée, fatale pour un petit navire en bois, sont quasi certaines. En revanche, durant l'été, l'anticyclone des Açores prend ses quartiers d'été sur l'Islande, ce qui entraîne une longue période de grand beau temps avec une mer plate et des risées de vents légers et changeants. C'est donc du beau temps, avec des vents variables. Ce sont d'assez bonnes conditions pour permettre une bonne progression aussi bien vers l'Ouest que dans le sens du retour, à la voile. La traversée reste possible pour des petites embarcations, puisque les vents restent modérés et que statistiquement, ils soufflent également dans les deux sens ; elle reste toujours possible et, de nos jours, les Danois font passer, justement en été, de leurs ports vers le Groenland, des navires de pêche côtière qui sont l'équivalent moderne d'un *knörr* : même construction en bois et même taille.

Il n'y a donc que pendant la période estivale que les voyages sont possibles dans les deux sens. Les vents changeants offrent statistiquement des fenêtres de vents favorables suffisants pour assurer une progression dans la direction désirée, sur une mer belle, aussi bien dans un sens que dans l'autre. Les Norvégiens ne pouvaient tenter le passage que l'été qui reste sous ces latitudes relativement court et les sagas semblent bien impliquer qu'il n'y avait qu'un passage dans un sens par saison par bateau. Les navires passaient dans un sens cabotaient le long des côtes de l'île pour écouler leur marchandise, hivernaient et rechargeaient pour le continent l'été suivant. En ce qui concerne la navigation, on se doute bien que la position particulière de la polaire était connue de ces marins et qu'ils l'utilisaient. Mais à ces latitudes, l'été les nuits sont particulièrement courtes et on observe le phénomène de ce que les Russes appellent les nuits blanches. La nuit n'est qu'un long crépuscule qui s'enchaîne directement sur l'aube suivante. Dans ces conditions, sous des nuits qui sont loin d'être totalement obscures, la polaire, qui n'est pas une étoile de première grandeur, n'est utilisable qu'une très faible partie du temps. Or, comme le vent est changeant, les risées tournent sans cesse et il faut s'orienter tout le long de la journée, en voie de conséquence, les scandinaves étaient bien obligés de s'orienter par le soleil. Ces voyages sont donc possibles en été et ceci d'autant plus que, plus on monte vers le Nord, plus les distances entre les deux continents sont courtes. La carte marine, telle que nous la voyons, aujourd'hui, est trompeuse ; elle élargit les distances dans les hautes latitudes. En réalité, l'Océan Atlantique est bien plus étroit dans ces hautes

latitudes qu'il ne l'est dans les régions tropicales. Enfin, cet Océan, à ces latitudes, n'est pas vide. On y trouve des îles relais entre le Groenland et la Norvège : les Féroé, les Orcades du Nord, les Shetlands et donc aussi l'Islande. Les distances sont donc relativement courtes. Le seul danger, car il y en a bien évidemment un, ce sont des épisodes de brume épaisse qui empêchent toute orientation pendant plusieurs jours.

Pour fixer les idées sur ce sujet, nous donnons ci-dessous les distances mesurées et comptées à partir de l'Islande, côte Ouest ou Est, selon le cas

-Au Groenland au plus court : 287 kilomètres.

- Aux établissements de l'Ouest du Groenland, en doublant donc le cap Farewell et remontant vers le Nord-Ouest, le long de la côte groenlandaise : 1650 kilomètres.

-Aux îles Féroé : 420 kilomètres.

-En Ecosse: 798 kilomètres.

-En Norvège: 970 kilomètres.

-à l'île Jan Mayen: 550 kilomètres.

-au Svalbard: 1575 kilomètres.²⁶⁴

Il s'agit donc de distances qui supposent des voyages plus courts que ceux qui se pratiquent en Méditerranée (rappelons qu'il y a 1900 kilomètres entre Alexandrie et Putteoli (Pouzzoles) voyage typique des naviculaires romains de la *corpora* d'Orient et la même distance concerne le voyage de Séville à Ostie, un grand classique de la *corpora* des naviculaires de Bétique. Les distances sont *a fortiori* plus grandes pour des voyages dans l'Océan Indien, où les marins du premier siècle parcourent plus de 2000 kilomètres, sans même voir une terre pouvant leur servir de repère intermédiaire, d'Aden aux Indes. La meilleure preuve que ce domaine de l'Atlantique Nord est un espace relativement accessible reste dans le fait que les Norvégiens ne découvrent pas, alors, des îles désertes mais elles sont déjà peuplées par des Celtes, y compris l'Islande, refuge de moines irlandais²⁶⁵.

²⁶⁴ Jesse Byock, *L'Islande des Vikings*, Ed. Aubier, Paris, 2001

²⁶⁵ On peut se demander comment les celtes ont découvert l'Islande avant les Norvégiens dont ceux-ci ont témoigné et quelle était leur méthode. En fait, on peut supposer qu'ils ne partaient pas pour découvrir des terres mais totalement au hasard. Ces voyages étaient entrepris par des moines et on peut supposer qu'ils s'agissait de

Les méthodes de la navigation hauturière scandinave.

Le caractère des vents, légers et changeants, favorisent, nous l'avons vu, la progression à la voile, mais, en revanche, il l'empêche totalement de servir de guide, d'où l'obligation de trouver un autre moyen d'orientation qu'il nous faut trouver dans les textes. Relisons un livre de la colonisation²⁶⁶ « *les savants disent qu'il faut 7 journées de navigation de Stadr, en Norvège, à l'Ouest jusqu'à Horn en Islande de l'Est, et que depuis le Snaefellsnes, (en Islande de l'Ouest), le trajet le plus court pour le Groenland est de 4 journées de mer. Mais on dit que si l'on cingle de Bergen plein ouest jusqu'au cap Farewell au Groenland, on passe à douze lieues de navigation au sud de l'Islande. Du Reykjanes, dans le Sud de l'Islande, il y a 5 journées de navigation de mer jusqu'à Jölduhlaup en Irlande (Styne Head), 4 journées de mer, du Langanesdans dans le Nord de l'Islande jusqu'au Svalbard dans le grand golfe, » selon le Sturlubok*

Voyons donc le détail de la méthode. Citons le livre de la colonisation de l'Islande « *Mais on dit que si on cingle de Bergen, plein ouest jusqu'au cap Farewell au Groenland on passe à 12 lieues au sud de l'Islande.* » D'après la version du Sturlubok. Citons maintenant un second passage : « *... en partant de Hennar en Norvège (près de Stad) il faut cingler tout droit vers l'Ouest jusqu'au cap Farewel au Groenland auquel cas on cingle au Nord des Shetlands de sorte que l'on aperçoive la terre par temps clair seulement, puis on prend vers le Sud jusqu'aux Féroé, de sorte que la mer donne à mi chemin sur le flanc des montagnes, puis vers le Sud de l'Islande de telle sorte que l'on aperçoive les oiseaux et les baleines de là. D'après la version du Hauksbok »²⁶⁷.*

En préliminaire, nous devons avoir présent à l'esprit que nous avons affaire à des textes littéraires et donc vérifier si les chiffres donnés ne sont pas le fruit de l'imagination du ou des auteurs. Il est donc intéressant de rapprocher ces durées de voyages, données à travers les textes en jours de navigation, des distances réelles à parcourir listées un peu plus haut. Ceci nous permet de calculer la valeur de la journée de navigation à 140 kilomètres, en moyenne.

voyages mystiques. Ils portaient en signe d'abandon total dans la main de Dieu et la volonté de Dieu commandait leur destin : arriver à terre et y continuer une vie d'ermite ou bien Dieu les recevait en son sein.

²⁶⁶ Régis Boyer *Livre de la colonisation de l'Islande. Traduit de l'islandais ancien, annoté et commenté par Régis Boyer*. Ed. Brepols, Paris. 2000. p. 31

²⁶⁷ Régis Boyer, *Les Vikings. Histoire...* Op.cit. p. 660

Cette valeur est à comparer avec les valeurs que nous avons relevées dans d'autres textes relatifs à d'autres navigations effectuées dans le même contexte technique. Nous citerons donc la valeur déduite des textes d'Edrisi et admise par les arabes (nous le verrons lors de l'étude du texte d'Ibn Majid), une journée de navigation pour 100 milles (milles génois de 1500 mètres et non pas arabes de 1900 mètres environ) soit 150 kilomètres. De même les valeurs déduites de la lecture de Pline sont du même ordre et surtout celles données par Ibn Jubayr, qui a le mérite certain de les avoir expérimentées, pour la traversée de la Méditerranée dans le bon sens, celui du voyage aller sont compatibles avec ces chiffres. Une approche théorique par le biais de la prise en compte de la valeur de la vitesse limite, ou vitesse maximum pour des coques de 9 à 16 mètres, semblables à celles retrouvées à Roskilde nous donne entre 4 et 5 nœuds²⁶⁸ soit une distance parcourue de 96 à 120 milles nautiques, soient de 177 à 222 kilomètres par 24 heures de temps favorable. Ces chiffres donnés par les sagas paraissent donc cohérents avec les chiffres réels.

Maintenant en ce qui concerne la méthode que nous avons déjà annoncée plus haut, on voit que ces deux passages se recoupent parfaitement. Dans le premier, on part de Bergen « *plein Ouest* » et dans le second partant de Henner, « *on navigue vers l'Ouest* » pour atteindre respectivement le cap Farewell et Hvarf. Autrement dit, **c'est le point d'arrivée qui conditionne le point d'où l'on doit partir, on est obligé de naviguer strictement Est-Ouest**. Nous n'avons sélectionné que deux passages parmi de nombreux semblables, ils prouvent tous que les Norvégiens savaient faire de L'Ouest ou de l'Est pour traverser. Le marin scandinave doit donc posséder un instrument quelconque faisant office de compas.

Deuxième remarque. Le navigateur, même s'il se guide grâce à un instrument quelconque faisant office de compas, n'a devant lui qu'un instrument qui est vraisemblablement peu précis (comme nous le verrons plus loin, à propos de l'estime). Plus exactement, il est difficile à un navire à voiles, sujet aux sautes de vent, de suivre un cap très précis, quelque soit la précision de l'instrument sur lequel il se guide. Il en résulte une divagation autour de la route de référence et une incertitude sur la position. Le texte en tient compte et c'est pourquoi, dans les deux citations, il est conseillé au marin de se recaler sur sa route par un point obtenu selon les méthodes de la navigation côtière, c'est-à-dire en relèvement-distance. Ici le relèvement sera la ligne Nord-Sud obtenue lorsque l'amer est par le travers du navire. Celui-ci faisant une

²⁶⁸ La vitesse limite d'une coque est donnée par la formule $V = 1,25\sqrt{L}$, où V, la vitesse est exprimée en nœuds, L, la longueur, en mètres et 1,25 est un coefficient d'expérience.

route Est-Ouest, un amer aperçu selon un gisement 90° sur la droite ou sur la gauche (c'est-à-dire le travers tribord ou bâbord) est forcément sur un relèvement Nord-Sud.

Reste l'évaluation de la distance. Examinons de plus près ce système de contrôle. Il faut, pour rester sur cette route, passer exactement à la même distance des îles Shetlands et Féroé, en laissant, les premières par le Sud, les secondes par le Nord : « *on cingle au Nord des Shetlands de sorte que l'on aperçoive la terre par temps clair seulement, puis on prend vers le Sud jusqu'aux Féroé* ». Comme ces îles se présentent successivement aux yeux du navigateur et que l'on voit les dernières alors que l'on a perdu les premières de vue, le navigateur doit estimer la distance de passage des Shetlands, à l'œil et en garder le souvenir pour pouvoir la comparer à la distance de passage des Féroé. Pour ajouter à la difficulté, on passe à une distance telle que le marin scandinave, dans son navire au ras des flots, les verra forcément au delà de son horizon. C'est donc un exercice difficile et trompeur. En effet, s'il est relativement facile de comparer les distances respectives de deux objets situés en deçà de l'horizon, au delà c'est plus délicat. Le texte, cependant nous indique le *modus operandi*. Plutôt que de conserver des impressions trompeuses et générales, il faut analyser les observations, en se concentrant sur des détails précis et ainsi comparer ce qui est comparable. L'astuce que donne l'auteur est de comparer la hauteur au dessus de l'horizon des falaises des deux îles.

Explicitons. Estimer une distance en mer n'est pas une affaire de pur sens marin. Il n'y a pas, contrairement à ce que croient encore pas mal de professionnels, d'instinct spécial de la mer qui ne pourrait se cultiver que par atavisme ou par un quelconque don inné. Il y a des analyses, parfois non formulées, qui utilisent des repères et une quantification des données. La méthode, ici, fait appel aux lois de la perspective. Ici on est en présence d'un seul repère : la ligne d'horizon. Observons un navire lorsqu'il est au delà de l'horizon et qu'il se rapproche de nous. Au début, il apparaît bien au delà de la ligne d'horizon. Il nous apparaît partiellement, car, il est situé en dessous de cette ligne. On voit d'abord sa mâture seule, puis sa cheminée apparaît et son château généralement de couleur claire au fur et à mesure qu'il se rapproche. Sa coque n'est toujours pas visible, ensuite on aperçoit son gaillard d'avant, qui est au dessus du pont principal, puis sa coque apparaît peu à peu, comme le ferait celle d'un sous marin qui émerge; enfin quand on voit sa moustache, c'est à dire le liseré blanc que produit sa lame d'étrave, on sait qu'il est précisément à l'horizon. Cette distance est parfaitement

mesurable par une formule mathématique simple²⁶⁹. Au fur et à mesure qu'il s'approche, il redescend par rapport à la ligne d'horizon, mais tout en restant en deçà de cette ligne, c'est-à-dire entièrement visible dans l'intégralité de tous les détails. Il en résulte qu'il est relativement facile d'estimer les distances respectives de deux objets situés en deçà de l'horizon, en comparant leurs hauteurs respectives par rapport à cette ligne d'horizon. En revanche, il est quasiment impossible d'estimer la distance de deux objets situés au delà de l'horizon, tout dépend de leur hauteur respective, vous apercevrez de bien plus loin un quatre-mâts barque sous voile, véritable cathédrale de toile sur la mer, qu'un sous marin dont le kiosque est au ras des flots. D'où le conseil de l'aède : comparez des choses comparables ; lorsque vous observez deux îles situées au-delà de l'horizon, basez-vous sur la hauteur relative des falaises qui dépassent de la ligne d'horizon : « *de sorte que la mer donne à mi-chemin sur le flanc des montagnes* ». Ce sont des images comparables plutôt que de comparer par exemple la hauteur des collines qui ne le sont pas.

En ce qui concerne la suite du voyage, d'autres textes précisent que l' « *on passe à 12 lieues au Sud de l'Islande* ». S'il est parfaitement exact que la route de Bergen qui est à 60° de latitude Nord, jusqu'au cap Farewell qui est également à 60° de latitude nord est rigoureusement Est-Ouest, cette route passe à quelques deux degrés de latitude plus Sud que l'Islande qui commence presque à 62° Nord pour s'entendre jusqu'au 63° Nord. Si on compte la lieue pour une heure de route de navire, on doit convenir que 12 lieues font une demi-journée de navigation, soit d'après ce qui précède 75 kilomètres. Or deux degrés font 120 milles marins soit plus de 200 kilomètres, on doit en conclure que l'aède veut signifier au marin qu'il doit aller reconnaître l'Islande, avant de continuer sa route vers le Groenland. Il lui demande donc de quitter sa route idéale pour aller au moins, sinon, apercevoir la terre à l'horizon, du moins percevoir des preuves évidentes de sa proximité. Pour pouvoir passer donc aussi près de terre, suppose que lorsqu'on s'estime par le travers de l'Islande, il faut donc aller chercher la terre, non pas à la toucher mais juste à l'apercevoir ou même à la pressentir. Le marin doit se placer sur un point dans le Sud de l'île, à 12 lieues soit 75 kilomètres, environ. Quelle est la raison de cette démarche qui consiste donc à se replacer systématiquement plus au Nord que nécessaire pour atterrir sur le cap Farvel. Le résultat de

²⁶⁹ En navigation courante on l'utilise couramment, par temps clair on aperçoit le balai d'un phare au delà de l'horizon avant de voir le feu. En s'approchant, le feu soudain éclate, dès qu'il passe au dessus de l'horizon, à cet instant la distance au phare se calcule très précisément, en fonction de la hauteur de la lanterne au dessus de la mer qui est mentionnée dans le livre des feux et de la hauteur de l'œil de l'observateur. On a là un excellent point par direction distance.

cette manœuvre est que l'on s'est bien recalé au Nord de la route Est-Ouest initiale issue de Norvège. On ne risque pas ainsi de manquer le cap Farvel, en le dépassant par le Sud, sans le voir, par exemple, par temps de brume épaisse.

Maintenant, il faut aussi se demander si le marin norvégien a les moyens de faire cette observation. A 70 kilomètres on peut voir la terre. Les sommets neigeux sont visibles à des distances considérables. On voit le Mulhacen dans la Sierra Nevada bien avant de voir Gibraltar, on peut apercevoir le sommet de l'Aconcagua bien au large du Chili. De Sète, par temps de tramontane parfaitement clair, on aperçoit le Canigou à quelque 200 kilomètres. Reconnaître l'Islande à cette distance n'est pas un réel problème, à condition que le temps soit clair. Cependant l'estimation de la distance est alors très délicate ; on aperçoit généralement les sommets enneigés brillant dans le soleil qui paraissent flotter au-dessus de l'horizon, sans pouvoir distinguer les flancs et le pied de la montagne estompés par l'horizon, plus embrumé. Donc pour le navigateur voir de si loin est d'une utilité assez limitée ; ce n'est pas parce que vous voyez le Mulhacen de loin que vous pouvez estimer l'heure à laquelle vous allez embouquer le détroit de Gibraltar et si allez l'embouquer dans l'axe. L'auteur donne alors la méthode à employer qui est aussi valable si le temps est bouché, ce qui se produit fréquemment dans ces parages, il faut observer lorsqu'on se trouve «... *vers le Sud de l'Islande de telle sorte que l'on aperçoive les oiseaux et les baleines de là* ». Observer le vol des oiseaux est une méthode employée par tous les marins antiques et médiévaux. La totalité ou presque des oiseaux marins nichent à terre, ils s'envolent vers le large et les lieux de pêche aux premières lueurs du jour et reviennent, tous ensemble, passer la nuit à terre. Ils ont des rayons de vol limités et différenciés, selon les espèces. De nos jours, on peut estimer que les premiers oiseaux sont visibles deux à trois heures avant l'arrivée au port, lors d'un atterrissage venant du large, soit de 40 à 60 kilomètres de distance et que les premiers que l'on aperçoit sont les fous de Bassan, des oiseaux plongeurs, alors que les goélands se tiennent bien plus près des côtes. Il s'agit d'une estimation très grossière, faite par un navigateur moderne pour qui ce détail n'a plus aucune importance. Il est certain que les anciens qui observaient beaucoup plus soigneusement ces phénomènes arrivaient à des conclusions chiffrées beaucoup plus précises.

Le deuxième conseil demande d'observer les baleines. N'oublions pas que phoques et morses sont aussi considérés par les anciens norvégiens comme des baleines. Les morses, qui en raison de leur masse, ne craignent pas grand-chose sont des pêcheurs, ils peuvent dormir en mer, comme les phoques, en faisant la planche sur le dos mais restent sur le plateau

continental qui reste leur lieu de chasse. Le plateau continental est le lieu privilégié où tout le poisson est rassemblé. En effet, dans le milieu marin qui est un monde en trois dimensions (il faut évidemment tenir compte de la profondeur) les petits fonds du plateau continental agissent comme un rétrécissement, il en résulte une concentration des espèces venant du large auxquelles s'ajoutent désormais les espèces familières des petits fonds. La vie marine y grouille positivement et attire tous les prédateurs. Dans le cas précis qui nous occupe, ce plateau continental s'étend assez au Sud de l'Islande et la présence de morses ou des dauphins et autres cétacés chasseurs, grands consommateurs de poissons, est certainement un bon indicateur de ce que l'on est sur ce plateau qui peut être, par ailleurs, inaccessible à la sonde.

Nous voyons donc que l'Aède donne au marin scandinave des conseils éclairés : choisir son point de départ sur le parallèle de son point de destination que l'on rejoint donc en faisant de l'Ouest, tout en contrôlant sa route par des points de repère intermédiaires. Les textes qui nous restent, comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, sont très explicites et clairs, les Norvégiens ont, durant toute cette époque, une méthode reconnue de navigation, et nous dirons qu'elle préfigure l'estime ; dans une forme rudimentaire qui ne connaît que 4 directions : les quatre points cardinaux et donc deux types de routes : Est-Ouest et Nord-Sud, contrôlées à vue par des amers côtiers ou des îles considérées comme des amers du large.

2-1.3 Une hypothèse sur les moyens de l'orientation Est-Ouest de la navigation scandinave.

Cependant il reste à déterminer comment le navigateur scandinave peut suivre le conseil de l'aède : faire de l'Ouest pendant toute la durée de sa traversée, une fois qu'il a choisi, selon son conseil, un point de départ sur la côte norvégienne en fonction du point qu'il désire atteindre sur la côte « en face ». Les textes restent muets sur ce détail, comme si la procédure en restait évidente. Il faut donc dans ce domaine échafauder une hypothèse.

A- Comment se pose d'une façon générale le problème.

Nous avons vu dans quelles circonstances générales se font ces traversées. Elles ont lieu en été pour profiter d'une mer maniable et de vents qui ne seront pas systématiquement à sens unique. Ces vents qui sont changeants nécessitent donc d'avoir recours à une orientation

géographique. La brièveté des nuits ajoutée au manque d'obscurité profonde fait que l'observation de la polaire, étoile qui n'est pas de première grandeur est souvent difficile et toujours très courte. C'est pourquoi il est ici difficile de se fier totalement à ce système de navigation par la polaire qui est pourtant la base des autres systèmes de navigation anciens que nous aurons à étudier. Il faut donc y ajouter un système d'orientation par le soleil.

Pour rester dans les idées générales, il est bon de remarquer qu'en ce qui concerne les étoiles, on peut dire que le ciel reste inchangé, jour après jour, pour un lieu donné, elles se lèvent au même point de l'horizon et passent à la même hauteur dans le ciel au plus haut de leur trajectoire. Seule l'heure du lever ou du coucher varie. D'une part parce que la nuit va s'allonger ou se raccourcir, selon la saison, et, d'autre part, en raison du fait que le ciel a un lent mouvement tournant autour de l'axe du monde tout au long de l'année. Nous savons maintenant que cela est dû au fait que ce mouvement apparent tournant des étoiles est le résultat de la rotation de la terre sur elle même qui se fait en 24 heures. Si on observe un décalage en temps quotidien de l'ensemble c'est que l'année ne contient pas un nombre entier de jours de 24 heures mais 365,25. Il en résulte que, si une étoile donnée se lève au même endroit de l'horizon, elle va se lever chaque jour un peu plus tard, si bien que sur la durée d'une année il y a des jours où on ne pourra observer son lever parce qu'elle est rendue invisible en raison de la présence du soleil. Car il faut se rappeler que les étoiles obéissent à un temps qui leur est propre et qui est un temps universel. Mais que leur observation en un lieu se fait selon un calendrier différent, le temps local ou civil. Le moment d'un phénomène observé correspond à un lieu donné d'observation, mais le navigateur va observer des changements dans ces constantes, engendrés par son propre déplacement. Les étoiles se lèvent et se couchent donc au même azimut si on se déplace selon le même parallèle. Simplement, si on se dirige vers l'Ouest ou l'Est, elles se lèveront ou se coucheront plus ou moins tôt ou tard dans la nuit. En fait, en faisant route sur l'Ouest le « spectacle » qu'offre le ciel reste inchangé, c'est un spectacle permanent, mais la « séance » s'ouvre plus tôt dans la nuit ; le navigateur dans son mouvement est, en quelque sorte, en train de rentrer dans hier. Selon un autre point de vue, si le déplacement est dans le sens Nord-Sud, c'est tout le ciel qui va basculer sur l'horizon, car l'axe du monde et son point de repère va s'abaisser ou se relever par rapport à l'horizon. Par l'observation des étoiles et par celle de l'axe du monde, il est donc relativement simple de déterminer si on suit une ligne Est-Ouest, ne serait-ce qu'en observant l'étoile polaire, on en déduit facilement cette ligne Est-Ouest. La situation se complique du fait qu'obligatoirement cette navigation dans l'Atlantique Nord doit s'effectuer l'été quand les

nuits sont particulièrement courtes, on en est donc réduit à utiliser pour déterminer cette ligne Est-Ouest l'observation du soleil.

Toujours pour rester dans les principes généraux et ce qui concerne le soleil, on peut observer que ses mouvements apparents sont beaucoup plus complexes, même pour l'observateur qui reste immobile. On peut remarquer que, pour un endroit donné, en partant de l'équinoxe où la durée du jour égale celle de la nuit, plus on va vers le solstice et plus il se lève tôt. Sa course journalière change sans arrêt et s'allonge. Il se lève et se couche en un point de l'horizon chaque jour différent et monte de plus en plus haut dans le ciel, dans le courant de la journée, en passant par un maximum à la mi-journée. Cependant, à ce moment précis, il reste un seul élément fixe : il est plein Sud. De plus, ce mouvement général n'est pas uniforme, il comporte des phases accélérées et des phases ralenties. C'est particulièrement le cas au moment des solstices d'été ou d'hiver où les changements quotidiens paraissent presque nuls, tandis que ces changements sont pleinement perceptibles au printemps et en automne²⁷⁰. Dans les latitudes extrêmes, par exemple, en Norvège au niveau de Stavanger, le phénomène est particulièrement spectaculaire. Pendant deux mois d'été les nuits sont si courtes que l'obscurité n'est pas totale ; le crépuscule rejoint l'aube et nous avons ce que l'on appelle les nuits blanches. Par contre, pendant les autres mois, au printemps et à l'automne, la variation de la durée de jour, d'un jour sur l'autre est confondante. Les jours s'accroissent ou diminuent à une vitesse maximale. Qu'en est-il si on se déplace dans l'espace ? Dans le sens Est-Ouest, rien ne change, le soleil se lève et se couche comme à l'accoutumée et les variations de la longueur de la journée ne sont que celles dues à la saison, seul le spectacle du ciel nocturne semble être avancé ou retardé. En revanche, si on se déplace dans le sens Nord-Sud, on semble se déplacer dans la saison. Si l'on va vers le Nord on semble remonter le temps et retourner vers l'hiver. Le contraire se rencontre évidemment, si on va vers le Sud. C'est ce que traduit la notion de climat de Ptolémée. Le climat est, selon Ptolémée et par définition, l'ensemble des lieux du monde où le soleil se présente à la même hauteur dans le ciel à un moment donné ; c'est donc l'ensemble des lieux disposés selon le même parallèle.

²⁷⁰Ce phénomène est semblable à celui qui préside aux mouvements des marées. Explicitons ; la hauteur de la marée en fonction du temps est une courbe sinusoïdale. Si on divise en heures marées l'intervalle entre deux pleines mers, on peut dire que 1 heure avant et après la pleine mer, on reste à l'étale de pleine mer, le niveau varie peu ; il en est de même pendant l'étale de basse mer. Mais pendant les 4 heures de jusant ou de flot, la montée ou la descente des eaux se fait à une vitesse maximum.

Bref, on voit bien que les Norvégiens médiévaux ne manquent pas en pratique de matériaux, même avec les moyens simples restant à leur disposition à leur époque, pour trouver les indicateurs nécessaires afin de naviguer dans la direction Est-Ouest. Rappelons que la méthode que leur conseille l'Aède est finalement la plus évidente pour ne pas se perdre au milieu de l'océan, sans autre repères que des phénomènes naturels. La meilleure façon d'arriver à un point donné, en Islande, est de se placer, au départ de la Norvège, sur la même latitude du point d'arrivée visé et de suivre obstinément ce parallèle, en faisant continuellement de l'Ouest. Cette stratégie c'est évidemment la configuration géographique qui l'a imposé ; il se trouve que Labrador, Islande et îles éparses de l'Atlantique Nord sont disposées sur le même parallèle. Cette méthode simple a été reprise d'ailleurs au XVI^e siècle par les pêcheurs de morue qui partaient soit de France sur le 47^{ème} parallèle au Nord de Bordeaux ou de celui d'Halifax au Canada, pour aller les uns vers l'Ouest les autres vers l'Est et atterrissaient à la sonde sur les bancs de Terre Neuve d'où on ne peut voir aucune terre tant ils sont étendus et au Sud de l'île. Il faut éliminer tout tropisme ou toute mystique tendant vers l'Ouest pour expliquer cette méthode de navigation sur le parallèle. En fait, disons très simplement que les Norvégiens naviguaient Est-Ouest parce qu'ils n'avaient pas d'autres solutions. Il y a un adage marin espagnol qui dit *paralelo corriendo, tierra encontrando* : c'est en naviguant sur le parallèle que l'on trouve la terre. Cet adage traduit simplement le fait que l'Océan Atlantique n'est qu'un long couloir d'eau qui s'étend du Nord vers le Sud, compris entre deux murailles continentales, l'Amérique et l'Eurafrique. Du point de vue islandais cela se traduit par le fait que l'on aille vers l'Ouest ou vers l'Est, on tombe fatalement sur le Groenland ou sur la Norvège, si l'on court vers le Nord ce sera la banquise, quant à suivre une route vers le Sud, la première terre (à condition qu'on puisse la retrouver) c'est Sainte Hélène. Dans ces deux derniers cas, l'intérêt est nul.

B- Constitution de l'hypothèse.

On est réduit aux hypothèses pour savoir comment les anciens norvégiens parviennent, alors, à faire du cap vers le plein Ouest ou le plein Est, certains parlent de la *solarstein*²⁷¹, cristal polarisant la lumière qui trouverait la direction du soleil même par temps de brume, d'autres notent la trouvaille archéologique d'un instrument semblable à un rapporteur, mais sans aucune méthode pour s'en servir. A notre avis, peu importe ; la solution doit être beaucoup moins sophistiquée. On peut noter qu'il n'est nul besoin d'une boussole pour déterminer la

²⁷¹ Régis Boyer, *Les vikings... Op.cit.* p. 660

direction Est-Ouest, et qu'il n'est nul besoin d'inventer, avant l'heure, le sextant à horizon artificiel (ce à quoi aurait servi le *solarstein*) pour déterminer la latitude.

Les textes ne disent rien de la méthode mais il en reste, cependant, des indices. Régis Boyer nous énumère quelques instruments et mentionne également des travaux d'un savant de l'époque. Nous allons donc lister ci-dessous la totalité de ces indices.

1-Dans l'île de Groix on a trouvé le tumulus de Crueguel²⁷² qui recelait une tombe bateau du X^e siècle où un chef viking avait été incinéré dans son bateau avec tous ses biens les plus précieux et finalement inhumé. Parmi ses biens, on a trouvé un étrange instrument dont la partie métallique a résisté aux flammes. Les spécialistes et en particulier Pall Bergthorsson qui l'ont étudié en sont arrivés à conclure que cet instrument servait à déterminer l'instant du solstice par la détermination de la hauteur du soleil. Mais il s'agit peut être d'un outil cultuel et rien ne prouve qu'il s'agit là d'un instrument de navigation²⁷³, le chef était incinéré avec tous ses biens dans son bateau et pas forcément avec les seuls biens dont il se servait à bord.

2- Dans les ruines d'un monastère au Groenland²⁷⁴, on a trouvé un instrument circulaire avec ce qui semble être un gnomon central et diverses marques réparties sur la surface du cercle, sans toutefois réussir à savoir à quoi elles correspondaient exactement

3- En Angleterre à Canterbury on a découvert ce qui a été déclaré être un cadran solaires portatif.²⁷⁵

4- Enfin, les travaux d'Oddi Helgason dit Oddi à l'étoile²⁷⁶ un savant islandais du XII^e siècle consistaient, semble-t-il, à l'établissement d'un catalogue des hauteurs de soleil mesurées en nombre de diamètres apparents du même astre. Ces indices, car les explications ne sont pas sûres, nous laissent présumer que la méthode utilisée était basée sur une relation entre la direction Est-Ouest et l'observation de la hauteur du soleil. C'est la seule variable qu'ils pouvaient observer et ils le faisaient assurément.

²⁷² Boyer, *Les vikings...Op.cit.* p. 369 et p. 660

²⁷³ Boyer, *Les vikings...Op.cit.* p. 378-383. Le calendrier islandais compte 364 jours d'où l'obligation de rajouter 7 jours tous les 7 ans et parfois tous les 6 ans pour tenir compte des années bissextiles. Pour notre part, il nous apparaît qu'il en résulte que les moments des solstices, grands événements culturels, ne peuvent pas être déterminés par leur date anniversaire, mais seulement par observation, d'où l'importance d'un tel instrument.

²⁷⁴ Boyer, *Ibid.* p. 660

²⁷⁵ Boyer, *Ibid.* p. 660

²⁷⁶ Boyer, *Ibid.* p. 335 et p. 659

Du point de vue théorique qu'en est-il ? La hauteur du soleil est donnée par son sinus obtenu par une formule semi logarithmique, c'est-à-dire : l'addition de deux fonctions différentes des mêmes variables P , D , (P étant l'angle au pôle, dépendant donc de l'heure locale de l'observation, L étant la latitude du lieu d'observation et D la déclinaison du soleil qui change chaque jour.) L'azimut du soleil, lui, est donné par sa cotangente obtenue également par une autre formule semi logarithmique. Il est possible de relier l'azimut à la hauteur et d'en constituer des tables. Cela a été fait par le service hydrographique américain, mais l'ensemble des tables constitue une bibliothèque de passerelle de plusieurs volumes. Ces calculs étaient hors de portée des gens de l'époque. Quant à établir ces tables par une collection patiente de données, une vie d'homme n'y aurait pas suffi et d'ailleurs comment noter P lorsqu'on n'a pas de montre.

Cependant en regardant les choses de plus près, on aperçoit l'ébauche d'un cas particulier. Durant cette période des nuits blanche, le soleil est à son apogée, sa course dans le ciel est presque horizontale, autrement dit : la **variation de sa déclinaison est très faible** d'un jour sur l'autre. Si d'autre part, **on suit la même latitude** et que l'on procède à l'observation, d'un jour au lendemain, **à la même heure locale**, on peut dire que, pour une période de temps d'environ 30 jours centrée sur le solstice d'été Φ , D et P sont, dans ces conditions particulières, **identiques d'un jour sur l'autre**. Dans ce cas très particulier, à un moment précis, et pourvu que l'on reste sur le même parallèle, la hauteur du soleil sera la même d'un jour sur l'autre et il en sera de même de son azimut, **on n'a donc pas besoin de calculer la relation entre l'azimut et la hauteur du soleil**, il suffit d'observer ces deux grandeurs un jour, dans cette période située autour du solstice, pour que ces valeurs soient des quasi-constantes, à condition de respecter les conditions ; soit Φ, D, P , égales d'un jour sur l'autre. **L'heure importe peu, il suffit que ce soit la même**, Le moment sera donc déterminé par cette hauteur identique. Le résultat est encourageant : il signifie que, étant au point de départ à terre, si on observe l'azimut du soleil en le comparant à la ligne Est-Ouest (que l'on sait tracer, à terre mais par en mer) on emporte avec soi pendant le voyage le « souvenir » de cette ligne Est-Ouest, pour toute observation future faite à la même heure. Une figure explicitera mieux le processus.

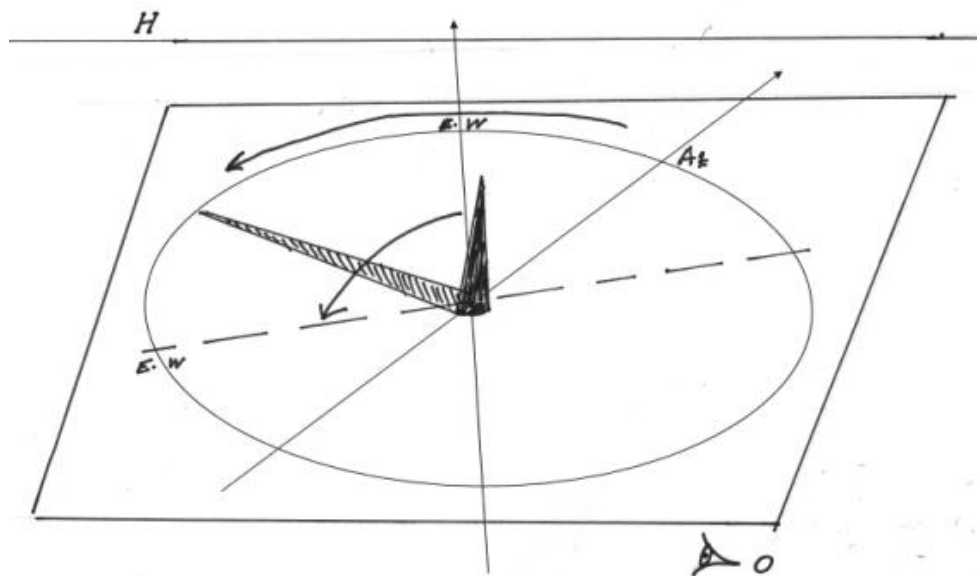


Fig 3

La veille du départ sur une planchette horizontale, à 9 heures, par exemple, on note la direction de la ligne est ouest E-W que l'on aura déterminée auparavant sur le sol par une méthode déjà connue telle celle d'Hyggin. On note également l'azimut du soleil, en traçant une droite Az. On note également l'extrémité de cette ombre et on tracera un cercle autour du gnomon passant par ce point.

Le lendemain en mer aux alentours de 9 heures, on observe l'ombre du soleil, l'observateur O vérifiant l'horizontalité de l'appareil en visant l'horizon H, mais sans s'occuper des deux lignes d'azimut. Lorsque l'extrémité de l'ombre arrive exactement sur le cercle, il est 9 heures ; on fait pivoter l'appareil de telle sorte que le repère d'azimut Az vienne se superposer à l'ombre du gnomon, la droite E-W vient s'aligner automatiquement sur l'Ouest ou sur l'Est, selon que l'on regarde dans l'une ou l'autre direction.

On a donc constitué un astro-compas dont les indications approximatives sont valables durant un mois environ, ce qui est suffisant pour une traversée de l'Atlantique Nord sous ces latitudes. A examiner les choses d'un peu plus près, on peut même dire que ce dispositif permet de donner une bonne indication pour savoir si le navire est trop Nord ou trop Sud. En effet, si à l'heure précise de l'observation qui est donnée lorsque l'extrémité de l'ombre du gnomon coupe le cercle, l'azimut ne coïncide pas exactement avec l'ombre du gnomon, comme il est supposé le faire, on peut dire selon que l'ombre est plus à droite ou plus à gauche que le navire est trop Nord ou trop Sud.

Nous avons déjà déclaré dans l'introduction tout le mal que nous pensions des reconstitutions logiques, aussi notre propos n'est pas ici de reconstituer la méthode de navigation des Norvégiens, il est probable que nous l'ignorerons longtemps, sinon toujours. Le seul avantage de cette hypothèse qui doit rester une hypothèse est, d'une part, de montrer que les Norvégiens avaient les moyens, dans l'état de leur connaissances, de pratiquer une navigation Est-Ouest par cette méthode ou toute autre similaire. D'autre part, cette construction écarte, à notre sens, toute spéculation sur le rôle de la *sonnestein* dans ce type de navigation. La pierre dite *sonnestein* est un feldspath naturel qui a la particularité de polariser la lumière. Certains auteurs ont supputé que cette faculté aurait été exploitée pour déterminer l'orientation du navire. S'il en avait été ainsi, de toutes manières, il aurait fallu repasser par un calcul de la hauteur pour calculer la ligne Est-Ouest. En fait, comme le fait remarquer Régis Boyer, les propriétés de cette *sonnestein* furent remarquées plus pour leur singularité que pour leur utilité réelle.

Mais alors si cette méthode de navigation a bien été utilisée, pourquoi n'a-t-elle pas survécu à l'invention de la boussole ? Car, c'est grâce au compas magnétique que l'on continua ce type de navigation le long du parallèle. Il resta, en effet, utilisé par les pêcheurs de morue presque jusqu'à la période contemporaine par les navires de pêche qui se calaient, au départ d'Europe sur le parallèle 47° Nord, pour atteindre, en le suivant tout du long, les bancs de Terre Neuve. Ceux-ci, en effet, sont bien loin de la vue de terre et ils atterrissaient à la sonde, sur les fonds de 33 brasses où ils pêchaient. Toutefois, cette méthode implique une faille. Il faut de la vue pour pouvoir l'exploiter en observant le soleil. Les abords de l'Islande ont la particularité de présenter des avancées du Gulf Stream et de ses eaux chaudes qui au contact soit de flux d'air polaire glacé soit au contact des avancées du courant froid du Labrador, descendant, en sens inverse, vers le Sud, donnent de terribles périodes de brume épaisse, bien connues dans la littérature maritime. Les navigateurs restaient alors perdus et, d'après Régis Boyer, il existe un mot islandais pour qualifier cet état d'être perdu en mer par défaut d'orientation. Les compas magnétiques étaient, en tout état de cause, bien supérieurs en cette occurrence à cette méthode d'orientation par le soleil et c'est pourquoi il l'a remplacée sans en laisser plus de traces.

2-1.4 Conclusion.

Le voyage d'Islande, une course d'orientation.

Lorsqu'ils recourent à la navigation côtière la plus basique : le cabotage le plus évident, sans jamais lâcher la terre des yeux, les Scandinaves ne se situent dans l'espace que selon les repères géographiques des quatre points cardinaux²⁷⁷. Cette particularité va les aider en navigation hauturière ; En effet, le voyage vers l'Islande, une île située, 9 mois sur 12 au vent de la Scandinavie, n'est possible que l'été, quand les vents deviennent irréguliers et changeants. C'est lorsqu'ils permettent la progression vers l'Ouest en devenant moteurs, qu'ils perdent toute capacité d'être également utilisés comme guide pour la navigation. L'orientation selon les points cardinaux est alors la seule possible. C'est la **première conclusion** qui s'impose à la lecture de ces textes. La **seconde conclusion** est qu'il semble bien que toutes les routes du large ont été découvertes par une série de hasards consécutifs à des événements de mer qui paraissent bien avoir une influence prépondérante dans l'accumulation de l'expérience collective. Enfin, **en troisième lieu**, les connaissances communes à leur disposition, dès cette époque, vont leur permettre aisément de construire un savoir faire suffisant pour élaborer une technique de navigation selon le parallèle : la plus simple et la plus sûre pour exploiter leur domaine maritime et les conditions spécifiques qu'impose sa disposition géographique particulière. Leur méthode n'a rien en soi d'exceptionnel. Nous verrons dans l'introduction de la troisième partie que les *cholas* du Sud Dekkan, placés dans des conditions géographiques similaires ils étaient à la tête d'une thalassocratie qui s'étendait le long du 5ème parallèle, de Ceylan à l'Insulinde et l'Indochine) naviguait, très probablement, selon des méthodes basées sur le principe du déplacement dans le sens Est-Ouest. Leur cadre géographique, plus propice à l'observation des étoiles, leur avait fait préférer le compas sidéral dont nous indiquerons, à ce moment-là, le principe de fonctionnement et qui est simplement plus pratique à utiliser près de l'équateur plutôt que dans les hautes latitudes. On peut donc raisonnablement supposer qu'il doit y avoir dans les deux sciences populaires un fond commun très important. Sans avoir recours à des méthodes sophistiquées qui voudraient que le Norvégiens, par exemple, aient inventé l'ancêtre du

²⁷⁷ Ohthere utilisait 4 points cardinaux, Wulstan utilisaient aussi les points intermédiaires. C'est aussi ce qu'a constaté également Régis Boyer qui utilise des textes postérieurs. Il constate qu'ils utilisent, outre les 4 points cardinaux, le Nord, coté terre ou coté large, c'est-à-dire le Nord-Est et le Nord-Ouest et le Sud, également coté terre ou coté large. Ces notations se réfèrent à une localisation typiquement norvégienne. Ce qui n'est pas étonnant puisque les sagas et le livre de la colonisation sont islandais, descendants métissés de norvégiens et d'irlandais.

sextant à horizon artificiel pour effectuer grâce à la fameuse *sonnestein* des calculs de latitude. Il faut seulement remarquer que l'observation de mêmes phénomènes peut entraîner dans les applications pratiques des méthodes différentes. Nous verrons plus tard que les arabes et les occidentaux, en partant des mêmes prémices, l'astronomie arabe, sont arrivés à des méthodes différentes, Ibn Majid et Christophe Colomb, quoique contemporains utilisaient tous deux les étoiles mais chacun à sa manière.

Cependant nous pensons avoir clarifié un peu la situation. Nous ignorons toujours quelle était la méthode norvégienne pour naviguer selon le parallèle, mais nous pouvons assurer qu'ils en avaient une. Les textes sont trop révélateurs ; ils font référence constante aux points cardinaux et les sagas nous décrivent des routes partant d'une latitude déterminée et se dirigeant Est-Ouest sur des points bien repérables qui permettent de segmenter la route et de se déterminer non seulement en latitude mais surtout de connaître la route qu'il leur restait à faire pour arriver au point choisi. En tout état de cause, la lecture des sagas nous offre des pistes. Il ne s'agit que d'hypothèses. Les Norvégiens, nous l'avons vu, se complaisaient particulièrement dans la navigation côtière. Cependant, ils devaient parfois effectuer des traversées, la procédure suivie était de se rendre par la côte en un point de départ choisi qui, par expérience, était à la même latitude que le point d'arrivée, puis de faire cap à l'Ouest pour l'aller, puis cap à l'Est pour le retour, et enfin de vérifier par des repères choisis la rectitude de la route : Nord des Shetlands, Sud des îles Féroé, Sud de l'Islande, avec des méthodes rationnelles annexes pour évaluer les distances de terre des points de passage. Il ne s'agit que d'une hypothèse, c'est à dire de la reconstitution d'une méthode possible et peut être probable, mais l'important est de savoir qu'il y avait une méthode sinon l'Islande aurait disparu. Pourtant elle est restée présente durant tout le Moyen Age dans le domaine européen. Ce pays très riche en poisson ne peut survivre que par l'échange ; il est dépourvu de bois et de fer. Des textes nous montrent la concurrence de la morue islandaise vis à vis de la morue de Bergen dont l'importation était la chasse gardée des marchands de Lübeck.

Deuxième partie

Chapitre 2

2-2.0 Les instruments de l'estime.

De la boussole au portulan.

L'Histoire, telle qu'on la découpe généralement, nous habitue à borner la fin du Moyen Age par la date de 1492, comme le symbole de la grande révolution maritime et des grandes découvertes qui marquent l'entrée dans l'époque moderne. En fait, cette borne est le fruit d'une préparation de longue date. Une succession quasi ininterrompue de progrès partiels a précédé cette grande époque et l'a rendue possible ; ces progrès concernent aussi bien la construction du navire, que nous avons décidé de tenir hors du champ de cette étude, que les méthodes de manœuvre du vaisseau et de navigation, qui y sont placées au centre. Si on se cantonne à ce dernier sujet, un pas important est franchi avec l'invention de l'estime au XIII^e siècle qui précède l'invention de la navigation astronomique qui viendra la compléter au XV^e siècle. Cette invention est donc déterminante puisque l'estime est la méthode de navigation basique sur laquelle la navigation astronomique n'ajoute qu'un surcroît de précision.

L'estime est donc inventée au XIII^e siècle. C'est une méthode de calculer le point en fonction de deux paramètres, le cap et la distance ; ce sont ces paramètres qui sont estimés ou plus exactement mesurés. Cette invention ne peut être mise au point que parce que des conditions favorables ont été auparavant établies. D'une part la mise en œuvre de la boussole, qui permet de déterminer le cap et d'autre part la mesure de la distance ; ce sont ces deux avancées qui ont permis d'élaborer le *compasso*, le catalogue médiéval des routes maritimes. On possède, désormais, tous les éléments pour pouvoir effectuer des levés maritimes ; à partir de cet instant le portulan peut être dessiné. Ce sera le cadre dans lequel s'exercera l'estime qui est la représentation graphique sur le portulan de la route suivie. C'est assurément la boussole qui reste à la base de ce processus, elle apparaît en premier et il faut attendre presque deux siècles entre cette apparition et la mise au point de cette technique nautique.

Ceci pourrait être l'occasion d'une approche chronologique, mais comme nous n'avons aucun détail sur cette longue maturation, il faut envisager une autre façon de structurer cette évolution en considérant l'estime sous sa forme fonctionnelle. Selon cette approche l'estime est la méthode par laquelle on entre les paramètres particuliers au navire (cap, vitesse...), mesurés par des instruments de navigation pour trouver sa position sur la carte qui est, quant à elle, un ensemble de données géographiques (dessin, orientation des côtes...) recueillies par des spécialistes et mises à la disposition du navigateur. Après un **premier point** destiné à détailler les sources utilisées pour cette étude, on distinguera ainsi dans un **deuxième point** décrivant l'évolution des instruments et des méthodes qui permettent la collecte et la mesure des paramètres, donc d'une part, l'histoire de l'aiguille aimantée, de la boussole et du compas et d'autre part, celle de la mesure des distances. Dans un **troisième point** on étudiera l'évolution de la collecte et de la mise en mémoire des données à partir du périple pour aller au *compasso* et de là, au portulan. Les deux points précédant ne sont que des rappels historiques, résultats de recherches déjà reconnues. En revanche un point qui reste généralement négligé est celui de la validation du portulan, c'est-à-dire son étude critique à la lueur de nos connaissances actuelles pour en examiner les raisons de son fonctionnement et aussi ses limites. Ce sera donc l'objet du **quatrième et dernier point** où nous nous pencherons sur la théorie du portulan et de la carte des rhumbs et distances. D'où le plan suivant.

2-2.1 Les sources.

A Héron et le dioptré

B les cartes du ciel

C Les sources directes

2-2.2 Estimation des paramètres

A- L'orientation géographique

B- L'aiguille aimantée

C- Le compas

D- La mesure de la distance

2-2.3 Mise en mémoire des données

A- Du périple au *compasso*

B- Du *compasso* au portulan

2-2.4 Validation de la méthode

A- Théorie de la carte par rhumbs et distances.

B- Le développement du portulan, la carte de Colomb.

2-2.5 Conclusion.

Les limites du portulan

2-2.1 Les sources.

Il y a un problème de datation en ce qui concerne l'apparition de la boussole et on peut dire que plus les chercheurs se penchent sur ce sujet et plus ses origines remontent dans le temps. En ce qui concerne le portulan il reste délicat d'en établir les antécédents, d'autant plus que l'action de lever les particularités d'un terrain et les reporter sur un plan remonte à la plus haute antiquité. Nous voyons quant à nous deux filiations possibles sans que l'on puisse assurer quoi que ce soit de définitif sur ce sujet.

A-Un système basé sur l'orientation, Héron d'Alexandrie et le dioptré.

Dès l'antiquité les hommes tentent de mesurer les terres cultivées, pour des raisons fiscales principalement ; il est plus simple d'imposer le producteur selon la surface de son champ que de mesurer la quantité produite. Les mesures établies, il est tentant de faire une représentation à l'échelle, pour mémoire, de la surface terrestre de ce cadre de production sur un plan. Nous avons déjà vu les questions d'arpentage chez les Romains et comment ils déterminent la ligne Est-Ouest. Nous savons également que les Romains savent dresser des plans de ces levés

cadastraux, il en existe gravés dans le marbre à Orange. Ce type d'arpentage qu'ils tiennent des Etrusques, nous dit Hygin, est toutefois bien moins sophistiqué que ce que l'on trouve, alors, dans d'autres, civilisations, perses et surtout égyptiennes. Ceux-ci avaient acquis, dans ce domaine, une maîtrise que leur donnait une pratique soutenue. Nous en avons une relation par les travaux d'Héron dit d'Alexandrie qui traite du dioptré et de ses utilisations. Le dioptré est l'instrument qui sert aux levés cadastraux dans l'Egypte ptolémaïque. Il s'agit de ce que l'on peut aussi appeler un cercle topographique. C'est, un cercle gradué de 0 à 360 degrés ; il est installé à plat sur un trépied. L'horizontalité est établie grâce à un niveau à eau, il est aussi muni d'une alidade à pinnule. L'alidade à pinnule est une règle posée sur ce cercle et qui passe par son centre ; c'est donc un diamètre matérialisé dans cet instrument et qui peut tourner autour du centre du cercle topographique. Cette règle est un instrument de visée muni d'un œilleton du côté de l'observateur et d'un cadre muni d'un fil vertical de visée à l'autre extrémité. C'est donc la matérialisation d'une ligne de visée. L'appareil est encore plus sophistiqué ; il peut basculer de 90 degrés et du plan horizontal être disposé dans le plan vertical. Il permet alors de mesurer des angles en site de tout objet à partir du plan horizontal matérialisé par un niveau. C'est donc un appareil très complet et il ne lui manque que l'addition d'une lunette de visée, pas encore inventée, pour devenir un véritable théodolite.

Mais nous nous contenterons d'étudier les possibilités de l'appareil uniquement dans le plan horizontal qui est celui du plan du cadastre. C'est grâce à l'alidade décrite ci-dessus que l'on peut viser un repère sur le terrain que l'on choisit comme donnant la direction origine. On calera le zéro du dioptré sur cette direction. Il est important de choisir un repère durable de manière à pouvoir procéder à des relevés espacés dans le temps pour pouvoir vérifier ou amender le cadastre. Un objet remarquable, suffisamment pérenne et disposé assez loin²⁷⁸ suffira. Le mieux est de choisir la direction du Nord vrai, déterminée selon la méthode communiquée par Hygin, également bien connue des Grecs depuis la plus haute antiquité. Cette direction sera matérialisée sur le terrain par un alignement de jalons que l'on rétablira aisément avant chaque campagne d'observations. On visera ensuite la direction d'un objet sur le terrain que l'on désire positionner sur le cadastre, on obtient, à partir du point de visée de l'observateur, l'angle que fait la direction de cet objet avec la direction fixe du repère qui fait référence. Si ce repère est le Nord vrai on a obtenu l'azimut de l'objet en question. Il ne

²⁷⁸ L'objet de référence doit être suffisamment loin pour ne pas avoir de problème de parallaxes dans certains problèmes qui exigent deux points d'observation différents.

restera plus, dans un deuxième temps, qu'à mesurer la distance qui sépare le point d'observation de l'objet observé.

Héron n'est ni un topographe ni un simple officier du cadastre comme Hygin. C'est un savant considérable qui s'est illustré dans des travaux très divers, il est surtout connu pour ses recherches en pneumatique. Il s'agit de comprimer de l'air par un système hydraulique dans un ensemble de tuyaux d'orgues pour obtenir un son d'une hauteur déterminée et par une distribution des ouvertures actionnées par un procédé mécanique de jouer un air. Il est en quelque sorte spécialisé dans la construction d'automates musicaux. N'oublions pas que la musique, dans l'antiquité, est considérée comme faisant partie du domaine scientifique. Si Héron s'intéresse au dioptré, ce n'est pas tant pour effectuer des relevés cadastraux, mais il se sert des techniques cadastrales pour résoudre, par la géométrie, des problèmes topographiques difficiles. Les principaux problèmes dont il cherche ainsi les solutions, concernent la détermination par des mesures horizontales mais aussi verticales de points inaccessibles ; exemple type : hauteur d'une montagne sans atteindre son sommet, ou bien : distance entre deux points, tous deux situés au-delà d'un fleuve infranchissable. Son traité n'est donc pas un manuel d'arpentage, mais trahit inmanquablement les méthodes employées par les arpenteurs, par l'usage qu'il en fait à des fins dérivées. Par cet ouvrage, on peut donc se rendre compte des méthodes du cadastre égyptien. Pour résumer cette méthode est simple, les relevés s'effectuaient en coordonnées polaires par mesure de l'angle formé entre une direction fixe et la visée du point à situer, puis mesure de la distance de ce point au point d'observation.. On a donc des relevés en direction-distance et il est alors facile de reporter sur un plan une représentation à l'échelle de ces différents points observations. Son œuvre, très connue dans l'antiquité, est abondamment traduite en arabe, Ceux-ci s'intéressent également à ces questions cadastrales, non seulement, pour des questions fiscales, mais encore, pour pouvoir régler d'une façon pratique et rigoureuse les questions de partages d'héritages dont la loi religieuse musulmane envisage avec minutie tous les détails. Ses œuvres seront donc traduites en arabe, et c'est par le biais de manuscrits arabes, les originaux en grecs étant perdus qu'elles seront retrouvées, par le fait les orientalistes, en particulier le baron Carra de Vaux.

A partir de cette méthode topographique, il est facile de procéder par analogie pour traduire un *compasso* en un graphique sur le papier. Il est tentant d'assimiler le système cap-distance à parcourir du *compasso* au système visée-distance du levé cadastral. En effet, aller selon un cap donné, c'est aller droit devant soi jusqu'à toucher le port désiré, l'analogie paraissait une évidence. Nous verrons plus tard qu'il s'agit en fait d'un trompe l'œil

B Les cartes du ciel.

Nous parlerons plus tard de l'astrolabe, un très vieil instrument d'observation du ciel, bien développé par les arabes et particulièrement en Espagne. De nombreux ouvrages ont été écrits sur ce sujet et même traduits en latin ce qui fait que, dès le XII^e siècle, les occidentaux en avaient une bonne connaissance. Une partie importante de cet instrument est constitué par une carte du ciel gravée sur une plaque de métal. Cette carte est une projection stéréographique de la sphère céleste sur le plan de l'équateur. La projection d'une étoile est obtenue en traçant une droite issue du pôle Sud et dirigée sur cette étoile, l'intersection de cette droite avec le plan de l'équateur est la projection de cette étoile. En regardant la carte ainsi obtenue on voit que les étoiles sont disposées selon des coordonnées polaires ayant le pôle Nord pour centre. Par contre la distance de cette étoile sur la carte au pôle est fonction de la fonction cotangente de la déclinaison de l'astre. Mais les astronomes arabes d'al-Andalus en particulier Ibn al-Zarqalluh bien connu des occidentaux sous le nom d'Arzaquiel (1029-1087) prend pour point de vue un point de l'équateur, si bien que les occidentaux connaissent des projections polaires dont le centre n'est pas forcément le pôle géographique. Arzaquiel est traduit par Gérard de Crémone.

Devant ces deux origines possibles il est difficile de décider si l'estime a une origine musulmane ou occidentale. Historiquement les premiers portulans sont le fait d'une école génoise d'une part et majorquine de l'autre. Il est très difficile de décider laquelle des deux écoles a le bénéfice de l'antériorité. L'école majorquine est le fait de facteurs d'instruments astronomiques juifs ou marranes ce qui suppose une forte imprégnation de culture arabe, mais d'un autre côté il n'y a pas de vestiges dans la civilisation arabe de portulans. Nous verrons que les arabes avaient des cartes mais rien qui ne ressemble à la carte par rhumbs et

distances. Ibn Majid, que nous rencontrerons plus tard, évoque la façon de naviguer des Egyptiens selon l'estime qu'il connaît lui aussi. Disons que la question reste ouverte.

C Les sources directes

Il nous reste, toutefois, de nombreux autres documents, en particulier, sous la forme de portulans. Evidemment ces précieux documents sont conservés avec beaucoup de précautions dans des bibliothèques, cependant, on peut les examiner à loisir sous la forme d'excellentes reproductions suffisamment précises pour en comprendre le principe et l'utilisation.²⁷⁹ Nous avons concentré notre examen sur les représentations des documents suivants.

- 1- La carte Pisane. c.1290²⁸⁰
- 2- Portulan de Petro Vesconte. 1313. Mer Noire
- 3- Portulan de Petro Vesconte. 1313. Méditerranée centrale
- 4- Portulan de Petro Vesconte 1313 Mer Egée et Crête
- 5- Portulan de Petro Vesconte 1321 Côtes d'Espagne
- 6- Portulan de Petro Vesconte. c. 1321. Côtes de France, d'Angleterre et d'Irlande²⁸¹.
- 7- Portulan d'Angelino Dulcert. 1339. de la Baltique à la mer Rouge.²⁸²

²⁷⁹ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines du XII^e au XVII^e siècle*. Ed. Nathan. Office du livre, Fribourg, 1984.

²⁸⁰ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines du XII^e au XVII^e siècle*. Op.cit.pl.1

²⁸¹ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines du XII^e au XVII^e siècle*. Op.cit. .respectivement, pl.2 à 6

²⁸² *Ibid.* pl. 7

8 Atlas Catalan. c. 1375. Feuille de l'Atlantique et Méditerranée occidentale.²⁸³

9 Portulan de Guillermi Soleri c.1385. Méditerranée.²⁸⁴

10 Anonyme. c.1390. feuille d'un atlas Vénitien, Méditerranée occidentale et Portugal, Espagne et France atlantiques²⁸⁵.

L'essentiel est déjà établi à la fin du XIV^e siècle. Le principe du cadre et les méthodes de construction sont déjà fixées. D'autres portulans qui sont contemporains sont visibles dans d'autres lieux que la bibliothèque nationale, à Munich et à Anvers notamment. Les portulans postérieurs ne sont intéressants que pour les importants détails qui dénotent les tentatives de résolution des problèmes qui amèneront à la mise au point de la carte de Mercator.

2-2.2 Estimation des paramètres.

Ces paramètres, le cap et la vitesse vont servir à construire le modèle particulier de la marche du navire. Le mot « estime » convient assez peu à leur mode d'évaluation. Ils sont en fait mesurés grâce à des instruments ou par des méthodes. C'est évident pour le cap grâce à la boussole, cela reste aussi vrai en ce qui concerne la vitesse, encore que dans ce dernier domaine les évidences directes manquent mais les résultats parlent, pensons-nous, d'eux-mêmes.

A- L'orientation géographique

²⁸³ *Ibid.* pl. 8

²⁸⁴ *Ibid.* pl. 9

²⁸⁵ *Ibid.* pl. 10

Nous avons vu que les anciens utilisent le vent, non seulement comme moteur, mais aussi comme guide, dès qu'ils quittent la terre des yeux. Le naufrage de Paul est un bon exemple des limites de cette méthode et il n'en demeure pas moins que, malgré tout, les anciens gardent un œil sur le ciel pour prévoir les sautes de vent. Les Nordiques, en raison des conditions particulières de leur navigation commencent déjà à se référer aux points cardinaux. L'arrivée de l'aiguille aimantée généralise cette nouvelle approche en Méditerranée. Elle s'améliore avec l'usage, d'abord par la boussole puis par le compas pour devenir, à ce dernier stade, un instrument à part entière, consultable en continu.

L'aiguille aimantée

Depuis, sans doute, plus de 1000 ans déjà, les Chinois connaissent les propriétés de l'aiguille aimantée. Ils utilisent ses propriétés dans des buts magiques et ils en équipent également des chars censés retrouver le Sud, dès le 1^{er} siècle de notre ère. En effet, le pôle Sud est celui que favorisent les Chinois. Les cartes, qu'ils dressent très tôt, sont orientées avec le Sud en haut de la carte, donc en sens inverse des nôtres. Sans savoir à quelle date ils l'emploient réellement pour naviguer et la transmettent aux arabes, (si toutefois, ce schéma généralement communément admis, est exact) il semble que le XII^e siècle est le moment où elle est introduite en Occident par des marins de l'Océan Indien. Traditionnellement, on considère que la boussole est une invention chinoise, transmise aux Arabes qui, à leur tour, la transmettent à l'Occident. Cette séquence est, désormais, controversée. Il n'est pas certain que la transmission se soit faite des Chinois aux Arabes, ceux-ci en effet sont parfaitement capables d'en avoir trouvé le principe très tôt. En effet Mas'udi cite la pierre d'aimant ou magnète dans son livre « *les Prairies d'or* ». Dans son système cosmographique général qui suit celui d'Aristote, l'univers est constitué par 7 globes de cristal superposés sans se toucher. Sur chacun de ces globes circulent les étoiles, puis le soleil, ensuite la lune, et enfin les 4 planètes visibles à l'œil nu. Chaque circulation est indépendante des circulations voisines et suit sa propre loi. C'est la force magnétique d'une gigantesque pierre d'aimant qui fait tenir l'ensemble du dispositif de ces globes en équilibre et en suspension dans l'univers. Il est clair que pour Mas'udi²⁸⁶ l'univers est organisé et gravite autour d'une ligne, celle de l'axe du

²⁸⁶ Mas'udi est un écrivain arabe très connu qui a écrit un livre fameux *les Prairies d'or*. Ce n'est pas un scientifique mais un vulgarisateur. Il se livre à un genre littéraire très courant dans le monde abbaside opulent et

monde, la ligne Nord-Sud. La pierre d'aimant est donc déjà connue pour ses propriétés magnétiques qui, précisément, ont deux caractéristiques : la force d'attraction à distance et l'attirance vers le pôle Nord. Or al-Mas'udi est mort en 956/957. Ce n'est pas un inventeur, c'est un vulgarisateur qui se sert de sa prodigieuse érudition donc de ses lectures. La magnète qu'il décrit dans son ouvrage est donc déjà bien connue à son époque et, sans doute, déjà chez les Grecs. Cette version est reprise par Ibn Majid ²⁸⁷ qui l'appelle la pierre du destin et qui se souvient peut être de l'avoir lu dans Mas'udi, qu'il cite dans sa bibliographie, mais, quant à lui, en voit l'origine dans la Bible et ce serait avec une magnète que le roi David aurait abattu Goliath.

Il est vrai que la boussole n'est pas constituée par une pierre d'aimant mais par une mince aiguille d'acier aimantée à son contact. En effet la force magnétique induite est très faible et pour que le moment induit soit capable de faire bouger le dispositif, il faut une mince aiguille d'acier suffisamment longue et légère. Le pivot utilisé doit aussi être quasiment à friction nulle. Les premiers dispositifs consistent donc en un fil de soie très fin avec un moment de torsion minimum ou bien on laisse reposer l'aiguille sur un flotteur ultra léger capable de soutenir l'aiguille à la surface de l'eau contenue dans un récipient.

En lisant la littérature spécialisée on s'aperçoit que, depuis l'époque de Reynaud, au XIX^e siècle, qui s'occupait en détail des problèmes d'histoire de la navigation dans son premier tome consacré à l'étude du géographe Aboulféda,²⁸⁸ on a découvert des documents plaçant la

raffiné où le délassement d'une conversation mondaine constitue un des plaisirs subtils de ce monde. Nombre d'auteurs se consacraient à l'écriture de livres qui contenaient tout ce que doit savoir un honnête homme pour pouvoir entretenir une conversation. Les Prairies d'or sont donc un ouvrage de compilation et dans la partie géographique on retrouve bien des œuvres antérieures y compris le voyage du marchand Suleyman vers la Chine que l'on retrouve presque *in extenso*.

²⁸⁷ G.R. Tibbets, *Arab Navigation in the Indian Ocean before the coming of the Portuguese being a translation of Kitab al-Fawa'id fi usul al-bahr wa'l-qawa'id of Ahmad b. Majid al-Najdi*, London, The Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, 1981.p 75.

²⁸⁸ Joseph-Toussaint Reinaud, *La géographie d'Aboulféda*. Traduction du manuscrit *Taqwim al-Bouldan* de Abu l-Fida , 1331, édition originale par l'Imprimerie nationale , Paris , 1848, réédité à Franckfurt am Main, 1985. Dans le tome I qui sert d'introduction au deuxième tome qui est une traduction du texte arabe de la géographie, il fait le point des connaissances de son époque, soit au milieu du XIX^e siècle que l'on avait sur la science des géographes orientaux, arabes surtout, mais aussi éventuellement chinois et il y examine également leurs techniques de navigation.

mention de ce dispositif de plus en plus haut dans le temps. Le point actuel de la situation est donné par Mollat du Jourdain qui cite: « *Une curieuse coïncidence des dates rapproche deux textes décrivant les premières boussoles. Un premier nous vient de Chine entre 1111 et 1117: l'aimant est couvert de petites pointes rougeâtres et sa superficie est parsemée d'aspérités. Il attire le fer et se joint à lui, c'est pourquoi on l'appelle vulgairement la pierre qui hume le fer. Quand on la frotte avec l'aimant, une pointe de fer reçoit la propriété de montrer le Sud. Si on pose cette pointe en travers d'une mèche de roseau qu'on pose ensuite sur l'eau, elle montre également le sud. Mais toujours avec une déclinaison avec le point Ping. Le second est un poème français de Guiot de Provins en 1190 :*

Un artfont (les mariniers) qui mentir ne peut

Par la vertu de la manette

Une pierre laide et brunette

Ou li fer volontiers se joint

ont.....

En un festu l'ont fiche.....

Contre l'étoile (polaire) va la pointe

Par ce sont les mariniers surs

De la droite voie tenir. »

En ce qui concerne la littérature arabe, la boussole est citée, bien plus tard, en 1232, dans un livre persan de Muhammad al Awifi. Mais c'est dans un texte de 1282 que nous avons la première description en Occident. Bailak al-Qibjaqi la décrit pour l'avoir observée sur un navire génois sur lequel il fit un voyage en 1242 de Tripoli de Syrie à Alexandrie. C'était une aiguille métallique en forme de poisson flottant sur la surface de l'eau.²⁸⁹ D'une manière générale et à la lueur des sources chinoises²⁹⁰ il semble que deux procédés différents

²⁸⁹ Jean Toussaint Reynaud, *op.cit.* .p. 290

²⁹⁰ Joseph Needham, *La science chinoise et l'Occident* paris 1977. Citons également le monument la monumentale série en 25 volumes en 1954 : *Science and Civilisation in China*. D'une façon générale, les sources chinoises sont sous exploitées o et on doit s'attendre a une

d'aimantation sont à l'origine de la boussole. Le poisson flottant à la surface de l'eau serait aimanté en utilisant un phénomène de thermo rémanence. Il s'agit de mettre le dit poisson au feu et de le refroidir brutalement en le posant à la surface de l'eau ; ce choc thermique provoque une faible aimantation provisoire qui suffit pour orienter le poisson dans le sens Nord-Sud. Le second procédé consiste en l'utilisation de la magnète ou pierre d'aimant qui frottée sur une aiguille de fer lui communique sa propre aimantation. Si le premier procédé est véritablement chinois, la pierre d'aimant est aussi connue en Occident depuis la plus haute antiquité; ce qui fait qu'il est bien difficile de déterminer avec certitude où trouver l'origine de la boussole. Est-ce une invention chinoise passée en Occident ou bien une innovation qui comme la voile latine trouve sa source quelque part en Méditerranée orientale et serait passée de là vers l'Océan Indien. Le fait que les Chinois aient eu recours à la boussole dès le début de notre ère et que les textes en fassent foi n'est pas significatif. L'ouvrage chinois Wujing Zongyao vers 1040 ou 1044, *Réunion des techniques militaires les plus importantes* signale que : « *Quand les troupes doivent faire face au mauvais temps ou à la nuit noire et que l'on n'arrive plus à s'orienter ... ils faisaient appel à un instrument mécanique pointant vers le sud, appelé aussi poisson indiquant le Sud.* » On parvenait à ce résultat en chauffant le métal (tout particulièrement si c'était de l'acier) selon le procédé connu aujourd'hui sous le nom de thermo rémanence et qui aurait été capable de provoquer un léger état de magnétisation²⁹¹. Cet usage était donc uniquement terrestre mais on reconnaît bien là le dispositif décrit par Bailak al-Qibjaqi. Il faut souligner que l'irruption de la marine chinoise dans l'Océan Indien est un phénomène historique, décrété autoritairement par l'Empereur, sous l'empire Song, assez tardivement, au VII^e ou VIII^e siècle. La boussole à l'usage marine, dans cette marine chinoise, est de l'avis des chercheurs spécialistes, postérieure à cette date et les premières références peuvent être datées, dans l'état actuel des connaissances, au XI^e siècle au plus tôt. La question reste donc ouverte.

De l'aiguille aimantée au compas

évolution très rapide des connaissances en ce domaine avec la recrudescence de la recherche chinoise et l'intérêt croissant que lui porte l'occident.

²⁹¹ Ibid, p 252

Cette boussole continue d'évoluer dans le temps avant de devenir notre moderne compas. Nous allons décrire ces trois phases. Ibn Majid connaissait le compas, c'est-à-dire la troisième phase. Mais, il connaît aussi cette évolution et c'est lui qui en parle le mieux. Cette connaissance ne lui vient de par sa qualité d'historien, bien qu'il ait lu tous les auteurs parmi les plus anciens, il les cite d'ailleurs dans son prologue. Il connaît ces trois phases pour les avoir utilisées en tant que pilote. Le pilote embarque sur un bateau pour lequel il a passé contrat afin de le faire passer « de l'autre bord », il est donc bien obligé de prendre ce bateau, tel qu'il est, en particulier avec ses équipements de navigation plus ou moins nombreux ou plus ou moins avancés, y compris son compas ou même, éventuellement, son absence de compas. Donc, le pilote doit savoir pratiquer sur l'ensemble des navires, il se trouve donc à avoir à pratiquer son art sur des navires divers qui sont un résumé flottant de l'état de l'évolution des techniques maritimes à travers les âges, et c'est en tant que pilote que l'expérience de Ibn Majid est intéressante. On peut distinguer trois phases.

1-Au début la boussole n'est qu'une aide à la navigation. C'est la mémoire du cap. Le navigateur se fie toujours au vent. Il règle son allure sur lui pour parvenir à destination. Il vérifie avec les astres que le vent, son indicateur de direction reste constant. En l'absence des astres, c'est-à-dire, par temps couvert, il utilise l'aiguille aimantée pour vérifier cette constance dans la direction. Il n'a pas besoin d'une observation continue. En mer, le vent ne change pas si brusquement, sauf dans des occasions, plutôt rares. Celles-ci sont limitées à des épisodes de calme plat, entrecoupé de risées sporadiques qui peuvent être, en effet, extrêmement changeantes. Dans les cas les plus fréquents, ces variations n'obligent en rien à une observation continue de l'aiguille. Il suffit d'observer la direction au départ de chaque risée qui continuera dans cette direction jusqu'à ce qu'elle expire. Quitte, donc, à vérifier la direction de la suivante qui peut, elle, venir d'un autre point de l'horizon et partir dans une autre direction que la précédente.

L'aiguille ne servant qu'épisodiquement, elle perdra son aimantation à chaque opération. Elle doit donc être ré-aimantée chaque fois. Suivons Ibn Majid, il faut tenir l'aiguille devant soi de la main gauche ; de la main droite rapprocher le long du corps la pierre d'aimant que l'on aura tenu à l'écart, la passer le long de l'aiguille en la frottant à partir du corps vers l'avant, continuer d'un geste large à éloigner la pierre vers l'avant, et à bout de bras décrire un geste

large vers la droite tout en éloignant la pierre de l'aiguille. Cette procédure, toute empirique, est parfaite. *Ex post*, avec ce que nous savons du magnétisme, on peut dire qu'elle évite, en éloignant la pierre, une fois l'aiguille aimantée, de brouiller cette aimantation, au cas où l'aiguille se trouvant dans une autre direction, on la remettrait en contact avec la pierre d'aimant.

On dépose ensuite l'aiguille sur un fêtu de paille, que l'on fait surnager dans un récipient plein d'eau, on obtient ainsi une articulation de l'aiguille sans torsion, et d'autre part, une suspension constamment horizontale de cette aiguille, ce qui sera le point faible des boussoles et compas jusqu'à l'invention de la suspension à la Cardan, au XVI^e siècle. Certains navires disposaient d'un minuscule flotteur en tôle en forme de poisson en ce qui concerne celui que nous décrivent les textes. Il est construit de telle façon qu'il puisse flotter et, en même temps, être aimanté, mais cette fois ci par chauffage puis refroidissement brutal,

2-Pour éviter l'inconvénient de ré-aimanter l'aiguille à chaque observation, **on a disposé l'aiguille d'une façon permanente sur un pivot** et à l'abri dans un habitacle, c'est-à-dire une boîte de bois, une *bossola*, en italien, qui va lui donner son nom. Ce dispositif voit le jour vers 1302 ou 1303, dit-on²⁹², par Flavio Gioia un marin citoyen d'Amalfi, un port qui est l'ancêtre des républiques italiennes spécialisé dans les voyages d'Orient bien avant que Pise puis Gênes n'apparaissent comme républiques maritimes.

3-Un pas supplémentaire fut franchi en rendant solidaire l'aiguille d'une rose de papier.

On a ainsi mis au point le compas dont le gros avantage est de donner le cap par lecture directe sans calcul intermédiaire en passant par le gisement. En effet l'aiguille s'aligne sur le nord c'est-à-dire elle désigne la partie du navire qui est exposée au Nord. Or, ce qui intéresse le marin c'est le cap, c'est adire l'angle que fait la direction que suit le navire c'est-à-dire la direction de l'avant. Pour passer de l'un à l'autre il faut évaluer l'angle que fait l'aiguille avec l'avant du navire (le gisement) et ajouter ou retrancher à 0 ou 360 degrés pour avoir le cap, ce

²⁹² Une historienne italienne moderne conteste l'existence même de ce personnage dont l'origine même du nom ne serait que la conséquence d'une leçon erronée d'un manuscrit d'un auteur historien italien Flavio Biondo, mais la date n'est pas contestée.

qui évalué en rhumbs de vent et énoncé en quarts par rapport au Nord nécessite toute une gymnastique mentale. Encore faut-il disposer d'un instrument spécial (un taximètre, qui est un cercle topographique dont le zéro est calé sur la direction de l'avant du navire) pour mesurer ce gisement. Ibn Majid nous indique qu'il divisait la surface du pont en rhumbs de vent et se servait donc du navire lui-même entant que taximètre.

Pour revenir au compas, leurs auteurs parlent d'une coquille de tortue, vraisemblablement un dôme de papier, chevauchant un pivot permettant à la rose une liberté de mouvements dans les plans horizontaux pour orientation et dans le sens vertical pour suivre le roulis et le tangage. Ce dispositif est remplacé dans le compas par une rose munie, en son centre, d'une coupelle inversée qui est posée sur un pivot, le plus aigu possible, pour minimiser les moments de frottement engendrés par la rotation. En effet ce moment négatif doit être vaincu par le moment dont la source se trouve dans le couple magnétique de l'aiguille qui est plutôt faible. L'aiguille, d'ailleurs, est remplacée par un *équipage aimanté*, déjà plus puissant, placé sous la rose ce qui déplace le centre de gravité sous le point de rotation. Un *équipage aimanté* est le nom que l'on donne à un ensemble d'aiguilles aimantées, généralement quatre, assemblées entre elles d'une façon parallèle dans un cadre très léger de paille et de fils de soie. Tout cet assemblage, en raison de son poids et les couples parasites générés par les frottements, permet d'amortir les mouvements désordonnés de l'aiguille qui, à l'origine est plutôt tremblotante, et en permet une lecture plus aisée. L'appareil gagne en facilité d'usage. Ceci permet une surveillance de tous les instants du cap que suit le navire. Désormais, la référence constante devient l'orientation géographique et non plus la direction du vent. De l'ancien système, continue à subsister la dénomination de certains des points de la rose mêlant orientations géographiques et noms de vents. Par tâtonnements on est sans doute arrivé à des aimants d'acier dur qui conservent leur aimantation plus longtemps, de toute façon, même en acier plus doux, la position de l'aiguille constamment dans le sens du champ magnétique terrestre entretient son aimantation.

Pour résumer ce que nous pouvons affirmer dans ce domaine, disons que l'usage de l'aiguille ou du poisson aimanté utilisables à la demande et en cas de nécessité peut être retracé jusqu'en l'an 1100, mais que le compas qui en est l'application d'utilisation constante est

arrivé plus tard, vers l'an 1300, rien d'étonnant alors que l'estime apparaisse dès 1269. Une date qui, nous le verrons, est au centre d'un faisceau d'évidences.

B- L'estimation de la distance.

L'autre question qui reste posée est de savoir comment les navigateurs du Moyen Age peuvent obtenir ce *compasso*, livre des caps et des distances de port à port. Il leur a fallu pour cela arpenter en fait la Méditerranée, car on passe, désormais, d'une mesure des distances en temps de navigation à des distances en milles. C'est évident sur le portulan et dans le *compasso* ; tous les portulans sont munis d'une échelle en milles ou multiples de milles. Il s'agit d'une unité dont la base est la mesure de la distance couverte en mille doubles pas : une mesure éminemment terrestre.

Rappelons-nous les anciens périple, les plus anciens comportent des indications de distances entre ports. Arrien et son périple de la Mer Noire²⁹³ donne un arpentage détaillé de la côte :

«... les fleuves devant lesquels nous avons passé dans notre navigation depuis Trébizonde, sont : l'Hyssus qui a donné son nom au port d'Hyssus, à 180 stades de Trébizonde; l'Ophis , qui est éloigné du port d'Hyssus de 90 stades environ, et qui sépare la Colchide de la Thiannique ; puis le fleuve nommé Psychros, distant de l'Ophis d'environ 30 stades ; puis le fleuve Calos, qui est, lui aussi, à 30 stades du Psychros . Le fleuve suivant est le Rhizius, à 120 stades du Calos. A 30 stades du Rhizius se trouve un autre fleuve, l'Ascurus, à 60 stades de l'Ascurus , l'Adienus. De là, jusqu'à Athènes il y a 180 stades » et il continue ainsi à l'avenant. Rappelons que le stade vaut 184 mètres ; les distances sont données à 5 stades près, puisque il arrondit ses distances aux dizaines rondes, soit avec une précision de 1 kilomètre, sur le trajet de Trébizonde à Athènes. Même Néarque, au temps d'Alexandre le Grand, dont Arrien retrace le périple, d'après le texte original, vieux donc de près de 400 ans à l'époque d'Arrien décomptait soigneusement les distances parcourues, Arrien nous dit : *«... sur cette partie du voyage, Néarque déclare qu'il ne peut plus donner de détails aussi exacts, sauf, bien sûr ses mouillages et sur les distances parcourues. »*

²⁹³ Henry Chotard : *Le périple de la mer noire* traduction, Etude historique index et carte ; Paris 1860

Nous avons déjà abordé cette question lorsque nous avons examiné le problème des distances dans la navigation côtière établies par Edrisi et nous avons à ce moment-là envisagé l'hypothèse de l'arpentage des mers par un décompte des coups d'avirons des galères, mais c'est donc un fait bien établi que les anciens savaient mesurer les distances en vue des côtes. Le problème qui nous occupe, désormais, est celui de la mesure de la vitesse au large sans repères. L'instrument qui mesure la vitesse du voilier en mer est le loch dont la première mention connue date de 1577²⁹⁴. Le loch à houache se compose d'un flotteur, (une bûche, soit log en anglais) ou bateau de loch, amarré à un filin et muni de nœuds distants entre eux de 15,65 mètres. On jette par-dessus bord le bateau de loch qui reste sur place, à la surface de la mer, tandis que le navire continue d'aller de l'avant. Le filin se déroule et, au fur et à mesure qu'il s'éloigne, on compte le nombre de nœuds qui filent entre les doigts de l'opérateur pendant un intervalle d'une demi minute (très exactement 28 secondes) mesuré par un sablier; ce nombre de nœuds mesurés pendant l'espace d'une demi minute équivaut à la vitesse en milles(marins) par heure. Evidemment, un savant a calculé l'espacement des nœuds en fonction des 28 secondes pour que 15,65 mètres par 28 secondes corresponde à une distance de 1852 mètres par heure. Cette longueur de 1852 mètres²⁹⁵ est, par définition, celle du mille marin qui se définit également comme la longueur de l'arc qui sous-tend à la surface de la terre un angle au centre de la terre d'une minute de degré.

Notre hypothèse est que cette méthode a été mise scientifiquement au point pour mettre en application le mille marin, précisément au moment où cette nouvelle unité de mesure venait d'être officialisée, lorsque les marins se sont résolus à adopter pleinement le système de Mercator où elle prend toute sa valeur. Dans la carte de Mercator c'est l'échelle des latitudes qui devient l'échelle de la carte, il est donc normal de choisir pour unité de mesure la minute de latitude dont la définition vient d'être donnée ci-dessus. C'est à ce titre que la minute d'arc a fait date et a été mentionnée. Mais la technique de la houache, en elle-même, doit être, sans aucun doute, bien plus ancienne.

²⁹⁴ Michel Vergé- Franceschi. *Dictionnaire d'histoire maritime* Edit. Robert Lafont, Paris 2002. Rubrique *Loch* p. 869

²⁹⁵ Les choses sont moins simples il y eut un mille a 1852 mètres et un mille a 1855 mètres, selon que l'on mesure l'arc de grand cercle d'une minute de degré à Greenwich ou au 45eme parallèle, en raison du léger aplatissement de la terre.

J-T Reinaud²⁹⁶ nous explique comment les Chinois procédaient. Ils jetaient un débris quelconque à la proue et l'observateur courait sur le pont, pour pouvoir rester se maintenir à sa hauteur pendant le temps que ce débris défilait le long du bord. Par bon vent, l'homme devait courir et suivant son allure et les sensations qu'il ressentait, il pouvait déterminer plus ou moins grossièrement à quel niveau de vitesse le navire se situait. Cependant on doit noter qu'il y a un moyen plus simple que la course à pied, inapplicable d'ailleurs sur une nef médiévale²⁹⁷ pour mesurer la vitesse. Cependant l'exemple précédant a l'avantage de mettre en évidence que le pas de l'homme est une unité de distance mais qu'il est aussi une cadence, c'est-à-dire une unité de temps. En effet, l'expérience montre que la vitesse de marche est une constante pour un homme normalement constitué. On peut dire qu'il effectue un double pas par seconde²⁹⁸ en marche rapide. Si on compte à haute voix le nombre de doubles pas, à l'allure de la marche rapide, on peut ainsi passer d'un décompte de temps à un décompte de distance. Ceci nous donne une idée des méthodes probablement employées pendant le Moyen Age. Il n'est probablement pas question d'utiliser un sablier d'une demi-minute, comme ce

²⁹⁶ Joseph-Toussaint Reinaud, *La géographie d'Aboulfeda*. Traduction du manuscrit *Taqwimp al-Bouldan* de Abu l-Fida, 1331, édition originale par l'Imprimerie nationale, Paris, 1848, réédité à Franckfurt am Main, 1985. Dans le tome I qui sert d'introduction au deuxième tome qui est une traduction du texte arabe de la géographie, il fait le point des connaissances de son époque, soit au milieu du XIX^e siècle que l'on avait sur la science des géographes orientaux, arabes surtout, mais aussi éventuellement chinois et il y examine également leurs techniques de navigation.

²⁹⁷ Les jonques de mer chinoises étaient des bateaux énormes comparés aux nefs occidentales et permettaient cet exercice. Elles étaient, en effet, bâties comme des barges avec un pont de grandes dimensions et bien dégagé.

²⁹⁸ Cette hypothèse se base sur une méthode toujours en vigueur dont on est bien en peine de retrouver l'origine. On apprend toujours à compter en cadence sur les passerelles, pour déterminer le temps, cela sert toutes les nuits à compter la cadence des phares en vue de terre, et aussi tous les jours à mesurer le temps entre une observation sur l'aileron de passerelle et la lecture du chronomètre quelques temps après dans la chambre des cartes pour établir le moment précis de l'observation..

A ce propos, il y a deux façons de compter : a,1-a,2,a-3,-a,4, etc. on dit que l'on bat la demi seconde car un émet un son toutes les demi secondes et a,b,c,d,2-a,b,c,d,4-a,b,c,d,6 etc. où l'on dit que l'on bat les 4 dixièmes de seconde car on émet un son à l'intervalle de 0,4 secondes. On peut avoir à bord deux types de conservateur de temps soit le chronomètre qui bat à 0'',4 soit la montre, dite de torpilleur, sur les bateaux plus petits qui bat à 0'',5. Si on a un chronomètre, on scandra en battant la demi seconde ; devant le chrono, on continuera à scander jusqu'à ce que l'on énonce un chiffre rond de dizaine de secondes justement quand la trotteuse du chrono passe sur un chiffre de dizaine, la concordance des deux procure un effet de vernier, et on peut avoir le temps d'observation avec une précision du dixième de seconde. Inutile de dire qu'il faut avoir une certaine habitude, mais le fait est que l'on se passe de l'usage d'un chronomètre auxiliaire qui exigerait la présence d'un aide.

Cette précision n'est pas superflue, une seconde de temps équivaut à un mille sur l'eau et en principe, on devrait chercher une précision du dixième de mille (théoriquement... car un mille de précision satisfait pleinement un observateur moyen). Ceci n'est pas seulement anecdotique, il faut ici insister sur la précision de la méthode, accessible à des navigateurs sans moyens sophistiqués.

sera le cas plus tard. A ce stade, l'invention des premières horloges date de la fin du XIII^e siècle et de plus, un tel instrument régulé par un pendule est totalement inutilisable sur un navire qui bouge.

C'est peut être, donc, une des explications de la méthode utilisée. Un débris ou une trace d'écume décrit le long du bord un parcours que l'on peut repérer et on mesure le temps d'une comptine qui sert à mesurer le temps qui passe la distance parcourue. En tout état de cause, il y a, c'est certain, une méthode, les résultats obtenus le prouvent. Simplement, nous en ignorons les détails, par manque de traces. Le fait que le loch ne soit pas cité avant 1577 n'implique pas qu'il n'existait pas. Nous avons bien vu et insisté sur le fait que les écrits techniques sont rarissimes. Une pratique constante et régulière est fort possible sans qu'elle soit documentée. En effet prenons un problème similaire, celui de la sonde ; à notre connaissance, les textes n'évoquent cette pratique, que très peu ou même pas du tout. Pourtant, avec le développement de l'archéologie sous-marine un chapitre nouveau s'est ouvert dans la recherche. On trouve quasiment sur toutes les épaves antiques des plombs de sonde très élaborés, (en plomb précisément qui a l'avantage de perdurer dans l'eau de mer). Ils comportent un évidement à leur base qui permettait de placer un peu de cire ou de poix pour remonter des échantillons de sol qui permettaient de mouiller les ancres adéquates. Or, mesurer la vitesse avec une ligne de loch est un procédé qui est comparable à l'action de sonder. On peut dire que la ligne de sonde peut indifféremment servir au deux usages. Evidemment, l'idée d'étalonner la ligne de sonde a du germer dans un quelconque cerveau bien avant 1577, et elle a été mesurée en brasses, ce qui est la mesure de profondeur. En fait la brasse génoise mesure la même distance que le pas génois : environ 1,50 mètre. C'est une question de morphologie humaine ; un double pas équivaut à une envergure humaine. Christophe Colomb utilise indifféremment le mot « pas » ou « brasse » pour exprimer des profondeurs, en revanche il réserve le « pas » pour des distances, pas forcément terrestres, par exemple la largeur d'une passe. Il faut dans cet ordre d'idée remarquer que la sonde dont le but principal est la mesure de la profondeur donne accessoirement une idée de la vitesse de déplacement du navire. En effet les anciens appellent quelquefois la sonde « loch de fond²⁹⁹ » en raison de son fonctionnement particulier. Dès lors, pour mesurer la vitesse, la procédure est simple : il faut comparer le nombre de brasses, filées en un temps déterminé, à la distance

²⁹⁹ Bonnefous et Paris *Dictionnaire de la marine à voile*. Paris 1855 rubrique *Loch, Lok* , p. 472

parcourue, pendant le même temps, par un homme marchant au pas. La mesure du temps écoulée ne nécessite même pas un sablier, compter en cadence suffit.

Une chose semble certaine, Christophe Colomb, bien qu'antérieur à 1577, utilise certainement une méthode pour calculer précisément sa vitesse. Nous notons sur son journal à la date du Mercredi 19 septembre 1492³⁰⁰ : « *Ici les pilotes (des trois navires) montrèrent leur point. Celui de la Nina se trouvait à 440 lieues des Canaries, celui de la Pinta à 420, et celui du bateau qui portait l'amiral (la Santa Maria) à 400 juste.* » Ceci nous donne pour une moyenne de 430 lieues parcourues, un écart maximum de 30 lieues soit une erreur maximale de 6,9 %, et une erreur moyenne de 4,6 %. C'est trop resserré pour que ces chiffres calculés par des hommes, indépendamment les uns des autres, et sans contact direct, soient le fruit d'une estimation qui ne soit pas raisonnée selon une méthode commune, et sans doute le résultat d'une mesure³⁰¹. A partir de la vitesse il suffit de prendre en compte le temps passé et dans ce domaine Christophe Colomb mesure ce temps sur ses navires. Il a à sa disposition l'ampoulette qu'il, cite à plusieurs occasions. C'est un sablier qui s'écoule en 30 minutes. Il y a sur chaque navire 2 pilotes ou plus vraisemblablement un pilote et son aide (il les cite nommément dans son texte, surtout le pilote principal qui, vraisemblablement tient l'estime en tant qu'officier de navigation). Ils se relaient pour faire le quart. On peut déduire tous ces détails de l'examen minutieux de son journal. Ce sont ces pilotes qui renversent l'ampoulette à raison de huit fois par quart, ils notent également le cap suivi et la vitesse à laquelle court le navire. D'après ses récapitulations biquotidiennes qu'il égrène jour après jour, à raison d'une première au point du jour et d'une seconde à l'entrée de la nuit, il semble bien se confirmer qu'il détermine, d'abord la vitesse du navire, et en multipliant par le temps, il établit ainsi la distance parcourue. Pour citer un exemple, parmi tant d'autres, le 9 septembre³⁰² il note : « *...dans la nuit il courut 120 milles à dix milles par heure qui font 30 lieues...* ». Ce qui fait

³⁰⁰ Cristobal Colon *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Varela*. Edit. Alianza Universidad. Madrid 1492. P. 22

³⁰¹ On remarquera que pour la Santa Maria, c'est le calcul du pilote et non pas de l'amiral, on le prendra donc en considération ; Les calculs de l'amiral quant à eux sont systématiquement biaisés pour une raison avouée : ne pas effrayer l'équipage et une autre non avouée. En effet nous le soupçonnons de tenter de rendre le rapport inexploitable pour un concurrent potentiel aux mains duquel il pourrait tomber. Le rapport est aux Rois, ceux-ci sont donc libre d'en faire ce qu'il leur plaira y compris de le soumettre aux mains d'experts. Ce qu'ils feront d'ailleurs. On conçoit que Christophe Colomb qui veut se réserver le secret de sa route a du être très gêné dans cet exercice.

³⁰² Cristobal Colon. *Textos y documentos...Op. cit.* p. 20

bien une lieue à 4 milles et une vitesse de 15 kilomètres par heure soit à peu de chose près, 8 nœuds³⁰³. Le texte du journal de bord du premier voyage laisse deviner qu'il en est ainsi à bord de chacun des navires de l'expédition. En effet nous lisons à la date du 7 octobre³⁰⁴ : « *Il navigua cap à l'ouest, à 12 milles par heure pendant deux heures, et ensuite à 8 milles par heure...* » De même le 10 octobre³⁰⁵, il note : « *Il navigua à l'Ouest-Sud-Ouest ; ils allaient à 10 milles par heure et par moments à 12 et à un certain moment à 7. Ce qui fit, entre le jour et la nuit, 59 lieues* ». Ceci semble bien nous prouver qu'il fait des mesures de vitesse régulières, et on peut même s'avancer, après avoir scruté, tout le long de son journal, le détail des décomptes biquotidiens des distances parcourues, jusqu'à dire qu'il fait une mesure toutes les deux heures, soit deux par quart.

2-2.3 Mise en mémoire des données.

Ces paramètres, le marin les note soigneusement pour établir son modèle particulier, celui de la marche de son navire. Mais ils servent également de base aux données qui sont emmagasinées dans les documents nautiques dont il dispose. Ceux-ci ne sont pas des textes normatifs mais le fruit d'une collecte patiente des chiffres résultant de l'expérience de nombreux marins. Ils sont donc élaborés à partir d'un dépouillement statistique. Ce sont donc des valeurs moyennes auxquelles chacun peut comparer sa situation particulière. Edrisi nous a montré la voie.

A- Du périple au *compasso da navegare*.

³⁰³ Ce même jour il note pour la journée : « *...il courut ce jour-là 15 lieues et s'accorda pour ne en compter moins que ce qu'il avait fait, afin que, si le voyage venait à être long, l'équipage ne puisse prendre peur et se décourager...* ». A partir de ce jour là il annonce officiellement moins de milles qu'il n'en fait, tout en en le notant le nombre exact. A cette double comptabilité on peut se demander s'il n'en tenait une troisième à l'intention des futurs lecteurs trop intéressés dans les secrets de sa route.

Car le 1^{er} octobre il note « *Le pilote de l'amiral calculait au lever qu'ils avaient couru 578 lieues depuis l'île de Gomera (d'où ils étaient partis le 6 septembre). Le décompte minoré que l'amiral communiquait à l'équipage était de 584, mais le vrai décompte, estimée par l'amiral et qu'il gardait pour lui, était de 707.* »

³⁰⁴ Cristobal Colon. *Textos y documentos...Op. cit.* p. 27

³⁰⁵ *Ibid.* p. 28

Au commencement, c'est le pilote qui connaît la route. Cependant, il y a déjà toute une littérature qui permet au pilote de se rappeler les détails de la route ou bien peut-être encore au capitaine de se faire une opinion du travail du ou des pilotes et de les superviser. Ces livres sont connus sous le nom de périples. Nous savons, maintenant, qu'ils consistent surtout en une description des côtes, car le marin, en navigation côtière, procède par cheminement allant d'amer en amer. Ce sont des aides, non seulement pour la navigation côtière, mais encore dans la navigation hauturière pour aider à la reconnaissance des côtes lors de l'atterrissage. Les réglages de voile, qui donnent la direction à prendre, sont le fait du pilote qui connaît, non seulement l'allure à prendre pour un vent donnée, mais aussi le détail des vents habituels ou occasionnels dans les régions traversées à un moment donné. Cette connaissance est, sans doute, trop complexe pour être formalisée simplement.

Il en est tout autrement avec l'orientation cardinale. On est, désormais, en présence de références simples par rapport à un point de repère bien défini en tout lieu et en tout temps, le Nord. C'est pourquoi ces indications peuvent être désormais notées et chiffrées pour transmission entre navigateurs. **Le *Compasso da navigare*** est le titre d'un livre fameux qui est actuellement conservé à Berlin et qui aurait été écrit, en italien vernaculaire, vers 1250, d'après des conclusions basées sur l'examen de la philologie. Le terme *Compasso* vient de *compassare* attesté dès 1280. Il est expliqué dans le dictionnaire étymologique de Giamboni en 1292 comme venant du latin *compassare* : *misurare a passi*, mesurer avec des pas. Ce *compasso* fait partie d'un genre littéraire spécial comprenant des ouvrages utilitaires spécialisés à l'usage des navigateurs, les *portolani*. Ce *compasso da navigare* est donc le titre particulier d'un *portolano*, comme disent les italiens dans leur langue pour désigner ce genre d'ouvrage. C'est, avant, tout un catalogue des distances. On est donc obligé de parler d'unités de mesure. Il y en a deux, tout d'abord, le mille qui est l'espace de mille pas : qu'il faut comprendre comme double pas, soit à peu près 1m50, aussi le mille a-t-il beaucoup de valeurs selon la coutume du lieu, mais la valeur médiane tourne autour de 1500 de nos mètres, c'est-à-dire une valeur proche de celle du mille romain de 1480 mètres. C'est l'unité de la Méditerranée. La deuxième unité a pour lointaine origine une unité de temps, la *lieue*. C'était, au départ, la distance parcourue pendant une heure de marche, elle dépend donc de l'allure et du véhicule ; la lieue de mer sera donc plus importante que la lieue de terre. C'est

l'unité de l'Atlantique. Une certaine standardisation s'est opérée avec la nouvelle façon de naviguer. Il semble bien que l'estime qui utilise le vecteur direction- distance ait favorisé le décompte les traversées en distances parcourues et non plus en jours de navigation. La lieue de mer s'est donc standardisée selon l'unité la plus utilisée : la distance et stabilisée à 4000 pas, alors que la lieue de terre reste fixée à 3000 pas.

L'usage du compas habitue donc les marins à se repérer par rapport aux points cardinaux et non plus au vent dominant. On préfère, désormais, parler des caps plutôt que des allures, l'information est plus simple et moins ambiguë. Le vecteur direction-distance prend donc en compte cet élément nouveau : le cap à suivre et c'est ce qui distingue le *compasso* de son prédécesseur le périple. Nous avons dans la première partie rencontré plusieurs périples, ceux d'Arrien, celui de la mer Erythrée et enfin le livre d'Edrisi qui rassemble dans le même ouvrage un itinéraire terrestre et un périple. Il s'agit surtout de description de côtes et de distances entre points remarquables de cette côte, même si le périple de la mer Erythrée introduit la notion de traversée au long cours. On retrouve aussi dans une moindre mesure, dans l'ouvrage d'Edrisi la notion de traversée quand le navire coupe de cap en cap, poussé par le vent dominant, parfois sur de grandes distances (le golfe des Syrtes). Mais la différence entre périple et *compasso*, c'est que dans le premier il n'y a aucune indication sur la direction à prendre pour effectuer ces traversées ; ces connaissances sont supposées être du seul domaine des pilotes qui évitent, semble-t-il, de dévoiler leurs petits secrets dont ils tirent leur subsistance. Nous avons vu qu'Edrisi définit le mot « en face » par l'allure (la meilleure : le largue) à prendre par vent dominant. Par exemple Bougie est en face de Barcelone. De même en ce qui concerne les traversées Nord-Sud en Méditerranée, tout du moins pour les traversées utilisées par ses informateurs, celles entre al-Andalus et le Maghreb, il ne cite les ports que par paire, le port de départ et celui qui est « *en face* » c'est-à-dire exactement sous le vent. C'est bien compréhensible, le secret de la route étant le réglage des voiles. En tout état de cause celui-ci ne peut être formalisé que de façon très vague (grand largue ou petit largue), dès que l'on s'écarte du vent arrière qui est la seule référence précise. On ne sait toujours pas quantifier exactement un réglage, toujours un peu différent d'un grément à l'autre, sinon de façon très vague, par exemple un largue serré ou arrivé, (oui, mais jusqu'à quel point ?) .

Donc, le compas introduit une nouvelle façon de noter les routes en fonction de l'orientation. Il est plus facile de caractériser précisément une route par son cap que par un réglage imprécis par rapport à un vent qui ne l'est pas moins. On va donc dans le sens d'une certaine standardisation. La connaissance des routes échappe au monopole des pilotes et les routes apparaissent dans les documents nautiques publics, surtout en ce qui concerne les routes du large pour rejoindre les îles lointaines, la Corse, la Sardaigne et les Baléares à partir de la côte italienne. Routes qui avec la montée en puissance des jeunes républiques maritimes, Gênes et Pise et de l'accélération du commerce en Méditerranée Occidentale deviennent bien plus fréquentées. Alors que les anciens périple ne traitaient que les parcours côtiers, l'apparition des routes du large caractérisées par leur cap et les distances à parcourir font que ces périple changent de nature et deviennent alors des routiers. Le périple devient un *portolano*. C'est aussi un catalogue de directions, en même temps qu'un catalogue des distances. C'est un livre qui peut être transcrit sous forme graphique, une carte le *portulan*. Il faut signaler qu'il y a là une erreur de traduction ou plutôt une nuance de sens, en italien le *portolano* est un livre, le routier. Le français ne retient pour *portulan* que le sens très spécialisé de carte qui est effectivement la transcription graphique du *portolano*, l'ouvrage contenant les routes. Nous utilisons donc le terme de *compasso* pour désigner un *portolano*, afin de ne pas tomber dans le piège du faux-sens³⁰⁶ et éviter toute confusion avec le portulan dont nous conserverons le sens cartographique, généralement utilisé en français. Mais c'est une impropriété, car le *Compasso* est le titre particulier d'un *portolano* parmi d'autres, c'est celui que l'on peut voir à Berlin. Ce *compasso* est daté de 1250, alors que le premier *portulan* dit « *la carte pisane* » est daté de 1277 par les spécialistes, il y a donc presque simultanéité. La « *pisane* » ne peut être postérieure à 1290 puisqu'elle indique Acre, ni antérieure à 1275 ; elle paraît de peu postérieure au « *compasso da navigare* » datable entre 1248 et 1256, car il cite Aigues Mortes, mais ne cite pas Manfredonia, vers 1270.

Pour en revenir au XIII^e siècle et aux origines du portulan, on ne peut établir par des preuves sourcées que c'est l'idée du cadastre ou une analogie des cartes du ciel qui fut transposée au domaine maritime. De même, il est difficile d'établir précisément si c'est une invention arabe ou occidentale. Cependant s'il est bien vrai que le cadastre tel que l'utilisait Héron d'Alexandrie ait été connu des arabes, il semble bien que ce soit une réalisation occidentale.

³⁰⁶ Nous n'utilisons pas le mot routier car en français maritime moderne le routier est la carte à grande échelle qui sert à tracer la route du port de départ au port d'arrivée : exemple, le routier de l'Atlantique Nord.

Aucune mention dans la littérature arabe sur ces portulans. Les Arabes ont des cartes, dont nous parlerons plus tard, mais aucune de ce type. Il y a des portulans rédigés en lettres arabes, mais ils sont turcs et bien plus tardifs ; ils sont l'œuvre de Pireis qui a compilé toutes les méthodes de navigation aussi bien arabes qu'occidentales. Ces portulans turcs ne sont donc que des copies traduites de portulans occidentaux. Nous savons que les Arabes de la Méditerranée connaissaient la méthode de navigation de l'estime et donc les portulans mais c'était plutôt un fonds commun de tous les marins méditerranéens. En effet au XV^e siècle, Ibn Majid décrit la façon de naviguer des Egyptiens et leur pratique de l'estime. Il prouve dans ce texte qu'il comprend parfaitement la méthode et ne conteste pas le fait qu'il l'utilise lui-même. Il se moque un peu du fait que mes méditerranéens n'utilisent que cette méthode. Quant à lui, il ne l'utilise pas pour la navigation hauturière, il préfère la méthode astronomique.

B- Le portulan, transcription graphique du compasso.

Le *compasso* étant un catalogue des directions et des distances, rien n'est alors plus simple que de les retranscrire sous forme graphique, c'est donc là l'origine du portulan. La construction du portulan obéit à des règles très strictes, elles apparaissent par l'observation attentive des portulans que nous pouvons encore étudier qui sont relativement nombreux. De plus, Vesconte, un célèbre facteur génois de portulans du tout début du XIV^e siècle, puisque le plus ancien de ses portulans date de 1313, nous a laissé un dessin où il figure la naissance de la construction de la structure du portulan³⁰⁷. Il faut, dans un premier temps, établir le dessin des côtes. Il s'agit de reporter sur la peau qui sera le support du portulan toutes les indications du *compasso*. Ce *compasso* est donc le livre des routes, il donne pour un port de départ de référence toutes les directions à prendre et le nombre de milles nécessaires pour rejoindre les ports avec lesquels ce port de référence entretient des relations suivies. Les marins du XIII^e siècle n'utilisent ni la latitude ni la longitude. La carte que l'on pourrait dresser à partir d'un *compasso* serait donc une carte en coordonnées polaires construite à partir de vecteurs cap-distance portées à partir d'un port donné. Il faut bien noter que lorsqu'on parle de

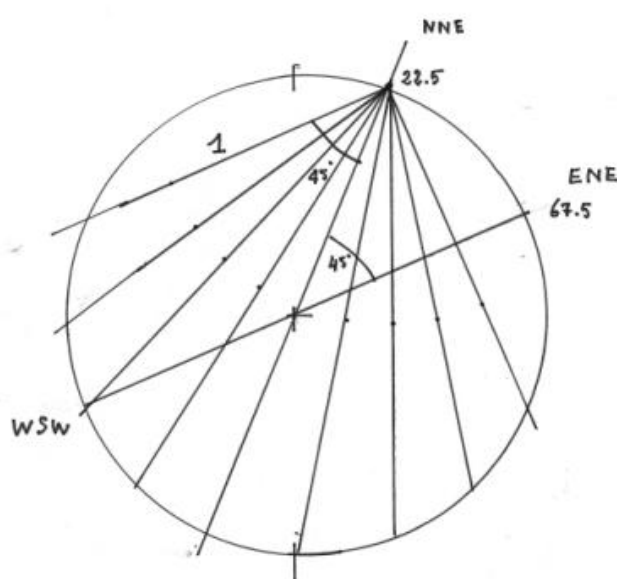
³⁰⁷ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines... Op.cit.* Reproduction d'un manuscrit de la Bibliothèque de Lyon, ms 175, feuille 2, p. 12

coordonnées polaires, on ne fait aucune référence au pôle géographique mais à ce port de départ du *compasso* qui est pris comme pôle origine des coordonnées. En partant d'un point, représentation d'un port donné, on reportera donc sur le plan le cap suivi qui matérialisera la route et sur cette route on reportera la distance parcourue ; on obtiendra donc sur le plan le point d'arrivée. En raison de cette forme de construction le portulan devra, donc, porter deux indications essentielles : **une rose des vents et une échelle des distances**. Nous examinerons plus en détail la construction de ces deux accessoires indispensables dans un des paragraphes suivants.

Nous en sommes, maintenant, à reporter les indications lues dans le *compasso*. On obtient ainsi, un canevas de ports et de points remarquables que l'on reliera de proche en proche par un dessin à l'échelle du contour des côtes. On est surpris de la précision du résultat obtenu ; le contour des côtes des plans du XIII^e siècle est étonnamment moderne, comparé à nos cartes actuelles. On notera que, à l'instar du *compasso* qui a servi de modèle, ce levé est spécifique d'un port d'attache qui sert de base au dessin. Un second point important à noter est la place sur le *portulan* du point origine, du pôle du graphe. On s'attendrait à ce qu'il soit placé au centre du dessin. Ce n'est pas obligatoirement le cas. Car, ce qui intéresse le navigateur pour son travail c'est la représentation de la mer et non pas de la terre, sauf en ce qui concerne la côte qui est l'interface entre la terre et la mer. Le pôle du graphe peut être alors déplacé sur les bords du dessin afin que ce soit la mer qui soit mise en évidence au centre. Par exemple, si on bâtit un portulan à partir de Gênes, bien que ce port soit point de départ et le pôle du graphique, il sera placé en haut et à droite du dessin de telle sorte que toute le bassin de la Méditerranée occidentale soit figuré au centre de la peau. Nous avons noté plus haut que deux accessoires sont indispensables : une échelle des distances et une rose des vents. L'échelle qui est la même pour tout le dessin ne pose aucun problème, elle peut être figurée en n'importe quel endroit de la carte, pourvu qu'elle soit accessible sans difficulté à l'instrument qui permettra de mesurer les distances entre 2 points sur cette carte, le compas à pointes sèches.

Quant à la rose des vents, il y en aura plusieurs pour que soient facilement accessibles toutes les mesures de cap entre les points portés sur la carte. Le facteur du portulan a pris même le soin de les tracer avant toute chose. Il a tracé sur la peau encore vierge un cadre préétabli,

c'est le *marteloire*. Vesconte nous explique sur un dessin spécial³⁰⁸ le mode de construction de ce cadre. Sur la peau qui servira à dessiner l'ensemble de la carte, on trace un cercle centré sur le milieu de la peau. Du centre de ce cercle, on trace les 32 lignes qui figurent les rhumbs de vent en ayant soin de mettre le Nord à la verticale et la ligne Est-Ouest en horizontale. Chaque ligne intercepte le cercle circonscrit en un point qui est donc un point dénommé de la rose, soit dans l'ordre des aiguilles d'une montre Nord, puis Nord-quart- Est, ensuite Nord-Nord-Est, et ainsi de suite en passant par l'Est, à l'horizontale, à droite, puis le Sud, à la verticale, en bas, puis encore l'Ouest, à l'horizontale, à gauche et, enfin, Nord- Nord-Ouest et finalement, Nord-quart-Ouest, pour retomber sur le Nord. Ces points disposés de quart en quart sont donc disposés le long de ce cercle circonscrit, à des intervalles réguliers de $11^{\circ},25$ d'arc. De chacun de ces points part donc une oblique qui passe par le centre du cercle. On dessine alors, à partir de chacun de ces points et de part et d'autre de ce diamètre oblique un faisceau d'obliques comme suit. Tout d'abord, on trace 2 obliques de part et d'autre de ce diamètre faisant un angle de $11^{\circ},25$, puis 2 autres faisant un angle de $22^{\circ},50$ de part et d'autre du même diamètre, et ainsi de suite, jusqu'à obtenir, en tout, 4 obliques de chaque côté de ce diamètre, le tout constitue donc un faisceau de 8 obliques centrées sur un 1 diamètre. On répète l'opération tout le long des 32 points constituant les rhumbs et on obtient un réseau de $8 \times 32 = 256$ obliques et 32 diamètres qui occupent toute la surface du parchemin. C'est ce réseau très serré de droites entrecroisées que l'on appelle le *marteloire*.



..

³⁰⁸ Voir note 30, ci-dessus

Fig 1

On voit que la ligne 1 du marteloire est parallèle à la droite passant par le centre de la rose et d'orientation ENE-WSW. Toute ligne du marteloire est parallèle à une direction de la rose.

On voit que par construction chacune de ces obliques est forcément parallèle à un des diamètres et que chaque diamètre désigne une direction caractérisée deux points opposés de la rose. C'est sur ce bâti préétabli que le cartographe va superposer la carte qu'il va maintenant dessiner, selon la méthode que nous venons d'exposer, en reportant à partir d'un port connu toutes les routes en cap et distance pour arriver aux autres ports. On comprend tout de suite que la précision dans la mesure des angles est à un demi rhumb près, c'est à dire un peu plus de 5°,5 ce qui est énorme, en particulier, pour ce qui est de la construction des vecteurs cap-distance. Il y aurait bien un autre mode de construction qui s'affranchirait de l'erreur due à cette incertitude sur le cap qui est, nous le verrons plus tard, bien plus grande que l'erreur sur la distance ; elle consisterait à porter à partir de deux points déjà placés sur le portulan les distances de ces deux ports à un troisième. On obtiendrait deux cercles de distance dont l'intersection déterminerait la position du troisième port, dite méthode des arcs capables. Mais on ignore, en l'absence de preuves, si cette méthode a été utilisée, au moins pour vérification.

En observant les portulans que nous avons à notre disposition, on est surpris par l'accumulation de données qu'ils supposent, des centaines de reports de caps-distances, il est vrai que le *compasso* est une source abondante, mais néanmoins le tracé des côtes suppose des centaines de points, très longs à établir. Heureusement que l'on sait qu'une fois un portulan établi et validé par l'épreuve de l'usage, on peut aisément le recopier. Les artisans du Moyen Age connaissent très bien la technique du décalque par le système du carreau. Les petits maîtres du dessin allemand nous en démontrent la preuve par l'image³⁰⁹. Le carroyage

³⁰⁹ On peut admirer à la pinacothèque de Cologne un dessin à la plume représentant un artiste en train de dessiner un paysage. Il regarde son paysage à travers un cadre carroyé muni d'un œilleton, pour éviter tout effet de parallaxe. Ainsi il reproduit fidèlement la réalité. La meilleure preuve est qu'en observant les autres productions

consiste à superposer une grille de fils découpant le dessin original en carreaux, les lignes du dessin original sont repérées par rapport aux carreaux et reportées à l'identique sur un canevas de même dimension disposé sur le parchemin qui recevra la copie.

2-2.4 Validation de la méthode

Tout d'abord il nous faut préciser quelques définitions. Les premiers portulans étaient dessinées sur du parchemin ; on utilisait une peau entière d'un seul mouton pour pouvoir disposer d'une échelle raisonnable. C'est ainsi que sur la carte pisane on distingue très nettement le début du cou et les épaules de l'animal. Le portulan a été remplacé par la carte de Mercator en 1569. Mais le portulan, ou plus exactement des cartes sur papier construites selon le même système de direction et distance ont continué à être imprimées après l'invention de la gravure en Italie, au XVI^e siècle. Car, après l'invention de la carte de Mercator, les deux systèmes ont coexisté, les cartes de Mercator pour le routiers et les cartes de type portulan plutôt pour les cartes côtières. Il en résulte des ambiguïtés de termes. Les italiens appellent *carta piana* des cartes bâties sur ce type ancien, mais certains français appellent carte plate ce qui semble être une carte de Mercator. Or ce qui importe ce n'est ni le support ni la destination mais le système de construction. Nous parlerons désormais de *cartes des rhumbs et des distances*³¹⁰ pour désigner le portulan et ses successeurs construits selon le principe du cap-distance par opposition à la *carte de Mercator*, désignant les cartes construites selon le système des latitudes croissantes.

A-La carte des rhumbs et distances, approche théorique.

de ces petits maîtres allemands des XIII^e et XIV^e siècles, on observe que, grâce à ce procédé, leur perspective est parfaite. Pourtant les lois de la perspective ne seront formalisées que bien plus tard, en Italie, dans le courant du XV^e siècle.

³¹⁰ D'après le Commandant Texeira da Mota un chercheur que nous retrouverons dans la troisième partie.

La construction du portulan semble être le résultat de l'empirisme. Dans l'état actuel de nos connaissances on ne peut dire si l'invention du portulan a été transposée de la pratique cadastrale ou si elle est inspirée d'une carte du ciel et appliquée à la figuration des rivages marins par les facteurs d'instruments qui bien souvent se trouvent être de fait également des cartographes. C'est surtout vrai en ce qui concerne les Majorquins. Or il est bien difficile de décerner une antériorité entre les deux écoles de cartographes. Qui des Majorquins ou des Génois ont été les initiateurs du portulan ? Dans cet ordre d'idées il est donc difficile de distinguer l'influence arabe qui dans le cas des Majorquins devait être très forte. Si, influence il y a, elle ne peut être qu'indirecte, car on n'a retrouvé jusqu'à présent aucune carte de ce type dans la production arabe.

Cependant du point de vue théorique, Monique de la Roncière se pose la question de savoir si la carte des rhumbs et distances est une projection. Une réponse positive a été donnée par Al-Biruni au XI^e siècle. Mais il semble que les conclusions de son étude ont été oubliées au cours des siècles et n'ont jamais été exploitées dans ce domaine particulier.

La projection d'al-Biruni.

En cartographie on appelle projection un système qui permet, à une position sur la sphère terrestre, de faire coïncider une position sur la carte par une liaison simple qui sera soit un processus géométrique soit une équation mathématique simple. En fait, les deux procédés sont deux expressions d'une même réalité puisque cette relation mathématique n'est que la transcription du processus géométrique. Dans le cas de la carte des rhumbs et distances le processus géométrique est analogue à celui l'on utilise dans le cas d'un tracé topographique.

Nous allons procéder en deux étapes : **d'abord étudier le système de projection utilisé dans le levé topographique**, puis transposer au système du portulan qui en découle. Le processus géométrique utilisé dans le levé topographique est le suivant. Soit un point **P** sur la sphère que l'on repère par sa direction et par la distance à laquelle il se trouve du point d'observation **O**. Sur un plan, celui du dessin et à partir du point **O'**, correspondant au point **O** de la sphère, on

porte une droite de même direction que celle lue sur le terrain et on porte une distance proportionnelle à OP , soit $O'P'$. Ce levé suppose donc un système de proportionnalité dans la représentation des distances : l'échelle. Ce système de tracé topographique correspond à une projection, car il y a une relation simple entre P' et P qui fait correspondre à chaque point de la sphère une représentation sur le plan selon le même procédé. Ce type de levé topographique a été décrit et pratiqué par Héron d'Alexandrie. Al-Biruni a écrit, entre autres, un ouvrage consacré à 8 systèmes de projection dont celui-là qui est décrit sous le nom de projection selon **la méthode d'équidistance azimutale**. Il a été repris par Edward S. Kennedy³¹¹ dont nous reprenons ici les termes de la description. Al Biruni s'est en particulier posé la question de savoir ce qu'il advenait du canevas du tracé topographique si on l'étendait à la représentation par ce système de la totalité du globe terrestre. Ce qui préoccupait al-Biruni c'était la liaison possible avec la géographie scientifique et ptoléméenne caractérisée par des coordonnées, (latitude et longitude d'un lieu)

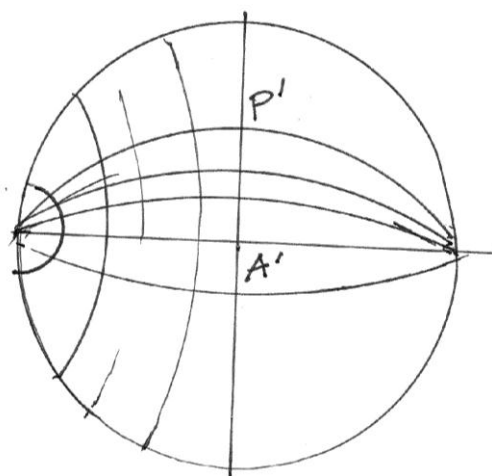


Fig 4

Projection selon la méthode de l'équidistance azimutale.

³¹¹ Dans *Histoire des sciences arabes* tome 1, p 226, édité sous la direction de Roshdi Rashed, Paris, Le seuil, 1997. L'ouvrage d'al-Biruni *Tasith al-suwar wa tabith al-kuwar* a été traduit par Beggren et édité à Leyde, 1982.

On choisit un point donné sur la sphère A et une direction zéro à partir de lui. Alors le point A' , au centre de la carte, est l'image de A , et un axe donné passant par A' détermine les directions. Quel que soit le point P de la sphère, son image P' est l'extrémité du segment de droite $A'P'$ qui a pour longueur, la longueur du grand arc de cercle AP ; l'azimut de $A'P'$, relativement à l'axe donné, doit être égal à l'azimut de AP sur la sphère. (On reconnaît là, la procédure suivie par le topographe selon Héron). Al-Biruni (dans son ouvrage daté de 1005) décrit le processus en termes mécaniques comme si on faisait rouler la sphère au-dessus de la carte, à partir d'une position initiale tangente en A' , en direction de P , jusqu'à ce que P devienne le point de tangence, ce qui détermine P'

Dans la projection globale, on voit que les diamètres terrestres (le méridien et le parallèle issus du point d'observation) sont représentés comme des axes orthogonaux. Les autres méridiens sont des cercles qui se recoupent aux deux extrémités de l'axe Nord-Sud ainsi déterminé. Les parallèles, quant à eux, sont aussi des cercles mais divergents.

Une conciliation approximativement satisfaisante entre la projection théorique et le levé ne peut se faire que dans une zone limitée autour du point A' , où on peut admettre, pour la commodité des calculs et avec une approximation satisfaisante que, tant qu'on ne s'éloigne pas trop de ce point A' , méridiens et parallèles sont des droites se coupant à angle droit.

Le canevas du levé topographique (dans la mesure où on entend par levé, la représentation d'une surface limitée autour du point d'observation) est simple, c'est un réseau de méridiens et de parallèles au sens géographique du terme se coupant à angle droit, puisque la direction repère est le Nord vrai, à partir d'un point origine on tracera une droite repère vers le Nord vrai qui n'est autre que le méridien du point d'observation et une ligne Est-Ouest. Si on considère deux points origine le méridien étant dirigé vers le Nord qui est considéré comme étant à l'infini, les deux méridiens que l'on trace seront parallèles. Dès que l'on étend les limites de ce levé hors de ces limites restreintes, on tombe dans le cas général celui décrit par al-Biruni.

Quoiqu'il en soit, à condition de respecter ces conditions d'approximation, on s'aperçoit que le résultat est globalement satisfaisant, surtout si on reste dans des limites géographiques raisonnables et, dès les premiers *portulans* connus, on reconnaît fort bien le dessin de la

Méditerranée ou celui des atterrages de l'Europe occidentale tels qu'il nous apparaît sur des cartes modernes.

Le portulan et les cartes médiévales.

Le portulan est produit, essentiellement, pour des raisons pratiques ; ce n'est pas toujours le cas des autres cartes médiévales qui sont malgré tout assez répandues et qui sont parvenues jusqu'à nous.

la carte d'Edrissi .

Il faut faire toutefois une exception pour la carte d'Edrissi qui est une production unique et qui ne participe pas du mouvement général des cartes dites OT, (*Orbis Terrae*) qui représente le gros de la production des mappemondes médiévales. En effet, Edrissi participe d'une culture différente et en ce sens il est profondément original dans son époque où, il faut bien le dire, il n'est intégré que par raccroc, par le biais de la protection princière du roi normand de Sicile, Roger dont la posture est, elle-même, assez exceptionnelle dans son époque. Ses connaissances en cartographies sont uniques, elle participent de la culture universelle de l'antiquité grecque. Il construit sa carte selon une projection dite de Marin de Tyr qui est totalement perdue par la masse des cartographes occidentaux, ses contemporains. Nous étudierons plus en profondeur cette projection en examinant dans la troisième partie le détail de la transmission de cette culture universelle par les savants arabes en Espagne et en Sicile durant tout le Moyen Age. Cette carte, approximativement exacte pour les latitudes méditerranéennes, est valable pour une navigation le long des côtes de cette mer, dans ce qui est un cheminement d'amer en amer. Ce sont les distances entre amers qui comptent mais pas le cap.

La mappemonde Orbis Terrae.

C'est une représentation quasiment liturgique du monde. Ici le monde en tant que création divine est représenté, non pas dans un but figuratif, mais dans un but didactique pour expliquer l'organisation de l'univers dans le cadre de la Création. On ne peut traduire la Création, qui est parfaite, par le biais de la main de sa créature qui est, par nature, imparfaite. L'homme ne peut décrire l'œuvre de Dieu, il ne peut que chanter Ses louanges. C'est donc une peinture symbolique : le centre du monde c'est le Golgotha à Jérusalem et prennent place tout autour de ce point central, l'illustration des concepts de la religion tels que le paradis terrestre ou l'enfer.

Le retour tardif de Ptolémée et de sa carte.

Ptolémée en tant qu'astronome est traduit en Latin, dès 1174, par Gérard de Crémone et son système astronomique est relativement bien connu parmi un public restreint de clercs lettrés qui évoluent dans le milieu universitaire européen à partir du XIII^e siècle. Il est également très bien connu des Arabes dans toutes les facettes de son œuvre et avant eux par les Byzantins, héritiers de l'empire romain d'Orient. C'est par ce biais qu'il est redécouvert par un public moins restreint que le microcosme universitaire médiéval, au XV^e siècle dans une traduction de Jacopo d'Angelo Scarpenia en 1406. Cette première édition est accompagnée de cartes dont il est difficile de dire si elles sont celles de Ptolémée ou reconstituées³¹². En tout état de cause, le mode de construction de ses cartes est fort bien décrit dans son œuvre et les reconstructions ne manquent pas durant le XV^e siècle, jusqu'à son impression en 1475. C'est, alors, avec la Bible, un très gros succès d'édition et c'est par ce biais que Ptolémée est une des sources d'inspiration (et d'erreurs) du projet de Christophe Colomb.

Alors que la carte des rhumbs et des distances est un levé basé sur la pratique, les cartes bâties selon les principes de Ptolémée participent d'un système géographique rationnel donc scientifique. Tout point du globe dans le système de Ptolémée est défini par ses coordonnées orthogonales, c'est-à-dire par sa latitude et sa longitude. Les cartes de Ptolémée sont

³¹² Voir le site de la bibliothèque nationale, bnf.fr

construites selon 3 systèmes de projection³¹³. Dans l'agencement de ses cartes, Ptolémée est très conscient de deux réalités à transcrire. D'une part, les distances selon le méridien doivent être mesurées par une même unité, puisque il y a dans tous les cas 90° de l'équateur au pôle, et d'autre part, si on veut utiliser la même unité pour mesurer les distances Est-Ouest on doit obligatoirement prendre en compte le fait que tout petit cercle figurant les points de même latitude φ est égal à la longueur de l'équateur que multiplie $\cos \varphi$. Ces bases rationnelles ayant été posées, il reste deux erreurs de conception dans son système. D'une part, il ne part pas de la longueur de la circonférence d'Eratosthène³¹⁴, presque exacte, mais d'une longueur recalculée mais fautive, égale aux 5/7 de cette longueur. D'autre part, il pose comme hypothèse que l'étendue de l'écoumène en longitude est de 180°³¹⁵, alors qu'il n'y a que 130° de différence de longitude entre les côtes de l'Afrique de l'Ouest, (sa longitude zéro) aux côtes chinoises de l'Eurasie. Il en résulte, en premier lieu une dilatation des longitudes, en particulier dans ses représentations de la Méditerranée et, en second lieu, une sous-évaluation de la distance à courir pour aller directement de l'Europe vers la Chine en faisant route vers l'Ouest.

Ptolémée savait calculer les latitudes et aussi les longitudes selon 2 procédés³¹⁶ qui seront repris par al-Biruni, mais il manquait de données. L'important en ce qui concerne le portulan

³¹³ Germaine Aujac. *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe. Connaissance et représentation du monde habité. Les procédés cartographiques* p 132-160, avec en annexe extraits du livre 1 de la Géographie de Ptolémée : XXI à XXIV *Directives cartographiques* p 361-380. Editions du Comité des travaux historiques et scientifiques. Paris 1993

³¹⁴ Germaine Aujac. *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe. Op. cit. La longueur du degré de méridien*. P.127-132. Eratosthène de Cyrène (276-194 avant notre ère) fut directeur de la bibliothèque d'Alexandrie et calcula la longueur du méridien terrestre en mesurant la distance d'Alexandrie à Assouan et aussi l'angle que faisait le soleil le 21 juin à Alexandrie avec la verticale, 7°,2, alors qu'il était au zénith à Assouan. Il éclairait en effet ce jour là le fond d'un puits dans cette ville située sous le tropique. Il trouva une longueur de la circonférence comprise entre 39.375 et 40.349 km selon la longueur que l'on estime pour la mesure du stade, mesure particulièrement proche, en tout état de cause, de la longueur réelle de 40.075. Ptolémée (90-168 de notre ère) reprit les calculs et se trompa car il prend 33.345 kilomètres donc sensiblement minorée.

³¹⁵ Germaine Aujac. *Claude Ptolémée, astronome, astrologue, géographe. Op. cit. Le détail du calcul 174° 1/4 du à Ptolémée lui-même* est donné dans un extrait du livre 1, XII à XIV de la *Géographie de Ptolémée. Longueur du monde habité* p.336-343

³¹⁶ Ptolémée savait résoudre le parallélogramme sphérique, dit de Ptolémée, c'est à dire celui constitué par les 2 parallèles des points A et B, et des 2 méridiens des deux mêmes points A et B. Il suffisait pour cela d'avoir la distance AB mesurée sur la sphère. Il pouvait donc calculer de proche en proche les différences de longitudes entre deux points voisins dans la mesure où ceux-ci restaient joignables. Pour avoir une géographie correcte il

c'est que les deux conceptions sont totalement étrangères et incompatibles. En particulier les cartes de Ptolémée avec leurs méridiens et parallèles en arc de cercle ne conservent pas les angles et on ne peut y tracer un cap, elle est inutilisable pour la navigation ; inversement, le portulan ne fait en aucune manière référence aux notions de longitude ou de latitude, mais fruit de l'empirisme, il a été dessiné pour les besoins du navigateur. Il conviendra de se souvenir de cette incompatibilité lorsque nous verrons les navigateurs introduire les méridiennes de polaire dans la seconde moitié du XV^e siècle. Néanmoins, des confusions peuvent se produire par le fait que, dans le portulan, on peut observer des lignes verticales et horizontales. Il ne s'agit, en aucun cas, de méridiens ou de parallèles, au sens géographique du terme. Il ne peut s'agir en aucun cas d'axes de coordonnées, puisque le système fait appel à des coordonnées polaires. Il s'agit en fait d'une coïncidence, car dans tous les axes figurés par le *marteloire* figurent entre autres ceux qui sont dirigés selon la direction Nord-Sud et Est-Ouest. Et encore ce Nord n'est pas le Nord vrai, la carte des rhumbs et distances est orientée selon le Nord magnétique. Ce problème, en soi, n'est que d'une importance toute relative, comme nous le verrons plus tard lorsque nous aborderons la critique de l'estime.

B- Nouveaux développements du portulan, la ou les cartes de Colomb

Lorsqu'il est parti pour son voyage, il y avait déjà des portulans qui couvraient ce que l'on appelait la Mer Atlantique. Il s'agit de cette portion de l'Atlantique qui va de l'Islande, au Nord, à la Mina, au Sud et qui inclut les îles du large Açores, Madère, Canaries et Cap Vert, donc la somme des terres reconnues avant 1492. Il y a même une de ces cartes qui lui est attribué en 1922 par Charles de la Roncière³¹⁷. Mais cette carte s'arrête aux Açores. Mais, Colomb utilise une carte, d'après son journal de bord, bien au-delà de ces limites, il y a donc un « mystère » de la carte de Colomb. Ce « mystère » pose certains problèmes théoriques qui

aurait fallu pouvoir au moins calculer les longitudes relatives entre deux points non joignables, c'est la méthode que mettra au point al-Biruni par l'observation simultanée des éclipses de lune.

La deuxième méthode pour avoir une géographie correcte aurait nécessité la possibilité de calculer les longitudes absolues d'un point par rapport à un méridien origine bien identifié et, non seulement, la définition d'un temps universel, mais encore, la possibilité de « conserver le temps » et de pouvoir « le faire voyager », ce qui ne fut possible qu'avec l'invention du chronomètre d'Hamilton.

³¹⁷ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines du XII^e au XVII^e siècle*. Op.cit.pl.21et commentaire p. 210-212

débouchent sur la question des limites de la carte des rhumbs et distances et c'est à ce titre qu'il a sa place ici.

On sait donc que Christophe Colomb a une carte. Il la cite plusieurs fois dans le texte. Une première fois le 25 Septembre ³¹⁸ « *L'amiral parlait (de bateau à bateau) avec Martin Alonso Pinzon capitaine de l'autre caravelle, la Pinta, à propos d'une carte qu'il lui avait fait passer, trois jours de ça, à son bord, sur laquelle l'amiral, à ce qu'il parait, avait certaines îles dessinées sur cette mer et le-dit Martin Alonzo lui disait que l'on était arrivé dans les atterrages (de ces îles) et l'Amiral lui répondit que cela lui paraissait également être ainsi* »

José Martin Lopez, le commentateur estime qu'il s'agit, sans que ce soit avéré, d'une carte attribuée à Toscanelli ou plutôt à une copie. Ce serait une carte bâtie selon le système de Ptolémée qui ne peut lui servir pour la navigation mais qui lui sert de repère général et qu'il consulte avec l'espoir de faire coïncider les faits (ce qu'il voit) et la théorie (cette carte de Toscanelli) lorsqu'il se croit aux portes de la Chine.³¹⁹ En faveur de cette thèse, José Martin Lopez note que, selon Las Cases et le propre fils de Colomb Hernando, Colomb aurait été en correspondance avec Toscanelli. Toscanelli del Pozzo, savant italien était connu au Portugal, car il avait proposé à un certain Fernao Martin une expédition pour rejoindre la Chine par l'Ouest par une lettre de 1468. Cette carte de Toscanelli a été perdue mais fut reconstruite en 1892 par Kretschmer, d'Albertis et Wagner. Sur la copie³²⁰ qu'incorpore Lopez dans son ouvrage, on voit une carte bâtie selon une projection de Ptolémée où les méridiens sont figurés par des droites obliques partant du pôle vers l'équateur, les deux hémisphères y sont figurés et le continent à l'Est (l'extrémité Est de l'Asie), qui donne sur l'Atlantique, est protégé du large par une chapelet d'îles diverses s'étendant selon un axe Nord-Sud, à une certaine distance du continent qui est marqué Indias, au centre, mais porte les villes de

³¹⁸ Jose Martin Lopez. *El viaje del descubrimiento . Notas y comentarios al Diario de Colon*. Edit.. Instituto de Ingenieros tecnicos de Espana. Madrid.1992. p.68-69 avec un fac-simile de la carte de Toscanelli dans sa reconstruction de 1892.

³¹⁹ Christophe Colomb relate les tentatives récurrentes de faire correspondre des îles qu'il voyait avec cette carte de Ptolémée, il questionnait sans relâche les indigènes pour connaître la direction des principales terres que cette carte indiquait. Tentatives sans issues, car comment se renseigner auprès de gens dont il ne connaissait pas, et pour cause, la langue à propos de terres portées sur une carte par un géographe qui n'avait jamais été sur les lieux qui y étaient décrits et qui n'avait travaillé que sur la rumeur. A un moment donné Christophe Colomb en convient et semble être quelque peu mais passagèrement abandonné par sa confiance dans le bien-fondé de sa démarche pour trouver la Chine.

³²⁰ Jose Martin Lopez. *El viaje ...* Op.cit. p. 68-69 note 42.

Cambala et de Quinsay à l'extrême Est. Une de ces îles est assez massive et est dénommée Zinpangu. Plus vers le Sud-Ouest, figurent les îles de l'Insulinde avec les mentions de Java Minor et de Java Major. Au Nord de Zinpangu existe un chapelet d'îles disposées selon un axe Nord-Sud et partant du sud de Zinpangu, s'étend également un second chapelet d'îles qui traversent l'équateur et rejoignent les îles de l'Insulinde, qui, à partir de là, se dirigent vers le Sud-Ouest. Le tout a une vague ressemblance en ce qui concerne cette reconstitution et d'autres similaires que l'on peut trouver dans la littérature) avec la réalité géographique et figure grossièrement, en partant du Nord vers le Sud, l'ensemble des îles Kouriles et de Sakhaline, au Nord de l'archipel japonais, (Zinpangu) puis, vers le Sud, les Ryu Kyu et les Philippines rejoignant Bornéo et les grandes îles de l'archipel indonésien qui s'étendent plutôt dans le sens Est-Ouest. Le tout est séparé du continent principal successivement par les Mers du Japon, de Chine Orientale puis Méridionale. Sur la carte de Toscanelli, ces îles forment donc des terres avancées par rapport au continent asiatique et sont baignées directement par l'Atlantique Ouest. A l'Est de cet océan sont figurées les Açores, les Canaries et les îles du Cap Vert. Au centre de cet océan : une île double, Antilla est placée sur le même parallèle que Gomera la plus occidentale des Canaries. Plus au Sud, sur un parallèle passant par le Sud de l'archipel du Cap Vert et en plein milieu de l'Atlantique l'île de Saint Bredan.

Cette thèse reçoit un début de confirmation dans la suite du texte. Colomb cherche visiblement, dans l'extrait précédent, à atterrir sur une terre qui n'est pas nommée, mais que l'on peut supposer être Antilla : d'ailleurs, à la fin de cette soirée du 25 septembre, Alonzo semble l'apercevoir et ils réduisent l'allure pour y atterrir le lendemain. En vain, ce n'était qu'un nuage. Le 3 octobre en s'enfonçant plus avant au large : « *Ils ne virent aucun oiseau et l'Amiral pensait que les îles qui étaient peintes sur sa carte étaient derrière eux.* » :³²¹ Quelques jours plus tard, ils ont une discussion, lui et Alonzo qui suggère que : « *ce serait bien de naviguer à un quart de l'Ouest vers le Sud et à l'Amiral il lui semblait que non ; Alonzo disait cela à cause de l'île de Cipango et l'Amiral voyait bien que, s'ils la manquaient ils ne pourraient voir la terre de sitôt, il serait préférable d'aller sur la terre ferme après les îles* »³²². Il faut expliquer. D'après la carte ils sont passés, pense-t-il, au Nord d'Antilla et font donc route sur la pointe Nord de Cipango. L'Amiral pense que si on mise sur un atterrissage

³²¹ Jose Martin Lopez. *El viaje...Op.cit. Mercredi 3 Octobre.* p.73

³²² Jose Martin Lopez. *El viaje...Op.cit. Samedi 6 Octobre* p. 74.

sur Cipango, on peut aussi bien passer à côté, comme on vient de le faire pour Antilla. Sio on passe Cipango sans la voir, on est en route pour la Chine, qui est loin. Il lui semble préférable de conserver une route un peu au Nord afin de passer à travers l'archipel qui est figuré sur la carte au Nord de Cipango, où on a bien plus de chances de voir une des îles qui le composent et de là, de proche en proche, aller vers le Sud sur Cipango. C'est bien ce qui semble confirmer sa navigation à partir du 11 Octobre, jour où ils fait terre sur une île de l'archipel des Bahamas, l'Amiral s'en tient à son plan et il va aller vers le Sud, d'île en île, jusqu'au 21 octobre où les indiens qui sont à son bord lui parlent de la grande île de Colba et d'une seconde, aussi grande, celle de Bofio sans doute Cuba et Hispaniola, selon José Martin Lopez. En tout état de cause il décide « *d'aller vers cette île qui doit être Cipango ... Mais de plus je suis déterminé à toucher la terre ferme et me rendre dans la ville de Quinsay, donner les lettres de créance de Vos Altesses au grand Khan*³²³ ». Cette carte donc s'avère celle de Toscanelli ou tout du moins porter les indications de Toscanelli, **si tant est que la reconstitution de la carte n'a pas été faite à partir du seul récit de Colomb**. Ce que nous ne pouvons déterminer.

Mais il y a un argument contre l'utilisation de cette carte de Toscanelli. En effet, si cette carte est telle que celle supposée être de Toscanelli, elle ne peut servir à la navigation. Or, en revenant en arrière le 25 Septembre, Colomb récupère sa carte qu'il avait prêtée à Alonzo : « *Et a ce point (de la discussion avec Alonzo à propos d'Antilla que nous avons citée plus haut) l'Amiral lui dit de lui envoyer la carte et une fois envoyée au moyen d'une touline (un câble fin avec qui on peut faire va et vient) l'Amiral commença à travailler dessus avec son pilote et un marin* ». ³²⁴ On peut donc écarter l'hypothèse conciliatrice de deux cartes, puisque c'est sur celle-là même, où sont peintes les îles, qu'il va travailler. Cette carte de Colomb est donc un portulan et non pas une carte de géographe bâtie selon les principes de Ptolémée. D'ailleurs, nous en avons confirmation bien des semaines plus tard sur le chemin du retour, après une tentative manquée d'observation astronomique, l'Amiral décide de rentrer à l'estime, le 10 Février, le texte livre ces détails : « *Sur la caravelle de l'Amiral, les pilotes travaillaient sur la carte et faisaient le point, Viceinte Yanes et les deux pilotes, Sancho Ruiz*

³²³ Jose Martin Lopez. *El viaje...Op.cit. Dimanche 21 Octobre*. p. 94

³²⁴ Jose Martin Lopez. *El viaje...Op.cit. 25 septembre* p 68

et Pero Alonzo Nino y Roldan »³²⁵. Depuis le départ des Canaries on peut constater qu'il ne se passe pas un jour sans que Colomb livre les caps et les distances parcourues deux fois par jour pour la nuit d'avant et en fin de journée pour la date du jour. Il a tenu son estime tout du long du voyage et on sait qu'il ne peut le faire que sur un portulan.

Cette carte n'existait pas puisque les connaissances contemporaines s'arrêtaient à cette fameuse Mer Atlantique. Mais il a pu fort bien la faire, de sa main, car il a les compétences, acquises auprès de son frère, ou même la faire exécuter par son frère Bartolomeo, le facteur de portulans. Rappelons que toute l'entreprise de Colomb consiste en un calcul préalable de la distance à parcourir entre les Canaries et la Chine. Les Canaries sont sur le méridien zéro d'après le choix de Ptolémée et l'extrémité de la Chine au méridien 180, d'après son hypothèse de base. A l'équateur, cette distance est donc égale à la demi circonférence du globe, soit d'après Ptolémée $20.000 \times 5/7$ (rapport du calcul de Ptolémée à la réalité) = 14.285 kilomètres, qu'il faut multiplier par le cosinus de la latitude des Canaries, soit 0,81 pour avoir la distance entre la Chine et les Canaries en suivant une route Est-Ouest, soit environ 11571 kilomètres ou quelques 1900 lieues, distance de laquelle il faut encore soustraire la distance entre la Chine et ses îles du large. Il lui paraît possible de franchir cette distance et il a paradoxalement raison, car à l'instant où il arrive aux Açores il a parcouru quasiment cette distance depuis son départ des Canaries.

Donc il est facile pour un professionnel, comme Colomb de construire un portulan des Canaries à la Chine supposée. Vesconte nous montre comment bâtir un *marteloire* « vide », c'est-à-dire qui ne représente que la mer ouverte. Il suffit de juxtaposer à la suite du *marteloire* d'une carte de la mer Atlantique, en se dirigeant vers l'Ouest, autant de cercles-cadres égaux au cercle contenant cette mer que nécessaire, jusqu'à couvrir selon l'échelle du portulan, la distance demandée. (Les portulans de la Méditerranée ne sont pas autrement construits ; ils comportent généralement deux de ces cercles tangents dans le plan horizontal, un pour la partie orientale et un pour la partie occidentale, afin de compenser le fait que la Méditerranée est une mer qui s'étire en forme de corridor Est-Ouest.) Ce cadre ainsi bâti, il lui suffisait d'y reporter les distances d'Antilla, de Cipango et de la côte du continent chinois,

³²⁵ Jose Martin Lopez. *El viaje...Op.cit. Dimanche 10 Février*, p 213

calculées à partir des Canaries sur la carte de Toscanelli et d'y faire figurer ces terres, en les peignant lui-même, recopiant les contours que leur avait donné Toscanelli. C'est notre hypothèse, mais c'est, nous semble-t-il, la seule solution pour que Colomb puisse posséder une carte de travail valable pour tout le voyage, puisqu'il tient son estime, non seulement à l'aller, où il semble bien qu'il chasse un point bien précis, mais encore durant le voyage retour et, bien entendu, pas d'estime sans carte.

Dans ce cas ce serait la première carte transocéanique bâtie sur le principe des rhumbs et distance. Ce ne sera pas la seule. Très vite vont apparaître deux cartes fameuses : celle de Juan de la Cosa, datée de 1500 et celle de Pedro Reinel, datée de 1504 / 1505.

2-2.5 Conclusion.

Les limites de la carte par rhums et distances

La question qui se pose est de chercher à savoir si Colomb est, du seul point de vue scientifique, en droit de pratiquer une telle ampliation. En effet, des problèmes se posent lorsqu'on observe ces premiers portulans interocéaniques. C'est bien ce qui apparaît sur la carte de Juan de la Cosa (membre de l'expédition de Colomb), datée de 1500, une des premiers cartes interocéaniques que nous puissions étudier. Si on examine les côtes de Terre Neuve, on les voit figurées presque sous la forme d'une ligne Est-Ouest, c'est-à-dire bien trop inclinées sur la droite. C'est un endroit sensible, car il est, à cette date, de toutes les côtes américaines celui qui est paradoxalement le mieux connu. Alors que Colomb avait fait 4 voyages mais dispersés dans l'immensité de la Mer des Caraïbes, cet espace plus restreint du Canada avait été bien mieux levé. Cabotto y avait fait plusieurs expéditions en 1497 et 98, au départ de Bristol, et les frères Corte Real également de 1500 à 1503, au départ de Lisbonne. Ces marins expérimentés, surtout les derniers ont pu se rendre compte que les alignements géographiques Nord-Sud n'étaient pas respectés dans la construction.

Ceci n'est pas une simple assumption, car à la fin du XV^e siècle, avec les tentatives de cartographie intercontinentale ces irrégularités sont devenues évidentes et ont commencé à poser des problèmes aux cartographes. C'est Pedro Reinel qui s'est posé lui-même cette question et s'est cru obligé d'y apporter une solution graphique. Sur une carte de 1504, actuellement à la *Staatbibliothek* de Munich on trouve vers Terre-Neuve une échelle dévoyée. Il s'agit de deux échelles situées près du détroit de Belle Isle, une première échelle est disposée dans le sens vertical et plus à terre on voit une seconde échelle inclinée vers le Nord-Est d'un angle de 21° soit presque deux quarts. Les échelles indiquent des graduations différentes selon les latitudes. C'est cette seconde échelle inclinée qui est supposée servir de référence pour apprécier les alignements Nord-Sud. Pedro Reinel n'a donc pas corrigé le dessin de côtes de Juan de la Cosa, mais rectifié la lecture de la carte grâce à cet artifice de dessin.

Ce dispositif a été étudié en détail.³²⁶ Nous n'avons pas pu accéder directement à cette étude et n'en avons connaissance que par un commentaire approfondi du Commandant Texeira da Mota : « Cette zone (les côtes de Terre-Neuve) a été placée sur la carte de navigation après une traversée de l'Atlantique réalisée seulement avec des éléments magnétiques non corrigés d'où il est résulté qu'elle a été déplacée de 3° à 4° vers le Nord. Cependant, il s'est trouvé quelqu'un qui, là-bas, a fait des observations astronomiques d'où ont été déduites des latitudes réelles. D'où l'idée de placer dans la région une échelle spéciale inclinée de la valeur égale à celle de la déclinaison magnétique et avec une graduation qui différerait de ces 3° à 4° de l'échelle générale. Cette échelle spéciale fonctionnait aussi comme méridien par rapport au trait de la côte. »³²⁷ La présence de cette même échelle dévoyée sur un portulan de Jean de Rotz, un peu plus tard en 1542³²⁸ est signalée par Marie-Thérèse Gambin qui choisit la même explication de cette présence. Ce serait donc la déclinaison anormalement forte à Terre-Neuve qui en serait la raison. **Aucun auteur n'a, à notre connaissance, évoqué une**

³²⁶ G. Gerien, *Les cartes aux échelles auxiliaires pour la région de Terre-Neuve*. in *Communication de l'Académie de Marine de Belgique*. 1932. p 93-117

³²⁷ Avelino Texeira da Mota. *Influence de la cartographie portugaise sur la cartographie européenne à l'époque des découvertes*. p. 232. In *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XV^e et XVI^e siècle*. Actes du 5^{ème} colloque international d'Histoire maritime, 14-16 Septembre 1960. Edit. SEVPEN Paris 1966.

³²⁸ Marie-Thérèse Gambin, *L'histoire des cartes à rumb*, in *Revue Mnemosyne n° 11* Institut de recherches sur l'enseignement des mathématiques paris VII 1996 édité sur assprouen.free.fr

déformation inhérente au système de projection lui-même poussé dans ses extrêmes dans la représentation de régions situées trop loin du centre de projection.

Sans pouvoir examiner directement cette carte en détail et sur des citations au second degré, il est difficile de se prononcer plus avant sur cette théorie. Il est vrai que les déclinaisons magnétiques sont importantes à Terre-Neuve. En effet, le pôle magnétique et le pôle géographique sont distants de quelques centaines de kilomètres seulement. Cette distance mesurée angulairement, de loin, donne une valeur de parallaxe faible. Cette parallaxe, c'est la déclinaison magnétique, différence entre la mesure angulaire du Nord vrai et du Nord désigné par l'aiguille (la variation). Plus on s'approche des régions polaires et plus cette parallaxe devient donc importante. On est cependant en droit de se poser la question de savoir si la déformation due à la projection n'est pas l'élément le plus important. D'après l'étude d'al-Biruni il faut se rappeler que méridiens et p parallèles sur la carte peuvent être considérés comme se coupant à 90° , uniquement si l'on ne s'écarte pas trop du centre de la projection, si on s'éloigne de celui-ci al-Biruni montre que les méridiens sont des arcs de cercle passant par les deux pôles. Les cartographes sont gênés par le fait suivant : deux points qui sur le terrain au Canada sont Nord-Sud, si on se fie à la boussole, ne le sont pas sur la carte. L'explication tient au fait est qu'ils sont bien sur le même méridien mais la représentation du méridien au Canada ne peut pas être une droite p parallèle au méridien de Lisbonne, c'est un arc de cercle avec la concavité tournée vers Lisbonne. La carte dressée par direction et distance montre donc un second point place au Nord-Est du second, ce qui est rigoureusement exact si on suit al-Biruni qui résout donc cette contradiction apparente. L'argument de l'importance du rôle de la déclinaison peut être pris en considération mais il n'est pas le seul devoir être pris en ligne de compte. En effet, l'examen des cartes d'égales déclinaisons (isogoniques) met en évidence que des fortes déclinaisons sont des phénomènes très localisés, c'est la conséquence directe du phénomène de parallaxe décrit plus haut. Toute la traversée de l'Atlantique s'est effectuée dans une sorte de marais magnétique et ce n'est qu'en abordant Terre-Neuve que les déclinaisons deviennent brusquement importantes d'où une influence restreinte dans la mesure du cap tout au long du voyage. Pendant la majeure partie du voyage, la déclinaison est restée « normale » et on ne voit pas pourquoi elle engendrerait une erreur de 3 à 4° de latitude au Canada et pas à la latitude de Cuba, La question reste ouverte et demande à être approfondie. Mais la conclusion reste la même, dans les deux cas : la carte interocéanique souffre d'importantes distorsions.

Finalement on peut dire, pour résumer, que le portulan est un instrument qui est né de l'usage. Notons que le portulan a pris en quelque sorte modèle sur le périple, on est frappé de la richesse de la documentation toponymique ; tous les ports sont répertoriés, toutes les baies, les îles et les caps voient leurs noms mentionnés. Même si leur forme n'est pas respectée, les îles du large, précieuses aides à l'atterrissage et repères si utiles en cours de route, sont toutes indiquées et, pour préciser leurs positions, sont grossies par rapport à l'ensemble du dessin.

Ceci étant, si on se concentre sur les cartes du XIII^e et du XIV^e siècle, c'est-à-dire avant l'entrée des Occidentaux dans les grands espaces marins et que l'on compare les portulans aux cartes de Ptolémée, on s'aperçoit que la carte des rhumbs et des distances rectifie avec une précision surprenante l'extension de la Méditerranée, à 1 degré de longitude près. Cette carte des rhumbs et des distances restitue cette mer dans sa vraie dimension, justement, parce qu'elle ne passe pas par le système des longitudes et qu'elle n'utilise comme moyen de construction que des distances, maintes fois vérifiées par l'expérience. Cette carte, parce qu'elle est expérimentale, offre une représentation bien plus proche des proportions réelles³²⁹. Il y a à cela une explication. Alors que la carte des rhumbs et distances est un levé basé sur la pratique, les cartes bâties selon les principes Ptolémée participent d'un système géographique rationnel donc scientifique. Tout point du globe dans le système de Ptolémée est défini par ses coordonnées orthogonales, c'est-à-dire par sa latitude et sa longitude. Ptolémée a les moyens de mesurer la latitude absolue mais ne mesure que des longitudes relatives, c'est-à-dire la différence de longitude entre deux lieux³³⁰. De plus les hypothèses de base sont erronées et, de ce fait, Il attribue à la Méditerranée 20 degrés de plus en longitude, déformée dans le sens d'une plus grande longueur. Alors que le portulan donne une longueur produite par l'expérience vérifiée de nombreux marins.

³²⁹ Monique de la Roncière, *Les Portulans...Op.cit.* p.13

³³⁰ Ptolémée savait résoudre le parallélogramme sphérique, dit de Ptolémée, c'est à dire celui constitué par les 2 parallèles des points A et B, et des 2 méridiens des deux mêmes points A et B. Il suffisait pour cela d'avoir la distance AB mesurée sur la sphère. Il pouvait donc calculer de proche en proche les différences de longitudes entre deux points voisins dans la mesure où ceux-ci restaient joignables. Pour avoir une géographie correcte il aurait fallu pouvoir au moins calculer les longitudes relatives entre deux points non joignables, c'est la méthode que mettra au point al-Biruni par l'observation simultanée des éclipses de lune.

La deuxième méthode pour avoir une géographie correcte aurait nécessité la possibilité de calculer les longitudes absolues d'un point par rapport à un méridien origine bien identifié et, non seulement, la définition d'un temps universel, mais encore, la possibilité de « conserver le temps » et de pouvoir « le faire voyager », ce qui ne fut possible qu'avec l'invention du chronomètre d'Hamilton.

Deuxième Partie

Chapitre 3

2-3.0 La pratique de l'estime. La mémoire de la route

Nous savons donc, maintenant, que la boussole et le *compasso* répondent à la première question que se pose le navigateur, celle qui concerne la route à prendre pour aller de son port d'attache vers un port de l'espace qui lui est accessible. L'estime appliquée sur la carte des rhumbs et des distances va répondre à la seconde question qui est celle du contrôle de la position sur cette route. En effet, l'estime est la méthode de navigation qui consiste à déduire la position actuelle du navire à partir de sa route et de la distance parcourue depuis sa dernière position connue. Elle peut être résolue par le calcul ou par un graphique, mais seule la deuxième solution est accessible au navigateur médiéval, précisément grâce au portulan sur lequel le navigateur va reporter sur un graphique tous les changements de route induits par les diverses manœuvres engendrées par les sautes de vent. On voit chez Ibn Jubayr que les sautes de vent imposent au navire des marches et contremarches qui l'éloignent bien loin de la route idéale. Il faut donc suivre avec précision l'évolution incessante de la position.

L'Estime est une méthode graphique de navigation vectorielle. A partir du point de départ, on porte le cap que l'on va suivre, le cap est donc l'orientation du vecteur. Puis on porte sur ce vecteur la distance parcourue, ce qui donne donc l'extrémité du vecteur. On a donc tout ce qui est nécessaire pour faire une analyse vectorielle : un vecteur orienté avec son origine, son extrémité et sa longueur. On peut faire cette analyse dans un espace déterminé par des coordonnées cartésiennes. Le point de départ est défini alors par ses coordonnées géographiques latitude et longitude, le point d'arrivée est défini de la même manière, c'est la méthode des géographes, elle restera longtemps inapplicable à la navigation en raison des problèmes de calcul de longitude. Les géographes de l'antiquité savent calculer des longitudes relatives par rapport à un méridien origine, mais ils ont besoin de mettre en correspondance les observations faites au même moment au méridien du lieu et à celui d'origine. Il faut donc

transmettre les résultats des observations du point origine au point de calcul pour pouvoir établir la comparaison. Or le navigateur a besoin d'un calcul en temps réel, il lui faut les résultats du calcul pratiquement au moment de l'observation puisque, aussi bien, un moment après ces résultats ne seront plus valables en raison du déplacement. La méthode du géographe est donc complètement inapplicable au navigateur complètement isolé dans son milieu, sauf à pouvoir garder le temps en mémoire ce qui ne deviendra facile qu'au XVIII^e siècle avec Hamilton et son chronomètre.

On peut également faire cette analyse vectorielle dans un espace défini par des coordonnées polaires, car on peut toujours dans cet espace, lui-même vectoriel, définir n'importe quel vecteur par son point de départ et son point arrivée, en définissent chacun de ces deux points en coordonnées polaires par rapport à un troisième point, le point origine du système de coordonnées. C'est le principe du portulan. Toutefois, l'estime et la carte, sont deux systèmes différents, l'estime est basée sur la propriété des sommes vectorielles d'éléments de route donnés en cap et en distance, le portulan est une carte dressée en coordonnées polaires. Cependant il reste que mathématiquement, l'analyse vectorielle est possible dans cet espace en coordonnées polaires. C'est ce dernier point qui fait que l'estime est compatible avec le portulan. Les deux systèmes sont plus que compatibles, ils sont intimement indissociables, car pour le navigateur médiéval, le calcul est hors de portée, l'analyse numérique lui est donc interdite. Il reste donc l'analyse géométrique graphique grâce au support graphique du portulan.

L'estime est apparue au XIII^e siècle, d'une façon plutôt soudaine, en même temps que le portulan. Il n'y a apparemment des indices d'une évolution continue par succession d'améliorations se déroulant dans le temps comme dans le cas précédent du compas ou même de la carte. La méthode a été inventée et est devenue rapidement universelle et l'est restée. Le problème central de cette méthode c'est qu'on opère par extrapolation des données à partir d'une dernière position connue, les incertitudes sur ces données vont altérer la précision de la position à un moment donné et plus le temps passe, sans confrontation avec une position certaine, et plus l'incertitude grandit. Les problèmes, au seul point de vue historique, concernent donc les problèmes d'application et surtout la validation et plus encore les limites de la méthode. C'est donc successivement et dans cet ordre que nous aborderons les

problèmes d'application, suivis par l'étude de la validation et des limites de la méthode, dans un aspect chiffré, grâce aux seuls documents techniques d'époque. Il faudra donc préalablement examiner les sources et surtout les œuvres de Christophe Colomb car c'est le seul document technique d'époque dont nous disposons. Cependant, ce sera un apport précieux car chiffré. Or, ce qui nous intéresse particulièrement dans cette étude, c'est, précisément, d'essayer de chiffrer l'étendue de cette incertitude surtout dans le cas extrême de navigation longue puisque c'est en raison de cette incertitude que va apparaître la nécessité de l'arrivée de l'étape suivante, celle de la navigation astronomique, objet de la troisième partie. C'est pourquoi nous avons choisi le plan suivant :

2-3.1 Les Sources.

A Datation de la méthode.

B Le journal de Christophe Colomb

2-3.2 L'estime, une méthode compatible avec le portulan.

A L'estime

B Utilisation pratique du portulan

2-3.3 Validation de la méthode.

A Erreurs de conception et d'application

B Illustration pratique, l'estime de Colomb

2-3.4 Conclusion.

Estime et progrès de la navigation

2-3.1 Les Sources

En ce qui concerne l'estime nous avons d'une part des preuves éparses qui nous permettent de tenter de dater l'apparition de la méthode, liée à celle du portulan et d'autre part une source

qui nous permet d'en comprendre le fonctionnement, le journal de bord de Christophe Colomb.

A Datation de la méthode

L'estime serait née vraisemblablement à la fin XIII^e siècle, plus d'un siècle donc après la boussole. Un faisceau convergent de dates confirme cette estimation. Tout d'abord, le premier portulan, complément indispensable qui nous est parvenue date de 1277. Le compas, instrument dessiné pour la facilité du calcul de l'estime, puisqu'il permet une lecture directe du cap sur la rose en temps réel et en continu, aurait été mis au point par Flavio Gioia et est mentionné en 1302 ou 1303,

En tout état de cause, le premier portulan dit « la carte pisane » est daté de 1277 par les spécialistes. En revanche, en ce qui concerne l'estime, en toute rigueur, on pourrait dire que si l'existence du portulan est un indice de premier ordre il ne suffit pas à prouver que l'estime était utilisée à bord par les navigateurs. En effet on peut fort bien imaginer un usage du portulan autre que comme support de l'estime. Il aurait pu et il a certainement dû servir à reconnaître le lieu de l'atterrissage par une visualisation de l'aspect de la côte selon les points probables de première touchée, ou bien encore comme un périple illustré bien utile pour la navigation côtière. Il faut donc chercher des preuves autonomes de l'usage de l'estime. Une preuve directe écrite semble être le fait de Ramon Llul, né en 1232, dans l'île de Majorque il parle très savamment des progrès de la navigation. Il écrit dans son « *arbor scientiae* » en 1295 à propos des marins « *habent chartam, compassum, acum et stella maris.*³³¹ » *Acus, us* c'est l'aiguille, autrement dit la boussole. Dans cette courte citation Llul reconnaît implicitement l'usage de l'estime puisqu'il nous parle de la carte, il y ajoute un détail qui nous

³³¹ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle Les origines de la navigation astronomique du XIV^e au XV^e siècle in *Le navire et l'économie maritime du Moyen Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée. Travaux du 1er colloque international d'histoire maritime. 17 mai 1956.* SEVPEN. Paris 1957

Cette citation est rapportée par Emmanuel Poulle dans l'article ci-dessus p.115, trouvée dans R. Llul. *Arbor scientiae* in *Obres de Ramon Llul*. Edit. critique par Salvador Galnes .Majorque Tome XI p 214

montre que la pratique de l'estime est déjà élaborée. En effet il cite conjointement la boussole et la polaire. La mention de cette dernière est superfétatoire, puisque les marins ont la boussole qui la remplace en tous lieux et en tout temps (même lorsque la polaire est invisible) sauf si vraisemblablement les marins de l'époque recouraient déjà à la variation³³² pour contrôler l'aiguille. C'est ce qu'il apparaît de la lecture. Dans le même ordre d'idée nous notons qu'il cite conjointement *acus et compassum*, ce qui fait qu'on ne peut absolument traduire *compassum* par compas au sens moderne de boussole marine mais que *compassum* se rapporte à l'idée de mesure de la distance parcourue et se réfère alors soit au livre des routes, soit à l'instrument servant à mesurer les distances sur la carte, soit à l'échelle des distances qu'on note dans tout portulan, soit même au loch qui aurait alors servi pour mesurer les distances parcourues, sans que l'on puisse traduire plus précisément en raison du manque de contexte plus étendu. Il confirme en décrivant la pratique elle-même dans une deuxième citation du même ouvrage : « *Marinarius...considerat tempus navigandi et portus ad quos habet refugium, stellam, acum, magnetem, ventos et miliaria et coetera quae spectant ad suam artem.*³³³ »

Mais l'existence de la pratique de l'estime à bord est prouvée d'une manière indirecte antérieurement même à ces preuves tangibles, puisque dès 1269, lors du voyage de Saint Louis en direction de Tunis et de sa seconde croisade personnelle, Guillaume de Nangis nous fait une description de cet usage par les marins génois de la nef qui porte le roi. Saint Louis : « *Il (Saint Louis) demanda aux mariniers combien il y avait jusqu'à Castel Castre et combien ils étaient près du rivage, les mariniers ...firent apporter une carte et montrèrent au roi la situation du port de Castel Castre (un port de Sicile) et combien ils étaient près du rivage* »

³³² On appelle variation la différence entre le cap vrai et le cap au compas. Elle se compose de la déclinaison magnétique (différence entre le nord vrai et le nord magnétique qui varie en fonction du lieu de l'observation et qui varie dans le temps) à laquelle on ajoute la déviation du compas qui est la différence entre le nord magnétique et le nord indiqué par le compas (résultat de l'action des fers du bord sur le compas, c'est en quelque sorte l'équation personnelle du compas). Par extension, c'est aussi le nom d'une observation astronomique simple qui sert à la calculer. On relève au compas un astre quelconque et on calcule quel le relèvement vrai de cet astre en ce lieu et à ce moment précis ; on obtient ainsi la variation par la formule $W = Z_v - Z_c$, où W est le variation, Z_v le relèvement vrai (calculé) et Z_c le relèvement au compas (observé). Le calcul est facilité lorsqu'on prend la polaire lors de son passage au méridien inférieur, où $Z_v = 0$.

³³³ R. Llul. *Arbor scientiae Op. cit.* Tome XIII p 232

B Le journal de bord de Christophe Colomb

A côté de ces sources, la forme surtout d'indices et de petites citations éparses, il existe un corpus tardif mais plutôt exhaustif. C'est le recueil total des écrits de Christophe Colomb. Ces écrits comprennent son journal de bord du premier voyage mais aussi une collection de lettres qu'il écrit à différentes occasions, surtout sous forme de suppliques, pour la plupart liées à ses démêlées judiciaires. C'est surtout le récit du premier voyage qui est intéressant car il est, en quelque sorte, une mise au clair de son journal de bord, c'est un rapport technique contractuel exigé par ses donneurs d'ordre, les Rois catholiques, tandis que le récit du troisième voyage est beaucoup plus littéraire. Le style de ce récit du troisième voyage ressemble davantage à un chapitre de sa biographie, sans qu'apparaissent les secs détails techniques marquant un véritable rapport de mer, qui sont pourtant les plus intéressants pour notre recherche. Il faut aussi y joindre le récit de son quatrième voyage qui fut écrit par son fils qui participait à cette expédition. Cette narration est d'autant plus intéressante qu'Hernando, son fils, est un cosmographe de profession, mais il est bien trop hagiographique pour une exploitation purement technique.

L'œuvre de Colomb est très riche, car, Christophe Colomb est un maître de l'estime. De naissance génoise, il suit une formation de pilote dans ce pays et au cours d'un voyage vers le Nord, il fait naufrage près du cap Saint Vincent. Rescapé, il reste, alors, au Portugal auprès de son frère, déjà installé, comme facteur de portulans à Lisbonne. Il travaille quelque temps avec lui, il est donc considéré comme un facteur de portulan lui-même et une carte célèbre lui est attribuée, sans que l'on puisse se prononcer définitivement sur ce détail. Il fait, au Portugal, un mariage que l'on peut qualifier d'intéressant, car il épouse une des filles d'un capitaine donataire de l'île de Madère, c'est-à-dire un personnage qui avait reçu du gouvernement portugais des terres et des privilèges particuliers. Il se consacre, désormais, au commerce maritime au long cours et résume sa carrière maritime dans une lettre célèbre en forme de curriculum vitae.³³⁴ C'est un auteur tardif, mais c'est le seul que l'on ait qui soit complet. Formé à la navigation au milieu du XV^e siècle, il a déjà abordé la navigation astronomique. Il connaît et pratique les hauteurs méridiennes de polaire, mais sans trop

³³⁴ Cristobal Colon *Textos y documentos completos ; prologo y notas de Consuelo Varela*. Edit. Alianza Editorial. Madrid, 1992 p. 166

apparemment maîtriser le calcul de la latitude. En revanche, il ignore tout des méridiennes de soleil. Il est vrai qu'elles ne seront mises au point que juste un peu avant son premier voyage. A cette époque, il ne réside plus au Portugal et n'a donc pas accès à ces recherches.

Pour comprendre son œuvre il faut comprendre le personnage. De formation maritime, il est professionnellement, surtout dans les affaires. Il tente donc de s'établir en entrepreneur de découvertes maritimes. Gênes est alors au dernier stade de sa longue évolution maritime qui la mena de simple ville-corsaire à berceau spécialisé de l'ingénierie maritime³³⁵. Parmi ces métiers de pointe, qui comprennent en particulier celui des premiers assureurs maritimes, il existe, en outre, celui d'entrepreneur en expéditions maritimes. Ce curieux métier a une face militaire qui concerne des amiraux qui commandent des flottes indépendantes, et qui les louent au plus offrant, et une face civile qui concerne des entrepreneurs civils en découvertes, qui négocient avec des autorités diverses la constitution d'expéditions maritimes plus pacifiques. Il s'agit, essentiellement, d'organiser des expéditions en vue de découvertes de territoires nouveaux contre financement de l'expédition et en stipulant, parfois, des avantages, encore virtuels au moment de la formation du contrat, mais qui pourraient, éventuellement, découler d'une découverte heureuse. Pour des raisons historiques propres à ce pays, le Portugal était un grand commanditaire de telles expéditions sous contrat. C'est à ce titre que Colomb propose ses services au roi du Portugal, João II, dit également, le Navigateur, qui fait examiner ce projet par ses spécialistes de la *junta dos matematicos* qui le refusent, sans que l'on en sache exactement les raisons, peut-être pour défaut de préparation et erreurs de conception, ou peut être aussi par manque de possibilité de financement. Le roi du Portugal a, nous le verrons plus tard, un plan très structuré et déjà en bonne voie de réalisation

³³⁵ Gênes comme Pise entamèrent leur brillante carrière maritime comme corsaires contre les sarrasins respectivement de Corse pour Gênes et de Sardaigne pour Pise. Les sarrasins écumaient les côtes italiennes et provençales par des rezzous à partir de bases arrière dans ces îles. Génois et pisans devinrent en quelque sorte les voleurs des voleurs, en pillant ces dépôts de prises. Leur succès fut tel que tels les pêcheurs modernes ils finirent par « épuiser la ressource », c'est-à-dire que les sarrasins ne trouvèrent plus leur compte dans cette activité et se retirèrent plus loin, aux Baléares. Génois et pisans à l'inverse des vikings, de pirates devinrent commerçants, avec les mêmes partenaires sarrasins qu'ils allaient chercher là où ils se trouvaient en Andalus et au Maghreb. A ce titre les génois surent se rendre indispensables comme lien commercial avec le reste du monde en Afrique du Nord occidentale et en Espagne arabe bien avant la *reconquista* qui fit changer ce pays de mains. Les pouvoirs étaient nouveaux, mais les problèmes de liens commerciaux demeurèrent et même devinrent très prégnants dans des régions où tout devait être importé au fur et à mesure que les artisans arabes suivaient leurs anciens clients au Maroc. Les génois restèrent donc et s'y rendirent aussi indispensables auprès des castillans et des portugais qu'ils l'étaient, auparavant, auprès des taifas de Séville, des rois marocains ou bien des régents de la république maritime de Ceuta. Ceci explique, entre autres, que Colomb put faire une belle carrière en Ibérie.

d'exploration systématique de la route des Indes par le Sud de l'Afrique qui coûte déjà cher à ce petit pays aux moyens limités.

En tout état de cause, Christophe Colomb avait basé ses calculs sur l'œuvre de Ptolémée, récemment traduite en Latin et qui était sa bible avec l'ouvrage de Pierre d'Ailly. Ses calculs prenaient donc pour base les calculs de Ptolémée qui voyait l'Europe plus grande qu'elle n'était, mais le restant du monde bien plus petit qu'en réalité. Dans ces conditions le passage par l'Ouest paraissait raisonnablement faisable. Ses censeurs connaissaient également Ptolémée mais à travers les traducteurs et commentateurs arabes qui avaient repéré les erreurs de l'original et y avaient porté les corrections nécessaires, comme nous le verrons plus tard au cours de la troisième partie en examinant le processus de passage de la science arabe en Occident. Quelque soient les raisons profondes de ce refus, il en restera très amer et des allusions nombreuses apparaissent dans ses écrits, où il fait la distinction entre le savoir universitaire et les connaissances du terrain que, selon lui, il incarne personnellement. E conduit au Portugal, il passe, alors, en Espagne et finit par proposer ce même contrat aux rois catholiques qui, pour des raisons de circonstances politiques qui leur sont propres,³³⁶ acceptent ce contrat « chat en poche ».

³³⁶ La date de 1492 est symptomatique. Les rois catholiques concluent à cette date la *reconquista*. Tous les royaumes périphériques, qui ne participent pas à la lutte séculaire entre le Pape et l'Empereur qui laissa l'Allemagne et l'Italie en miettes, politiquement, suivirent tous la même évolution. D'un système féodal complètement déconcentré émergent des royautes qui réinventent la notion d'Etat. Le principal problème qu'ils ont en commun est de faire rentrer dans le rang de gré ou de force leurs grands féodaux dans le rang. Chaque pays résout ce problème selon sa propre équation. En ce qui concerne la Castille et Aragon qui termine cette année là, sa *reconquista*, le problème se pose en ces termes : que faire désormais de ces grands guerriers féodaux avides de terre et d'honneurs, alors que la grande aventure collective, qui animait et comblait jusque là tout le monde, prend fin ? De la double tête qui gouvernait la Castille et l'Aragon réunis, l'une, au moins, était bien faite au point de vue politique. Des ballons d'essais furent lancés dans des directions très diverses, donnant des épisodes assez obscurs de l'histoire espagnole ; en particulier on retrouve un ersatz de croisade, sans lendemain, en Albanie. La proposition de Colomb était donc tout à fait opportune et fut acceptée sans autre examen, puisque sans frais. Contre un peu d'argent et beaucoup de privilèges et de monopoles à venir sur des territoires, encore virtuels, au moment de la signature du contrat, il amenait une chance à saisir de copier la recette portugaise, qui s'était révélée somme toute plutôt heureuse. Ce fut un trait de génie royal, toutefois quelque peu différé dans ses effets. L'Amérique va désormais constituer un vivier de titres de vice-rois et de latifundia ou plutôt des fiefs, les *encomendios*, immenses. Cette nouvelle source de largesses et d'honneurs remplit largement le rôle qu'avait joué la *reconquista* et la classe noble espagnole resta soudée derrière ses souverains, ce qui contribua à faire de cette nation la puissance formidable qu'elle devint un siècle plus tard.

Christophe Colomb part donc sur des bases fausses vers la Chine qu'il ne verra jamais, mais trouve à la place l'Amérique. Après une lecture scrupuleuse de ses écrits, on est toujours dans le doute sur la question de savoir s'il a jamais été intimement conscient de cette réalité. Nous le soupçonnons fortement d'avoir toujours été persuadé d'avoir découvert la Chine ou tout du moins ses approches les plus orientales.

Son journal de bord en particulier est à prendre au second degré. Tout d'abord il n'est pas autographe, il est écrit au deuxième degré par Las Cases, le futur évêque des indiens, qui est aussi son ami, qui le recopie d'après les notes originales du journal de bord de l'expédition. C'est pourquoi il est écrit à la troisième personne et Christophe Colomb y est désigné par son titre : l'Amiral. Colomb de langue maternelle non pas italienne mais ligure, apprend le portugais sur le tard et parle mal le castillan. Il écrit, au dire de ses commentateurs espagnols, dans une espèce de *lingua franca* maritime agrémentée de termes et expressions ligures et portugaises difficilement accessibles à des castillans de Tolède.

De plus, ce journal est, en fait, un rapport d'activité aux rois, ses commanditaires. D'après les usages (toujours en vigueur aujourd'hui) ce type de rapport est la propriété du commanditaire qui peut le communiquer à qui bon lui semble. Sachant cela, l'exercice est délicat. Colomb doit être d'une part suffisamment précis pour ne pas prêter le flanc à de mauvais procès, sous prétexte d'in vraisemblance des faits, que ses futurs détracteurs ne manqueront pas de lui faire, mais il lui faut rester, d'autre part, suffisamment vague pour ne pas révéler ses marques et livrer une voie royale à des concurrents peu scrupuleux. Donc, il faut regarder les données qu'il nous livre avec beaucoup d'esprit critique.

Loin de ces controverses, il n'en reste pas moins que ce texte est l'œuvre d'un professionnel de la mer, un maître de l'estime et c'est la première œuvre axée sur la pure technique de la navigation dont nous disposons en Occident. Elle est, comme source, à mettre sur le même plan que celle de son contemporain oriental, Ibn Majid dont nous parlerons plus loin, deux textes écrits par des professionnels de la navigation et excessivement riches et éclairants.

2-3.2 L'estime une méthode compatible avec le portulan.

Le portulan est donc un schéma qui est la traduction graphique du *compasso*. Apparemment c'est une transposition de la méthode cadastrale à la carte marine. De même que le cadastre est établi en direction par visée et distance par mesure, de même les données du *compasso* qui sont données en cap exprimés en rumb, une mesure d'angle et en distances données en milles génois de 1500 mètres environ. Le cap est assimilé à la visée des repères dans le cadastre. En effet, dans la pratique courante, lorsqu'on prend tel cap pour atteindre tel port, on est supposé aller droit devant soi et on peut, semble-t-il, assimiler, à bon droit, ce cap à une visée.

A L'estime

La méthode de l'estime est indissociable de l'usage du portulan mais ce sont deux techniques différentes même si elles procèdent toutes deux d'un concept commun, le vecteur cap-distance. Si le portulan est la traduction graphique du *compasso*, l'estime, quant à elle, est une modélisation de la route du navire qui rentre dans le cadre graphique du portulan. Le routier (le *compasso*) reste la base ; il nous dit quelle est la route à suivre pour rejoindre le port d'arrivée, mais à partir du moment où les événements de mer nous écartent de cette route idéale, il reste muet et sans solutions. En revanche la modélisation de la route suivie nous permet de visualiser ces avatars dans le cadre de sa transposition graphique sur le portulan car l'estime et le portulan sont cohérents ; tous deux bâtis selon le même concept le vecteur cap-distance.

L'idée est donc de retranscrire la route suivie par le navire sur la carte pour la comparer à la route idéale celle donnée par le *compasso*. En effet l'expérience montre que des sautes de vents risquent d'infléchir cette droite idéale durant la durée du voyage. C'est la technique de transcription sur la carte de la route suivie que l'on appelle l'estime. Il s'agit simplement de représenter les éléments de route identifiés par le cap et la distance parcourue successivement tels qu'il se succèdent selon les changements qu'imposent les contraintes extérieures. Chaque

élément constitutif de la route sera donc figuré par un schéma sur la carte indiquant le cap suivi chaque fois et la distance parcourue, ces paramètres à prendre en ligne de compte doivent donc être indiqués sur la carte pour que l'on puisse tracer directement le dessin à l'échelle et inversement pouvoir le lire. C'est le rôle du, marteloire et de l'échelle.

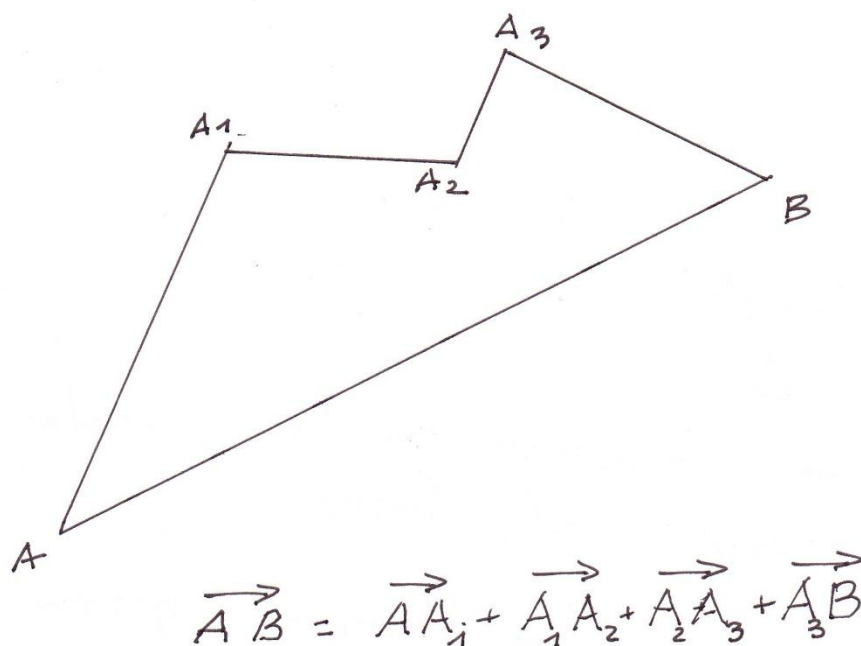


Fig 1

La route AB est la résultante des éléments de routes successives. L'estime est basée sur les propriétés de la somme vectorielle.

Ce système de figuration modélisée doit pouvoir permettre au navigateur de résoudre les problèmes de navigation simples qui se présentent le plus fréquemment.

Cas n° 1-L'estime permet de figurer sur le portulan la lecture du *compasso*.

En effet, le *compasso* nous dit quel est le cap à prendre pour aller de tel port à tel autre port. Il suffit donc de porter sur la carte le vecteur ainsi défini et de vérifier qu'effectivement la route

ainsi tracée rejoint ces deux ports. A la rigueur on voit que l'on peut se passer du *compasso* et traiter le problème directement sur la carte.

Cas n° 2-Mais de plus, elle permet de contrôler la route et savoir à tout instant la position sur cette route.

Mais l'expérience nous montre que le navire pourra rarement suivre cette route tout du long ; des sautes de vent vont engendrer des parcours parasites qu'il faudra prendre en compte. Il faut donc à la moindre altération forcée de la route être capable de tracer sur la route initiale le point **C** où cet incident a lieu. Pour cela il suffit de connaître le nombre de milles parcourus depuis le départ et de les reporter sur la carte après les avoir transformés en distance sur la carte par le truchement de l'échelle portée en marge.

Cas n° 3-Si le vent change et fait prendre une nouvelle route, on doit pouvoir la tracer.

Comme dit plus haut, le navigateur n'est pas toujours maître de la route idéale et les sautes de vent le font dévier et parfois même changer radicalement de cap. Le premier réflexe du navigateur sera de chercher à savoir ce qui l'attend dans cette nouvelle configuration totalement imprévue. Il va donc chercher à tracer la nouvelle route **CX** qui lui est imposée, à partir du point où l'incident a lieu, pour chercher à savoir s'il se dirige vers un danger et à quelle distance il doit s'attendre à être en situation très délicate, bref il lui faut évaluer sa marge de sécurité dans cet avatar. La solution de ce problème n'est que la répétition du problème exposé au **cas n° 1**.

Cas n° 4-Quand on arrive à ce nouveau point, il faut calculer le nouveau cap pour arriver à destination.

En supposant que la situation redevienne favorable et statistiquement elle le redeviendra certainement, (Ibn Jubayr nous a montré comment la persévérance des marins arrivait, à force de patience, à surmonter, en y mettant le temps, les circonstances les plus adverses), il faut, au terme de cet intermède, déterminer d'une part le point **D** où on peut reprendre la direction du but, et d'autre part, déterminer également quel cap on doit prendre pour suivre la route **DB** et

finale-ment toucher le port d'arrivée, à partir de ce point D, qui n'est pas forcément situé sur la route originale **AB**. Figurer le point D n'est qu'une redite du **cas n° 2** et quant à trouver la valeur du cap **DB**, c'est une nouvelle réplique du **cas n° 1**.

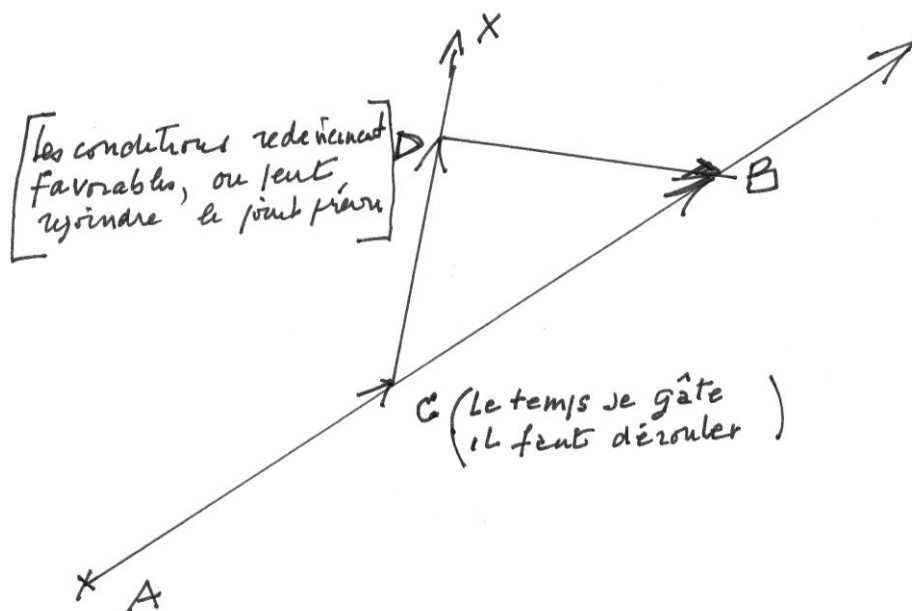


Fig 3

Le port de départ est A d'où on cherche à rejoindre le port d'arrivée B, on trace la route AB. Arrivé en C, un coup de temps oblige à prendre une nouvelle route CX. (Cas n° 3). Arrivé au point D, les conditions de temps redeviennent favorables pour reprendre une route vers le point prévu B. On trace donc la route DB dont on lit le cap que l'on va suivre désormais.

(Cas n° 4). On remarquera que tout le problème se pose et se résout de façon vectorielle. Désignant La route à suivre est désignée par Le vecteur AB qui est égal à la somme vectorielle :

$$\text{Vecteur AB} = \text{vecteur AC} + \text{vecteur CD} + \text{vecteur DB}.$$

En réalité, le portulan étant un parchemin précieux on effectue ce graphique sur un support annexe. Le plus courant est un dispositif appelé renard.

B Le portulan support de l'estime, mode d'emploi.

Le portulan est un instrument de navigation dont l'usage, après examen des exemplaires encore à notre disposition, peut facilement être reconstitué. Il y a deux traits frappants : tout d'abord, une échelle des distances située en marge et, d'autre part, un canevas qui recouvre toute la surface de la carte. Ce canevas, on en a vu au paragraphe précédent la construction, c'est le *marteloio* ou *martelologio* en français marteloire. C'est grâce à ce réseau que le navigateur va pouvoir aborder le problème que seule la carte peut résoudre, à savoir : le contrôle de la route. Pour comprendre comment se servir du marteloire médiéval il suffit de regarder comment utiliser une carte anglaise avec des règles parallèles. La méthode actuelle dérive en droite ligne de l'utilisation du marteloire sur le portulan. A l'exception des Français, qui n'utilisent que les méridiens et parallèles de la carte marine pour leurs problèmes de carte, grâce à l'usage de la règle Cras³³⁷, les Anglais utilisent des cartes marines comportant en leur centre une rose complète graduée de degrés en degrés, qui est en quelque sorte ce qui reste du marteloire médiéval.

Pour mesurer la route à prendre de A vers B, ils utilisent une règle parallèle. Il s'agit d'une règle double, c'est-à-dire de deux règles reliées entre elles par des bielles de telle sorte que l'on puisse élargir l'ensemble du dispositif volonté, sans que les bords ne cessent d'être parallèles. Plaçant un bord de la règle sur la droite **AB** on déplace l'autre bord de la règle jusqu'à ce qu'elle vienne passer au centre de la rose centrale il ne reste plus qu'à lire sur cette rose la valeur de la route **AB**.

³³⁷ La règle Cras est une spécialité française, son concepteur est un officier de marine Jean Cras. C'est, en fait, une règle conçue pour la navigation aérienne où le navigateur, quand il y avait un à bord, ne disposait que d'une place limitée et travaillait sur une carte pliée donc où la rose n'est pas forcément accessible.

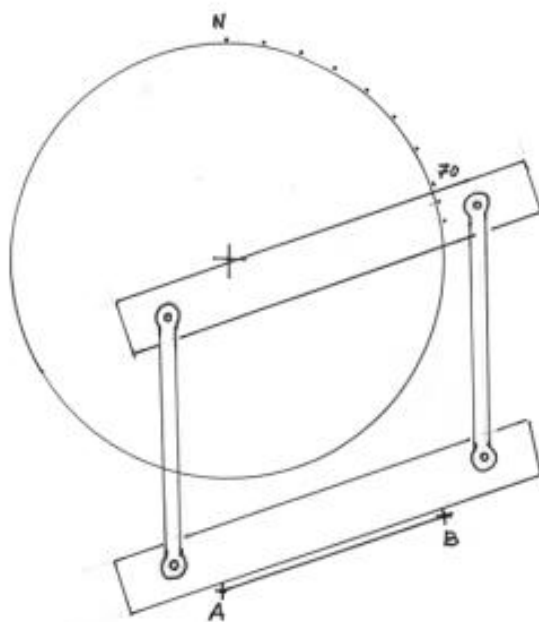


Fig. 1

*On voit que le bord inférieur de la règle parallèle est aligné sur la route **A,B**, on élargit la règle jusqu'à ce que son bord supérieur passe par le centre de la rose, il indique, alors, la route vrai à son interception avec la rose, ici le cap est du 72.*

Le marteloire instrument de lecture du portulan

Le *compasso* répond à la question : quel cap prendre pour aller du port d'attache du navire vers les ports du bassin méditerranéen où le marin désire se rendre. Le portulan, qui est sa traduction graphique, doit pouvoir répondre à cette même question, uniquement de façon graphique, sans autre indication que les localisations de ces deux ports **A** et **B** sur le portulan. Il suffit de tirer une ligne sur le portulan du point **A** au point **B** pour figurer la route à suivre. Mais reste à lire le cap. Le marteloire va nous aider pour cela. Il suffit de prolonger la droite **AB** jusqu'à couper le cercle extérieur du bâti en un point qui sera forcément voisin d'un des points situé sur ce cercle d'où le facteur de portulan a tracé un réseau de lignes vers l'intérieur du cercle. Notre droite **AB** va donc forcément être prise dans ce faisceau et il y aura obligatoirement une ligne de ce faisceau qui sera la plus proche de notre droite **AB**. C'est elle qui va figurer le cap donné par un rhumb défini, c'est ça dire arrondi au rhumb le plus proche

soit à 11,25 degrés près. Pour lire ce cap, il faut se rappeler que, par construction, toute ligne du marteloire est parallèle à une des lignes passant par le centre du portulan et qui constitue une rose dont le points d'intersection avec le cercle extérieur du bâti est répertorié comme point de la rose. C'est donc cette parallèle répertoriée de la rose qui va nous donner nommément le cap à suivre. Le marteloire n'est, somme toute qu'un rapporteur incorporé.

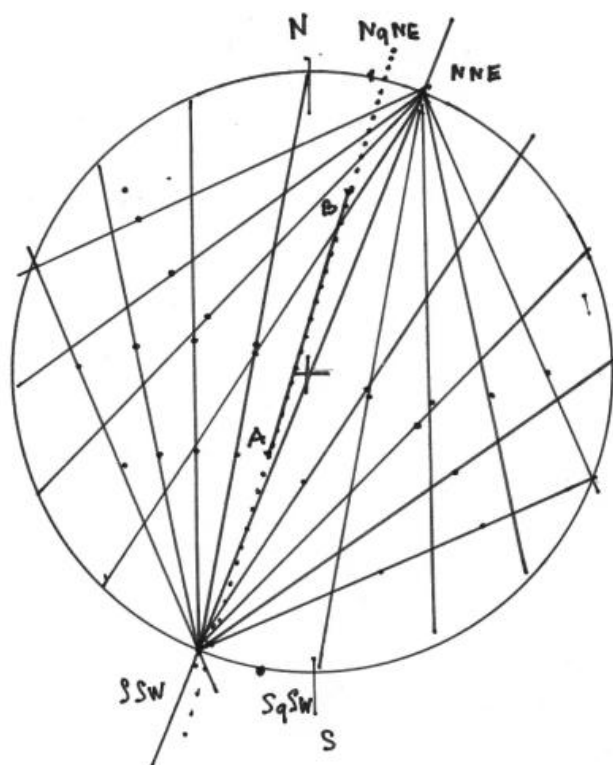


Fig 2.

Soit une route quelconque AB, ce n'est donc pas un diamètre, on voit qu'elle coupe le cercle du bâti en 2 points qui sont le plus proche NNE et de SSW, à l'oeil on voit que la direction la plus proche est cette diagonale car elle la coupe selon un angle minimum.

2-3.3 Validation de la méthode.

D'une façon générale, il est courant de travailler sur des plans approximatifs. Les résultats seront censés représentatifs dans la mesure où l'erreur qui en résulte reste non significative, c'est-à-dire acceptable pour un usage courant. Dans le cas qui nous occupe nous pouvons

considérer, d'une part, les erreurs sur les paramètres mesurés ou estimés et, d'autre part, les erreurs sur les données, c'est-à-dire sur le cadre à l'intérieur duquel s'applique la méthode de l'estime : la carte. C'est une question de valeur comparée de l'erreur dans l'application et de l'erreur due au plan. Tant que l'erreur dans les mesures sur le terrain reste supérieure à l'erreur due à la conception de base du plan, l'utilisation de ce plan est légitime dans son principe. Confondre le plan tangent et la sphère c'est confondre la longueur d'un segment porté selon le grand cercle avec la même longueur portée selon la tangente. C'est donc presque confondre l'arc et sa corde (pour la commodité des calculs). Prenons un exemple chiffré pour expliciter un peu ce propos théorique. Si, partant du point A, le navigateur se dirige vers le point B, distant de 120 milles nautiques, soit 222,24 km, selon l'arc. La longueur de la corde correspondante est de 222,17 km. Soit une différence de 70 mètres. Cette erreur est due à la confusion de l'arc et de sa corde, elle correspond donc à l'erreur due à la conception³³⁸ de la carte par rhumbs et distances. Il faut comparer cette erreur avec l'erreur d'application de l'estime. C'est celle que supporte le point estimé que l'on construit avec des paramètres supportant des approximations d'un demi rhumb dans le cap et de 5% environ sur la vitesse. On peut démontrer qu'au terme de la même distance parcourue, la position estimée se trouve dans un rectangle d'incertitude de 43 km sur 11 km³³⁹. L'erreur de conception correspond à une erreur de 0,3% à comparer aux erreurs dues à l'estime qui peuvent se monter à 20 % sur la direction et 5% sur la distance. L'usage du plan, dans ces conditions, reste relativement sûr.

A-Erreurs conceptuelles.

La validation de la méthode consistera à étudier les erreurs dues à la conception de la méthode. Tant que ces erreurs restent inférieures à celles des applications de la méthode, on peut dire que la méthode est validée. Dans ce paragraphe seront traitées des erreurs qui

³³⁸ 120 milles correspondent à l'arc sous-tendu par un angle au centre de la terre de 2°, par définition du mille marin égal à une minute d'arc ; la formule de la corde correspondante est donnée par la formule $2r \sin(\alpha/2)$ soit $L = 2 \times 6366 \times (\sin 1^\circ \text{ soit } 0,01745) = 222,17 \text{ km}$

³³⁹ Si on admet, comme nous le verrons dans le point sur consacré aux limites de l'estime, que l'erreur en direction est égale à un rhumb de vent et que l'erreur sur la distance est de 5%, comme semble le prouver les chiffres donnés par Christophe Colomb. On obtient erreur en due à l'erreur en distance $= 5/100 \times 222,24 = 11,11$

concernent aussi bien le portulan que l'estime puisqu'elles sont également affectées dans leur principe mais à un degré différent par les mêmes erreurs de mesure.

Premier biais : confusion entre l'arc de grand cercle et loxodromie.

Que l'origine du système soit l'application des techniques cadastrales ou une analogie avec les cartes du ciel importe peu, car, dans les faits, aussi bien le cartographe que navigateur commettent la même erreur ils confondent visée et cap. Il semble évident que prendre un cap déterminé, c'est aller droit devant soi, c'est donc viser le but à atteindre. C'est une illusion géographique. Les rayons lumineux se déplaçant selon une droite, viser du point A le point B consiste à aller en ligne droite dont l'équivalent en géométrie sphérique est l'arc de grand cercle. Le grand cercle est l'intersection de la sphère et du plan qui contient le cercle de la sphère et les points A et B, c'est un diamètre de cette sphère. Aller sur la sphère du point a au point B en gardant le même cap c'est suivre une courbe qui coupe tous les méridiens selon le même angle, le cap. Cette courbe est une loxodromie qui est une spirale tracée sur la surface de la sphère qui s'enroule autour de celle-ci pour venir finalement tangenter le pôle. La distance parcourue est légèrement supérieure puisque la droite est le chemin le plus court pour aller d'un point à un autre.

On appelle, en navigation, le grand cercle, orthodromie pour bien distinguer entre navigation loxodromique et orthodromique. Dans le même ordre d'idées, l'angle de visée du point B à partir du point A est en fait différent du point cap à suivre pour atteindre ce même point. La différence est ce l'on appelle la correction Givry. Il faut bien admettre que ces différences sont minimes. Les différences entre route loxodromique et orthodromique que l'on sait maintenant tracer et calculer sont minimes, elles représentent environ 3%, dans le pire des cas. Il en est de même de la correction Givry aux environs de 1 à 2 degrés. C'est donc une position plus de principe que d'ordre pratique. Ce ne joueraient que pour les liaisons intercontinentales et disparaît en regard des distorsions de la carte dues à la projection d'al-Biruni que nous avons déjà examinées au chapitre précédent.

Deuxième biais, l'orientation ne tient pas compte de la déclinaison magnétique

Il faut bien remarquer que tous les angles sont donnés en caps et, plus précisément, en caps compas, comme le navire est à l'époque, en bois, on est donc supposé avoir une déviation du compas nulle (cette déviation résulte de l'action des fers du navire sur le compas) et n'être soumis qu'à la déclinaison magnétique, les caps donnés sont donc des caps magnétiques, différents des caps vrais ou cap géographiques. Mais le portulan est construit à partir du *compasso* dont les seules données sont mesurées à partir de la boussole ; ce sont donc des caps magnétiques à suivre pour aller d'un port à un autre, sans aucune correction, puisque le phénomène de la déclinaison est encore inconnu. Cette déclinaison s'applique donc à chaque mesure et agit donc comme autant d'erreurs systématiques qui affectent chacune des données dans le même sens.³⁴⁰ En ce qui concerne les erreurs accidentelles, on ne peut retenir que le fait de ne pas tenir compte des différences dans la déclinaison magnétique selon le lieu. Mais dans la pratique médiévale du XIII^e siècle, cette erreur est négligeable dans le sens que la surface couverte par la carte étant limitée, les variations locales de déclinaison restent négligeables en regard de l'imprécision des mesures.

D'un second point de vue plus théorique, celui-là, il faut examiner les conséquences de l'erreur systématique que constitue le fait de négliger la déclinaison magnétique. Elle

³⁴⁰ La route est ce qui se lit sur la carte c'est la direction qu'il faut suivre sur le globe terrestre pour arriver à destination. Le cap est l'angle avec le Nord que l'on doit suivre au compas pour sui que le navire navigue selon cette route. Pour le pilote médiéval il n'y avait aucune différence entre route et cap pour les raisons ci-dessus exposées. En effet, les corrections qui séparent la route du cap se sont mises en évidence avec l'expérience, au fur et à mesure que la méthode s'affinait.

La route sur la carte est la route fond c'est-à-dire la route vraie, celle que l'on pourrait graver sur le globe terrestre pour la suivre jusqu'à l'arrivée. Une première correction concerne la dérive due au courant, elle se calcule par un diagramme vectoriel sur la carte. Une deuxième correction concerne la dérive due au vent. Après application de ces deux dérives, on obtient le cap vrai, qui est l'angle avec le nord que l'on doit suivre au compas pour courir sur la route vraie. Il faut, maintenant, corriger de la variation pour obtenir le cap au compas. Cette variation est composée, elle-même, de 2 corrections : la déclinaison magnétique qui est la différence d'angle entre l'orientation de l'aiguille sur le cap magnétique et le cap vrai, car le pôle magnétique n'est pas situé au pôle géographique. Il faut y ajouter la déviation du compas qui est une erreur propre à chaque compas qui peut avoir différentes causes, les frottements sur le pivot induisent une erreur mécanique, ou bien encore, la présence de fers proches du compas induisent des erreurs magnétiques, ou bien aussi une multitude d'autres sources d'erreurs sont possibles.

Il a fallu des siècles pour analyser, corriger et compenser ces différentes erreurs. La chronologie de ce processus est bien difficile à établir et il est difficile de savoir, surtout au début de la méthode. Ce que l'on peut dire c'est que parmi nos auteurs étudiés, Christophe Colomb a eu conscience de la variation car précisément il effectuait des variations c'est-à-dire le contrôle du compas par l'observation du nord vrai, ce qu'il savait faire. En ce qui concerne Ibn Majid, il connaissait l'existence de la dérive due au courant, mais il ne dit rien quant à sa correction, il connaissait également la dérive due au vent et la corrigeait en « coupant les rhumbs avec les ciseaux » c'est-à-dire en prenant de la contre dérive au compas. Il connaissait aussi la variation qu'il semble appeler *sumka*, sans que l'on puisse établir, d'après son texte, s'il s'agit de la déviation du compas ou de la variation totale et sans qu'il précise par quelle observation il pouvait l'évaluer.

s'applique, donc, aussi bien aux données qu'aux mesures des paramètres. Le système reste cohérent en ce sens que les données étant affectées de cette erreur systématique les résultats seront affectés pareillement, mais c'est sans conséquence puisque ce sont ces résultats non corrigés qui sont précisément utilisés par le navigateur. Les mesures sont faites à partir de la boussole qui est aussi utilisée pour collecter les données de la carte. Elles présentent, donc, aussi bien, pour le constructeur de la carte et pour son utilisateur, la même erreur portée dans le même sens. L'utilisateur ne sera jamais donc jamais les conséquences de cette négligence ; la carte est fausse, certes, mais les mesures de l'utilisateur le sont aussi et dans le même sens.

Cependant, bien qu'il n'ait aucune conséquence dans l'utilisation pratique du portulan, il est certain que ces erreurs introduisent un biais qui se traduit par le fait que le portulan se présente de guingois par rapport aux coordonnées géographiques. Tous les caps et en particulier le Nord et l'Est sont affectés et le dessin « tourne » légèrement sur son point central. Mais comme il est cohérent les positions respectives des ports restent respectées, ce qui se traduit par le fait que le dessin des côtes apparaît exact. En règle générale, les résultats sont plutôt satisfaisants en pratique. Ces problèmes de déclinaison magnétique ne sont apparus que relativement tard et après 1500, en tout état de cause. Il a fallu, en effet, s'écarter des eaux européennes pour y être sensibilisé. Comme nous y avons déjà fait allusion dans le précédent chapitre c'est à proximité des pôles magnétiques et géographique que la déclinaison magnétique devient importante aberrante. L'Europe est dans un marais magnétique où cette déclinaison change peu. Monique de la Roncière se pose le problème de savoir si Vesconte n'en aurait pas eu la prescience, quant à nous, nous savons, que Colomb s'y est trouvé confronté, mais c'est Diogo Ribeiro qui, en 1529, a corrigé, le premier, la carte par rhumbs et distances de la déclinaison magnétique et qui a redressé le dessin de la Méditerranée avec Gibraltar à la hauteur de Rhodes et non pas d'Alexandrie comme avant cette date.

Troisième biais, le navigateur néglige la dérive.

En ce qui concerne la dérive, c'est à dire la correction qu'il faut appliquer au cap pour obtenir la route vraie, la confusion semble totale. Si nous nous reportons au texte Colomb n'attribue la dérive qu'au seul courant: « *Ce jour avec la nuit, naviguant sa route qui était de l'Ouest, ils*

coururent 33 lieues ... les courants leur étaient contraires. »³⁴¹. Ou bien encore : « Il suivit sa route à l'ouest, ils coururent le jour et la nuit plus de 50 lieues... le courant les aidait ».³⁴²

Mais en tout état de cause, il n'est jamais question de la prévoir, il ne fait que la subir. De plus il ne parle même pas de la dérive due au vent et ne prévoit aucune correction du cap selon les allures. Dans ces extraits Colomb s'étonne, selon les cas, d'aller plus vite ou moins vite qu'il ne le pensait. Les résultats de l'estime lui semblent donc démentir ses impressions, et il en attribue la responsabilité au courant. **Ceci nous semble, paradoxalement, être la preuve que les navigateurs mesurent leur vitesse par un moyen ou par un autre et ne se fient pas seulement à de vagues impressions, puisqu'ils restent surpris par les résultats de leurs observations.** En fait, pour lui, la dérive est un *deus ex machina* ; c'est une explication *a posteriori* lorsque la position supposée se trouve infirmée par la position observée. Au cours du voyage aller, il cherche, semble-t-il, les îles d'Antilla à l'Ouest des Canaries et ne les trouve pas (évidemment, elle n'ont jamais existé) mais il attribue ce rendez vous manqué au courant. « *Car si on n'est pas tombé dessus, la cause de cette différence ce sont les courants qui ont sans cesse dévié le navire vers le Nord-Est et qui avaient fait que la route n'était pas celle que les pilotes annonçaient* »³⁴³.

Erreurs sur les mesures des paramètres et erreurs sur les données

Nous avons déjà détaillé au chapitre précédent les erreurs de conception du portulan, mais alors comment se fait il que le portulan, ait été en usage jusque bien après la découverte de Mercator, pratiquement jusqu'au XVII^e siècle ? Il faut comprendre que les erreurs de tracé n'étaient pas sensibles pour le marin. Il y a là un paradoxe apparent, en ce sens, que la base des données est acquise par collecte des paramètres individuels. C'est le mérite d'une collecte statistique des données. Très vite, c'est-à-dire à la fin du XV^e siècle, la fabrication des portulans échappé à la sphère privée pour rentrer dans le domaine public. C'est la grande époque de l'école portugaise de cartographie, mais c'est une école royale. C'est la *Casa da Indias* qui recueille et dépouille toutes les données collectées auprès des capitaines de retour des Indes. Il n'y a là aucune difficulté, puisque la navigation est un monopole d'Etat. Ces

³⁴¹ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento. Notas y comentarios al Diario de Colon*. Edit. Instituto de ingenieros técnicos de España. Madrid 1492. Jeudi 13 Septembre, p. 61

³⁴² José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit.* Lundi 17 septembre p 64

³⁴³ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit.* Mardi, 25 Septembre p 68

données sont donc vérifiées et incorporées dans un *padrão real*, la carte-mère à partir de laquelle seront émis tous les portulans. Evidemment ce *padrão real* est secret. Les Espagnols copieront fidèlement le système et la *Casa de Contratacion* de Séville deviendra le bureau hydrographique national, dirigé par un *piloto major*. Les noms que l'on accole, désormais aux principales cartes de cette époque sont en fait les noms de ce *piloto major* ou de son homologue portugais, à l'exception de quelques « renégats » œuvrant au bénéfice de quelque grand prince étranger. Le système permet, grâce au traitement statistique, que la précision des données dépasse celles des paramètres particuliers qui restent, quant à eux, des variables aléatoires.

En fait les erreurs dues à la méthode de navigation, l'estime sont alors bien supérieures à celles incorporées à la carte, y compris les erreurs de principe dont nous avons essayé, un peu plus haut, de démontrer l'importance toute relative et qui ne sont donc d'aucune conséquence pratique. En revanche ; les erreurs dues aux incertitudes d'une navigation particulière restent importantes. L'erreur sur le cap est due à l'incertitude de la mesure du cap sur la boussole, elle est loin d'être négligeable, à un demi-rhumb et après l'avoir transformée en radians, elle peut atteindre 10%, voire 20%, de la distance parcourue. En théorie l'erreur sur la distance parcourue est bien moindre : 5% dans la pratique³⁴⁴. La combinaison de ces deux erreurs donne donc une surface d'incertitude qui peut se révéler très importante et dépasser de beaucoup les imprécisions et approximations de la carte qui pourront être considérées comme négligeables³⁴⁵. C'est ce que nous avons déjà détaillé plus haut. On pourra donc continuer à utiliser la carte sans même pouvoir remarquer ses incertitudes ; on peut plaisamment dire que le portulan est une carte, théoriquement fausse, ce qu'on ne peut déceler dans son utilisation qui reste satisfaisante. Pour avoir une idée sur les limites réelles de l'estime, il nous faut examiner des résultats chiffrés de l'utilisation de cette méthode au point de vue pratique.

³⁴⁴ On se réfère ici aussi au voyage de Colomb quand celui provoque une conférence des pilotes en plein Atlantique au voyage aller. Après 500 lieues de course, les chiffres donnés par les trois pilotes qui ont travaillé séparément par la force des choses sont étonnants : 5 % d'erreur,

³⁴⁵ Explicitons : les erreurs de la carte plane ont été révélées lorsqu'on a voulu faire correspondre les positions d'un port sur la carte plane à la position du même port donnée par les coordonnées géographiques, latitude et longitude. Si par exemple sur un portulan construit à partir du port de Gênes on considère le positionnement de Carthagène ne Espagne, nous aurons pour ce port deux positions possibles selon l'une ou l'autre méthode. Maintenant, si dans la pratique nous faisons route sur ce port, la zone d'incertitude de l'estime au terme du voyage sera suffisamment vaste pour contenir ces deux positionnements. Ce qui relativise l'erreur de principe de la carte plane qui reste opérationnelle tant que l'on reste dans une surface géographique limitée.

B Application chiffrée, l'estime de Colomb

Dans ce point nous allons parler de l'estime de Colomb telle que nous avons tenté de la reconstituer à partir des éléments de son journal de bord. Il ne s'agit pas de la totalité de son estime mais d'un moment particulier, celui de son passage aux Açores lors du voyage retour, car nous pouvons confronter à cet instant précis les différentes positions estimées, résultats de ses calculs qu'il nous livre à ce moment-là avec une position vérifiée, celle de son atterrissage sur l'île de Santa Maria dans cet archipel. C'est dire que nous allons passer en revue les applications pratiques de ce nous avons exposé dans les deux précédents chapitres d'une façon plutôt théorique.

Les deux estimes

Nous voyons que Christophe Colomb, à travers ses textes possède des rudiments de navigation astronomique mais, apparemment, il ne domine pas la méthode, alors qu'en revanche, il reste un maître de l'estime. A son époque, cette méthode est déjà un acquit depuis presque deux siècles et Christophe Colomb, jeune, bénéficie d'une formation traditionnelle de navigateur méditerranéen à Gênes, une des patries d'origine de la méthode. De plus on sait que lorsqu'il arrive au Portugal à la suite d'un naufrage, c'est déjà un marin consommé, il s'établit à Lisbonne auprès de son frère aîné, facteur de portulans sur cette place pour le seconder dans cet art. Nous avons donc toutes les raisons de lui faire confiance dans l'art de naviguer à l'estime.

Quoi qu'il en soit, son journal de bord est très instructif. Il ne cesse depuis son deuxième départ des Canaries de tenir une estime deux fois par jour une premier fois, à la pointe du jour où il faisait sans doute un point pour établir ses plans pour la suite du voyage et une seconde fois à l'entrée de la nuit où, en bonne logique, il déterminait ce à quoi il devait s'attendre durant les heures d'obscurité, et prenait ses dispositions en conséquence, par exemple de régler la voilure pour ralentir la vitesse afin d'atterrir dans la mesure du possible à la pointe du jour.

Son journal nous apprend que pressentant l'arrivée imminente dans les eaux de l'Archipel, il tente en vain de faire une observation astronomique pour déterminer le moment où il devait prendre son cap à l'Est pour entamer son retour au Portugal. On est dans les approches des Açores, d'après ses intuitions corroborées par des observations physiques de climat et de durée de jour. A défaut, donc, d'une confirmation astronomique, il décide d'aborder la dernière ligne droite entièrement à l'estime. A partir du 6 Février Colomb va faire le point estimé quasiment chaque jour pour préparer l'approche des Açores. Il continue son cap à l'Est : *Leste franco* dit-il, c'est-à-dire non pas route vers l'Est, mais cap au 90 très précisément. L'intérêt pour nous est que nous avons désormais les éléments pour suivre cette estime. Or cette route vient finalement buter le 15 Février sur l'île Santa Maria ce qui nous donne un point exact. On pourra donc analyser les écarts entre les positions de l'estime et des positions vraies.

Pour pouvoir suivre ces calculs estimés, il nous faut comprendre les conditions qui président à ces points. Ce n'est que le 10 Février que le texte livre ces détails³⁴⁶ : « *Sur la caravelle de l'amiral les pilotes travaillaient sur la carte et faisaient le point, Viceinte Yanes (le capitaine de la Nina) et les deux pilotes, Sancho Ruiz (le deuxième pilote) et Pero Alonzo Nino y Roldan (le premier pilote)* » L'expédition ou ce qui en reste : deux navires la Pinta et la Nina est organisée comme une escadre navale. L'amiral a mis sa marque à bord de la Nina qui reste commandée par son propre capitaine Viceinte Yanes aidé de ses deux navigateurs Ruiz et Roldan. Ceux-ci font chacun pour soi l'estime et croisent leurs résultats. Le capitaine Viceinte Yanes effectue une synthèse et c'est cette synthèse que Colomb appellera la position de Viceinte. De son côté, Colomb fait sa propre synthèse, c'est ce qu'il appellera sa position. Il est possible que Yanes et Colomb aient eux aussi fait leurs propres calculs pour éclairer leur synthèse. Faire le point estimé est une opération fastidieuse où il faut reprendre toutes les routes suivies depuis le point de départ. Ce point de départ c'est le dernier point vérifié en vue de terre ; en ce qui concerne ce voyage, le dernier point connu est le passage aux Canaries, le 6 Septembre 1492 lors du deuxième départ des Canaries et à plus de 10.000 kilomètres et à 4 mois de là. Les passages à Cuba et à Hispaniola ne comptent pas comme points vérifiés,

³⁴⁶ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 213

puisque s'agit de terres nouvelles, non placées sur la carte. Le texte laisse supposer que Viceinte apparemment se basait surtout sur les résultats du premier pilote Ruiz et que Colomb suivait plutôt le deuxième, Alonso Roldan. Ce sont donc ces deux positions estimées différentes que nous devons confronter avec le point final exact à l'arrivée à Santa Maria.

Y a-t-il un biais dans les positions données par Colomb ?

José Martin Lopez, le commentateur de la copie que nous exploitons ici pour des raisons techniques, déjà exposées, porte un jugement plutôt négatif sur Colomb. Il le justifie par les nombreux faits qu'il relève à travers son journal³⁴⁷. Il s'appuie également sur une lettre datée des Canaries et écrite à bord le 15 Février.³⁴⁸ Il en conclue que Colomb se pense aux Canaries alors qu'il aborde les Açores. Cette lettre, qu'il cite, peut être retrouvée dans la copie de Consuelo Varela qui édite tous les écrits de Colomb³⁴⁹. Selon notre opinion, la localisation de cette lettre aux Canaries peut être motivée par des raisons autres que la position géographique du navire à ce moment. Il écrit cette lettre dans des circonstances très particulières, alors que Colomb, pris dans un coup de temps, se pense sur le point de disparaître corps et biens. Elle est alors placée dans un tonneau disposé à la poupe pour surnager, en cas de malheur, et jouer ainsi le rôle de la bouteille à la mer³⁵⁰. C'est une sorte de testament où il confie à Santagel, écrivain des Rois, un résumé des découvertes qu'il a faites, pour qu'elles ne soient pas entièrement perdues pour le Roi d'Espagne. C'est un document important et officiel qui risque de tomber dans n'importe quelles mains, puisque confié aux bons soins de la Providence. Une lettre datée des Canaries et adressée à la Cour d'Espagne est un courrier officiel espagnol et ce fait peut incliner celui qui la trouvera sur la grève à faire suivre. Ceci est une assomption parmi d'autres possibles. Nous pensons, quant à nous, que Colomb, son journal en fait foi, savait parfaitement être dans les eaux des Açores.

³⁴⁷ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 205 note 408

³⁴⁸ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* P. 217 note 429 En fait écrite et « postée » le 14, veille de du premier contact avec Santa Maria, mais effectivement datée du 15.

³⁴⁹ Consuelo Varela *Textos y documentos.... Op.cit. Carta a Luis de Santagel* p 139-146

³⁵⁰ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.ci.* p. 214-217 Jeudi 14 Fevrier

Lopez étudie et cherche à reconstituer un voyage de découverte d'après le récit du découvreur. En ce sens, il est habilité à considérer l'équation personnelle du découvreur, dans un but de rectification. En ce qui nous concerne, notre objectif est beaucoup plus limité, nous n'étudions que l'évolution des techniques de navigation médiévales et leur stade d'évolution au XV^e siècle, à travers la pratique de l'époque. Colomb, n'est, dans cette optique, qu'un utilisateur, parmi d'autres, et n'utilise que les techniques généralement utilisées par la masse des navigateurs de son temps, sa personnalité influe peu sur cette pratique universelle. Cependant, nous sommes bien obligés de prendre en compte les résultats de cette enquête de personnalité, en ce sens que Lopez soupçonne Colomb, de truquer ses résultats. Il le pense capable de donner des positions recalculées *a posteriori* pour prouver sa supériorité de navigateur. Il y a donc là une possibilité de biais qui hypothèque nos calculs et ceci exige un examen approfondi.

D'autant plus que Colomb avoue lui-même avoir travesti quelque peu la vérité en donnant au voyage aller à l'équipage des résultats des courses quotidiennes systématiquement minorés pour ne pas effrayer ses hommes par des distances inhabituelles pour les voyages de l'époque. Cependant, nous notons qu'il s'agit en fait d'une double comptabilité où Colomb note soigneusement les distances réellement courues afin de (nous le supposons) tenir une estime aussi rigoureuse que possible. Reprenons le texte du jour où ils découvrent l'île de Santa Maria, le Vendredi 15 Février³⁵¹ : « *Après le lever du soleil ils aperçurent la terre, elle leur apparut sur l'avant, à l'Est-Nord-Est (ils sont cap à l'Est) ; certains disaient que c'était l'île de Madère, d'autres que c'était la falaise de Sintra au Portugal, proche de Lisbonne. Bien vite après, le vent sauta à l'Est-Nord-Est, venant de l'avant et une mer très grosse venait de l'Ouest ; il y avait alors de la caravelle à la terre 5 lieues. (Devant le temps qui devient défavorable, Colomb est obligé de changer de route et il va perdre momentanément la terre de vue) L'Amiral par sa navigation se trouvait être dans les îles des Açores, et pensait que celle-ci et en faisait partie. Les pilotes et les marins se trouvaient déjà en terre de Castille.* » Cette déclaration paraît confirmer la tendance que dénonce Lopez. Nous n'irons pas si loin car à l'examen cette déclaration n'est qu'une simple assertion sans aucun chiffre à l'appui. Quand nous analyserons les chiffres tels qu'on peut les déduire des mentions du journal on s'aperçoit que les résultats à partir de ses propres données ne justifient pas cette assertion qui

³⁵¹ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 217

est donc une pure vantardise. Autrement dit ses chiffres sont bien plus crédibles que ses déclarations qui paraissent très approximatives. En effet si l'équipage se croyait en Espagne, les pilotes avaient une idée bien plus précise de la situation. Mais après tout, c'est la loi du genre : s'il ne se glorifie pas lui-même, qui le fera ? Nous continuerons donc à suivre les mentions du journal de bord et à considérer généralement comme sincères les positions respectives de Yanes et de Colomb qui de plus ne sont vraisemblablement que des positions déduites du travail des pilotes.

Analyse de l'estime de Colomb

Ici, il va falloir quitter l'analyse chronologique du document pour une approche plus analytique, les calculs demandent, en effet, de nombreux retours en arrière. L'organisation de la navigation passe par l'estimation de la distance parcourue à partir de la vitesse exprimée en mille génois de presque 1500 mètres par heure, soit deux ampoulettes, qui sert à découper le temps. Les résultats sont donnés en lieues à raison de 4 milles pour une lieue, soit 5,9 kilomètres arrondis à 6. Le total des milles est fait après chaque nuit et à la fin de la journée. Le point est calculé au lever du jour ce qui est logique, car cela permet les réglages de voile qui demandent l'équipage au complet « en haut » pendant la journée. La nuit étant réservée uniquement aux manœuvres strictement nécessaires pour la sécurité. La journée part donc du coucher du soleil jusqu'au lever, suivi du plein jour jusqu'au coucher. Autrement dit, lorsque Colomb inscrit la distance parcourue pour une date donnée, il énonce la distance courue pendant la nuit qui précède cette date, la position au lever du jour qui est la position à ce jour, puis la distance courue jusqu'au coucher du soleil.

Colomb va livrer certaines indications de position estimées qui sont données par les passages du navire sur la ligne Nord Sud des points remarquables de la carte. Ces points estimés peuvent être comparés au seul point exact qui nous est donné pour le 15 février, quand il voit Santa Maria, droit devant, à 5 lieues alors que le bateau est cap à l'Est. Ce point réel est donc : La pointe Ouest de Santa Maria au 90 et à 5 lieues. Le cap suivi est du 90, sauf pendant la journée du 8 où l'amiral fait un bord vers le Sud-Est et pendant celle du 9 où il fait un bord pour des raisons qu'il n'explique pas mais que l'on peut supposer. Il est supposé naviguer en éventail pour tenter d'élargir son champ de vision en balayant ainsi l'horizon. Dans la tempête

qui se lève à partir du dans la nuit du 11 au 12,³⁵² il continue sa route plein Est, même quand il prend la cape sèche (*Anduvo a arbol seco lo mas de la noche*)³⁵³. Ce n'est que le 14 où il pense sérieusement périr qu'il va prendre une allure de fuite. Les lames lui imposent d'aller au vent arrière pour pouvoir encaisser les déferlantes par l'arrière, partie la mieux protégée des caravelles. Il dévie donc, à cette occasion, sa route vers le Nord Est.³⁵⁴ Courant vers l'Est les méridiens de passage sont des **droites de vitesse** et les parallèles sont des **droites de position**. Le texte donne le détail de toutes les routes et les caps du 6 au 15 Février, jour par jour. En revanche les données concernant les positions sont données partiellement et à des dates diverses. Ceci ne doit pas nous arrêter. Avec **la technique du transport** nous allons ramener ces éléments à leur position virtuelle à la date du 15 au matin, pour comparer l'estime au point réel. Pour cela il suffit de faire glisser la droite de vitesse ou de position parallèlement à elle-même selon le chemin Est-Ouest pour les droites de vitesse ou Nord-Sud selon les déplacements donnés par le journal de bord. Ces déplacements sont obtenus par un graphique annexe où sont reportés tous les caps et distances parcourues jour après jour du 6 au 15 Février.

Tout d'abord nous allons nous inquiéter de la route générale suivie. Comment Colomb a-t-il pris sa décision de changer de route ? Nous savons qu'il n'a pas pu prendre de hauteur de polaire, le 3 à cause de la houle, cependant il note par des observations diverses qu'il doit être à la latitude où il faut tourner. Le 2 Février : « *le fond de l'air était très doux. Ils virent la mer couverte d'algues qui si ils ne les avaient pas déjà vues auparavant , aurait pu faire **craindre la présence de hauts fonds*** ». Le 3 Février : « *Cette nuit, courant avec une mer de l'arrière très lisse, l'étoile du nord lui parut très haute comme au cap Saint-Vincent. Il ne put prendre sa hauteur ni avec l'astrolabe ni avec le quadrant, car la houle ne lui en laissa pas la possibilité. Le jour il navigua à l'Est-Nord-Est ...* ». Le 4 Février « *Il trouva un ciel très chargé et pluvieux et le fond de l'air se rafraîchit quelque peu grâce à quoi il put reconnaître qu'il n'était pas encore arrivé aux îles Açores. Au coucher du soleil il changea de route et mit cap à l'Est*³⁵⁵ »

³⁵² José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 213

³⁵³ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 214

³⁵⁴ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 214-217

C'est donc le 5 Février (le 4 au soir en fait) que Colomb abandonne la route vers le Nord-Est pour s'engager franchement vers l'Est. Il vient donc de terminer la *volta* et il rentre sur la péninsule ibérique. « *Cette nuit il navigua à l'Est³⁵⁶ et courut durant toute cette nuit sur 54 milles qui font 14 lieues moins une demi lieue. Pendant la journée il courut à 10 milles par heure pendant 11 heures qui font 27 lieues et demie. Ils virent des pardelas et des palillos (des oiseaux de mer indéterminés) qui sont un signe qu'ils étaient près de terre.* »

Il n'a pu prendre la hauteur de la polaire, car, bien que la mer soit plate, il doit y avoir une longue houle qui prend le navire de l'arrière et le fait rouler bord sur bord. Cependant le temps qu'il fait et l'aspect du ciel lui donnent à penser qu'il est assez haut en latitude et la présence d'oiseaux et d'algues dérivantes lui font soupçonner qu'il arrive sur les Açores. Il tourne avant d'y être. Il ne cherche donc pas à trouver les Açores. Plus tard ses points vont le placer (selon ses calculs) sur une route plus Sud que l'Archipel, cap sur Casablanca. Cette route lui paraît parfaite car il n'en change pas, malgré ses confirmations repesées de cette latitude très Sud et il reste cap à l'Est. Cet atterrissage sur Casablanca est en effet une opération raisonnable. Reconnaisant ainsi la côte d'Afrique suffisamment à l'Ouest, il pourra à cet instant faire un point précis et venir de 90° sur la gauche pour traverser la Manche de Gibraltar sur un bord Sud-Nord, au vent de travers directement sur Palos ou sur l'entrée du Guadalquivir. Cette situation est bien plus avantageuse qu'un atterrissage sur Gibraltar où il prendrait le risque de dépasser Palos et d'avoir alors, bien des difficultés pour y retourner, en remontant le flux d'Ouest en hiver, alors que les brises côtières sont souvent prises en défaut, masquées par les vents dus au passage des nombreuses dépressions, propres à cette saison.

Nous allons déterminer maintenant les points estimés qu'il énonce et que l'on peut vérifier sur la carte les 6, 7 et 10 Février. Nous les transcrivons par leur latitude et par rapport à leur projection sur une route Est-Ouest passant par Santa Maria, le point 0 est la verticale de Flores sur cette route. Le 6 Février, Viceinte Yanes se trouvait au matin de ce jour avec Flores au Nord et Madère à l'Est. Roldan (le deuxième pilote) dit que l'île de Fayal est au Nord-Est et l'île de Porto Santo, la seconde des îles de l'archipel de Madère, (celle qui est la plus au

³⁵⁵ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit.* p. 210

³⁵⁶ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit.* p. 210

Nord) à l'Est³⁵⁷. Donc la latitude de Viceinte Yanes était de 32°, 65, celle de Roldan De 33°,1, le relèvement à 22°5 de Fayal coupe le parallèle de Porto Santo sur une verticale positionnée 11 lieues avant Fayal. On peut dire que les deux positions sont concordantes et très au Sud, puisque à la hauteur des îles de Madère. Colomb continue cap à l'Est confirmant par là notre hypothèse d'une route délibérément cap sur l'Afrique. (Nous devons noter que la mention des latitudes est de notre seul fait, afin de figurer les positions d'une façon plus parlante. Colomb, quant à lui, ne se situe que par relèvements et distances par rapport aux îles, telles que figurées sur sa carte.

Le Jour suivant, le 7 Février, Colomb donne sa propre position sur le Nord-Sud de Flores, donc en retard d'un jour par rapport à Viceinte Yanes et à 75 lieues, et le pilote Alonso Roldan, qui selon les calculs de ce dernier est, au même moment, supposé passer déjà par le méridien passant entre Tercera et Santa Maria au dessus de l'île de Madère à 12 lieues au Nord³⁵⁸. La position de Roldan se place donc sur la carte sur un méridien situé 64,5lieues après le méridien de Flores et à une latitude de $32^{\circ},65 + 0^{\circ},66 = 33^{\circ},13$ Nord, soit bien en avance et un peu plus Sud que la position de Colomb, qui est lui-même très au Sud (75 lieues font, à 18 lieues par degré de latitude, $4^{\circ},16$ d'écart en latitude par rapport à Flores, soit $35^{\circ},24$ de latitude Nord, bien au Sud du cap St Vincent, corne de la péninsule ibérique, qui est à 37° Nord. On continue cap à l'Est, donc droit sur le Maghreb.

Le 10 Février, les positions se précisent « *Sur la caravelle de l'amiral travaillaient sur la carte et faisaient le point, Viceinte Yanes et les pilotes Sancho Ruiz et Pero Alonzo Nino y Roldan.....Mais l'amiral se trouvait bien à l'écart de cette route se trouvant bien plus en retard car cette nuit l'île de Flores lui restait au Nord et vers l'est il était cap vers Nafe et il passait au nord de l'île de Madère a ... lieues (le chiffre devait être illisible sur le brouillon du journal).et c'est ainsi qu'il était plus près de la Castille que l'amiral de 150 lieues* »³⁵⁹.

³⁵⁷ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 211

³⁵⁸ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit* p. 211

³⁵⁹ José Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento Op.cit.* p. 213

L'Amiral a changé sa position du 7 au 10 ou plus exactement il est resté toujours à la verticale de Flores, augmentant, de ce fait, son retard. Cette brusque rectification respire le procédé et abonde dans le sens du jugement de Lopez. Quant à sa route, il se déclare cap à l'Est sur Nafe soit Anfa l'ancien port naturel de la moderne Casablanca qui est à $33^{\circ},6$ Nord. C'est un peu plus au Sud que sa première position, mais reste cependant cohérent. En effet, il a tiré des bords, le 8 et le 9, mais le déplacement résultant vers le Sud n'est que de 13,2 lieues qui lui donne une latitude transportée entre le 7 et le 10 de $35^{\circ},24 - 0^{\circ},73 = 34^{\circ},50$, à comparer avec la latitude de Anfa, $33^{\circ},66$. Il continue toujours cap à l'Est à vitesse très réduite, en raison d'un coup de temps, confirmant de nouveau notre hypothèse que la route suivie est une route Sud. Il continue sa route même quand il prend la cape sèche (*ir a arbol seco*). Ce n'est que le 14 où il pense sérieusement périr qu'il va prendre une allure de fuite vers le Nord-Est que lui impose les lames qui déferlent sur l'arrière.

Positions respectives des estimes le jour de l'arrivée à Santa Maria

Pour pouvoir comparer des éléments comparables, nous allons transporter tous ces points jusqu'au 15 Février, y compris la position de Colomb le 10 Février bien qu'elle semble manifestement entachée d'un biais mais que l'on peut évaluer. Le journal de bord donne toutes les indications pour faire ce transport, les caps sont généralement du 90 et les distances parcourues en détaillant bien celles parcourues de nuit et celles parcourues de jour ce qui est bien utile puisque Colomb nous précise que ses positions sont données pour un point au lever du jour. Il donne également le détail des bords tirés le 8, 9 et 14 Février, de telle sorte que grâce à un graphique à part, on peut établir un tableau des composantes des distances parcourues dans le sens Est-Ouest et également Nord-Sud.

Que peut-on conclure des résultats ?

- 1- les 4 positions, 2 d'Alonzo, celle de Yanes et celle de Colomb datée du 7 sont particulièrement bien groupées La position de Colomb du 10 est en revanche aberrante. Mais nous savons qu'il y a un biais. Il s'agit, visiblement, d'un point *ex post*.
- 2- Seuls les écarts entre observateurs ont une signification, ils indiquent la similitude des méthodes employées et un certain soin à établir la position avec précision. En revanche, la position moyenne des 4 observateurs par rapport à la position vraie n'a

aucune signification ; l'analyse de l'erreur moyenne qui est une variable aléatoire nécessite d'avoir à disposition une série statistique, aucune conclusion ne peut être tirée d'une valeur isolée sauf constater que cette erreur est importante.

- 3- L'échelle d'une carte globale ne permet pas la précision employée, ils ont donc, certainement, utilisé des schémas intermédiaires. En effet, 5000 kilomètres d'océan sur un mètre de parchemin donne une échelle de 50 kilomètres pour 1 centimètre soit une lieue au millimètre.
- 4- Le virage pour prendre la nouvelle route, malgré l'absence d'observation astronomique, paraît particulièrement judicieux. Il existait donc des méthodes classiques sans doute issues de la théorie des climats, aspect du ciel et sans doute par l'observation de la durée des jours, assez précises dans leurs résultats. On peut imaginer, par exemple, que la comparaison avec un calendrier établi par exemple à Saint Vincent renseigne le navigateur sur sa position relative. En comparant, date pour date anniversaire, la durée des nuits et de jours on peut avoir une position approchée du navire en latitude. On peut dire qu'en début d'année, plus longue la nuit plus Nord la position. C'est en effet la base du principe des climats de Ptolémée, par définition on passe d'un climat au suivant lorsque la durée de la journée pour une date donnée varie d'une demi-heure.

7 Feu	8 & 9 Feu	10 Feu	10 Feu	11 Feu	12 Feu	13 Feu	14 Feu	15 muel
22 E	30 E 19,2 S	32,5 E	24,5 E	39,16 SE	18-12 E	13 13,5 E	18,5 E 4,8 N	13 E

REPORT DES DISTANCES E-W & N-S PARCOURUES du 7 au 15 FEV
D'APRES LE JOURNAL

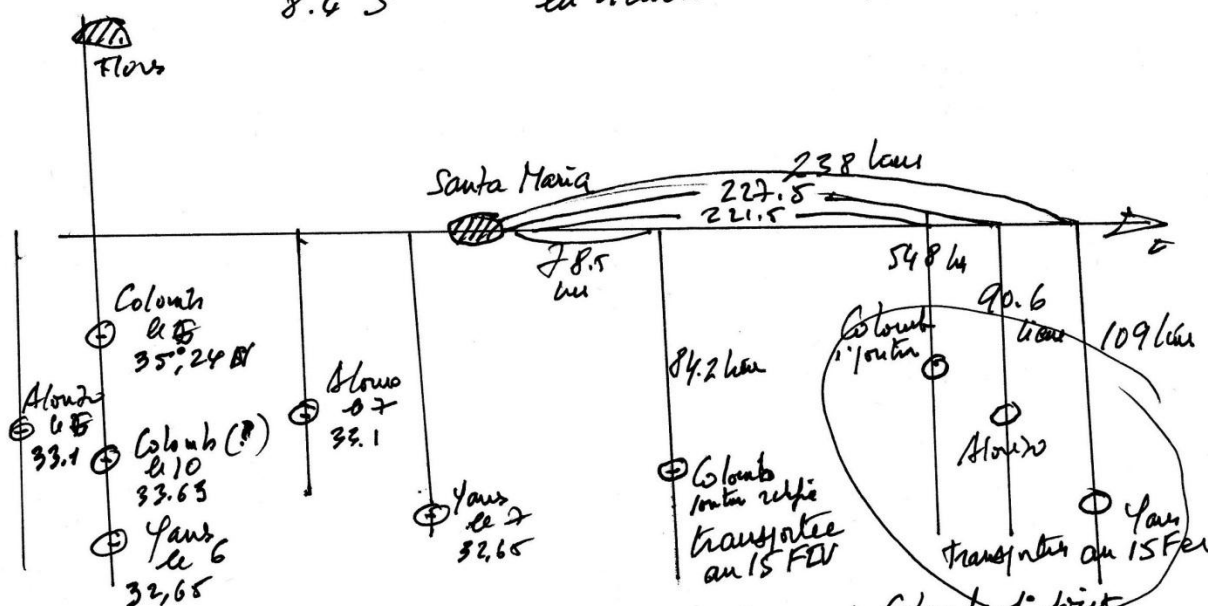
SOIENT DU 7 au 15

252.5 E
8.4 S

en lieues.

et du 10 au 15

168 E
4,8 N



- les points transportés d'Alouzo et Yans et Colomb 1^{er} point sont groupés.
- la portion "corrigée" de Colomb le 10 est abrégée.
- en retard de 117 lieues sur la moyenne des 3.

5-

2-3.4 Conclusion.

La première chose qu'il nous faut observer à la suite de ce qui vient d'être exposé dans les chapitres 2 et 3, c'est que l'estime et la carte marine, même si elles font appel à deux méthodes différentes : analyse vectorielle et coordonnées polaires respectivement, procèdent toutes deux de l'utilisation d'un même principe, le repérage d'un point dans l'espace par la mesure couplée de direction- distance. C'est ce principe qui a introduit en navigation la notion de **point** ou position figurée du navire sur la carte. En navigation côtière on définit désormais

la position exacte par rapport à un amer de la carte. On ne dit plus comme en navigation à vue : « *le navire est en vue ou du cap Saint Vincent, ou bien un peu plus précisément : sous le cap Saint Vincent* ». On peut désormais préciser très exactement en quantifiant l'observation de deux manières mais qui signifient la même chose. On peut dire au choix : « *la position du navire est dans le Sud- Ouest du cap à 5 milles ou bien encore : nous avons le cap à 5 milles par le travers* », en précisant que le navire fait au route au Nord- Ouest à ce moment-là. On obéit au même principe de localisation du navire par direction et distance , en utilisant dans le premier cas le **relèvement** qui est l'angle que fait la direction d'un point visé par rapport au Nord ou le **gisement** qui est l'angle que fait le point visé par rapport à l'axe du navire . Les deux directions sont liées par la relation : $Z_v = C_v + G_{st}$, où Z_v est le relèvement vrai du point de terre, C_v le cap vrai du navire et G_{st} le gisement de l'amer depuis le navire. Le tout étant relié algébriquement après avoir donné aux valeurs un sens par rapport à une orientation dans le sens des aiguilles d'une montre ou son sens contraire, ou plutôt au Moyen Age par rapport au sens direct ou rétrograde, puisque aussi bien le sens des aiguilles d'une montre n'a alors aucune signification. Par ailleurs, la formule qui s'applique en réalité dans ce contexte est plutôt : $Z_m = C_m + G_{st}$. Qui est la même formule où l'on remplace toutes les valeurs vraies par des lectures par rapport au cap magnétique.

Dans un deuxième train de conclusions, il nous faut observer que les résultats des exemples chiffrés nous font toucher du doigt les limites de la méthode. Tout d'abord, Il faut noter les approximations qui affectent la mesure des paramètres servant de base aux éléments du calcul. La mesure de la vitesse est vraisemblablement effectuée selon une méthode dont nous ignorons les détails, mais dont nous nous doutons bien qu'elle manque de précision. En ce qui concerne le cap, les approximations sont encore plus importantes. Le compas par lui-même demande encore de sérieuses mises au point pour devenir un instrument précis et surtout fiable. Les corrections qui devraient affecter la lecture directe des données du compas ne sont pas prises en compte. Nous devons ici mentionner, au premier titre, les dérives et particulièrement celle due au vent, un élément toujours présent sur un bateau à voile du fait de l'existence d'une composante transversale de la force motrice. Cette dérive est complètement négligée, pourtant elle est importante et surtout variable selon les allures du navire. Elle prend alors les caractéristiques d'une erreur accidentelle, impossible à compenser par un artifice logique de calcul. Ce n'est pas le cas de la déclinaison magnétique qui quoique également toujours présente dans les diverses mesures prend les aspects d'une erreur

systématique dans la mesure où on ne s'éloigne pas trop dans l'espace où elle conserve le même sens et une valeur grossièrement constante. Appliquée d'une façon identique, elle affecte dans le même sens les calculs et le support du calcul, la carte ; ses effets sont très limités.

Dans un ordre d'idées qui rejoint le précédent, on doit remarquer que de par sa conception même, la méthode devient plus incertaine au fur et à mesure que son champ d'application s'élargit. La méthode fonctionne en effet à partir d'un principe d'extrapolation. Il s'agit d'une projection dans le futur d'éléments actuels. On dessine la route à faire avec les paramètres mesurés actuels. Evidemment la moindre erreur sur le calcul de ces paramètres se répercute dans la projection et cela d'autant plus que la durée de cette projection est plus longue. Ceci joint à l'approximation sur les mesures que nous venons de passer en revue fait que l'incertitude croît avec la distance estimée. Dès le moment où on s'éloigne du point de départ, dernière position avérée, les positions estimées deviennent de plus en plus problématiques jusqu'à donner les résultats que nous venons de voir dans l'exemple précédent. Pour être acceptable la méthode demande à être utilisée dans le cadre d'une méthode plus générale, celle **du contrôle de la route par approximations successives**. L'estime dégrossit le terrain et donne une position incertaine qui demande à être précisée par une méthode complémentaire, par exemple la navigation côtière. Il faut au bout d'un certain temps de navigation corriger le point estimé par un point observé, obtenu selon le même principe de direction et distance, mais par rapport à un point de la côte reconnu. Lorsqu'on arrivera à des navigations hauturières longues, il faudra, alors, se tourner vers des méthodes astronomiques pour compléter l'estime.

Ce sont ces faits qui détermineront l'évolution de l'histoire de la navigation et en particulier l'impérieuse nécessité de se tourner vers les astres, dès que les voyages au large gagnent en durée. Cependant il ne faut pas se cacher que cette méthode malgré ses imperfections de principe a été utilisée au niveau de la pratique pendant une grande partie du Moyen Age puisqu'elle a duré au moins de 1270, première mention avérée par Guillaume de Nangis et 1433 passage de Bojador où on est en droit de penser, comme nous le verrons, qu'une méthode complémentaire toute nouvelle a été employée.

En effet, l'estime est une méthode mise au point en Occident, qui reflète les caractéristiques de la navigation occidentale et répond précisément à ses contraintes propres. C'est une navigation très déstructurée. Le champ d'évolution est constitué par une suite de bassins communicants, qui de la Mer Noire à la Baltique, forment un réseau quienser une Europe de l'Ouest au dessin très tourmenté. Ce relief éparpillé signifie deux chose : la première conséquence naturelle est que les manifestations météorologiques sont incohérentes ; il n'y a pas de régime unique des vents européens, ni dans l'espace, ni selon la saison. Les vents sont inconstants en direction et variables en intensité. Contrairement à ce qui se produit dans les pays soumis à l'alizé ou à la mousson, il n'y a aucune règle commune dans ce domaine. Même dans les parties où un semblant de cohérence survient quelques fois, par exemple dans les atterrages de l'Europe de l'Ouest atlantique, soumis souvent à un régime d'Ouest, les routes que le navigateur doit suivre, en raison de la géographie complexe, sont des routes constituées de segments brisés dont les directions sont complètement diverses voire opposées. Un grand classique du XIV^e siècle, le voyage de Gênes à Bruges prend le départ selon un axe Sud-Ouest, pour arriver selon un axe Nord-Est. Le voyage devient alors une succession de marches et contremarches dans lequel il est facile de s'égarer sans un repérage soigneux des segments parcourus par directions et distances. C'est ce qui fait l'utilité de l'estime.

Pendant le XIII^e et XIV^e siècle, le gros du trafic maritime était contenu dans des limites maritimes qui allaient de la Mer Noire, en passant par la Méditerranée, jusqu'aux atterrages de l'Europe Occidentale, c'est-à-dire, essentiellement les côtes ibériques et le Golfe de Gascogne. C'est ce que l'on peut appeler du cabotage océanique. Il y a des traversées au large mais entrecoupées de passages côtiers obligés. Du point de vue de l'estime ceci permet de se recalcr en vue de terre à intervalles réguliers. On peut donc à intervalles rapprochés passer en vue de la côte et là, repartir d'un point que l'on vient de vérifier, pour une estime nouvelle. Même des parcours longs comme des voyages d'alun de Chio à Bruges ne sont qu'une suite de parcours fractionnés de bassin en bassin avec des passage obligés par des points remarquables successifs et somme toutes assez rapprochés : des pertuis entre Sicile et Afrique, ou bien Gibraltar ou des caps où il faut tourner, Saint Vincent , Finisterre (en Espagne) ou encore une combinaison des deux , l'île d'Ouessant, les Casquets , les Sorlingues qui sont autant d'occasions de faire des points observés très précis. Ceci ne manque pas de

relativiser les imperfections théoriques de l'estime. Il ne faut pas oublier que l'estime n'est rien sans le support graphique, c'est-à-dire la carte. L'estime aussi bien que la carte des rhumbs et distances sont restés des instruments fiables pendant tout le temps où la navigation demeure cantonnée dans les eaux restreintes de la Méditerranée et des atterrages de l'Europe de l'Ouest. Lorsqu'on regarde ces cartes du tout début du XIV^e siècle qui vont de la Mer Noire jusqu'au Pas de Calais et à l'entrée de la Mer d'Irlande, on est frappé de la justesse des positions des principaux points remarquables, les Dardanelles, le détroit entre la Sicile et la Tunisie, puis Gibraltar, plus loin encore les caps Saint Vincent, Finisterre, et enfin l'île d'Ouessant, les Sorlingues ou encore le bec du Cotentin et le Pas de Calais lui-même. Ce sont tous des points d'atterrissage après une traversée ou des points d'inflexion des grandes routes du commerce maritime. La carte peut être d'autant plus juste que l'ensemble est morcelé en plusieurs cartes, carte de la Mer Noire, du bassin Oriental puis Occidental de la Méditerranée et enfin du golfe de Gascogne qui s'articulent les uns après les autres. Ce sont donc 4 marteloires successifs qui n'ont techniquement pas besoin de solution de continuité très précise ; ils peuvent être dressés indépendamment les uns des autres puisque des pertuis les séparent au passage desquels on quitte la navigation hauturière pour reprendre une navigation côtière à vue. Il a fallu beaucoup de temps pour que ces limites s'étendent peu à peu jusqu'à ce qu'on va appeler la Mer Atlantique, c'est-à-dire le domaine précédent augmenté des îles du large, Açores, Madère et Canaries. Mais cette extension est toute théorique, le gros du trafic reste cantonné le long des côtes européennes. Il y a, évidemment, un trafic marginal dans ces lointains abords, sinon il n'y aurait pas de carte. En principe cette extension aurait dû faire apparaître aux yeux des facteurs de portulans et aux navigateurs les irrégularités qui découlent normalement des déformations entraînées par le plein développement de la projection d'al-Biruni qui devraient être sensibles à partir de cette distance. Sans doute les incertitudes grandissantes de l'estime avec la distance ont masqué ces irrégularités et aussi le fait que la navigation vers ou de ses îles s'effectue de façon radiale de Lisbonne vers les îles et retour. En tout état de cause, la fréquentation marginale de ces parages n'a pas permis le retour sur données de la part des navigateurs.

Enfin dans un troisième train de conclusions, il nous faut revenir sur l'importance de la valeur absolue de l'incertitude dans l'exemple chiffré qui ressort de l'étude ci-dessus concernant le voyage de Colomb. Quelle que soit la part de responsabilité à attribuer respectivement à la carte ou à l'estime, on voit que la valeur absolue de cette erreur dépasse 1000 kilomètres. On

peut dire que Colomb a eu de la chance de « rencontrer » Santa Maria pour recalculer sa position. Sinon on déduit du texte, que, son opinion étant faite d'avoir dépassé les Açores sans les voir, il était prêt à continuer sa route sur son estime, accroissant sans nul doute cette erreur considérable. La distance de La Corogne à Faro n'excède pas 843 kilomètres, c'est dire qu'étant donné l'incertitude de son estime, il aurait été possible qu'il passe la péninsule ibérique toute entière sans seulement la voir. Evidemment il n'aurait pas manqué, dans ce cas de buter contre le continent africain. C'est, cependant, remarquer que de tels niveaux d'erreur enlèvent toute valeur opérationnelle à la méthode en ce qui concerne les navigations hauturières de très longue durée. C'est cette impérieuse nécessité qui a forcé les savants à chercher dans la méthode astronomique, le second niveau de précision dans ce système par approximations successives que suppose une utilisation efficace de l'estime. Le recalage sur la navigation côtière, n'est plus possible en haute mer. Ce sera donc l'objet de la troisième partie.

Deuxième Partie.

2-4.0 Conclusion de la deuxième Partie

Une découverte toujours d'actualité

Pour conclure cette partie consacrée à l'estime nous voulons rassembler dans un premier point les diverses conclusions partielles rencontrées durant cette deuxième partie puis formuler la question que pose l'observation concomitante de l'arrivée soudaine de l'estime à la fin du XIII^e siècle et de la dilatation aussi soudaine de l'espace maritime à cette même époque.

Pour résumer cette deuxième partie.

L'évolution des techniques de navigation pendant le Moyen Age a vu l'orientation géographique se substituer à l'orientation éolienne comme référence dans l'espace du navigateur. Pour définir la route à prendre, à la notion de vent portant est venue se substituer la notion de cap. Il en est résulté une formalisation des données et des paramètres qui ont permis au marin de comparer à tout instant sa situation particulière dans le cadre plus général de données universelles. Ce sont les rôles respectifs de l'estime et de la carte. Nous avons également vu les prémisses de cette estime dans le cas très particulier de la navigation hauturière scandinave dont on peut dire qu'elle est une estime très schématique qui ne connaît que 2 caps, le 90 et le 270. Nous n'avons pas poursuivi plus avant dans ce domaine, mais on peut affirmer que ce cas n'est pas un cas isolé dans l'histoire universelle de la navigation. Il y a de fortes présomptions pour que la navigation arabe dérive d'un tel système et bien des traces en restent dans les navigations orientales, telles que la navigation hindoue et indonésienne, sans que cela rentre dans le cadre de cette étude. Notons que nous n'en n'avons pas encore fini avec ce vieux principe quand il s'agira de préciser l'estime grâce à la méthode de l'atterrissage par la latitude, raison d'être des débuts de la navigation astronomique que nous allons aborder dans la partie qui suit.

Mais d'une certaine façon l'estime est une méthode limitée, elle définit le point par extrapolation. Etant donnée une position connue à cet instant présent et en supposant que les paramètres restent à leur valeur actuelle, on en déduira la position à un moment donné dans le futur. L'incertitude croît donc en fonction du temps et du chemin parcouru. Il ne reste alors, pour préciser ces résultats, que le choix entre une confrontation de ces résultats estimés à une position réelle (ce que l'on appelle recaler sa position estimée), le plus souvent possible ou bien à affiner la mesure des paramètres qui nourrissent l'estime pour augmenter cette précision. Jusqu'à la fin au XV^e siècle, qui marque le terme de cette étude, la mesure des paramètres et en particulier les composants de la route restent rudimentaires. Le navigateur ne perçoit que le cap et encore ne s'agit-il que d'un cap « brut, » celui que donne directement le compas, c'est-à-dire le cap magnétique, les dérives, ni celle due au vent, ni celle due au courant ne sont prises en compte. C'est dire que les traversées longues sans possibilité de se recaler par manque d'amers vont devenir incertaines. Les mêmes remarques s'appliquent à la carte. Simple levé empirique fait par des marins à l'usage des marins, son étude théorique montre beaucoup d'erreurs de conception qui toutefois n'apparaissent pas aux yeux de l'utilisateur, car celui-ci en fait un usage trop grossier pour pouvoir les apercevoir, ce qui est une façon différente de dire que les incertitudes de l'estime masquent complètement les imprécisions de la carte sur laquelle elle s'applique. Mais, là aussi, à vouloir trop sortir des limites géographiques où ces imprécisions restent supportables, on débouche sur de réels problèmes. Ces problèmes que les chercheurs croient pouvoir expliquer par les anomalies et les divagations de la déclinaison magnétique, donc, circonstanciels sont, à notre avis, beaucoup plus structurelles et tiennent à la nature même de la projection en équidistance azimutale qu'avait considéré al-Biruni et qui semble ne pas avoir été prise en compte plus avant.

En ce qui concerne la navigation courante dans le cadre limité de l'Europe occidentale

Le passage du cap Bojador va marquer une nouvelle époque qui va être abordée dans la partie suivante. Jusqu'à présent, les progrès de la navigation ont suivi les progrès du commerce maritime parce que les navigateurs se sont adaptés aux nouvelles conditions d'exercice de ce commerce. On décrit cette adaptation comme spontanée et empirique c'est-à-dire le résultat d'un effort collectif indifférencié. C'est, peut-être, le manque de sources et de données plus précises dans ce domaine qui définit ainsi l'empirisme. Ce développement soi-disant

empirique de la science nautique pose la question des relations de causalité entre cette science nautique et l'environnement maritime de cette époque. C'est précisément la question que nous voudrions poser dans la suite de cette conclusion.

L'explosion géographique de l'espace maritime est-elle une conséquence de l'estime ?

A l'extrême fin du XIII^e siècle, on assiste à l'explosion de l'espace maritime ouvert à la navigation, qui va se concrétiser par le passage du détroit de Gibraltar, d'Est en Ouest. Mais le passage s'effectue en pleine guerre du détroit, en 1277, semble-t-il. L'histoire a retenu un nom, celui de Nicolazo Spinola, pourtant il semblerait que Blancard nous transcrive un affrètement datant de 1270 pour Bruges, donc légèrement antérieur. Peu importe, tout le monde semble d'accord, ce passage fut une affaire génoise. La question reste posée de savoir s'il y a un lien de cause à effet direct entre cette nouvelle pratique de l'estime et cette explosion. On assiste, en effet, à trois tentatives de forcer Gibraltar presque simultanées, celle de Spinola en 1278 vers l'Angleterre, celle des frères Vivaldi en 1298 vers les côtes d'Afrique d'où ils ne reviendront pas et enfin celle, plus tardive, de Lanceloto Malocello en 1311 vers les Canaries. Cette profusion de tentatives n'est certainement pas innocente. La présence attestée de cartes de ce nouveau domaine navigable, les atterrages de l'Europe de l'Ouest et du Golfe de Gascogne dès le tout début du XIV^e siècle nous indique que l'estime n'est pas étrangère à ce développement. Mais la question qui se pose est de tenter de déceler si cette corrélation avérée cache un lien de causalité. En effet, cette concordance de nouvelles navigations peut être due aussi à une autre cause. C'est ce que nous allons essayer de débrouiller.

Le passage avait été déjà forcé bien avant 1278

En ce qui concerne le passage de Gibraltar, on peut remarquer que ce passage par des navires occidentaux n'est pas nouveau, seul le mode de passage par des navires isolés est une nouveauté. Les premiers à passer furent les Normands de 859-862, Hasteinn et Bjorn Jarsida réunirent une flotte de 62 navires et passèrent par surprise pour aller piller, entre autres, les côtes d'al-Andalus et les côtes de Camargue, se firent sévèrement accrocher par les arabes au

retour³⁶⁰, à la sortie de u détroit, en 861 date de leur retour avec 20 bateaux seulement. Plus tard, les croisades furent l'occasion d'un défilé quasi ininterrompu de nordiques allant par mer d'Europe du Nord vers la Palestine, tant pour les passages généraux, c'est-à-dire que l'histoire a dûment répertoriés et numérotés mais aussi de passages ordinaires. Jugeons plutôt³⁶¹:

- Lors de la première croisade deux convois l'un avec Guynemer de Boulogne quitte ce port en 1097, le second avec Edgard Atheling quitte l'Angleterre, un an plus tard.
- Entre la première et la deuxième croisade, les Norvégiens font un passage puis en organisent plusieurs entre 1107 et 1110.
- A l'occasion de la deuxième croisade, Flamands et Anglais naviguent de conserve et prennent, pour compte portugais, Lisbonne, au passage en 1147, pillent Faro en 1148 et passent vers la Palestine, dans la foulée, sans autre trace dans les chroniques.
- Pour la troisième croisade, Richard Cœur de Lion fait passer toute la flotte, des navires de Bordeaux qui sont d'ailleurs plutôt bretons et anglais en 1190.
- A partir de là, ce passage est devenu une quasi routine et nous notons les départs anglais de Darmouth en 1147, 1189, 1217, de Southampton en 1190 et enfin de Sandwich en 1217.
- En outre il y eut des départs nordiques, flamands, germaniques ou scandinaves, en 1217, 1218 et pour aider Saint Louis, les Norvégiens en 1250, et les Frisons en 1270.

On voit donc qu'il n'y eut pas une génération qui n'ait vu passer une flotte chrétienne à travers le détroit et encore la chronique est muette sur les retours. Ces bateaux ne devaient pas tous rester sur place, nous savons que certains furent déchirés pour servir de matière première pour la construction de machines de siège, nous nous doutons bien que certains restèrent sur place pour servir de flotte stationnaire surtout lorsque la Palestine fut bien établie. On peut considérer qu'à partir de la quatrième croisade il y eut une galaxie chrétienne organisée en Orient. Cette galaxie était composée du royaume de Jérusalem, Tripoli, Antioche, la petite Arménie, Chypre et les îles de l'archipel sous domination franque. Cette galaxie a donné lieu à un commerce maritime local actif dont nous retrouvons les traces historiques dans un droit maritime évolué transcrit par les assises de Jérusalem, ou bien encore dans des tarifications

³⁶⁰ John Haywood. *Atlas des Vikings 7898-1100 . De l'Islande à Byzance: les routes du commerce et de la guerre*. Edit. Autrement Paris 1996
Les Vikings en Méditerranée. P. 58-59

³⁶¹ *Atlas des croisades*. Edit. Autrement . Paris 1996

douanières du livre des assises de la cour des bourgeois d'Acre³⁶².

Le passage Est-Ouest est une entreprise génoise, donc neutre.

Nous avons déjà évoqué le fait que le passage s'est effectué en pleine guerre, mais ces entreprises sont génoises, effectivement, Gênes, seule, en a, alors, l'opportunité car cette entreprise était politiquement possible pour Gênes alors que la guerre du détroit faisait rage entre les Castellans, les Mérinides et les Nasrides de Grenade.

Des traités avaient été signés par les Almoravides avec les Italiens et plus spécialement avec Pise qui avait, avant cette époque, une longueur d'avance en tant que visiteur privilégié de Ceuta. C'est peut être précisément cette faveur des Almoravides qui fit que les Almohades privilégièrent Gênes qui apparaît comme la concurrente de Pise dans ces eaux. Gênes commerçait avec le Maghreb depuis longtemps et y avait une position privilégiée. C'est donc avec le Maroc que Gênes a les plus anciens accords de commerce. En 1137 il y eut un accord écrit avec les marocains alors qu'il fallut attendre 1155 pour avoir un accord écrit avec Byzance. Car si nous suivons G. Jehel³⁶³ les Almohades ont bien compris les avantages d'une coopération et aux accords de 1137, viennent s'ajouter en 1154 les résultats d'une ambassade menée par un légat de Gênes Ottone Bono de Alberici qui négocia en 1161 la généralisation à tout l'empire almohade des droits accordés aux Génois à Bougie qui était alors leur port principal. Désormais Ceuta pour les Génois est au même niveau que Bougie et le commerce y explose. Le livre de Ibn Jubayr en est un exemple, lui qui part en pèlerinage sur un navire génois à partir de Ceuta et revient avec un autre navire génois à partir d'Acre, puis encore un autre, après son naufrage en Sicile. D'ailleurs G. Jehel estime que l'histoire de la croisade, en polarisant toutes les attentions, a quelque peu occulté l'histoire des relations de Gênes et de la Méditerranée occidentale où le volume des affaires traitées égalait au moins le volume des affaires en Orient.

³⁶² Jean-Marie Pardessus *Collections de lois maritimes antérieures au XVIIIe siècle*. Passim. Paris, 1828.

³⁶³ G. Jehel, *Les relations entre Gênes et le Maghreb occidental au moyen âge. Aspects politiques et économiques*. In *L'occident musulman et l'occident chrétien*. Passim Rabat 1970

En Orient c'est l'époque du doute

En Orient on est à la veille de grands bouleversements qui commencent à se faire jour. Depuis 1244 tout le monde sait que le royaume de Jérusalem n'est qu'en sursis. Les Génois ne disposent pas, comme les Vénitiens, depuis 1204, d'un domaine colonial, qui leur permette de voir venir. D'autre part, l'intervention des Mongols dans l'arrière-empire arabe, s'il donne des espoirs au Pape de créer un second front, est par contre plein d'incertitude pour les commerçants ; les caravanes sont désorganisées. Il y a des raisons d'espérer, mais elles ne sont pas encore très évidentes et ne se seront confirmées que dans le futur. Zaccaria a obtenu le fermage de l'alun de Chio, mais ce succès incontestable n'est pas encore évident. On peut dire la même chose concernant l'accord entre le roi de la petite Arménie et les Mongols, cet accord qui va déterminer plus tard le développement du port de Layas comme point de débarquement des caravanes, désormais à l'abri de la *pax mongolica*, mais ceci est aussi à venir. Sont aussi en devenir, les développements considérables du commerce en Mer Noire par le renversement des alliances en faveur des Génois, du au retour des Byzantins en 1261 à Constantinople.

A l'Ouest, s'ouvrent des opportunités.

Il faut donc saisir toutes les nouvelles opportunités. Le passage par Gibraltar en est une, il permet de « shunter » le verrou du seuil des deux mers qui permet d'acheminer les laines anglaises et les draps flamands sur Florence où ils seront terminés³⁶⁴. Les Génois perçoivent très bien les énormes potentialités de l'Atlantique. Le trafic entre les pays du Nord avec l'Espagne et le Portugal est attesté dès le XI^e siècle avec le pèlerinage de Compostelle. La politique de Gênes vers l'Ouest est globale et englobe non seulement le Maghreb mais aussi le Languedoc et les pays ibériques. Dès 1113, les charpentiers génois avaient été appelés par l'évêque de Compostelle afin de construire une flotte pour résister aux corsaires de l'Atlantique, musulmans, sans doute, ou bien anglais, pourquoi pas ? D'ailleurs, avec la *reconquista* les Génois aidèrent les Castillans et les Catalans lors des sièges d'Almeria au Sud

³⁶⁴ Pegolotti nous chiffre le prix de ce transbordement terrestre par cette route connue par les habitants du Sud Ouest comme la route du stock fish qui va de Libourne à Arles par le Nord de la vallée de la Garonne. Elle passe par le Nord pour profiter de la présence des ponts en amont sur les grands affluents, plus pratiques pour le passage des caravanes de mulets que les bacs plus en aval. Il revient dit-il à sept fois le prix du passage maritime de Londres à Libourne.

et de Tortosa, dans le delta de l'Ebre, en 1146 et 1148. Cette pénétration génoise en Ibérie se poursuit au XIII^e siècle, vers Séville et Cadix puis vers le Portugal dès le XIV^e ³⁶⁵. C'est tout naturellement, donc, qu'ils conservèrent leurs positions commerciales privilégiées

³⁶⁵ Après 1248 et la prise de Séville et de Murcie, les Castillans sont désormais à la tête de deux régions qui vont changer leur nature même. De puissance continentale, la Castille devient maritime, de puissance vivant dans une économie guerrière elle passe puissance commerçante. Séville déjà arabe était un pôle économique et commerçant. Tous les géographes arabes insistent sur les exportations de Séville, fournisseur international d'huile et de figes sèches ; Séville est entourée d'une forêt d'oliviers quasiment jusqu'à la mer c'est dire si la culture est une culture de rapport très spécialisée et donc déséquilibrée en ce qui concerne les cultures vivrières. En effet tous les auteurs arabes nous décrivent le commerce Nord-Sud du Maroc atlantique. Les sévillans vont chercher au Maroc du blé et du bétail. La région de Carthagène quant à elle est le débouché de Murcie et aussi de toute la Meseta sud et ses 20 000 km² de pâturages à mouton. La Mesta qui commence à s'organiser vers 1260, va trouver là son débouché vers la mer du sud et les consommateurs de laine brute les cites drapières d'Italie.

Ces régions ont dû rester très tributaires des importations d'objets manufacturés, les préférences des immigrants allant vraisemblablement vers la terre et non pas le commerce et l'artisanat ; c'est ce qui explique la présence très prégnante des italiens en général et de génois en particulier qui se sont installés pour commercer dans ce pays.

Ce sont certainement eux les responsables de l'intégration du commerce hispanique dans les circuits européens. Nous sommes en présence de commerçants parfaitement rodés au commerce international qui ont un réseau commercial qui s'étend à toutes les puissances consommatrices de matières premières et de vivres et exportatrices de produits manufacturés, c'est-à-dire les partenaires commerciaux idéaux d'un territoire si neuf mais si riche. D'autre part ils ont accès à un système de transport reliant ces deux pôles industriels du nord et du sud. Ils sont donc indispensables aussi bien vers Cadix et Séville qu'à Lisbonne. Ils ont trouvé dans ces pays vides un marché pour les produits manufacturés italiens contre des matières premières en particulier la laine produit qui a commencé à s'organiser avec la création de la Mesta vers 1260. Une partie de cette laine, celle qui était produite dans la Castille nord partait par les ports lainiers du nord Santander et ensuite Bilbao. Mais la Castille sud était aussi une grosse productrice et son exutoire naturel était de port de Carthagène dans la province castillane de Murcie car le port d'Alicante avait été récupéré par les catalans.

La route des Flandres va elle aussi connaître un très grand succès, d'autant plus que les troubles en France dus à la guerre de cent ans, vont en faire, de voie alternative, une voie quasiment obligatoire et que l'extrême ouest ibérique va devenir un partenaire très actif dans le commerce européen aussi bien au nord qu'en méditerranée.

En ce qui concerne le Portugal ouest, il ne faut pas négliger les commerçants portugais qui n'avaient pas attendu les génois et s'établir dans le Nord. Il est vrai que le Portugal possédait deux produits quasi monopole des pays du sud le sel marin et le vin. Cette classe commerçante devait être développée et puissante : puissance qui éclatera au grand jour lorsqu'elle imposera au Portugal et à la noblesse son roi le fondateur de la dynastie d'Avis, dans ce qui fut en quelque sorte la seconde révolution portugaise le 13 décembre 1383. Cette dynastie n'oubliera jamais ses origines et aura une constance dans sa politique réconcilier la classe noble et la classe marchande en associant la noblesse à l'essor et aux bénéfices du commerce. Ce sont d'ailleurs deux traits totalement originaux dans l'histoire occidentale.

lorsque al-Andalus passa peu à peu sous domination catalane, castillane ou portugaise. Après 1248, la révolte des mudéjars vide le Sud de l'Ibérie de ses artisans³⁶⁶, l'Andalousie devient un pays sous développé, exportateur de matières premières, huile et surtout laine et importateur de produits finis. Les Génois et leur commerce maritime deviennent alors indispensables. C'est l'occasion de prendre là une place privilégiée. Seuls les Génois, totalement neutres et commerçant avec toutes les parties, pouvaient donc entreprendre ce passage, alors que la guerre des détroits devait perdurer jusqu'en 1331.

Donc ce passage du détroit apparaît comme étant davantage un épisode de l'histoire politique et commerciale de Gênes plus qu'une étape dans le développement technique. Il est difficile de dire qu'il y a un lien de cause à effet entre l'apparition de l'estime et cette explosion du monde maritime, mais il existe cependant une corrélation très forte, car le passage vers le Nord va être un succès immédiat et très spectaculaire. La pratique de l'estime a sans doute bien facilité la navigation et on est frappé de la rapidité avec laquelle les facteurs de portulans ont intégré cet espace nouveau dans leur production. Petro Vesconte a représenté les côtes d'Espagne, de France, Angleterre et Irlande, dès 1321³⁶⁷. Mais d'un autre côté, on sait qu'il ne

³⁶⁶ Cette révolte est la conséquence indirecte d'une partie à trois qui se joue entre le roi de Castille qui a conquis une énorme portion, d'al-Andalus dont Cordoue et Séville en 1247, le roi de Grenade et le roi de la dynastie des Mérinides qui se met en place au Maroc. Les motivations et les développements de cette guerre sont analysés par Mohamed Kably, *Société, pouvoir et religion au Maroc à la fin du Moyen-âge*. Paris 1986 p 103

Le mérinide, en raison de son manque de moyens, très habilement, car il fait d'une pierre deux coups, va se servir des *gūzat* ou cavaliers zénates volontaires qu'il envoie aider Grenade. "*Il est bien connu que les premiers guzat étaient surtout des opposants, princes et proches parents pour la plupart, et qu'en les éloignant comme il l'avait fait le mérinide entendait manifestement se servir de la guerre dans al-Aandalus comme exutoire (p82); Les responsables mérinides avaient choisi de se débarrasser des compétiteurs les mettant pour ainsi dire à la disposition de Grenade dans le cadre respectable et approprié du Jihad*".

Ces activistes sont donc des agitateurs dont le sultan se débarrasse à bon compte, mais ils ne manquent pas d'efficacité. Entretenant un espoir par leur action, chez les mudéjars des territoires nouvellement conquis, ils sont une des causes de la rébellion généralisée tant à l'Ouest à Séville qu'à l'Est à Murcie qui pourtant avait un statut beaucoup plus libéral et ancien que celui de Séville. Il s'agissait en fait d'un espèce de protectorat datant de 1242 où l'administration locale restait dans des mains musulmanes. Surtout ils arrivent à isoler Grenade qui est donc au plus mal avec la Castille mais aussi avec l'émir de Malaga qui craint les actions désordonnées de ces intrus.

³⁶⁷ Monique de la Roncière et Michel Mollat du Jourdain, *Les portulans, cartes marines du XII^e au XVII^e siècle*. *Op.cit.* respectivement, pl.2 à 6

peut y avoir de portulan sans navigation préalable pour collecter les données, donc les premiers voyageurs ne peuvent vraisemblablement pas pratiquer l'estime, mais il ne devait pas manquer de pilotes portugais pour naviguer vers le Nord. Les Génois s'engouffrent dans la brèche, d'autant plus que les développements futurs de l'Histoire vont les conforter dans ce choix. Le XIV^e est le siècle de la fermeture de l'espace français et de la ruine des foires de Champagne pour cause d'insécurité. Le commerce du Portugal avec le Nord et surtout l'Angleterre va aussi exploser durant ce même siècle. La croissance du commerce maritime est peut-être davantage inscrite dans les développements de l'Histoire politique que dans ceux de l'Histoire du progrès technique. Toutefois la question reste posée.

Troisième partie

Les débuts de la navigation astronomique

Troisième Partie

3-0. Introduction de la troisième partie

Nous abordons, maintenant, les premiers travaux sur la navigation astronomique qui accompagnent, aussi bien en Orient qu'en Occident, les voyages au long cours et, dans ce dernier cas, vont faciliter les grandes découvertes. On ne peut aborder cette partie sans parler de l'astronomie arabe qui va permettre l'élaboration de ces méthodes de navigation aussi bien en Orient qu'en Occident.

L'histoire de la mesure des hauteurs d'astre en navigation remonte à la plus haute antiquité. Les Arabes ne sont pas les seuls à avoir enregistré de tels phénomènes ; à peu près toutes les civilisations ont une astronomie, mais toutes ne laissent pas de traces historiques de leurs débuts. Ce n'est pas le cas de la culture grecque, car nous trouvons des traces de telles observations très tôt, par exemple dans la lecture du voyage de Néarque, chargé de faire remonter la flotte d'Alexandre, en 326 avant J-C, des bouches de l'Indus jusqu'à remonter le Tigre jusqu'à Suse et y rejoindre son roi. Néarque dans ce voyage part des bouches de l'Indus et fait route, dans un premier temps, selon une route grossièrement Est-Ouest, le long des côtes de ce qui est aujourd'hui, le Baloutchistan, jusqu'au détroit d'Ormuz. Puis de là, dans un deuxième temps, il entre dans le Golfe Persique, il doit y faire une route grossièrement Nord-Ouest pour rejoindre les bouches du Tigre et de l'Euphrate, dans ce qui est de nos jours le Chatt el- Arab. La configuration de la côte fait qu'il est obligé, dans ce premier temps, de suivre une courbe de 1000 kilomètres, environ, légèrement incurvée vers le Sud avec, une flèche d'environ 100 kilomètres. Dans ce voyage, tel qu'il est reporté par Arrien, dans son livre sur l'Inde, Néarque remarqua des changements dans le ciel qu'Arrien nous rapporte:

« Tandis qu'il naviguait le long du territoire indien, Néarque dit que leurs ombres n'étaient pas projetées de la même façon quand ils avançaient dans la direction du large, c'est à dire cap au sud, et quand le soleil avait atteint sa position du milieu du jour, il se rendait compte que plus rien ne faisait d'ombre. Parmi les astres qu'ils apercevaient jusque-là dans le ciel, les uns étaient complètement invisibles, les autres apparaissaient tout près de la terre (c'est-à-dire : sur la ligne d'horizon), enfin ceux qui auparavant étaient visibles en permanence, ils

les voyaient se lever à peine couchés. ³⁶⁸» Dans ce texte fondateur que nous avons déjà abordé à propos de la navigation des Norvégiens, Néarque fait deux observations qui vont déterminer les techniques de la navigation astronomique pratiquement jusqu'au XVIII^e siècle. La première observation concerne l'épisode du soleil et de ses ombres ou son manque d'ombre. La longueur de l'ombre à midi vrai est fonction, à la fois, de la latitude et, aussi, de la saison. On peut dire qu'en un lieu donné, l'ombre du soleil à midi sera la plus courte ou la plus longue selon que l'on est au solstice d'hiver ou au solstice d'été (pour l'hémisphère nord tout du moins). Il arrive même que l'ombre soit si courte qu'elle n'existe plus, le soleil passant au méridien est, lorsqu'il est au plus haut, également au zénith, c'est à dire exactement à la verticale du lieu.. Ce phénomène n'arrive que lorsqu'on est à la date exacte du solstice d'été ³⁶⁹ et dans un lieu bien particulier, placé exactement sur le Tropique du Cancer. Cette remarque est importante car c'est à partir de cette observation que les Grecs vont déterminer la latitude d'Assouan, situé exactement sous le Tropique, et calculer le rayon du globe terrestre avec une précision étonnante en ce qui concerne les calculs les plus anciens. Mais oublions cet aspect, car il ne concerne que l'observation du soleil qui n'a jamais été prise en compte dans la navigation antique car bien trop compliquée à mettre en œuvre.

La deuxième information est relative à la course des étoiles et intéresse tous les caravaniers de ces contrées qui, à l'origine, pour des raisons évidentes de climat, circulaient principalement de nuit en observant surtout le ciel nocturne dont le fonctionnement apparent est, de surcroît, plus simple. Le mouvement du ciel étoilé est complètement indépendant de la saison, uniquement variable selon la position géographique de l'observateur. Le ciel tourne autour de la ligne des pôles. Cette ligne est plus moins inclinée sur l'horizon, selon que l'on est placée à une latitude plus Sud ou plus Nord. C'est ce mouvement qui permet à Néarque de se rendre compte que les étoiles dont toute la trajectoire était visible au-dessus de l'horizon voient celle-ci, dans sa partie la plus basse, venir tangenter, puis passer légèrement au-dessous de l'horizon au fur et à mesure que l'observateur se déplace vers le Sud. Un déplacement de 100 kilomètres environ, suffit à rendre le phénomène très perceptible à l'œil nu, sans qu'il soit

³⁶⁸ Arrien . *L'Inde. Texte établi par Pierre Chantraine.* p 57-58. Edit. Les belles mlettres. Paris 1927.

³⁶⁹ Arrien livre VI-XXI, n'est pas étonné et cite le même phénomène a Assouan ou au moment du solstice d'été, un puits était éclairé jusqu'au fond. En fait cette observation on la retrouve aussi chez Hygin qui nous parle des contrées où l'ombre est à droite lorsqu'on regarde l'occident (définition du domaine faste des haruspices étrusques) et sait qu'il existe des lieux où cette même ombre est à gauche de l'observateur en a certaines époques de l'année pourvu que l'on soit assez au sud.

nécessaire de faire des mesures, surtout en ce qui concerne les astres qui tangentent l'horizon lors de leur course nocturne. Notons que Néarque ne fait qu'observer, il n'utilise pas le phénomène, il n'en a nul besoin pour se repérer, car il ne quitte pas la côte des yeux. Le changement de la hauteur des astres est donc facile à percevoir au moment précis où leur course changeante présente des caractéristiques bien particulières. C'est ce qui permet une mesure aisée et la comparaison qui va être le moyen de se repérer dans l'espace. En des termes moins généraux et plus techniques, on prendra la hauteur de cet astre au-dessus de l'horizon lors de son passage au méridien inférieur. Cette mesure donnera une indication de la position du navire dans un repérage Nord-Sud sur la sphère terrestre à cet instant précis. Nous ne parlons pas encore de latitude car pendant longtemps les marins se sont contentés de comparer ces hauteurs d'astre qui caractérisent parfaitement un lieu sans passer par l'intermédiaire de la latitude qui est une conception de géographe.

Les anciens Arabes développent, à partir de cette observation, un instrument, le *karam*. Puisque pour un port donné correspond une configuration donnée du ciel nocturne, une étoile donnée, en un lieu donné, lorsqu'elle est au plus bas de sa trajectoire circulaire, passera donc toujours à la même distance de l'horizon. Ce point est ce que les astronomes appellent le passage de l'astre au méridien inférieur. Cette distance à l'horizon ou hauteur de l'astre à son passage au méridien ne dépendra que de la déclinaison de l'étoile, qui, à la différence de celle du soleil est fixe dans le temps, et aussi de la latitude du lieu. On peut donc dire, en résumé, que cette hauteur minimale pour une étoile donnée ou méridienne est un indicateur certain de la latitude, ou plus exactement pour employer la terminologie antique, un indicateur de la position du navire dans tel climat. Les climats n'étant, en dernière analyse que des bandes de terrain disposées selon une certaine latitude. Donc, le navigateur, dans la pratique, étant à son port de base, découpe une planchette de bois à la mesure de la hauteur de cette étoile à son passage au méridien inférieur. Le navigateur part donc en voyage avec cet instrument qui garde en mémoire la mesure de la hauteur de l'astre à son passage au méridien de son port d'attache. Au retour de son voyage et en pleine mer lorsque le *karam* coïncide avec la hauteur de l'astre en question lors de son passage au méridien inférieur, c'est-à-dire à la culmination basse de sa trajectoire, le navigateur sait qu'il est situé sur la latitude de son port d'attache. Il lui suffisait, alors, de suivre une route strictement Est-Ouest en direction de la terre. C'est donc par la navigation Est-Ouest que le marin terminait son voyage. Bien des indices militent en faveur de l'existence d'une navigation Est-Ouest généralisée, au tout début de la

navigation interocéanique dans l'Océan Indien, comme ce fut le cas de la navigation Viking dans l'atlantique Nord, servie par l'usage d'un compas sidéral aux premiers temps de cette navigation hauturière. Nous ne nous étendrons pas sur ce sujet car à l'époque historique ces pratiques n'ont désormais plus cours et sont remplacées par la boussole et le compas aussi bien en Occident qu'en Orient.

Les méthodes des navigations arabes et occidentales, nous allons le voir, ne sont pas des copies identiques. Elles ont, cependant, le point commun d'être le résultat d'une collaboration entre des scientifiques et des marins. C'est le début de la science appliquée. La science impliquée est la cosmographie. Elle montre que la configuration du ciel à un moment donné dépend du lieu d'observation, le navigateur va demander au cosmographe d'établir la proposition inverse : **étant donné l'aspect du ciel à un moment donné, quelle est la position sur le globe terrestre de l'observateur à ce moment précis ?** Or l'astronomie est avec la géographie scientifique la base de la cosmographie. L'astronomie est depuis le X^e siècle une spécialité arabe. De même, en ce qui concerne la géographie scientifique, les Arabes ont amélioré cette science depuis Ptolémée, ils ont en effet recalculé la mesure de la sphère et corrigé dans ce domaine les erreurs de Ptolémée, ils ont calculé des positions de lieux connus, sans toutefois établir une carte marine exploitable, ce qui est, somme toute, secondaire, puisque ils n'utilisent pas la carte marine pour leur traversées. Donc, il est naturel que dans le domaine de la navigation astronomique les arabes soient en avance sur les occidentaux et on peut penser que, dès le XI^e ou XII^e siècle, ils utilisent les astres pour naviguer. Ce qui est commun, aux deux civilisations, c'est la démarche de recherche, ces techniques de navigation découlent de la même source, l'astronomie arabe et, aussi, elles ont été mises au point par une recherche conjointe de savants et de professionnels de la navigation. La science nautique arabe semble devoir beaucoup à l'empirisme, elle s'est développée sur un socle hérité de vieilles civilisations maritimes des temps préislamiques déjà très élaborées, notamment celles des Perses et les Cholas, elle est donc le fruit d'une lente élaboration. La lecture de l'ouvrage d'Ibn Majid, montre clairement, par endroits, l'intervention de savants astronomes dans le domaine nautique. Ibn Majid, lui-même, cite les noms de savants considérables qui lui semblent importants en tant que précurseurs de cet art nautique qu'il essaye d'expliquer. Surtout, dans un long préambule, il expose les noms des précurseurs dans ce domaine et distingue entre les grands pilotes et les savants qui ont fait progresser cette science. Les premiers sont intéressants par leur expérience nautique et la

connaissance des routes qu'ils peuvent léguer à leurs successeurs, les seconds qui ne sont pas forcément des marins font avancer davantage la science nautique. Quant à Ibn Majid, lui-même, il se considère comme le continuateur et l'héritier de ces deux approches.

La science mère de la science nautique c'est donc l'astronomie. Au Moyen Age, en Occident il n'y a d'astronomie que celle qui a été transmise par les Arabes. Toute cette science arabe qui incorpore les savoirs antiques dans une somme de connaissances nouvelles pour constituer ce qui doit être considéré comme la première et, sans doute pendant longtemps, la seule science vraiment digne de ce nom, car soumise à la confrontation des faits par la mesure. Les arabes apportent à ce fond ancien surtout de nouveaux instruments logiques et des sciences annexes : les mathématiques, la trigonométrie indienne et la géométrie sphérique qui vont permettre de développer l'astronomie par la vérification de ses lois³⁷⁰. Toute cette masse de connaissances qui, pour la plus grande partie, est déjà élaborée dès le X^e siècle, est venue au contact de l'Occident par les hasards de l'histoire, dès le XI^e en Catalogne³⁷¹. Mais c'est, surtout, à partir des XII^e et XIII^e siècles, avec la montée de la soif de savoir, que l'Occident devient particulièrement réceptif. L'institutionnalisation des universités sert de cadre organique à cette soif de savoir qui s'empare de l'Occident. Elle dépasse alors le cadre national. Une intense circulation d'intellectuels s'établit et se concentre principalement sur l'Espagne comme zone de contact des deux civilisations et c'est grâce au latin, comme langue unique des clercs, que s'effectue la transmission et la diffusion à l'échelle européenne. Bizarrement, ce sont les clercs qui approchent et assimilent ces connaissances, sans apparemment aucun souci du côté de l'Eglise. Ils adoptent, face à la connaissance, la même attitude que celle des lettrés musulmans, à savoir qu'ils ne ressentent aucune contradiction entre la recherche scientifique et la foi religieuse.

Si l'Astronomie se transmet à l'Occident, telle qu'en l'état chez les Arabes, il n'en n'est pas de même de la navigation. Bien évidemment, il y aura des emprunts, mais les occidentaux ne copient que quelques trouvailles arabes telles que certains alignements d'étoiles (les gardes),

³⁷⁰ Régis Morelon. *L'astronomie arabe orientale entre le VIII^e et le XI^e siècle*. in *Histoire des sciences arabes Tome I Astronomie Théorique et appliquée*, sous la direction de Roshdi Rashed. Paris, Ed du Seuil 1997, p. 35-69

³⁷¹ Henri Hugonnard-Roche. *Influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval*, in *Histoire des sciences arabes...Op.cit.* p 310-328.

utiles pour le calcul de la méridienne par l'étoile polaire. Ils ne vont pas développer toute la technique élaborée que l'on trouve dans la science nautique arabe. En revanche, ils vont développer des instruments nouveaux et des méthodes inédites, telles les méridiennes de soleil, totalement inconnues chez les Arabes. La science appliquée répond à des problèmes précis qui se posent différemment, en raison des contraintes qui ne sont pas identiques dans les deux cas. Car le parcours des occidentaux est différent. Ils ne bénéficient pas d'une lente maturation et une mise au point empirique des méthodes. L'aventure hauturière est un acte de volonté qui a animé principalement deux princes portugais, Henri le navigateur et Joao II, que l'on nomme parfois Jean le navigateur. Ce sont les parcours à travers l'Atlantique qu'ils ont initiés et poursuivis pour des raisons qui leur sont propres qui poussent les occidentaux à dépasser la méthode de l'estime et ses insuffisances. Avant eux, la navigation occidentale ne s'effectue que dans deux bassins isolés entre eux, le bassin du Nord et celui de la Méditerranée. Dans l'antiquité il en existait un troisième, celui de l'océan indien qui disparut totalement avec la conquête arabe. A l'exception de la navigation islandaise et de la route romaine des Indes qui ont été étudiées précédemment et qui font figures d'exceptions et qui sont, d'ailleurs, au XV^e siècle tombées dans l'oubli, toutes les navigations contemporaines sont interrégionales et non pas intercontinentales. Une navigation à vue suffit dans presque tous les cas, même si un minimum d'instruments est utilisé. En effet, l'usage de la sonde comme instrument de navigation dans le Nord est attestée. Elle est par contre rarement utilisable en Méditerranée, où, sauf en de rares cas, les côtes sont accores et où la sonde ne sert à rien³⁷², l'estime doit suffire³⁷³. En tout état de cause, la seule mesure astronomique qu'aient pratiqué les marins médiévaux, tant arabes qu'occidentaux, concerne la méridienne de polaire ou de soleil et donc le calcul de la latitude. Cette mesure est de peu d'importance en Méditerranée ou en Baltique car ces mers se présentent comme un étroit couloir, orienté dans le sens Est-Ouest où l'on a, la plupart du temps, rapidement en vue une terre au Nord ou au Sud. C'est de la position en longitude dont on aurait le plus besoin et il faudra pour cela attendre la fin du XVIII^e siècle et le chronomètre d'Harrison.

³⁷² La sonde à main est très limitée : 40 brasses, nous dit Colomb. Elle ne peut être utilisée comme instrument de navigation sans visibilité que dans des mers peu profondes et où les fonds s'élèvent graduellement du large vers la côte, c'est particulièrement le cas en mer du Nord et en Baltique. Dans ces conditions, sonder à intervalles réguliers donne une bonne idée de la distance à la quelle on se tient de la côte et de ses dangers. Mais en Méditerranée où généralement la montagne plonge directement dans la mer, dès que l'on a le fond, cela signifie que l'on est déjà sur la côte et ses dangers.

³⁷³ On peut le vérifier encore aujourd'hui et dans une traversée de Hambourg à Tunis et même plus vers l'Est, il est rarissime que l'on ait l'occasion de sortir le sextant de sa boîte, sauf pour l'instruction des élèves.

On a vu que les occidentaux avaient déjà mis au point l'estime, et on a vu quelles en étaient les limites. L'expansion maritime a fait buter les occidentaux sur ces limites. Ils n'ont pas renouvelé entièrement la méthode et se sont contentés de la préciser en pratiquant une navigation à deux niveaux, le premier constitué par l'estime est conservé mais est complété par la détermination de la latitude dont la précision est indépendante du chemin parcouru. C'est pourquoi, ils n'ont pas retenu toute la méthode arabe mais seulement certains éléments, en particulier la méridienne. En effet, la transmission des savoirs scientifiques est une affaire de savants, alors que la transmission des techniques est l'affaire de professionnels. De ce point de vue, le domaine d'exercice était plutôt hermétique et, d'autre part, les contraintes du milieu étaient différentes. Il y a une coupure technique selon la géographie très nette entre l'Occident et l'Orient à tel point que les arabes méditerranéens ont utilisé les méthodes occidentales plutôt que celles de leurs coreligionnaires de l'Océan Indien. Ces méthodes ne sont, ainsi, pas passées en Méditerranée.

On est parti de la même base, l'astronomie qui est incontestablement arabe, mais les spécialistes qui ont élaboré les détails de la méthode appliquent cette astronomie à leur technique ; ils sont partis de l'existant, c'est-à-dire : des techniques déjà existantes, lesquelles étaient le résultat direct de la résolution de problèmes posés par des contraintes rencontrées. Rien d'étonnant, donc, qu'à partir d'une même science, on arrive à des applications différentes. L'approche est donc différente, bien que l'on soit, dans les deux cas, en présence de navigation intercontinentale. En ce qui concerne les occidentaux, leur domaine se concentre sur les méridiennes, qu'elles soient de polaire ou de soleil, qui sont des méthodes plutôt simple, alors que la navigation oblique arabe est plus complexe. Mais l'intéressant est qu'elles ont été élaborées, **l'une et l'autre, de toute pièce pour répondre à des questions techniques simples mais primordiales** qui se sont posées lorsque le marin sortant de ses espaces confinés a vu le large océan se déployer devant lui comme nouvelle perspective.

Ce qui est également important de souligner c'est que la navigation astronomique occidentale procède de l'estime. La base est toujours l'estime, la méridienne ne viendra que préciser les résultats de l'estime dans ce qui, dans cette méthode, procède d'une trop grande imprécision.

Le navigateur occidental pratique l'estime et est confronté à une surface d'incertitude trop grande ; il réduit cette surface au segment de parallèle fourni par la méridienne qui intercepte cette surface. A bien regarder les choses, en se fiant à l'estime, tout le long du voyage sans jamais la contrôler par les astres ; le navigateur occidental change de méthode en fin de voyage pour effectuer un atterrissage selon le parallèle. Alors que dans la navigation arabe l'exactitude de la route estimée est contrôlée chaque jour par l'observation astronomique.

D'où le plan

L'astronomie arabe et sa transmission à l'Occident.

Ibn Majid et la navigation oblique.

Les méridiennes portugaises.

Troisième Partie.

Chapitre premier.

3-1.0 L'Astronomie et la cartographie médiévales arabes.

Ce chapitre ne concerne que la relation de faits historiques et l'exposé de conclusions d'études depuis longtemps dans le domaine public. Il est cependant bon de faire apparaître les liens qui existent, sans être forcément évidents, entre la science arabe et la science nautique aussi bien arabe qu'occidentale. Il est, surtout, intéressant de noter que c'est la péninsule ibérique qui est le lieu privilégié où la transmission de cette science des arabes vers l'Occident est la plus évidente. C'est aussi le lieu de naissance de la navigation astronomique occidentale.

L'astronomie est l'étude de la **sphère céleste**, celle-ci s'opère dans un cadre caractérisé par des repères qui servent de base aux coordonnées célestes. Il s'agit de l'axe du monde ou **axe des pôles** qui détermine les pôles **Nord** et **Sud** et de son plan perpendiculaire, **le plan équatorial**. Cette étude débouche naturellement sur la cosmographie qui introduit la terre dans le système céleste. Elle fait intervenir à son tour un nouveau système de coordonnées que détermine la **sphère locale**, constituée par des paramètres locaux, **la verticale**, déterminant **zénith** et **nadir**, ainsi que le **plan horizontal** rendu sensible par la ligne d'horizon. Tout astre est caractérisé par ses coordonnées dans les deux systèmes de référence : **déclinaison** et **ascension droite**, dans le premier système et d'un autre côté, **hauteur** et **azimut** dans le second. On comprend qu'il s'agit de deux systèmes de référence qui sont liés par un point commun, le lieu de l'observation. Dans les calculs, le lieu d'observation interférant, il devient, dès lors, nécessaire de le repérer lui-même par rapport à son support terrestre. Il est donc obligatoire d'introduire un **troisième système de coordonnées** qui puisse préciser les paramètres du lieu de l'observation dans son cadre terrestre, **la sphère terrestre**. C'est l'objet de la géographie scientifique où les lieux sont désignés par leurs coordonnées terrestres, la **latitude** et la **longitude**. Il y a donc un lien entre l'astronomie et la géographie, dite scientifique, (par opposition à la géographie descriptive) qui passe par la cosmographie.

L'astronomie constitue avec le calcul, les disciplines scientifiques où l'apport des Arabes est vraiment fondamental dans l'histoire des sciences. En particulier, la pratique du calcul et de l'algèbre et surtout la maîtrise de la trigonométrie sphérique d'inspiration hindoue va permettre à l'astronomie scientifique de se développer. En effet, les grecs sont assurément les pères de la trigonométrie, mais leur trigonométrie est difficile, elle oblige de passer par le calcul des longueurs de l'arc et des cordes d'arc de l'angle au centre, sous-tendu par cet arc. La trigonométrie hindoue est la même que celle que nous utilisons aujourd'hui ; elle utilise, pour caractériser un angle, les valeurs modernes de, sinus, cosinus tangentes et cotangentes, rapports de grandeurs des cotés du triangle rectangle dont l'angle en question est un des angles aigu, Ces mesures sont faciles à mettre en tables et très facilement exploitables dans des calculs usuels.

3-1.1 L'Astronomie arabe, une synthèse

Pour résumer, en peu de mots, la somme des connaissances dans ce domaine, disons que les Arabes ont amalgamé, dans un même *corpus*, les fondements grecs qui ont élaboré les définitions de base, et la pratique persane et hindoue, deux régions où l'étude de l'astronomie est aussi une pratique traditionnelle. Surtout, l'astronomie ne commence à progresser rapidement que dès le moment où l'astronome peut confronter ses hypothèses à la réalité des faits par l'observation et la mesure. Si l'observation est relativement à la portée de n'importe qui, même en l'absence de la lunette astronomique, qui ne sera mise au point qu'à la Renaissance, l'invention du calcul numérique par les Arabes à partir des apports hindous et, surtout, l'adoption de la trigonométrie sphérique de type moderne vont permettre la vérification des hypothèses en calculant par avance les trajectoires et événements en vue de leur validation. Dès le début de la période abbasside, les Arabes, avec tous les moyens que leur permettent alors une économie florissante, construisirent des observatoires, à l'instar des Perses et des Hindous, et mettent au point des instruments de mesure pour permettre à des spécialistes d'avancer rapidement dans cette voie scientifique.

L'Astronomie physique est la recherche d'une représentation matérielle globale de l'univers à partir d'une réflexion de type purement spéculatif appuyé sur une observation attentive des

phénomènes célestes. C'est l'influence d'Aristote qui est prépondérante dans ce premier domaine, avec sa représentation cohérente du monde en sphères tangentes concentriques, étagées à partir de leur centre commun, la terre stable en ce point. La première sphère est celle de la lune et au dessus, chaque astre possède sa propre sphère jusqu'à la sphère des étoiles fixes qui clôt l'univers. Chaque type d'astre se meut indépendamment des autres sur sa propre sphère, selon ses propres lois qui régissent sa trajectoire

L'astronomie mathématique a pour objet la recherche d'une représentation géométrique de l'univers purement théorique, sur la base d'observations chiffrées précises, en faisant éventuellement abstraction de sa compatibilité, avec une cohérence du monde de type physique. Trouver des modèles géométriques paramétrables capables de rendre compte des phénomènes célestes mesurés peut, alors, permettre de calculer la position des astres à un moment donné, de dresser des tables de leurs mouvements. Il ne faut pas se cacher que pour les anciens, la position des astres influençant le devenir des hommes, le but principal de cette science est l'étude du destin de chaque individu, c'est **l'astrologie**. Mais cette astrologie fait appel à une connaissance de plus en plus poussée des mécanismes de l'astronomie.

Cette astronomie ancienne s'est construite à partir d'Hipparque, 150 avant notre ère, puis c'est Ptolémée, vers l'an 150, de notre ère, qui en est le couronnement, en langue grecque. Le père fondateur de l'astronomie, de la cosmographie et de la géographie scientifique reste Ptolémée qui rassemble, d'une façon magistrale, tout le *corpus* scientifique des concepts et des définitions, mis au point par ses prédécesseurs et présente le tout d'une façon synthétique. Il établit une hypothèse globale du monde qui restera sans concurrente jusqu'à Galilée et Copernic. Il est l'auteur de quatre ouvrages : l'Almageste, le livre des hypothèses, le *Phaseis* et enfin les tables faciles. Dans ce système, il reprend et étend les observations de ses prédécesseurs avec deux postulats :

1-la terre est au centre de l'univers,

2-tout mouvement céleste doit être expliqué par une combinaison de mouvements circulaires uniformes.

C'est dans le contexte de ce présupposé que les Arabes reprennent le relais. Non seulement, les Arabes connaissent tout Ptolémée, puisqu'une partie de son oeuvre perdue en grec ne nous est parvenue qu'à travers des traductions arabes, mais, de plus, ils connaissent aussi toute la littérature complémentaire des commentaires et les traités grecs appelés : **la petite collection astronomique**, oeuvre d'auteurs qui sont considérés comme constituant une introduction à l'oeuvre de Ptolémée³⁷⁴.

Les Arabes ne peuvent être que bons en astronomie et cosmographie. D'abord parce que leur religion fait appel sans arrêt à des notions cosmographiques ou astronomiques : les heures des prières, la *qibla* ou direction de la Mecque intervient dans bien des rites, les mois de ramadan sont réglés par les phases de la lune, etc. De plus cette même religion ne leur impose aucune cosmogonie religieuse contraignante. Bien évidemment, les textes sacrés indiquent que l'univers est la création de Dieu, mais sans autre détail sur le processus de création ce qui laisse à chaque croyant toute liberté pour investiguer et essayer d'imaginer comment Dieu fait fonctionner sa création. Aucune inhibition ne les empêche, donc, de chercher à expliquer l'univers, dont la logique et la précision leur permet, au contraire, de glorifier leur Créateur.

Installés à Damas, dans un premier temps, puis à Bagdad, au carrefour de tous les savoirs, les Arabes ont consolidé leur savoir propre dans ces matières. A Damas, ils avaient les yeux tournés vers Byzance, dont ils ont pris la place dans le Proche-Orient et investi deux capitales intellectuelles byzantines, Alexandrie et Beyrouth. L'influence des grecs sera donc primordiale, car ils disposent de toutes les oeuvres de l'antiquité à travers leurs traductions en syriaque³⁷⁵. Les Abbassides vont faire glisser le centre de gravité de l'Empire arabe vers l'Est, à Bagdad et font de cet empire un condominium de fait perso-arabe. L'astronomie qui s'est développée dans l'Empire perse, est surtout tournée vers l'astrologie. Cette astronomie perse est elle-même très influencée par des connaissances hindoues. Les arabes pratiquent alors avec bonheur la synthèse de ces trois astronomies. Encore que certains chercheurs inversent

³⁷⁴ Régis Morelon, *L'astronomie orientale entre le VIII^e et le XI^e siècle. L'Introduction de l'astronomie grecque*. p. 36-40. in *Histoire des Sciences Arabes*,...*Op. cit.*

³⁷⁵ En effet, la bibliothèque d'Alexandrie avait brûlé bien avant la conquête de l'Egypte par les arabes, une autre université se trouvait à Beyrouth. Beyrouth avait été choisie par Justinien comme un autre lieu de conservation de tous les textes juridiques de l'Empire romain ce qui en fit un centre d'études juridiques doté de bibliothèques de première grandeur.

ces séquences et font remarquer que c'est plutôt les astronomes perses qui, en rentrant dans l'empire abbasside, ont eu désormais accès aux bibliothèques syriaques³⁷⁶.

A partir du VIII^e siècle, avec le développement des sciences exactes dans le contexte bien précis d'une société musulmane organisée, la solution d'un certain nombre de questions d'ordre pratique à incidence sociale ou religieuse est demandée aux savants des diverses disciplines. C'est ainsi qu'il revient aux astronomes ; par exemple, de pouvoir répondre techniquement aux demandes des astrologues dont le rôle social officiel reste important ; les tables astronomiques, en particulier pour le calcul de la position des astres, seront dressées dans ce but. Mais surtout on met les astronomes à contribution, pour résoudre les problèmes pratiques de calendrier, d'heures, ou d'orientation sur terre et sur mer. C'est ce qu'exprime ibn Yunus au début de ses tables hakémites, rédigées au début du XI^e siècle³⁷⁷.

" L'observation des astres est en lien avec la loi religieuse car elle permet de connaître l'heure des prières, celle du lever du soleil qui marque l'interdiction du boire ou du manger pour celui qui jeûne au moment où l'aurore se termine, de même, celle du coucher du soleil dont la fin marque le début du moment des repas afin d'y accomplir la prière correspondante et aussi de connaître la direction de la kaba pour tous ceux qui prient, également connaître le début des mois et quels sont les jours où intervient un doute et de connaître le temps des semailles, de la fécondation des arbres et de la cueillette des fruits et de connaître la direction d'un lieu à partir d'un autre et de se diriger sans s'égarer."

Tous ces sujets sont à l'origine de développements théoriques importants qui dépassent de beaucoup le cadre strict des problèmes pratiques en cause. Ils feront l'objet de traitements particuliers, ci-dessous : la gnomonique et la science de l'heure, la question de la qibla à partir d'un lieu donné, le calcul de la visibilité du croissant, la géographie mathématique et le calcul de la latitude et de la longitude d'un lieu, la science nautique pour l'orientation en mer³⁷⁸. Il s'en suit une longue liste de savants, spécialistes de chacune de ces disciplines, concentrés

³⁷⁶ Régis Morelon, *L'astronomie orientale. Op.cit.* P. 36-37-38

³⁷⁷ Régis Morelon, *L'astronomie orientale. Op.cit.* p. 65-66

³⁷⁸ Régis Morelon, *L'astronomie orientale. Op.cit.* p. 31

surtout autour des X^e et XI^e siècles de notre ère. Citons Al-Battani,³⁷⁹ mort en 929 ; cet auteur conserve une grande influence, auteur d'une synthèse monumentale, les **tables sabéennes**. Il bénéficie d'une grande influence sur l'astronomie au Moyen Age occidental latin, puis au début de la Renaissance car son ouvrage est le seul traité intégralement traduit en latin au XII^e siècle, puis en espagnol au XIII^e siècle, où on le connaît mieux sous son nom latinisé d'Albategni ou Albatenius. Son ouvrage constitue la seule œuvre de tradition arabe orientale de grande envergure connue et étudiée par les historiens occidentaux de l'astronomie. Car, en plus, les universitaires médiévaux ont un accès aisé aux travaux des auteurs arabes de l'école d'al- Andalous. Cette école astronomique andalouse est reconnue au moyen Age pour développer une astronomie avancée au même titre que les écoles orientales.

C'est à ce stade de leur savoir que les Arabes entrent directement en contact étroit avec les Hindous, anciennement leurs voisins immédiats mais qu'ils côtoyaient plus intimement depuis leur conquête du Sind en 713.² Ces apports de connaissances en astronomie et surtout en mathématiques leur permettent de progresser d'une manière jusqu'alors inégalée dans ces disciplines. Les Arabes connaissent, à ce stade, 3 livres hindous, l'*Aryabhatiya*, écrit en 499, le livre de *Brahmagupta* daté de 665 et le *Mahassidhanta* de la fin du VII^e ou début du VIII^e siècle de notre ère. Ces livres se rattachent à l'astronomie, à un stade antérieur à Ptolémée, mais ils introduisent de nouvelles méthodes de calcul, en particulier le sinus, qui facilitent les calculs trigonométriques³⁸⁰.

En raison de cette position privilégiée et de la possibilité d'atteindre des connaissances venant d'horizon divers, ils suscitent des synergies qui font que l'on peut dire que, dès le IX^e siècle, ils dépassent, désormais, leurs maîtres dans leurs connaissances, et vont faire progresser l'ensemble de cette science, alors que les Grecs, à leur niveau, n'ont posé que les fondements. Mais à ces connaissances théoriques de base, ils ajoutent l'utilisation d'instruments de mesure et d'observation. Car que serait l'astronomie sans l'algèbre et la trigonométrie sphérique ? Ce sont là, des avancées décisives proprement arabes. L'algèbre et, en particulier, la partie qui

³⁷⁹ Régis Morelon, *L'astronomie orientale.. ;Op.cit.* p. 65-66

³⁸⁰ Régis Morelon, *L'astronomie orientale. ;Op.cit. La mathématisation des mouveents des astres.* p. 49à63.

s'intéresse au calcul numérique et les méthodes d'interpolation permettent de développer la trigonométrie moderne dont ils ont trouvé l'inspiration chez les Hindous. En effet, les Hindous vont apporter deux contributions importantes au patrimoine scientifique commun de l'humanité. En premier lieu l'invention des chiffres dits arabes, en fait hindous pour les arabes, ainsi que celle du zéro, pour indiquer les parties vides dans le système décimal, vont permettre la représentation des nombres par position, et de là le calcul sous forme matricielle, base du calcul numérique actuel. En second lieu, ils trouvent chez les Hindous une trigonométrie où les angles sont déterminés par le rapport des cotés des triangles qu'ils forment. On abandonne donc l'usage de la trigonométrie grecque qui caractérise les angles par la longueur de la circonférence du cercle inscrit. On doit, dans ce cas, passer dans les calculs par la longueur de l'arc de la corde sous tendue, ce qui complique singulièrement ces calculs. Ces apports hindous vont donc faciliter grandement les calculs et, dès le X^e siècle, les Arabes sont à même de dresser des tables des fonctions trigonométriques, telles que nous les connaissons, sinus, cosinus, tangentes et cotangentes, lues directement dans ces tables, sans être obligés de passer par une mesure en radians. Par voie de conséquence, ils en déduisent des tables astronomiques très complètes, surtout en ce qui concerne les mouvements du soleil et ceux de la lune. De telle sorte que al-Biruni, au tournant de l'an mil, pourra par les déclinaisons du soleil et la hauteur à midi calculer d'une façon très précise la latitude d'un lieu et d'une façon plus approchée sa longitude par les tables des éclipses de lune.

Observations et observatoires.³⁸¹

C'est dans les dernières années du kalifat d'al-Mamoun qu'un programme précis de bâtiments de grande taille est réalisé. Ce sont des lieux spécialisés pour les observations, aménagés dans des lieux précis : al-Sahamasiyya à Bagdad et sur le mont Qasiyun à Damas, en 831 -832. De nombreuses observations sont désormais répertoriées. Il faut noter que Ptolémée bâtit l'Almageste sur seulement 94 observations, dont 35 de son fait. C'est al-Battani qui cite le tube d'observation.³⁸² En 986 est cité un observatoire à Bagdad. A Rayy, en 977, al-

³⁸¹ Régis Morelon *Panorama général de l'histoire de l'astronomie arabe ; Observations et observatoires*, p 23-30

In *Histoire des sciences arabes...Op. cit.*

Khujandi réalise un grand sextant, conçu selon le système de la chambre noire.³⁸³ Un autre instrument de grande taille³⁸⁴ est décrit par ibn Sina (Avicenne) vers 1000. C'est en 1074, qu'est fondé à Malikshah, près d'Ispahan, un grand observatoire et pour clore cet inventaire, citons en 1256 la construction de l'observatoire de Maragha. Ces observatoires et leur instrumentation spécialisée génèrent une précision dans les mesures qui font découvrir des anomalies dans le système de Ptolémée. C'est ainsi que ibn al-Haytham écrit une critique de Ptolémée, il avait été en contact avec les Andalous, il connaissait en particulier al-Arqalluh. Les deux écoles vont tenter alors chacune de son côté de résoudre ces contradictions. Ces deux mouvements sont appelés d'une part, école de Maragha et, d'autre part, la « révolte andalouse » au XIII^e siècle.

Le résultat est que les astronomes arabes toujours fortement influencés par leur maître à penser Ptolémée vont toutefois bien au-delà des enseignements du père fondateur et commencent à considérer l'univers ptoléméen, non plus comme une vérité révélée, mais comme une théorie scientifique sujette à l'analyse critique et avancent donc bien au-delà de la théorie originelle sur au moins trois points.³⁸⁵

Premièrement, dès l'époque du calife al-Mamoun, les arabes ont appliqué un regard critique sur l'univers Ptoléméen qui a, alors, valeur de théorie générale car il embrasse non seulement l'astronomie mais aussi la cosmographie et encore la géographie scientifique. On sait que Ptolémée a effectué tous ses calculs à partir d'une mesure de la circonférence terrestre inexacte. Alors qu'Erastothene était arrivé à une approximation assez remarquable, il a choisi

3 *Ibid.* p 25. Ce tube d'observation est un télescope, sans optique, mais utilisé en double lecture. Une première lecture, visée du bord supérieur de l'oculaire par bord inférieur de l'objectif confrontée à une seconde visée du bord inférieur de l'oculaire par le bord supérieur de l'objectif. La moyenne des deux lectures permet une mesure fine de la direction de l'astre, même en l'absence de lentille grossissante.

³⁸³ *Ibid.* p. 26. Cet instrument de 20 mètres de long sur 10 mètres de haut, était orienté selon le méridien. Chaque degré de mesure était représenté par le déplacement d'un spot lumineux, image de l'astre, sur une longueur de 35 cm sur le limbe de l'instrument. C'est dire que l'on pouvait espérer une précision dans la mesure d'un angle de l'ordre du dixième de seconde d'arc.

³⁸⁴ *Ibid.* p27-28. Ibn Sina décrit un instrument reposant sur un mur circulaire de 7 mètres de diamètre, sur lequel circulait une règle sur un cercle gradué, une règle supérieure de visée donnait les hauteurs. Certainement, d'après ces explications succinctes, il s'agit d'une variante du tube d'observation, tel celui décrit à la note 3, et d'un cercle astronomique constituant un dioptré géant.

³⁸⁵ Régis Morelon, *L'astronomie orientale. ;Op.cit Analyse critique des résultats de Ptolémée.* P. 40 à 46.

les mesures de Posidonios qui étaient fausses, il les a pourtant vérifiées lui-même, mais, hélas, a ajouté l'erreur à l'erreur. Cette erreur a été réintroduite en Occident au moment où on a redécouvert Ptolémée dans le texte, C'est en particulier l'erreur qui est à la base des calculs de Christophe Colomb. Mais elle avait été décelée et corrigée par les astronomes arabes du IX^e siècle.

Deuxièmement, al-Biruni qui partit étudier aux Indes, revint avec une théorie qui prenait le soleil comme centre du monde et non pas un univers géocentré comme celui de Ptolémée ;

al-Biruni considéra cette hypothèse mais ne trancha pas. Pour lui ces deux systèmes étaient équivalents dans leurs conséquences et dans l'état de ses connaissances. En fait, pour passer de l'un à l'autre, il ne s'agit que de changer de coordonnées. Finalement, il est très facile de passer d'un système de référence l'autre. Mais, comme tous les calculs jusqu'à son temps ont été effectués dans un système géocentrique, autant continuer dans cette voie pour pouvoir exploiter, sans complication ajoutée, tous les calculs précédents et s'inscrire, sans douleur, dans une continuité scientifique déjà bien établie. Il avait raison. Il ne faut pas attribuer une importance démesurée au géocentrisme de Ptolémée. En ce qui concerne les applications nautiques les implications sont quasi nulles. Nous devons remarquer que nous avons continué dans cette voie pour les applications simples, en particulier les applications nautiques. C'est ainsi que les éphémérides nautiques éditées, années après années, jusqu'à nos jours et base obligée de nos calculs nautiques, est un ouvrage bâti dans un univers géocentrique. Par exemple, on y collecte jour par jour les différences de variation de la déclinaison du soleil, c'est-à-dire que nous supposons très simplement et très faussement que le soleil se meut dans le ciel par rapport à la terre, exactement comme on suppose que le font tous les autres astres ordinaires. Alors qu'en bonne logique, elles devraient nous fournir jour après jours les détails du balancement de la terre sur elle-même et nous fournir les variations quotidiennes de l'angle du plan de l'équateur sur celui de l'écliptique. On obtiendrait, évidemment, les mêmes valeurs absolues ; il ne s'agit donc que d'une question de définitions et de conventions. C'est exactement ce que disait al-Biruni.

Troisièmement, enfin, une question de fond a préoccupé les chercheurs arabes. Dans son hypothèse fondamentale, Ptolémée a émis deux hypothèses qu'il a fallu corriger, d'abord le

géocentrisme dont nous venons de parler et dont nous nous sommes assez bien accommodés, et ensuite une seconde hypothèse suppose que les planètes courent sur des orbites circulaires autour du soleil, selon un mouvement uniforme. Nous savons, maintenant, que l'interaction des gravités planétaires fait que ces orbites sont de forme ellipsoïde et parcourues selon un mouvement obéissant à la loi des aires et donc selon un mouvement linéaire soumis à des changements de vitesse. Des mesures fines rendues possibles par les observatoires bâtis par les Arabes et la précision de leurs mesures leur a permis de discerner des contradictions dans ce système de Ptolémée qui semblait, pourtant, si bien cadenassé du point de vue théorique.

Certains chercheurs arabes se sont posés des questions, plus avant et ont mis Ptolémée en face de ses contradictions. On était au XIV^e et le monde arabe, amputé par les Turcs de ses territoires Nord, séparé par les Mongols de sa partie perse,³⁸⁶ n'avait plus, nous dirions une masse critique suffisante, pour dégager les moyens scientifiques nécessaires à une recherche avancée. Les arabes ne purent aller jusqu'à bout de la conclusion logique de ce doute, c'est-à-dire jusqu'à l'élaboration d'une nouvelle hypothèse générale. Il appartiendra donc, à un polonais de faire la révolution copernicienne en astronomie. Cependant les historiens de l'astronomie cherchent toujours dans quelle mesure il n'y a eu une filiation entre les questionnements arabes du XIV^e et le pas en avant du XVI^e siècle.

2 Cosmographie et géographie scientifique.

Dans le domaine de la cosmographie qui touche de près celui de l'astronomie, on peut faire les mêmes remarques et noter que la science arabe est une synthèse entre les apports de trois civilisations, la grecque ou plutôt gréco-romaine par le biais de l'héritage byzantin, la perse par le biais de l'intégration abbasside et enfin l'hindoue par osmose de voisinage et de contact.

A-Les acquis de l'Antiquité.

³⁸⁶ La Perse, pour cette raison, a commencé à retrouver une spécificité iranienne et a perdu l'usage de l'arabe à partir de cette époque

La sphéricité de la terre a été énoncée par Thalès de Millet au VI^e siècle, avant notre ère. Eratosthène a calculé avec précision (39400 km) la circonférence de la terre et Hipparque au III^e siècle avant notre ère, a divisé le cercle en 360 degrés et inventé la latitude et aussi les méridiens et les parallèles. Les Grecs introduisirent le concept de **climat** en tant que division géographique. Cette théorie des climats est basée sur une division selon la durée des jours. Sont réputés comme faisant partie du même climat, tous les points de la terre où, à un même moment, la durée du jour est identique. Si on développe l'idée dans ses diverses implications, on s'aperçoit que ces points présentent d'autres traits communs, en particulier, d'avoir la même hauteur de soleil à midi locale et les mêmes azimuts du soleil au lever et au coucher. **Il s'agit donc des pays situés sur la même latitude.** Les climats au nombre de sept, découpent l'hémisphère nord en bandes parallèles sujettes au même climat du point de vue atmosphérique et météorologique, ce qui est grossièrement vrai si on excepte les effets du continent et de l'altitude.

L'oeuvre de Ptolémée représente l'état des connaissances en géographie en 150, de notre ère. Elle limite le monde à l'Ouest et à l'Est ; le souci dominant restant de mettre en évidence les similitudes de coordonnées entre plusieurs villes. Elle relève donc d'une démarche scientifique, même si les Arabes qui en approfondissent l'étude ensuite en démontrent les limites. La carte de Pomponius Mela, datée du I^{er} siècle de notre ère, introduit l'hypothèse d'un continent africain surdéveloppé avec l'idée qu'une certaine symétrie est nécessaire pour que le monde ne soit pas entraîné dans un tourbillon déséquilibré. Les cartes de Ptolémée sont perdues mais il détaille dans ses écrits la méthode de les établir, si bien, que les cartes de Ptolémée que nous pouvons voir ne datent que du XII^e siècle. Au XV^e siècle, les copies du XII^e sont réintroduites par les Grecs chassés de Constantinople par les Turcs en 1453, elles seront publiées et diffusées grâce à l'imprimerie et aux cuivres gravés, méthode mise alors au point par un orfèvre italien, cette diffusion au XV^e débouchera sur Mercator en 1569. En effet, c'est Ptolémée (90-168) qui fixe dans son guide géographique, en 8 livres et 27 cartes l'image du monde qui sera celle des Occidentaux pendant près de 13 siècles. Si tous les originaux ont disparu, les cartes de Ptolémée ont été copiées et recopiées à satiété, y compris ses erreurs. En effet Eratosthène a le premier mesuré, en 250 avant notre ère, un arc de méridien et, à partir de là, calculé la circonférence terrestre et a trouvé 39500 km. Nous remarquons la remarquable précision du résultat. Hélas ! Posidonios reprit les calculs et se trompe avec une circonférence diminuée à 33000 km ; C'est cette valeur qui fut retenue par Ptolémée dans un

premier temps. Malheureusement il reprend les calculs de Posidonios et ses nouveaux calculs de la circonférence terrestre sont entachés de graves erreurs : il trouve 28400 km. Ce sont ces valeurs qui traverseront près de 1300 ans pour reparaître sous une traduction imprimée et dont le succès fut immédiat. C'était un des livres de chevet de Christophe Colomb. Cette sous-estimation des longitudes sera une erreur bénéfique à long terme, car elle évitera à Christophe Colomb d'être découragé à l'avance par l'étendue réelle de l'océan Atlantique lorsqu'il part à l'Ouest chercher les Indes.

B-L'Apport arabe en géographie scientifique

Les Arabes reprennent les idées de Ptolémée mais mettent au point, pour les préciser, des méthodes de mesure et de vérifient par eux même tous ses calculs. C'est d'abord sous le règne du calife al-Ma'mun, qui règne de 813 à 833 et qui s'intéresse fort aux sciences, que l'on vérifie la valeur du rayon terrestre³⁸⁷. Les Arabes déterminent la longueur du degré terrestre de 56 et 2/3 milles arabes (mille double pas de cheval soit autour de 1900 mètres). Les problèmes que pose la transcription de métrologie ancienne en mesures modernes étant quasiment une science en elle-même, acceptons d'emblée le résultat des travaux de Nallilo, qui donne 111,8 kilomètres par degré, pour une définition moderne de 111,3. C'est donc un résultat d'une exactitude remarquable. Donc dès le IX^e siècle, les scientifiques arabes rectifient l'erreur de base de Ptolémée dans ses calculs.

S'ajoute à cette rectification une deuxième modification à la géographie de Ptolémée ³⁸⁸, toujours à l'initiative des Arabes. Alors que Ptolémée place son méridien origine à l'extrême Ouest connu, c'est-à-dire aux îles Canaries qui, à son époque sont quasiment inaccessibles, et décompte les méridiens vers l'Est, les Arabes envisagent un autre système de longitude, celui des Perses et des Hindous. Celui-ci placent l'origine des méridiens à l'extrême côte Est de la Chine et décomptent leurs méridiens vers l'Ouest. Les deux systèmes auraient du rester complètement indépendants, puisque personne ne connaissait exactement l'étendue en

³⁸⁷ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. in *La Science arabe...* Op. cit. p 218-219

³⁸⁸ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 220-221.

longitude de cet énorme continent constitué par l'Eurasie, et qui était le seul universellement connu à cette époque. Aussi finissent-ils par se rallier à une troisième solution, la notion de **coupole du monde**. Dans ce système on définit la coupole du monde comme le centre de gravité de l'œcoumène. Le méridien passant par cette coupole du monde sera donc considéré comme le méridien origine car plus accessible physiquement. Néanmoins, on se trouve devant une controverse quant à la position de la coupole du monde qui est une notion commune aux deux systèmes, perse et hindou. La coupole du monde est le point formé par l'intersection de l'axe de symétrie du monde émergé et de l'équateur. Autrement dit, **c'est sur l'équateur le point de longitude moyenne entre la longitude origine et la longitude extrême**. Cela reste, malgré tout, une notion très vague et purement théorique. Cependant, il se trouve que la position supposée de cette coupole reste voisine, dans les deux systèmes et ce méridien origine passe quelque part en Asie centrale dans le système perse, et au milieu du Dekkan dans le système hindou. Ils ne sont donc séparés que d'une dizaine de degrés de longitude et ceci présente une ambiguïté qui demande de faire un choix³⁸⁹. Mais cette distinction n'est pas si importante il s'agit d'une référence à un système de coordonnées, arbitraire de toute façon. En fait, les Arabes fonctionnent avec les deux systèmes et un géographe comme Aboulfeda³⁹⁰ donne toutes ses positions géographiques selon les deux systèmes de coordonnées.

En ce qui concerne le calcul de ces coordonnées, la détermination de la latitude est connue depuis la plus haute antiquité et ne pose guère de problèmes. En revanche, la détermination de la longitude reste toujours possible, à terre, mais elle est plus délicate. Néanmoins, les Arabes ont le choix entre deux méthodes pour calculer les coordonnées d'un lieu donné. Al-Biruni, autour de l'an 1010, les décrit fort bien, pour les avoir expérimentés lui-même³⁹¹.

³⁸⁹ Cette différence d'une dizaine de degrés fit que l'on transporta le point origine donné par Ptolémée des Canaries sur le continent africain un peu plus à l'est. Les conséquences en restèrent dans les deux cas entièrement théoriques puisque (malgré la légende d'une colonne aux Canaries) aucune matérialisation physique ne fut érigée ni aucun observatoire où effectuer des observations astronomiques. Les valeurs absolues n'intéressaient apparemment personne puisque les mesures s'obtenaient par différences de longitude.

³⁹⁰ Joseph-Toussaint Reinaud, *La géographie d'Aboulfeda* Paris Imprimerie nationale 1848, rééd. Frankfurt. 1985.

³⁹¹ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 222-223.

La première méthode consiste à observer un phénomène astral qui est instantané dans l'univers et peut être observé simultanément en deux lieux distincts. Il suffit de calculer en temps local l'heure des deux observations. La différence des heures calculées à partir de midi vrai donne donc la différence des longitudes en temps, convertibles donc en degrés de longitude sur la base de 360 degrés pour 24 heures. Le phénomène commun sera, généralement, une éclipse de lune, relativement fréquente et observable simultanément sur d'assez grandes surfaces du globe, puisque observable quasiment sur la moitié du temps de la durée d'un jour. Evidemment, les phases de l'éclipse ne sont pas assez tranchées pour prétendre à l'exactitude que peuvent présenter des phénomènes plus rares tel que le passage des planètes devant le soleil ou des éclipses de soleil plus rares et difficiles à observer.

La deuxième méthode procède d'un calcul fait à partir de mesures prises sur le terrain. On mesure la distance par la piste entre un point A et un point B. La mesure est prise lors d'un parcours de A à B, corrigé, par un coefficient d'expérience tenant compte des accidents du terrain et de la rectitude plus ou moins approximative du chemin parcouru. Al-Biruni applique une déduction forfaitaire de 20% de la distance mesurée pour avoir la distance à vol d'oiseau. Al-Biruni considère alors le parallélogramme sphérique constitué par les parallèles de A et de B et les méridiens passant par A et B. Connaissant les latitudes de A et de B, calculées au préalable par une méthode indépendante, et connaissant également la mesure de la diagonale qu'il vient d'effectuer sur le terrain, Ptolémée lui fournit une formule pour résoudre au moyen de la trigonométrie grecque ce parallélogramme et obtenir les longitudes. Kennedy nous dit que seul al-Biruni a fourni des résultats basés sur cette seconde méthode. Pourtant en lisant Alboufeda, celui-ci nous affirme avoir établi lui-même de nombreuses longitudes qu'il aurait calculé par une méthode qu'il ne spécifie pas, mais que l'on peut raisonnablement supposer être la même³⁹².

³⁹² On est fondé de supposer que cette méthode était davantage à la portée d'un homme seul comme l'était Alboufeda qui, au point de vue scientifique était un amateur, avec des moyens certes mais un amateur, car il était un politique et un administrateur de profession. La méthode simultanée suppose, en effet, une logistique lourde, surtout en ce qui concerne les communications entre les deux observateurs et qui nécessite un service des postes fonctionnant parfaitement. Ceci était effectivement le cas sous les abbassides, mais beaucoup moins vrai dans le monde troublé dans lequel a vécu Aboulfeda, comme en témoigne sa biographie personnelle.

Kennedy³⁹³ collationne et commente les résultats statistiques de l'étude des mesures arabes en ce domaine. Elles semblent très satisfaisantes. Les Arabes présentent des listes géographiques que l'on peut collationner parmi la littérature géographique disponible, des lieux reconnaissables à travers le temps, ainsi que leurs coordonnées géographiques. Soumis à des traitements statistiques, les résultats donnés et commentés par Kennedy sont intéressants. Tout d'abord, il faut, dit-il dans le commentaire de ses travaux, éliminer les résultats trop divergents de la réalité, non pas parce qu'ils trahissent une faiblesse des méthodes de mesure mais plutôt parce qu'ils sont le résultat des incertitudes dans la collecte des données. En d'autres termes, les valeurs aberrantes sont, plus que des erreurs, le résultat de l'absence de critique des sources. Ces auteurs ont bien évidemment été obligés de prendre pour argent comptant les chiffres qui circulaient et qu'ils n'ont pas pu eux même vérifier. Cependant des statistiques concernant les trois quart des données donnent des latitudes à quatre minutes d'arc près en moyenne, avec cependant une dispersion assez importante de l'ordre du degré. En ce qui concerne les longitudes les résultats sont moins brillants, cependant on a les résultats des travaux d'al-Biruni par sa méthode approchée donne une erreur de 1/3 de degré sur 24 soit un peu plus de 1 %.

3-1.3 Cartographie antique et arabe.

On appelle projection, la relation mathématique qui relie un point de la carte au point correspondant du terrain. En effet, la carte est la projection sur une surface plane d'un morceau de sphère, automatiquement nous serons en présence de déformations. Le cartographe préfère donc suivre une loi logique immuable pour passer de la sphère au plan et pouvoir ainsi retrouver à tout moment, par le calcul, la déformation en un point donné de la carte, il faut donc utiliser une loi mathématique. A défaut de formule mathématique une relation géométrique suffit, c'est-à-dire, la description claire du processus graphique qui permet de passer de l'un à l'autre. Ces deux procédés sont équivalents, puisque une analyse géométrique pourra toujours, en principe, être traduite en analyse algébrique, même si le géomètre n'en n'est pas encore capable au moment où il procède à son analyse géométrique.

³⁹³ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 219-220.

Ce ne sont pas les Arabes qui ont inventés la cartographie, les anciens les ont précédés. En revanche, ils ont une connaissance très étendue de ces divers travaux anciens. Ils connaissent par le détail les travaux de Héron d’Alexandrie, pour ce qui concerne les levés cadastraux et ceux de Ptolémée et de Marin de Tyr, en ce qui concerne des représentations de plus grande ampleur.

A-Marin de Tyr³⁹⁴

La terre étant ronde, dès que l’on renonce à la représenter sous la forme d’un globe terrestre on introduit des distorsions. Comme nous l’avons vu précédemment, toute représentation d’une surface sphérique sur le plan de la carte suppose un sacrifice, ou bien on gardera l’identité de la proportion des angles, ou bien celle des aires, ou bien encore de certaines longueurs, mais jamais tout ensemble, ce qui n’est possible que sur une représentation sur un globe terrestre, reproduction de la réalité sur un support qui est une réduction homothétique du modèle réel. C’est la destination, définie par l’usage que l’on veut en faire, qui va commander le choix de la projection.

La première carte digne de ce nom est l’œuvre de Marin de Tyr, autour de l’an 100 de notre ère, précédant donc de quelque 50 ans Ptolémée. Dans le système de Marinus ou Marin de Tyr, on projette le monde sur un cylindre. Celui-ci n’est pas tangent à la sphère terrestre à l’équateur, comme ce sera plus tard le cas dans la projection de Mercator. Ce cylindre est sécant de la surface du globe à la latitude de Rhodes, de telle sorte que ce qui est au Nord de cette latitude est projeté de la sphère vers la carte par « en dessous » et ce qui est au Sud est projeté à partir de la sphère vers la carte par « en dessus ». Il en résulte des échelles divergentes et changeantes lorsqu’on s’éloigne de la latitude de Rhodes vers le Nord ou vers le Sud. En revanche, si l’on reste selon le parallèle de Rhodes et dans les régions adjacentes, la représentation peut être considérée comme relativement fidèle. C’est ce que voulait, assurément, Marin de Tyr, puisque la partie utile de sa carte correspond au bassin

³⁹⁴ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. *Op. cit.* p. 223-224-225.

méditerranéen, qui est l'univers antique accessible. Les parallèles sont des droites, ainsi que les méridiens et forment un système de coordonnées orthogonales.

B-Les cartes de Ptolémée.

Ptolémée utilise deux types de projection. **Dans le premier cas**, les méridiens convergent, ils sont représentés par des lignes droites concurrentes et les parallèles sont alors figurés par des cercles qui coupent chaque méridien sous un angle droit et qui sont tracés autour d'un centre commun qui est le point de convergence des méridiens. Dans ce système, les distances sont conservées le long des méridiens et on choisit l'échelle des parallèles, de telle sorte que les distances soient conservées sur le parallèle passant par Rhodes et aussi que le rapport des distances soit conservé le long du parallèle de Thulé (63 degrés de latitude Nord). **Dans le second cas**, les parallèles sont représentés par des cercles concentriques et on choisit trois d'entre eux sur lesquels les distances sont conservées (63, 23:50' et -16:25') Il en résulte que les méridiens sont désormais circulaires, ils doivent être tracés point par point. Il faut déterminer les points de même longitude sur les trois parallèles de référence et les unir par un cercle puisque par trois points, il passe un cercle et un seul. Les distances dans ce cas ne sont plus exactement conservées le long du même méridien.

Pour son second type de projection, Ptolémée part des travaux d'Hipparque qui est à l'origine de la définition des méridiens et des parallèles. Hipparque établit une carte du monde connu sur un bâti quadrangulaire, où méridiens et parallèles se coupent à angle droit. Mais devant la déformation des régions situées au Nord, il modifie le réseau de méridiens pour les figurer selon des droites concurrentes se rejoignant au pôle; c'est l'ancêtre de la projection Lambert. (la projection conique de la carte française d'état-major) Ptolémée remplace ce bâti par des courbes pour essayer de figurer la rotondité de la terre, il conserve la représentation des parallèles par des droites et reprend la théorie des climats d'Hipparque.

C Les itinéraires romains

Si les Grecs étaient avant tout des marins, les Romains étaient des terriens, leur cartographie est non plus spéculative mais essentiellement utilitaire. Leurs itinéraires terrestres, sans souci d'exactitude dans l'orientation inventoriaient en revanche avec précision les routes, les villes étapes et les distance qui les séparent. Le plus beau spécimen établi vers le III^e siècle, nous est parvenu par une copie effectuée au XIII^e siècle pour un collectionneur allemand Peutinger. Cette table de Peutinger n'est pas géographique mais chorographique. Le géographe conçoit le monde comme un tout indivisible, en revanche, le chorographe détache une partie d'un tout comme, par exemple, l'œil ou l'oreille et la dépeint sans se soucier de l'organisation générale de la tête. Donc le périple de Peutinger décrit les routes pour aller à Rome, Le chemin étant un fait concret, un tracé physique sur le sol qu'il suffit de suivre, il ne s'inquiète donc aucunement des directions qui sont réduites à deux et évidentes : l'aller et le retour. Il ne décrit que les étapes, de telle sorte que tous les itinéraires sont réunis comme des tracés parallèles sur une même bande de parchemin, puisqu'ils ont tous pour étape finale Rome et, ceci, quelle que soit l'origine de la route en Europe.

D- Les plans cadastraux

Egalement utilitaires, les cadastres établis dans diverses civilisations. On désigne du nom de cadastre, à la fois l'ensemble des documents cadastraux établis en vue de l'assiette de l'impôt foncier ou cadastre proprement dit et aussi le service administratif du cadastre chargé des différents travaux cadastraux. L'Histoire de l'institution se confond avec l'Histoire économique des peuples et son origine remonte à la plus haute antiquité. Cette Histoire commence dès que les collectivités publiques, pour faire face à leurs dépenses publiques, éprouvèrent le besoin de recenser la propriété foncière et d'en évaluer le revenu, en vue d'opérer un prélèvement sur les produits de cette richesse. Les plus anciennes opérations de ce type se trouvent consignées sur une tablette chaldéenne qui permet de lire le plan côté, la superficie et la description d'une ville vers 4000 avant notre ère. On trouve également des

traces de cadastre chez les Egyptiens, les Chinois, les Grecs et les Romains qui l'introduisirent en Gaule. Les plus anciens, après les Chaldéens sont attribués aux Egyptiens qui dressent des levés pour rétablir les limites des champs après chaque crue du Nil. En Europe, les Romains en usent pour distribuer les terres aux soldats-colons. Pendant tout le Moyen Age des livres terriers sont établis sur le plan local restent purement descriptifs et littéraires ; ils ne portent que les déclarations des propriétaires mais ne sont pas établis selon la technique rigoureuse de l'arpentage qui reste exceptionnelle. Ces relevés cadastraux donnaient lieu à l'établissement de plans cadastraux. On le sait car les Romains en ont gravés certains sur leurs monuments, le plus bel exemple est celui qui a été gravé à Orange et s'est perpétué jusqu'à nous. L'arpentage si nécessaire en Egypte, en raison des crues du Nil, est favorisé, par ailleurs, par la présence de l'école mathématique d'Alexandrie dont un des membres, Héron, au Ier siècle de notre ère, donc plus ou moins contemporain de Ptolémée, écrit, d'une part, un livre de métrique soit de calcul et d'arpentage et, d'autre part, un traité sur le dioptré, l'ancêtre de la lunette topographique ou du théodolite. Héron n'est pas un professionnel de l'arpentage comme l'était Hygin le gromaticus mais un savant plutôt touche-à-tout. Ses rapports avec l'arpentage sont très marginaux, il ne se sert des techniques et des instruments de cette discipline que pour résoudre des problèmes qui sortent du cadre cadastral pur et sont plutôt des problèmes topographiques ; par exemple, il se passionne pour le positionnement ou la mesure de la hauteur, à distance de points inaccessibles. Ce dioptré n'est que le nom grec de l'alidade à pinnule. Ces levés topographiques sont des projections cartographiques, ce type de projection est explicité, entre autres, par le scientifique arabe du X^e siècle, al-Biruni. En effet les Arabes avec leurs si nombreux géographes descriptifs et surtout scientifiques s'occupent très tôt de dresser des cartes. On sait ainsi qu'Ibn Yunus, mort en 1009, aurait dressé une carte du monde pour le calife al-Aziz, mais on n'a aucune indication précise sur le type de projection utilisé.

E-La cartographie arabe.

Les Arabes suivent l'œuvre de Ptolémée en astronomie, ils le suivent également en cartographie. Alors qu'en astronomie ils peuvent confronter cette œuvre à d'autres connaissances, perses ou hindoues, en ce qui concerne la cartographie il n'y a, dans leur monde contemporain, vraisemblablement, que les chinois pour s'intéresser à la cartographie

sans que l'on puisse distinguer, en l'état actuel de nos connaissances, aucune interaction entre les deux civilisations dans cette matière. Tout d'abord ils fournissent un énorme travail théorique sur la notion de projection géographique. Al-Biruni est très au fait de sur ces problèmes, il en détaille huit types. Parmi celles-ci, deux méritent que l'on s'y attarde³⁹⁵.

Dans la première celle de **l'équidistance azimutale**³⁹⁶, on choisit un point **O** sur la sphère qui sera l'origine et une direction de référence, celle du Nord par exemple. A partir de ce point **O**, on trace une droite faisant un certain azimut avec la direction de référence et on mesure la distance de **O** à un point **X** de la sphère. On reporte sur la carte le point **X'** ayant le même azimut et à une distance rapportée à l'échelle. Al-Biruni rapporte l'opération comme un phénomène mécanique, c'est comme si l'on posait la sphère sur la carte au point **O** et que l'on décalque le terrain sur la carte en la faisant rouler en tous sens. On reconnaît ici la méthode qui relève du travail cadastral d'Héron d'Alexandrie qui mesure l'azimut d'un point avec son dioptré et la distances sur le terrain le long de cette ligne d'azimut. Lorsqu'on observe la carte ainsi obtenue, le méridien et le parallèle passant par le point **O** se présentent comme des coordonnées orthogonales. Par contre les autres méridiens et parallèles se présentent sous forme de courbes dont on ne sait pas calculer l'équation car le procédé est entièrement expérimental et n'a rien de logique mais on peut remarquer qu'ils ressemblent fort à des arcs de cercle.

Al-Biruni en déduit le **système globulaire de projection**³⁹⁷ qui, cette fois, est une vraie projection, car le canevas des parallèles et méridiens est ici bâti d'avance et selon des règles géométriques rigoureuses. Le point de contact **O** est placé sur l'équateur. L'équateur et le méridien du point de contact forment donc comme dans le système précédent, des coordonnées orthogonales. Ils sont divisés par des points bien définis, de 10 en 10 degrés par exemple, de 0 à 90°. On détermine ainsi un cadre circulaire qui est la projection d'un

³⁹⁵Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 22(-226).

³⁹⁶Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 226-227.

³⁹⁷Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 227-228.

hémisphère entier. Pour le premier méridien on prend les deux pôles et le point de longitude 10 degrés sur l'équateur on trace l'arc de cercle que déterminent ces trois points. En ce qui concerne les parallèles, on divise également de 10 en 10 les deux quarts de cercle du cadre qui vont de la longitude 90 Ouest au pôle Nord et ainsi de suite tout autour du cadre externe. Pour tracer le parallèle 10 degrés nord, on prend les trois points de latitude 10 degrés, celui placé sur le méridien origine et les deux autres placés de part et d'autre sur le cadre extérieur. Ici aussi on trace le demi-cercle passant par ces trois points. On obtient un canevas très ressemblant à celui du cas précédent. On démontre qu'au centre de la carte, la carte est presque conforme et elle peut être superposée, quasiment exactement à la carte du cas précédent, On observe que les différences avec la carte précédente se concentrent à la périphérie, de même que c'est dans ces mêmes zones éloignées du centre de la carte, qu'elle cesse d'être non exactement conforme.

Ces deux types de projection constituent une même famille ; la première étant la figuration mécanique de la construction de la carte tandis que la seconde est une construction purement géométrique. Nous retrouvons le principe de cette projection équidistante azimutale dans le chapitre ayant trait au portulan. Nous avons déjà noté, à cette occasion, les déformations subies dès que l'on s'écarte un tant soit peu du centre de projection.

Il faut citer également la **projection stéréographique équatoriale**³⁹⁸, découverte bien avant al-Biruni, sans doute vers l'an 150, soit l'époque de Ptolémée. Dans ce type de projection, on projette sur un plan tangent à la sphère à l'un des pôles. Les points de la sphère sont la projection d'un point de la sphère à partir du pôle opposé. Nous avons déjà évoqué cette projection également à propos du portulan et d'une relation possible avec les cartes du ciel. En effet, l'avantage de cette projection est que l'on peut également projeter, sur ce plan-là, les étoiles situées sur la sphère céleste. Dans ce type de projection les angles formés par les méridiens sont conservés et les parallèles sont figurés par des cercles concentriques. Elle est donc surtout utilisée pour les cartes du ciel et servira à construire les astrolabes. En effet comme nous venons de le dire les angles formés par les méridiens sont conservés, c'est dire que l'angle au pôle d'une étoile est conservé, autrement dit le temps de passage précis d'un astre à un point local précis peut être figuré par un angle, puisqu'il y a une correspondance entre

³⁹⁸ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 229-230.

360° et 24 heures, par définition. C'est important pour l'usage de l'astrolabe qui est un instrument qui permet figurer l'état du ciel en un lieu et un moment donné, et, en particulier, de prévoir à l'avance cet état du ciel. Il en existe une variante découverte en 1050 environ par le facteur d'astrolabe et savant andalus ar-Zarqalluh (connu comme Azarquiel par l'occident médiéval) qui utilise la projection stéréographique à partir d'un point sur l'équateur sur un plan tangent au point antipode. Il est intéressant, au point de vue historique, car plus tard, au XVI^e siècle, les occidentaux l'adoptent pour s'en servir comme système de projection pour leurs cartes des régions polaires, impossibles à représenter dans le système de Mercator.

Outre donc, la théorie des projections, les Arabes passent aux applications cartographiques concrètes et s'appliquent à dresser des cartes. Ce n'est pas avant le VIII^e ou les premières décennies du IX^e siècle que l'on trouve les plus anciennes cartes du monde en arabe grâce à l'introduction dans le monde islamique, au VIII^e siècle, des ouvrages astronomiques et géographiques de la Grèce, de l'Inde et de l'Iran³⁹⁹. Vers l'année 930, un certain Suhrah établit une table géographique. Dans l'introduction de son ouvrage il s'explique le principe de la construction d'une carte géographique ; *« il faut construire un réseau de parallèles à partir de l'équateur complété d'un réseau orthogonal de méridiens. Puis, on place les villes en fonction de leurs coordonnées géographiques »*. C'est reconnaître une évidence, un système de coordonnées orthogonales est ce qu'il y a de plus commode pour situer des lieux donnés par leurs coordonnées géographiques.

D'après Kennedy, il existe plusieurs copies d'un ouvrage écrit vers 1340 par un iranien Hamdallah al-Mustawi al-Qazwini qui comporte une carte très intéressante et qui va peut être nous éclairer sur la carte que Moalem Cano va montrer à ses collègues, les pilotes portugais de Vasco de Gama, selon le récit de João de Barros. Cette carte (celle de 1340) est une carte terrestre couvrant un territoire allant de la Syrie au Cachemire d'Ouest en Est et du Yémen au Khwarizm dans le sens Sud Nord. En effet, les cartes arabes, à l'inverse des nôtres, figurent le Sud en haut de la carte. Toute la carte est découpée par des parallèles horizontales et verticales orthogonales, des parallèles géographiques et des méridiens donc, espacés d'un degré selon chacun des axes. Des villes, au nombre de 170, sont inscrites dans les carrés

³⁹⁹ Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 225-226.

correspondants à leurs coordonnées géographiques. Notons qu'elles y figurent par la mention de leur nom, mais ne sont pas positionnées ponctuellement plus précisément sur la carte. Il n'y a pas d'autres détails quant au relief ou aux fleuves, sauf en ce qui concerne les côtes qui y sont figurées. En fait il y a deux cartes figurées dans l'ouvrage d'al-Mustawi⁴⁰⁰, la seconde, plus générale et à plus grande échelle, figure un espacement, non plus de degré en degré, mais de 10 en 10 degrés. Elle semble avoir été copiée par Hafiz i Abru, mort en 1430, qui reproduit le même schéma mais en espaçant ses parallèles et méridiens, de 5 en 5 degrés. Alors que al-Mustawi ne fait que lister les villes, Hafiz lui n'hésite pas à les situer, mais il se contente de ne le faire que dans la partie centrale, la moins déformée. Kennedy cite également une deuxième carte d'Hifaz, où figure un cercle plaqué sur ce canevas orthogonal. Ce cercle est censé représenter la projection de l'hémisphère sur le plan. Il en résulte une contradiction entre ce type de cartographie en coordonnées orthogonales et les études où la projection des méridiens et des parallèles sont figurés par des arcs de cercle, contenus dans un cercle figurant l'hémisphère terrestre.

A notre sens, le canevas orthogonal est, dans ce cas, complètement étranger à ce type de projection et ne peut représenter, alors, qu'un système de classement des données géographiques sous forme de tableau carré. Les Arabes semblent apprécier particulièrement cette présentation synthétique et commode. On retrouve ce type de tableau, à de nombreuses reprises, dans leurs manuscrits concernant des domaines très divers. Dans ce type de présentation, les critères de classement sont rangés verticalement et horizontalement dans les marges d'une grille orthogonale, et les données sont rangées en fonction de ces critères tout au long de la grille. Les données peuvent être des chiffres ou des concepts⁴⁰¹ ; Dans le cas précis qui nous occupe, on serait en présence d'un simple classement des villes d'une liste géographique selon le critère de leur latitude en ordonnées et celui de leur longitude en abscisse. Mais un tableau carré ne constitue ni une carte ni un graphique. On n'y trouve

⁴⁰⁰Edward. S. Kennedy, *Géographie mathématique et cartographie*. Op. cit. p. 232.

⁴⁰¹ Par exemple : en ce qui concerne les chiffres, une table de multiplication de Pythagore est un tableau carré où les critères sont la suite des chiffres entiers, rangés horizontalement et verticalement et le contenu du tableau sera constitué par leurs divers produits deux à deux. Un tableau des diagnostics des maladies internes procédera du même principe ; des signes cliniques seront rangés dans un sens, par exemple : fièvre, éruption cutanée, vomissements, etc., et dans l'autre une seconde série de signes cliniques, par exemple une classification des douleurs : profuses, lancinantes, épisodiques etc. Le contenu du tableau donnera alors en croisant les critères une série de maladies intestinales probables. Qui permettent de dégrossir le diagnostic ;

strictement que les données que l'on y a introduites, on ne peut procéder à des calculs même aussi simples que des interpolations⁴⁰².

F-De la cartographie scientifique à la carte marine chez les arabes ? Le mystère de la carte marine de Moallem Cano

Toutes ces cartes à coordonnées rectangulaires anciennes, que ce soit la carte de Marin de Tyr celle d'Edrisi qui en est déduite, ou bien, les cartes arabes et persanes, malgré leur apparence similaire à celle des cartes marines modernes, sont inexploitables en navigation. En effet si depuis l'an 1010 environ des procédures de calcul ont été mises au point à terre en particulier par al-Biruni avec les observations d'éclipse de lune, il n'en n'est pas de même à la mer. En effet, le calcul en observatoire demande plusieurs opérations qui se suivent en séquences dans le temps. Nous avons vu qu'il faut d'abord repérer la ligne Nord-Sud. A partir de là, on peut déterminer le midi vrai local ; mais il faut pouvoir étalonner le temps par un système d'horloge à eau ou mécanique (mais pas avant le XIII^e siècle). Enfin, le plus évident est le temps nécessaire au courrier pour confronter les deux observations, base du calcul de l'écart en longitude qui est l'objectif⁴⁰³. Or **en navigation il faut un calcul en temps réel**. Rien ne sert de connaître la longitude du point où l'on se trouvait il y 3 mois, c'est la longitude

⁴⁰² Par exemple la table de multiplication de Pythagore, bien qu'elle présente la suite des carrés des nombres entiers en diagonale ne peut absolument pas être utilisée pour calculer le carré de 5,6 par exemple. En effet, l'échelle le long de la diagonale n'a rien à voir avec la combinaison des échelles de référence. En fait, pour pouvoir calculer les carrés des nombres quelconques, il faut construire une courbe et non pas un tableau carré mais une courbe qui transcrit une formule mathématique : $y = x$ au carré. Cette courbe est exponentielle et figure une parabole. Autre solution, figurer le même arrangement que la table de Pythagore mais en rangeant les ordonnées par exemple selon une échelle logarithmique. En effet, dans ce cas, le tableau carré devient un instrument mathématique, et là, les carrés vont effectivement se ranger selon une droite mais qui ne sera pas la diagonale ou une demi droite infinie à 45 degrés des ordonnées, puisque \log de x au carré est égale à 2 fois \log de x . Evidemment les mathématiciens arabes n'en n'étaient pas encore là, car les logarithmes ne furent découverts qu'au XVII^e siècle.

⁴⁰³ (la notion de longitude absolue n'est liée qu'à la convention choisie pour la détermination du méridien origine. Pour Ptolémée et pour les arabes qui le suivent est un simple concept immatériel. En effet placer le méridien zéro sur les Canaries ou sur le rivage du continent situé à leur hauteur n'a pas davantage de signification, de toutes façons ce sont des lieux plus ou moins mythiques où quasiment personne n'est allé, sinon par hasard et où à plus forte raison il n'y a pas d'observatoire. Dans le cas des hindous qui sont peut être à l'origine de l'adoption par les arabes d'un deuxième méridien zéro, il s'agit d'un point mythique certes, la coupole du monde, mais ils l'avaient matérialisé en construisant un observatoire dessus

actuelle qui est nécessaire⁴⁰⁴. Ce problème ne sera résolu que par la mise au point d'un conserveur de temps qui garde à bord la mémoire du temps actuel au méridien origine. L'horloge et son système à balancier n'est pas opérationnelle à bord, pour de raisons évidentes de manque de la stabilité nécessaire à son fonctionnement. Il faut attendre jusqu'en 1765, date à laquelle Harrison inventera le chronomètre de marine et son ressort spiral qui permettra alors d'élaborer des procédures de calcul du point, dans les quelques années qui ont suivirent.

Il convient donc de résoudre l'ambiguïté qui résulte de la présence à bord des bateaux arabes de cartes géographiques. Cette présence est attestée par le récit de l'historiographe du premier voyage de Vasco de Gama. Laissons donc la parole à João de Barros : *« Alors que Vasco de Gama était à Malindi, quelques banyas vinrent faire une visite à l'Amiral, avec eux, vint aussi un More du Gujarat appelé Malemokna (Moallem Kanaka ou Cano selon les traductions), ce dernier, tant pour le plaisir qu'il prit dans la compagnie de nos gens, tant pour plaire au roi (de Malindi), qui cherchait un pilote pour les portugais, tomba d'accord pour rester avec eux, (pour leur montrer la route des Indes). Après avoir discuté avec lui, Vasco da Gama fut extrêmement satisfait par ses connaissances (nautiques), spécialement, **après que le More lui eut montré une carte de toute la côte indienne, arrangée, comme le sont les cartes des Mores, avec des méridiens et des parallèles très détaillées** (formées par l'intersection de ces méridiens et parallèles en un réseau très dense), la direction générale de la côte par rapport aux deux rhumbs Nord-Sud et Est-Ouest était très exacte sans que la carte soit surchargée par cette grande quantité de vents (de lignes indiquant la direction des vents) et de méridiens comme sur notre carte portugaise qui nous servait des carte de base pour les autres (cartes détaillées). Vasco da Gama lui montra le grand astrolabe de bois... Ici, la relation continue, mais est surtout relative à la seule navigation astronomique et il n'y est plus question de cette fameuse carte, seul sujet de notre propos. Mais, au risque d'être hors sujet, nous continuons ce texte pour ne pas en rompre l'unité. » ... Vasco da Gama lui montra le grand astrolabe de bois qu'il avait avec lui et aussi d'autres astrolabes en métal. Le More ne parut en rien surpris à*

⁴⁰⁴ La rapidité du mobile influe sur la procédure de calcul. C'est ainsi que le point le plus sur est le point d'étoiles. Ce point par les méthodes de calcul semi-logarithmique utilisées à bord nécessite une bonne heure de calculs observations comprises avant de donner un résultat. C'est supportable pour un navire qui se sera déplacé dans l'intervalle d'une trentaine de kilomètres. Ce n'est plus admissible, des lors qu'il s'agit de navigation aérienne où le mobile aurait progressé de quelques 400 kilomètres, pour les appareils en usage à l'époque où on pratiquait encore la navigation astronomique en aéronautique. On a du inventer de nouvelles tables pré calculées réduisant cette procédure à moins d'une dizaine de minutes.

leur vue. Il dit qu'ils (les pilotes arabes) utilisaient, en Mer Rouge, des instruments de laiton de forme triangulaires et des quadrants pour prendre des hauteurs de soleil et de la polaire qu'ils utilisaient pour leur navigation. Mais ajouta-t-il, lui et les marins de Cambaye, (le golfe de Cambaye est l'épicentre du Gujarat maritime) naviguaient en se servant de certaines étoiles, aussi bien au Sud qu'au Nord, et d'autres étoiles qui traversaient le ciel d'Est en Ouest. Ils ne prenaient pas leurs hauteurs avec de tels instruments, (tels que ceux que Vasco da Gama venait de lui montrer) mais avec un autre instrument qu'il utilisait lui aussi, et il le lui amena à l'instant. C'était un instrument qui se composait de trois plaquettes. – Quant à nous, (c'est de Barros qui parle de ses travaux) nous avons traité de ce sujet dans notre *Geographia universalis*⁴⁰⁵, au chapitre consacré aux instruments de navigation, il est suffisant de noter en la circonstance présente que l'instrument en question est utilisé par les Mores pour les mêmes opérations pour lesquelles, nous utilisons, au Portugal, l'instrument que les marins appellent *erbalestrillas* (l'*arbalestrille*) dont il est également question, en même temps que ses inventeurs, dans le chapitre que nous venons de mentionner (dans la *Geographia universalis*). Après cette déclaration et d'autres entretiens qu'ils eurent avec le pilote, Vasco da Gama eut le sentiment qu'il avait trouvé là, un grand trésor. De peur de le perdre, il mit à la voile, aussitôt que possible, et cingla sur les Indes, le 24 avril 1498. »

Explicitons : Ce More vint à bord pour discuter du problème de la route à suivre par Vasco da Gama pour se rendre aux Indes, fortement intéressé par leur échange de points de vue professionnels, ce pilote ne tarde pas à leur montrer une carte marine arabe. Les pilotes notent tout de suite qu'elle se présente sous une forme différente des leurs, les parallèles et méridiens apparaissent seuls en un réseau très dense sans aucune présence de la marteloire des portulans portugais. C'est-à-dire, que n'est pas mentionné le réseau des rhumbs de vent qui s'entrelacent sur toute la surface du portulan. Les portugais reconnaissent la direction générale de la côte de l'Inde, figurée sur cette carte, en la comparant avec leur propre carte générale.

Ici, nous sommes en présence d'une difficulté. Les Portugais viennent pour la première fois en Océan Indien, ils n'ont, donc, aucun portulan de ces régions, puisque tout portulan n'est, par construction, que le fruit d'une confrontation de données vérifiées par un usage constant et général des routes et des distances entre port de la région représentée. Les Portugais ont une

⁴⁰⁵ Cet ouvrage s'est malheureusement perdu.

carte de la région, mais ce ne peut être donc qu'une carte O.T. (*orbis terrae*) c'est-à-dire une mappemonde de Ptolémée, qui n'est que conceptuelle, et n'a qu'un très lointain rapport avec la réalité physique. Ce que nous pouvons seulement déduire de ce passage, c'est que le More possède une carte d'un type nouveau pour les Portugais et que décrit très précisément João de Barros, sans qu'ils soient objectivement à même de vérifier, par comparaison avec les connaissances qu'ils n'ont pas, de la conformité avec la réalité de la côte indienne qui y est figurée.

D'un autre côté, il s'agit là, de notre part, d'une hypercritique, pas forcément fondée, on est en droit de penser que Vasco de Gama disposait d'éléments d'information plus sophistiqués, par exemple il faut remarquer que Martin Behaim fait partie de l'équipe qui a préparé cette expédition. Il est, en particulier, l'auteur d'une mappemonde qui marque un vrai progrès sur le matériel de Ptolémée. On peut donc supposer que les pilotes de Vasco de Gama ont des éléments de comparaison.

A ce niveau, on se trouve en plein « débat d'idées » une notion très « moderne » sans doute, mais qu'au niveau scientifique, on peut qualifier de brouillard total. Dans le but de ne pas poursuivre trop loin dans cette voie et ne pas tenter de faire dire à ce texte plus qu'il ne le peut, résumons ici la situation : L'amiral est en escale à Malindi. Il sait parfaitement où il doit aller : aux Indes, mais ne sait exactement comment y aller. Il rencontre là, pas tout à fait par hasard, un certain Moallem, pilote gujarati, avec qui il s'entretient de ce sujet. Moallem lui montre sa carte et y désigne les Indes, et ils tombent d'accord de ce qu'il s'agit bien du but visé. Moallem lui dit pouvoir y arriver, avec la seule aide de ces trois planchettes-là, qu'il lui montre. L'Amiral, pour une raison, ou une autre, en est intimement persuadé. D'où : action et appareillage immédiat. L'intuition de l'Amiral se révèle fondée, Moallem lui en apporte la preuve : en vingt-huit jours.

Il faut donc lever le doute et, à propos de ces cartes que l'on pouvait trouver à bord des bateaux arabes, nous citerons Grosset –Grange⁴⁰⁶ : « *Il convient de ne pas s'imaginer les marins arabes et notamment Ibn Majid, tel un officier de quart relevant des amers ou des*

⁴⁰⁶ *La science arabe, Op.cit.* p 243

astres, même avec la précision relative de son siècle, et les reportant en triangle sur une carte pour corriger, par un point observé, celui dégagé par l'estime. Utilisant sa propre expérience et celle de ses devanciers, Ibn Majid pratiquait ce que nous pourrions qualifier « d'estime améliorée. Les cartes n'étaient probablement utilisées que comme memento des distances entre terres ou des orientations générales de la côte et des situations des ports. » Nous souscrivons totalement à cette hypothèse qui vient corroborer les commentaires que nous avons apporté à la suite de l'étude des cartes à coordonnées rectangulaires de Kennedy.

3-1.4 Transmission des savoirs à l'Occident.

Les occasions de contact n'ont pas manqué au cours de l'Histoire mais peu de contacts ont été scientifiquement fructueux. Il y a donc ce que nous pourrions appeler les occasions manquées et les épisodes de contacts fructueux.

A-Une occasion manquée : la présence franque en Palestine

En ce qui concerne les occasions manquées l'exemple le plus caractéristique est celui du royaume franc en terre sainte qui dure pourtant près de trois siècles. Il est inexact de penser qu'il n'y a pas interpénétration des deux civilisations, c'est seulement vrai pour certains aspects pratiques de la vie et donc dans des domaines qui ne concernent pas la vie de l'esprit.

Il y a deux époques de la présence occidentales, séparées par la catastrophe franque de Hattin en 1187. Avant cette date on est en présence d'une présence massive des occidentaux en Palestine. Après cette date, cette présence se cantonne sur une mince bande côtière, avec une population franque bien plus réduite, guerriers dans leurs châteaux et négociants dans leurs ports. Dans le royaume de Jérusalem, soit avant 1187, l'occupation du terrain est profonde, elle est le fait d'une couche modeste d'immigrants francs qui pénètrent jusqu'aux plus petites bourgades. Ces petites gens au nombre desquels on compte beaucoup d'artisans sont installés au milieu des ruraux musulmans et vivent cote à cote dans une atmosphère qu'Ibn Jubair

décrit comme étant plutôt harmonieuse. En effet, Ibn Jubaïr est en Palestine, (juste avant son retour en 1185), donc, deux ans avant cet accident majeur. Il décrit ce royaume franc dans sa première phase. Cette cohabitation est sans doute à la source de répercussions au niveau des techniques artisanales et génère une connaissance par l'Occident de nouveaux produits agricoles et artisanaux utilisés quotidiennement par la population locale. Il faut ranger dans ces catégories de produits inconnus en Occident : le papier, le savon, le riz, le sucre de canne, les tissus de coton⁴⁰⁷, beaucoup de fruits et de légumes, ainsi que des techniques nouvelles : la distillation, le tannage des cuirs par l'alun, l'élevage des vers à soie etc.

Mais au plus haut niveau, celui des dirigeants, les élites franques restent totalement imperméables à la civilisation arabe. Les chevaliers ne sont pas des penseurs mais des guerriers, forts de la suprématie de leur technique guerrière qui réside dans l'utilisation d'une cavalerie lourde et la construction de places fortes, ils n'apprennent rien de ce pays. Même leur administration est calquée sur celle de leur contrée d'origine, la grande œuvre qui nous est parvenue, les Assises de Jérusalem⁴⁰⁸ est un épitomé de droit féodal occidental. C'est tout juste si les occidentaux de passage, « les métropolitains » dirions-nous, reprochent aux poulains, aux « pieds noirs » en quelque sorte, un style légèrement contaminé par des pratiques superficielles locales : les vêtements amples plus fonctionnels, il est vrai, l'usage des parfums et des bains ou la tendance qu'ils ont de confiner leurs femmes, encore qu'Ibn Jubaïr est frappé du contraire, comme quoi les points de vue sont toujours relatifs.

B-Une deuxième occasion manquée la présence des commerçants italiens à Alexandrie

Il en est de même à Alexandrie dans une société franque complètement différente puisque cette ville devient pendant des siècles le lieu de résidence prolongée et massive des occidentaux pour des raisons commerciales. Cette présence, massive est antérieure aux croisades, puisque les Amalfitains y résident en masse, déjà en 996, date à laquelle l'Histoire

⁴⁰⁷ Une preuve peut être trouvée dans le fait que les occidentaux ont apprécié et travaillé le coton, alors que c'était un produit non cultivé en occident, l'industrie des futaines (produit mixte de lin et coton) qui fit la renommée de villes italiennes comme Crémone ne travaillait donc que sur une matière entièrement importée.

⁴⁰⁸ Jean-Marie Pardessus

garde la trace du grand massacre des Amalfitains d'Alexandrie. Cette présence fait partie d'un système commercial global. En effet la présence des Amalfitains ne se cantonne pas à cette seule ville ; La raison principale de leur présence en Orient est qu'ils se chargent d'acheminer par mer depuis l'Italie du Sud, une masse importante de pèlerins occidentaux vers les lieux saints. Ils rentabilisent leur voyage retour, en remplaçant les pèlerins défaillants par des articles de luxe qu'ils achètent à Alexandrie et qu'ils vendent à Rome, siège de la papauté et lieu de pèlerinage. Cette ville représente « le marché du luxe » en Occident, en raison des visites nombreuses de prélats qui profitent de leur visite auprès de la papauté ou de leur pèlerinage à la ville de Pierre pour acheter des objets de culte somptuaires destinés aux églises ou abbayes de toute la chrétienté. Les Amalfitains et à leur suite les Génois, les Pisans, les Vénitiens, voire les Provençaux ne font pas que visiter cette échelle (comptoir commercial) mais certains y restent à demeure dans des quartiers spéciaux, les *fondouks*. Ceci est attesté par le souvenir historique du grand massacre d'Italiens, surtout Amalfitains mentionné au début de ce paragraphe, à la suite de rumeurs propagées à l'occasion de l'incendie de la flotte musulmane. Les autorités, un peu plus tard, leur font justice et ils reviennent en force.

Les croisades, assez curieusement, n'ont rien changé. Cette situation semble paradoxale mais il faut comprendre la logique de Saladin. Saladin fait toujours soigneusement la distinction entre les occupants de la Palestine qu'il désire rejeter à la mer et les marchands occidentaux qu'il cherche au contraire à attirer à Alexandrie. Un guerrier franc n'a rien à voir avec un commerçant franc. Le seul point commun est qu'ils sont chrétiens, mais pour Saladin, il vaut mieux recevoir les commerçants chrétiens chez soi que d'envoyer des commerçants musulmans en pays chrétien. De plus Saladin a une conception mercantiliste de l'échange, c'est la marchandise qui représente la valeur. Dans cette optique, importer c'est s'enrichir, exporter c'est s'appauvrir, de plus ce n'est pas un mercantiliste bullioniste, l'or peut servir de moyen de paiement surtout s'il est abondant⁴⁰⁹, ce n'est qu'une marchandise comme les autres et ce n'est pas le support privilégié de la valeur. D'autant plus que Saladin reconnaît la supériorité des aciers francs et en particulier de leurs épées « *ces merveilleuses épées franques* » selon ses propres termes

⁴⁰⁹ L'or était abondant en Egypte qui a, durant les premiers âges musulmans, pratiqué sans aucun préjugé ou interdit religieux l'exhumation de l'or des tombes qui n'étaient que des vestiges sans valeur émotionnelle d'une époque qui ne participaient ni de leur civilisation ni même de leur histoire.

Cette vie de marchand expatrié, les occidentaux la mènent à Alexandrie donc bien avant les croisades et aussi pendant. Mais c'était une vie coupée du monde qui les entoure, confinés dans leurs *fondouks* avec leurs lois occidentales et leur administration propre. L'organisation des fondouks n'est pas faite contre les occidentaux, c'est seulement l'application particulière au commerce par mer du régime général de l'organisation du commerce caravanier. Cette organisation nous est bien connue par des textes et des études qui en ont été faites⁴¹⁰. Elle découle directement des textes fondateurs organisant la vie commerciale. Les règles du commerce dans le fondouk d'Alexandrie sont une transposition des textes de al-Bokhari⁴¹¹ sur l'organisation du commerce caravanier. De par cette organisation, les commerçants italiens ne peuvent entrer en contact qu'avec des intermédiaires locaux obligés et des fonctionnaires spécialisés. Les seules sorties possibles du fondouk ne concernent que des visites encadrées dans le delta, pour pouvoir *in situ* examiner les produits locaux qu'ils comptent exporter vers l'Europe. L'esprit grégaire et leur besoin de protection fait converger le désir de regroupement des commerçants occidentaux avec l'obligation administrative locale de rassembler toutes les opérations d'importation dans une même place. Bref, les fondouks sont devenus des ghettos.

Dans ces deux occasions, les acteurs occidentaux étaient imperméables à la civilisation locale, ils ne sont pas là pour cela ; soit guerriers, soit commerçants, ils vaquent à leurs affaires, les yeux tournés vers leur terre d'origine. C'est ce qui va différencier ces occasions manquées des trois autres occasions plus réussies, celles-là. Ici les élites seront bien obligées de prendre en compte la civilisation des gens qu'ils côtoyaient.

⁴¹⁰ Makhzûmiyyât, *Le Midhâdj. Etudes sur l'histoire économique et financière de l'Egypte médiévale* traduction et commentaires du *Midhâdj* par Claude Cahen. Leiden. 1977.

⁴¹¹ El-Bokhâri, *Les traditions Islamiques Traduites de l'arabe avec notes et index* par O.Houdas et W.Marçais. 2 volumes Paris 1984

C-Une première opération réussie, les monastères catalans

L'Espagne musulmane participe au développement des sciences arabes et en particulier en astronomie où l'astronomie orientale, fruit de la culture arabo-islamique sur la base d'une tradition indo-iranienne et d'une tradition ptoléméenne est complètement assimilée⁴¹² par les Andalus. En face, dans l'Espagne Chrétienne, les monastères catalans baignent dans un cadre entièrement occidental. La Catalogne, même au temps de la plus grande avancée musulmane en Espagne ne fut jamais envahie par les musulmans, Charlemagne y veilla personnellement. Les Catalans accueillent des transfuges mozarabes (des chrétiens espagnols vivant en al-Andalus selon leur vieille foi chrétienne de rite wisigothique), tentés par la vie monastique qu'ils ne peuvent réaliser en terre arabe⁴¹³. C'est dans ces monastères qu'est initiée l'étude par l'Occident de la culture arabe par l'étude menée en commun des moines occidentaux et de ces moines qui venaient d'une autre civilisation très brillante (c'était l'apogée de la dynastie Omeyyade de Cordoue au maximum de son éclat intellectuel), car les mozarabes, malgré leur foi chrétienne sont profondément arabisés. Cette coopération intellectuelle produit quelques effets spectaculaires. C'est dans des monastères catalans que Gerbert d'Aurillac entre en contact avec les mathématiques arabes. Cet intellectuel deviendra le pape Sylvestre II. Mais auparavant, il est le grand responsable du renouveau du quadrivium⁴¹⁴, c'est-à-dire de l'étude des sciences dans l'enseignement occidental. Il est, en particulier, l'auteur de l'abaque de Gerbert et introduit les chiffres arabes, sauf le zéro, en Occident, il est à l'origine de l'Abaque la première forme du calcul numérique en Occident.

⁴¹² Juan Vernet et Julio Samso *Les développements de la science arabe en Andalousie* in Roshdi Rashed *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p. 278.

⁴¹³ Le monde arabe connaît la vie monastique. Celle-ci était très diverse et allait de moines soldats réunis en *ribats* aux réunions d'intellectuels ou de mystiques. Elle est facilitée par la loi islamique qui prévoit l'existence de fondations pieuses exemptées d'impôts le *wakf* ou *waqf*, en français *habous* (cf le ministère des *habous* au Maroc) pour les faire vivre. Evidemment ces institutions ne sont valables que dans le cadre de la religion musulmane et les mozarabes qui auraient voulu s'en inspirer n'avaient d'autre ressource que de passer la frontière pour pouvoir profiter des établissements chrétiens.

⁴¹⁴ Avec Charlemagne il y eut un renouveau des études classiques en Europe, ancêtre du mouvement universitaire du XIII^e siècle. Alcuin chargé de cette réforme par Charlemagne, s'inspirant de Bède d'Oxford et d'Isidore de Séville réintroduisit les arts libéraux dont un premier stade littéraire, le trivium comprenant grammaire, dialectique et rhétorique était suivi par un second stade le quadrivium plus scientifique comprenant : arithmétique, géométrie, astronomie et musique. C'est pour relancer ce quadrivium que le bénédictin Gerbert d'Aurillac, né vers 945, fut envoyé de 967 à 970 étudier les mathématiques arabes dans les monastères clunisiens catalans de Vich et Ripoll. Il en revint maître du quadrivium qu'il enseigna dans de nombreuses écoles en Europe en tant qu'écolâtre. Il fut devint Pape en 999 et mourut à Rome en 1003.

D- Une deuxième opération réussie, la Sicile normande.

Le second cas fut celui de la Sicile et de sa conquête par les Normands. Les Normands qui sont des Vikings au second degré, si on ose dire, passés par la phase intermédiaire de leur complète adaptation à leur seconde mère patrie, la Normandie, ont un sens aigu de l'art de s'accommoder des usages locaux, pour s'installer complètement dans le paysage. Là aussi, les premiers rois normands vont faire preuve du même syncrétisme, ils réalisent une fusion harmonieuse avec leurs nouveaux administrés. Ibn Jubayr en est le témoin et remarque l'importance donnée aux élites anciennes dans l'administration locale et la totale liberté religieuse dont jouissent les autochtones. Hélas ! Les Normands, par le jeu des héritages, disparurent en un siècle seulement et seront remplacés par des empereurs allemands qui se soucient bien peu des spécificités locales. C'est finalement par des traces architecturales de leur syncrétisme que les Normands laissent leur marque la plus visible sur la Sicile. Au point de vue intellectuel, il en reste cependant les travaux d'Edrisi et la fondation d'une école de médecine à Salerne qui restera célèbre.

E- La troisième opération réussie, l'Ecole des interprètes de Tolède

La troisième occasion est contemporaine de l'épisode normand mais va marquer plus profondément l'Occident, elle date de la conquête de Tolède. La *reconquista* d'al-Andalus qui se poursuit à travers 7 siècles, n'est pas seulement le fruit d'un lent et constant grignotage occidental ; elle procède également par quelques poussées brutales et autant de contre poussées en sens inverse. Une poussée particulièrement spectaculaire, est celle au cours de laquelle Tolède est prise en 1088. A cette occasion, le roi d'Aragon et Castille se retrouve maître d'un territoire gigantesque à l'échelle de son domaine initial, et surtout d'une capitale démesurée pour ses capacités administratives. Sa capitale d'origine, Burgos, n'est qu'une bourgade campagnarde de 1500 habitants, où quelques couvents suffisent amplement à fournir les cadres administratifs de ce royaume féodal. Les chevaliers, ainsi que leur roi, sont alors essentiellement des campagnards qui vivent dans leur château, isolés au milieu des terres agricoles qui les font vivre. Or les voici maîtres d'une grande métropole, pour l'époque, de quelques 60.000 habitants, une ville considérable, comparable aux plus grandes capitales

européennes contemporaines. Bien entendu, le chef d'Etat musulman vaincu s'exile et toute son administration, qui n'avait aucun avenir hors de lui, le suit dans son exil espérant une installation sous d'autres cieux. Une ville comme Tolède, profondément urbanisée, qui ne vit que du commerce et de l'artisanat, dépasse les capacités administratives des Espagnols qui sont bien obligés de faire appel aux compétences locales, au moins celles qui veulent bien collaborer. Or, si les élites musulmanes ont disparues, restent sur place une population très imprégnée de culture arabe mais qui ne voient aucunement l'intérêt de quitter leur terre de naissance. Il s'agit en premier lieu des Juifs qui sont des gens qui vivent en terre occupée « par définition » si on ose dire. Maître arabe ou chrétien, si leur sécurité reste garantie, ils n'ont aucune raison de partir. C'est le cas, également, des mozarabes ou vieux chrétiens. Ce terme désigne les populations ibériques autochtones, converties au christianisme sous les Wisigoths et qui pratiquent toujours leur religion sous l'occupation musulmane. Bien que leur christianisme ait, aux yeux des clercs espagnols un certain relent de souffrir, en raison de leur rite wisigothique bien étrange pour des espagnols, désormais de rite romain, ils n'en demeurent pas moins des cousins, lointains peut être, mais néanmoins, acceptables. Ils sont, à l'exception de leur religion, complètement arabisés, après trois siècles de présence musulmane, au même titre que Juifs.

Le roi saura les prendre, tels qu'ils sont, les uns et les autres, et leur confier l'administration de ce trop vaste territoire au fonctionnement complètement exotique pour lui. Tout se passera d'une façon harmonieuse dans l'ensemble, et la transition se fait en douceur et surtout dans la durée. En fait, ces nouveaux territoires restent administrés en arabe et selon des modalités et des règles administratives arabes puisque, aussi bien, en ce qui concerne l'administration économique des métiers et du commerce, il n'existe, en l'état, aucune règle espagnole. Il reste de cette longue collaboration des traces indélébiles dans les archives d'Etat espagnoles, dont toute une partie est curieusement rédigée en arabe, et un vocabulaire concernant les fonctionnaires municipaux qui trahit les origines arabes.

L'autre résultat, et qui nous intéresse particulièrement, ici, c'est qu'une certaine classe d'intellectuel reste en fonction et en exercice, les Juifs, en particulier, toujours intéressés, de par leur culture propre, aux pures spéculations intellectuelles perpétuèrent dans cette Espagne devenue chrétienne la science arabe. Ils présentent, en outre, l'avantage d'être au contact de

leur diaspora disséminée dans tout l'univers arabe et c'est là une garantie d'ouverture constante et de mise à jour des connaissances⁴¹⁵. Ces intellectuels, baignés dans un milieu d'étude continuent leurs recherches très avancées dans certaines matières. C'est en particulier le cas dans le domaine de l'astronomie, un des terrains d'excellence des Andalous dans le concert scientifique arabe. L'école d'astronomie d'el-Andalus sous l'impulsion de Maslama el-Majriti⁴¹⁶, mort à Cordoue vers 1007, égale en qualité celle de Bagdad et les contacts restent donc constants et fructueux. Quant à l'autre domaine d'excellence, il est constitué par les mathématiques⁴¹⁷ et en particulier la trigonométrie sphérique par Ibn Mu'dah (mort en 1093) qui reste l'instrument d'analyse de la cosmographie et de l'astronomie. Ce renouveau mathématique s'accompagne aussi de l'intensification de la recherche astronomique qui atteint son apogée au XI^e siècle avec la parution des Tables de Tolède⁴¹⁸.

Ce qui facilitera ces contacts et cette transmission, c'est la fondation de la fameuse école des interprètes de Tolède. Il est possible que cette école n'ait pas grand rapport avec ce que l'on entend par école, au sens moderne où nous l'entendons mais davantage un lieu de rencontre où se retrouvent des intellectuels de culture différente, plus qu'un lieu d'enseignement formel. Cependant cette école des interprètes fonctionne selon des schémas assez institutionnalisés, sous la forme de binômes unissant deux spécialistes d'une même matière : un lettré arabisant traduit les textes de l'arabe vers le vernaculaire. De ce texte, un clerc occidental en fait une traduction latine qui est donc le fruit de leur confrontation et l'objet d'une divulgation au niveau européen. Cette traduction peut, dès lors, être considérée comme le fruit d'un travail critique et scientifique et proposée d'une façon sûre à l'étude de tous les clercs puis plus tard à celle des universitaires venant en Espagne dans le but de consulter ces nouvelles sources. La nouvelle Castille devient alors une zone de contact entre les intellectuels occidentaux et non seulement le monde scientifique arabe mais aussi bien le monde antique dont les arabes

⁴¹⁵ Bernard R. Goldstein. *L'Héritage de la science arabe en hébreu*. p 302-308 in *Histoire des sciences arabes...Op. cit.*

⁴¹⁶ Juan Vernet et Julio Samso *Les développements de la science arabe en Andalousie* in Roshdi Rashed *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p. 280 à 283..

⁴¹⁷ Juan Vernet et Julio Samso *Les développements de la science arabe en Andalousie* in Roshdi Rashed *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p. 285.

⁴¹⁸ Juan Vernet et Julio Samso *Les développements de la science arabe en Andalousie* in Roshdi Rashed *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p. 285 à 287.

avaient fait en leur temps bien des traductions⁴¹⁹. Bien des clercs occidentaux, qui sont étonnamment mobiles à cette époque, viennent y étudier la science orientale, accourant de tous les horizons européens : italiens, français, anglais etc. en grand nombre et donc beaucoup se font un nom fameux dans l'histoire des idées. Le nombre de livres traduits de l'arabe en latin est impressionnant et la culture scientifique arabe nourrit la pensée occidentale qui se cristallise dans le mouvement qui créa les universités. A preuve le nombre d'auteurs arabes qui sont connus par leur nom occidentalisé.

Cette sorte d'osmose durera jusqu'à la deuxième grande poussée chrétienne en 1248 avec la conquête de l'Andalousie et de Séville. Cette fois ci, l'avancée des chrétiens est très mal acceptée par les musulmans restés sur place et se terminera par la grande révolte des mudéjars⁴²⁰, qui sont le symétrique des mozarabes, soit des musulmans qui demeurent en territoire administré par des chrétiens. Ils sont soutenus par Grenade et les Mérinides du Maroc. L'affaire est très chaude et les Espagnols, en grande difficulté, doivent se faire aider par les Catalans, du côté de Murcie, ils parvinrent à rétablir la situation. Le résultat est que les mudéjars sont expulsés en masse d'une part et que d'autre part les Espagnols se retournent contre les Marocains qui perdent les uns après les autres leurs têtes de pont en Espagne, Tarifa, Algesiras, Gibraltar et Almeria. C'est ce que l'on nomme la guerre du Détroit. Néanmoins l'impulsion est donnée et le rôle de L'Espagne dans la découverte de l'astronomie par l'Occident est primordial. On peut donc dire que l'astronomie médiévale occidentale est la fille directe de la grande science arabe. On peut détailler les avancées concrètes que cette coopération laissa dans la science médiévale.

F-Un instrument hérité des Arabes : L'Astrolabe.

L'astrolabe⁴²¹ n'est connu en Occident qu'au XII^e siècle par une traduction en 1143 d'un ouvrage arabe par Herman le dalmate. Mais dès la fin du X^e siècle, c'est-à-dire lors de

⁴¹⁹ Il faut ajouter aux textes classiques eux mêmes toute la glose y afférant des commentateurs arabes.

⁴²⁰ Les mérinides, dans le but de consolider leur pouvoir encore mal assuré au Maroc et d'intervenir dans les affaires d'al-Andalus, « envoyèrent en aide » au roi de Grenade des cavaliers indépendants censés le seconder dans le Djihad contre les espagnols. Faisant d'une pierre deux coups, les mérinides se débarrassaient des éléments maghrébins les plus contestataires et turbulents de leur royaume, ce qui ne manquerait pas d'embarrasser le roi de Grenade. Devant leurs actions indisciplinées, désordonnées mais spectaculaires, les mudéjars se crurent suffisamment épaulés pour se révolter et rejeter le joug espagnol

l'époque catalane de la collaboration scientifique, les milieux savants du Nord de la péninsule font la connaissance de l'astrolabe et des traités, en arabe, qui s'y rapportent. A cette époque apparaît en latin une première littérature illustrée par les noms de Gerber d'Aurillac, futur pape Silvestre II, Llobet de Barcelone et Herman le boiteux, cette littérature est faite de traités de construction suivis d'usage, constitués d'extraits ou de recensions d'ouvrages arabes encore mal identifiés. Une seconde vague de traductions eut lieu au XII^e siècle. Le traité d'ibn al-Saffar, de l'école andalouse, mort en 1035, est traduit par Platon de Tivoli en 1142, Abélard de Bath en 1146, Robert de Chester en 1147 et Raymond de Marseille avant 1141 donnent à l'Occident la maîtrise de l'instrument. Le plus ancien traité latin sur l'astrolabe par Raymond de Marseille est une pure adaptation de l'arabe, tirée des traités d'al-Zarqalluh, le maître andalous de la matière, mort en 1144.

G-Un instrument perfectionné par les héritiers des Arabes : Les tables astronomiques.

A coté de ces traités sur l'astrolabe, au même siècle, une quantité de traductions fournit les astronomes en tables astronomiques, en particulier, les tables dites de Tolède⁴²² proviennent pour partie des tables d'al-Khawarizmi de l'école de Bagdad datées de 820, adaptées en latin par Petrus Alfonsi et traduites par Adelard de Bath, respectivement en 1116 et 1126, les tables d'al-Battani de l'école de Bagdad datées de 929, par Robert de Chester et Platon de Tivoli enfin les tables d'al-Zarqalluh de l'école andalouse. Ces tables forment le noyau des tables de Tolède qui dans la traduction de Gérard de Crémone ont été diffusées dans tout l'Occident. Les travaux d'adaptation de ces tables aux différentes longitudes de la chrétienté se sont poursuivis pendant le XII^e et XIII^e siècle, à Pise en 1145, à Londres en 1145, mais aussi à Malines, Novare, Crémone etc. Les tables de Toulouse sont utilisées à Paris qui est à la même longitude. Des contradictions s'étant fait sentir ces tables, elles sont remplacées au début du XIV^e siècle par les **tables alphonsines**⁴²³ rédigées en espagnol entre 1252 et 1272, et restées

⁴²¹ Henri Hugonnard-Roche, *Influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval* ; in Roshdi Rashed, *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p 310-311

⁴²² Henri Hugonnard-Roche, *Influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval* ; in Roshdi Rashed, *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p 312-316

⁴²³ Henri Hugonnard-Roche, *Influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval* ; in Roshdi Rashed, *Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p 320-323

en usage jusqu'au *de revolutionibus* de Copernic. On voit que les universitaires médiévaux connaissent dans le détail, non seulement, les œuvres des astronomes arabes qui leur ont tout appris mais aussi celles de Ptolémée, y compris la manière de s'en servir c'est-à-dire la critique et les corrections qu'il convient de lui apporter. Si au niveau de l'astronomie les critiques portent sur la théorie des planètes, domaine bien trop avancé pour les besoins de la navigation, il reste qu'en ce qui concerne le mouvement des étoiles et du soleil, les occidentaux ont en main tous les éléments pour construire leur propre science nautique. Il ne reste plus qu'à assembler la méthode.

3-1.4 Conclusion

On comprend la place privilégiée que tient la péninsule ibérique dans cette transmission des savoirs scientifiques et on s'explique mieux avec ce que nous verrons plus en détail dans le chapitre 3 de cette présente partie, la place prépondérante que prit un petit pays comme le Portugal dans le développement des sciences nautiques, devant l'Italie pourtant considérée par tous les historiens comme la mère de tous les arts. Dans ces conditions faut-il relier par un lien de causalité directe, d'une part, le fait que l'Ibérie est le lieu privilégié de cette transmission scientifique des Arabes vers l'Occident et, d'autre part, que c'est effectivement au Portugal que l'on voit les débuts de la navigation astronomique ? C'est faire fi de deux faits avérés.

En premier lieu, cette transmission s'est faite par le canal des clercs qui nous apparaissent comme particulièrement mobiles et qui disposant d'une langue scientifique unique, le latin ; ils ont transmis ces connaissances dans toute l'Europe. Le nom d'origine du nom des traducteurs est symptomatique : Italie, France, Angleterre voire Dalmatie, ils viennent de tous les horizons européens. Les résultats de cette transmission ne sont certes pas restés cantonnés en Ibérie. **En second lieu**, ce serait faire fi d'un fait, que nous découvrirons dans le chapitre 3, la volonté déterminée, tenace et organisée de deux princes d'exception, Henri le Navigateur et João II, roi du Portugal. Ils vont tout faire pour arriver à leur entreprise pour créer de nouvelles routes maritimes, en particulier d'attirer à leur service des gens qu'ils vont charger d'élaborer les meilleures techniques de navigation et en particulier n'ont pas hésité comme

nous le verrons de faire appel à des compétences extérieures tel Martin Behaim ou de nombreux italiens. Il est vrai qu'ils n'ont fait là, que preuve d'un opportunisme inspiré et que leur mérite réel est d'avoir su analyser et utiliser au mieux les éléments favorables dont ils disposaient.

On remarquera par ailleurs que Ptolémée est déjà bien connu puisque abondamment traduit au Moyen Age. Cependant il faut aussi noter que c'est surtout Ptolémée, en tant qu'astronome qui attire l'attention des traducteurs. Tout le côté de son œuvre qui concerne la géographie scientifique reste méconnu. Ce n'est qu'au début du XV^e siècle que cet aspect de son œuvre sera découvert. En raison de l'explosion de la production littéraire consécutive à l'invention de l'imprimerie en 1440 et sous l'influence de l'humanisme naissant, Ptolémée qui pourtant avait été traduit en latin dès le XII^e fut édité avec un tel succès que l'on parle de découverte.⁴²⁴

Ceci n'est pas sans conséquence sur les développements de la science nautique et en particulier sur la démarche de Christophe Colomb. Alors que les universitaires médiévaux avaient eu accès à un Ptolémée expliqué et corrigé par la science arabe ce nouveau texte venu directement de Byzance est exempt de cette analyse critique et contient toutes les erreurs de mesure que Ptolémée avait acceptées.

Nous verrons que Christophe Colomb basera ses calculs sur les mesures faussées de Ptolémée ce qui paradoxalement lui donne des encouragements pour entreprendre son voyage. Cette erreur semble avoir été assez commune et acceptée par la majorité des navigateurs avant la grande révision géographique qui sera entreprise sous l'égide de Joao II, tout à la fin du XV^e siècle.

⁴²⁴ Il ne faut pas confondre cette édition en latin avec la traduction en italien plus tardive ; qui eut aussi un grand succès.

Troisième Partie.

Chapitre deuxième

3-2.0 Ibn Majid et la navigation astronomique arabe.

La navigation astronomique d'Ibn Majid est basée sur l'observation de la hauteur de la polaire. La polaire est l'étoile qui permet de calculer le plus aisément la latitude. Il est bon, à ce stade, de préciser mathématiquement ce qu'est cette base de la navigation d'Ibn Majid et aussi des portugais qui le suivront : à savoir, l'observation de la hauteur de la polaire au passage au méridien du lieu. Cette méridienne, puisque c'est le nom de cette observation, est un cas très particulier de ce qu'on appellera beaucoup plus tard une droite de hauteur. Elle est prise lorsque l'astre passe au méridien du lieu. Il y a, en fait, deux passages. L'astre passe au méridien supérieur, c'est généralement le seul observable, car il se place sur la partie de l'orbite que décrit l'astre qui se trouve toujours au-dessus de l'horizon. Pour certains astres, dont la polaire, qui sont très près du pôle, la totalité de l'orbite est généralement observable (il faut spécifier que cela n'est vrai que dans l'hémisphère Nord). On peut alors observer successivement le passage au méridien supérieur puis, 12 heures après, le passage au méridien inférieur.

Dans ce cas très particulier une formule simple donne la latitude en fonction de la seule hauteur de l'astre. Elle s'écrit : $\Phi = 90^\circ - H_v + D$. Où Φ est la latitude, H_v la hauteur vraie de l'astre et D sa déclinaison. La formule est vraie à $k\pi$ près. La formule joue avec les règles de signes habituelles affectant π et D . En ce qui concerne un astre comme le soleil, la difficulté est que la déclinaison change chaque jour. Il en est de même des planètes où cette déclinaison est encore plus difficile à prévoir. En ce qui concerne les étoiles, cette déclinaison est fixe dans le temps, il suffit de la connaître, ce qui est déjà moins difficile. Mais dans le cas de la polaire, le problème se simplifie encore. La déclinaison est presque égale à 90° . Donc on peut dire approximativement que dans ce cas précis la latitude est, très grossièrement, égale à la hauteur de la polaire. Si on veut préciser plus avant, il y a une différence de $6,5^\circ$ environ

entre la hauteur du passage supérieur et inférieur. La correction est donc facile pour obtenir la latitude à partir de l'un ou l'autre passage : 3,25° en plus ou en moins.

En ce qui concerne la navigation astronomique arabe, nous avons trois sources principales reconnues⁴²⁵. La première est celle d'Ibn Majid, auteur de nombreux ouvrages sur la navigation. C'est un Omani, vivant approximativement de 1430 à 1500, assez, en tout cas, pour voir l'arrivée des *franjs* dans l'Océan Indien. Notre opinion, cependant, est qu'il faut rejeter la rumeur persistante le désignant comme le pilote de Vasco de Gama dans son premier voyage aux Indes. La seconde source est constituée par le manuscrit de Suleiman al-Mahri qui, lui, est légèrement postérieur, disons l'espace d'une génération ; intervalle suffisant pour lui permettre d'assimiler l'usage des instruments portugais, le quadrant, en particulier, qu'il cite et qu'il utilise à la mer. Enfin le troisième témoignage est indirect mais confirme les deux précédents. C'est celui de l'historien portugais João de Barros qui a recueilli le témoignage des compagnons de Vasco de Gama et qui décrit, dans un bref extrait, la confrontation des technologies arabes et occidentales à travers les conversations entre les pilotes portugais de Vasco de Gama et le pilote gujarati qui amènera la flotte portugaise de Malindi aux Indes. Nous avons déjà vu ce témoignage dans le chapitre précédent, relatif à la cartographie arabe.

Cette science nautique est une science appliquée, c'est Ibn Majid qui nous le dit. Selon lui, les précurseurs dans cette science, les trois Lions, étaient des savants, pas des navigateurs⁴²⁶. Il remarque également que c'est une science autonome, les méthodes et en particulier les instruments et mesures de la science mère, l'astronomie, sont différents de ceux utilisés par le navigateur. Cette technique s'est débarrassée de la technique probable ancestrale du chemin Est-Ouest, sauf en ce qui concerne quelques vieux souvenirs pour faciliter l'atterrissage. Les navigateurs arabes ont adopté une navigation que l'on peut qualifier d'oblique. Selon cette méthode, le navigateur adopte, pour traverser, une route bien déterminée du compas pour arriver à son but et contrôle la bonne exécution de sa progression et rectifie sa route, en

⁴²⁵ G.B. Tibbetts. *Arab Navigation in the Indian Ocean Before the coming of the Portuguese*. London, The royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland. 1981. Introduction P XV-XVII. Tibbetts cite ses sources et en particulier G.Ferrand et cite toute sa bibliographie p XX qui est par ailleurs auteur des deux entrées *Sihab al-Din Ahmad b. Madjid et Sulayman al-Mahri* dans l'Encyclopédie islamique IV vol ; p 375-82 et 529-35

⁴²⁶ *Ibid. Part I The navigators and their works* p 71. Ces trois lions, qu'il cite, avaient écrit avant l'an 1184 de notre ère : *They were only compilers and not genuine authors and never rode the sea.*

accordance, par des observations astronomiques. Ibn Majid se flatte d'être un théoricien de la science nautique qu'il distingue de l'astronomie pure. Il a une attitude très moderne vis-à-vis de cette science en ce qu'il considère qu'elle est toujours susceptible d'évolution et de progrès et il se considère comme un chercheur dans cette matière en se flattant d'avoir fait des avancées dans son domaine. Cette science a de nombreuses facettes qui sont autant de réponses aux problèmes concrets que pose au pilote l'art de naviguer, tracé de la route, contrôle de la route par les astres, reconnaissance de terre lors de l'atterrissage etc. Son domaine de prédilection personnel, c'est la navigation astronomique.

La navigation arabe est encore mal connue dans ses détails. Avant d'aller plus loin dans cette étude, il sera bon d'exposer brièvement les principes de cette navigation astronomique arabe pour mieux situer les différents auteurs les uns par rapport aux autres. Pour cela, après avoir détaillé, dans un premier point, nos sources et les commentaires qu'elles ont suscité, nous résumerons, dans le second point, la théorie d'Ibn Majid qui repose sur deux *modus operandi* : l'art des *qiyas* et celui des *tirfas*. Il faudra donc définir ces termes et d'une façon générale toute sa terminologie technique. Ce cadre théorique exposé, ce n'est que dans le troisième point que nous tenterons d'expliquer, avec textes à l'appui le fonctionnement de la méthode d'Ibn Majid. En effet, si les instruments théoriques, *qiyas* et *tirfa* ont été bien dégagés du texte d'Ibn Majid et exposés par les commentateurs, le fonctionnement de ces instruments théoriques a été singulièrement laissé de côté et n'apparaît pas clairement dans le commentaire. Le dernier paragraphe (le point 4) résumera notre hypothèse que nous essayerons d'étayer au cours de ce chapitre. Ce sera l'objet de la validation de la méthode.

Nous suivrons donc pour cela le plan suivant :

3-2.1- Les sources. Ibn Majid et les théoriciens arabes, leurs commentateurs.

3-2.2-Les instruments théoriques de la méthode

A- Instruments de l'observation astronomique hauteur de la polaire, les *bashi*

B- Instruments de l'estime, *qiyas*,

C- Instruments de la navigation oblique, *tirfas*,

3-2.3 La mise en pratique de la méthode,

A- La pratique de la prise de hauteur

B- L'estime chez Ibn Majid,

C- les routes

D- Principe du contrôle de la route

3-2.4 Validation de la théorie à la lueur des connaissances modernes

A- La pratique des observations

B- Contrôle de la route

3-2.1- Les sources. Ibn Majid, Suleiman al-Mahri et Sidi Ali Celebi.

Il y a trois auteurs musulmans dont les textes nous ont été transmis. Il faut éliminer le dernier, Sidi Ali Celebi, car il s'est inspiré entièrement des deux premiers. Des deux restants, seul Ibn Majid esquisse l'historique de la méthode en faisant référence à des œuvres antérieures, et se considère comme l'héritier d'une science nautique arabe spécifique dont les premiers auteurs qu'il cite remontent, au moins, au XI^e siècle. En ce qui concerne la navigation astronomique, il distingue trois écoles : celle des Cholas, c'est-à-dire des navigateurs hindouistes des côtes de Malabar, celle des Gujrati, des indiens islamisés du golfe de Cambay et enfin la sienne, celle des Arabes de la péninsule arabique⁴²⁷. Il admet qu'elle est très liée à la pratique ancienne des navigateurs persans ne serait-ce que par les traces philologiques dans le vocabulaire technique. Mais pour lui, c'est désormais une science nautique authentiquement arabe. Ibn Majid, contemporain de l'arrivée de Vasco de Gama aux Indes n'est pas du tout contaminé par la science nautique occidentale, il connaît l'estime par la pratique des navigateurs musulmans de la Méditerranée et sait la pratiquer. Suleiman, qui lui est

⁴²⁷ Il y a beaucoup à dire sur cette conception d'une science nautique arabe. Les arabes surtout caravaniers n'étaient pas des marins, ils le sont devenus, par contre les perses l'étaient. A l'origine les seuls arabes qui naviguaient étaient les omanis et les yéménites. Les yéménites ont fait partie de l'empire sassanide qui leur a apporté la navigation en même temps que les bateaux. Sur ces côtes désolées, il n'y a pas trace d'arbres, au moins à notre époque. Quant aux omanis la question se pose de savoir qui est d'ascendance perse et qui est d'ascendance arabe dans cette région essentiellement maritime donc de carrefour qui touche presque l'autre côté, perse celui-là du golfe persique. Mais enfin tout peut être discuté dans ces propositions aussi faut-il admettre la proposition d'Ibn Majid ne serait-ce qu'en raison d'une pratique séculaire on peut considérer qu'il y a une navigation arabe.

légèrement postérieur, utilise déjà le quadrant, apport occidental. Tout en pratiquant uniquement la méthode de navigation arabe traditionnelle, Ibn Majid n'en signale pas moins que les progrès dans le domaine qui l'occupe sont désormais à attendre du côté occidental

Ibn Majid est avant tout un pilote, c'est à dire un professionnel de la mer. Tous les bateaux anciens ne marchent que parce qu'ils combinent trois compétences. Il y a, au-dessus de tout, une autorité qui représente l'entrepreneur qui a fait construire le navire afin de gagner de l'argent, c'est le capitaine qui a la responsabilité commerciale de l'expédition. C'est évidemment à lui que revient de prendre les décisions stratégiques, puisque le but de l'expédition est essentiellement commercial. Ce capitaine peut être un marchand et pas obligatoirement un navigateur. Il est donc assisté par deux spécialistes : un premier délégué opérationnel, responsable de la mise en œuvre du navire ; c'est lui qui va faire aller le navire grâce à l'équipage qu'il commande, nous l'appellerons le maître d'équipage et un second spécialiste chargé de mener le navire à son port de destination, donc un navigateur ou maître de la route, ce sera le pilote. Si le maître doit bien connaître le navire et l'équipage et donc est généralement attaché au navire, le pilote n'est spécialiste que de la route qui peut changer d'un voyage sur l'autre, selon les impératifs commerciaux ; il est donc loué au voyage. C'est le métier d'Ibn Majid. C'était aussi celui de son père et également celui de son grand père.

Le plus riche en enseignements des trois auteurs est certainement Ibn Majid car il se réfère à une longue lignée d'auteurs de traités arabes qu'il cite, en particulier trois auteurs que l'on arrive à dater du XII⁴²⁸ siècle. De plus, c'est un pilote émérite alors que al-Mahri est peut-être plus didactique, il semble être plutôt un théoricien qu'un pratiquant. Ibn Majid a produit la plupart de son œuvre en vers. Ceci paraît curieux mais se comprend aisément en ce sens qu'il s'agit de traités pratiques et que les vers sont le moyen mnémotechnique le plus efficace pour en assimiler de longs extraits. Evidemment, c'est un énorme problème de traduction, car un texte technique demande des mots précis répondant à des définitions précises et les exigences de la métrique entraînent un choix du vocabulaire qui ne va pas forcément dans ce sens-là.

⁴²⁸ G.R. Tibbets, *Arab Navigation in the Indian Ocean before the coming of the Portuguese being a translation of Kitab al-Fawa'id fi usul al-bahr wa'l-qawa'id* of Ahmad b. Majid al-Najdi, London, The Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland, 1981. Outre ces trois auteurs de traités de navigation, ibn Majid cite des ouvrages descriptifs des côtes de l'Océan indien, principalement des côtes sous le vent, c'est-à-dire du golfe du Bengale. Ces auteurs qu'il nomme également sont plus anciens puisqu'il donne la date de 1009/10 de notre ère, pour l'un de ces ouvrages. p. 1, p. 5.

Peut être, pour les lecteurs habituels d'Ibn Majid, ce n'était pas un problème si ardu, car ils étaient à même, par leur imprégnation professionnelle, de saisir toutes les ellipses et les sous entendus ; ce n'est pas le cas pour le lecteur occidental, car la seconde difficulté d'Ibn Majid est qu'il ne s'adresse qu'à un public très averti. Il n'a pas écrit un manuel pour navigateurs débutants. Il a écrit⁴²⁹ trois œuvres principales, outre de nombreux poèmes sur la navigation, le *Hawiya* qui est une œuvre de jeunesse, le *Sa'byia* qui en est une mise à jour et enfin le *Fawa'id* œuvre de la maturité sinon de la vieillesse. Le *Hawiya* fut écrit vers 1460 et le *Sab'iya* en 1482 ; et enfin le *Fawa'id* fut terminé en 1490. Comme sa date de naissance est estimée vers 1432-7, il aurait écrit le premier ouvrage vers l'âge de 25 ans et le dernier vers l'âge de 55 ans. Tous ces ouvrages sont des traités de navigation mélangeant théorie et aussi répertoire des routes et des distances, bref à la fois un traité de l'art de naviguer et des instructions nautiques de l'Océan Indien. Le premier ouvrage a été composé d'après les ouvrages qu'Ibn Majid avait à sa disposition, en particulier, les écrits de ses trois précurseurs qui étaient encore lus après 300 ans d'existence. Son dernier livre, le *Fawa'id*, celui qu'a traduit Tibbetts, est une synthèse des connaissances théoriques d'Ibn Majid, à la lueur d'un demi siècle d'expérience personnelle. D'après son traducteur qui connaît également le texte de Suleiman al-Mahri, il a préféré Ibn Majid, car il lui paraît beaucoup plus complet dans la pratique de la navigation astronomique que ne l'est Suleiman al-Mahri dans son œuvre propre. C'est donc ce texte qui sera notre source principale dans l'étude qui va suivre.

A- Les divers problèmes exposés par Ibn Majid, les commentateurs.

Dans la partie relative à la théorie de la navigation, chez Ibn Majid, il n'y a pas un système de navigation mais plusieurs. Dans les aspects théoriques, on y trouve la méthode astronomique pour la détermination de la méridienne de polaire, celle du contrôle de la route par les observations astronomiques, mais il est aussi question de la navigation à vue, de l'approche de terre et diverses techniques pour évaluer les distances par l'observation, des signes donnés par les oiseaux et les débris flottants, poissons et autres animaux marins etc. On y fait aussi référence à la navigation à la sonde et à l'observation des alignements à terre qui donne des indications sur la position. En ce qui concerne l'aspect descriptif des instructions nautiques,

⁴²⁹ .G.R. Tibbetts, *ibidem*. p. 7à 8 et p.18 à 22.

on y trouve un catalogue de toute une série de routes, de distances de points à points, de descriptions de côtes et, d'une façon générale, on a affaire dans cette facette de son œuvre à un catalogue géographique. Les commentateurs se sont attachés à tel ou tel aspect, en fonction de leurs inclinaisons et de leurs compétences particulières.

Les premiers contacts de l'Occident avec la navigation astronomique arabe se font par l'intermédiaire de Sidi Celebi, un auteur turc, dont le premier manuscrit sera découvert en 1820. C'est à travers lui et les sources qu'il cite que l'existence d'Ibn Majid parvient aux Occidentaux, mais ce n'est qu'en 1912 que deux manuscrits arabes de la bibliothèque nationale contenant des textes relatifs à la navigation et qui correspondent aux sources annoncées par Sidi Celebi seront identifiés. Ces textes divers ont pour auteurs, Ibn Majid et Suleyman al-Mahri. C'est Ferrand qui exploitera ces documents et commence, en 1921, un vaste travail intitulé : *Instructions nautiques et routiers arabes et portugais des XV^e et XVI^e siècles*, en quatre volumes prévus dont la parution des trois premiers s'échelonna de 1924 à 1928⁴³⁰. Ferrand est donc le premier traducteur occidental et commentateur d'Ibn Majid. En tant que linguiste, il s'attache à inscrire ce texte ancien dans un cadre moderne, au point de vue de la terminologie technique et géographique. Entre-temps, divers manuscrits secondaires sont retrouvés çà et là, dont des poèmes à Leningrad, étudiés par Shumovsky en 1957 et accessibles par une traduction portugaise de 1960. G.R. Tibbetts, semble y attacher une importance relative. C'est en effet lui, le prochain auteur à s'intéresser à ces textes. G.R. Tibbetts s'attache à traduire entièrement le texte du *Fawa'id* qui n'avait, jusque-là, fait l'objet que de commentaires. Jusqu'à ce moment, seul Sidi Celebi avait été traduit mais Ferrand démontre que son œuvre est une pale copie de celle d'Ibn Majid et qu'elle est loin de traduire toute la richesse de cet auteur. C'est pourquoi G.R. Tibbetts le suit dans son analyse et entreprend cette traduction qu'il préfère entreprendre plutôt que celle de l'œuvre de Suleyman al-Mahri, pour plusieurs raisons. A son avis, la théorie astronomique d'Ibn Majid est bien plus complète, ce qui va dans le sens des inclinaisons de Tibbetts. Ce dernier prouve une réelle compétence en Histoire de l'astronomie. Cette préférence s'explique également par le fait qu'Ibn Majid reste un auteur reconnu par les marins arabes et ses œuvres étaient encore lues au XIX^e siècle. Enfin, dernière raison de cette préférence, c'est un pratiquant, et il développe tous les traits d'un personnage de chercheur scientifique aux prises

⁴³⁰ G.B. Tibbetts. *Arab Navigation...Op.cit.* Rappel de la note 1 : Tibbetts cite toute la bibliographie de G.Ferrand p XX.

avec le terrain, alors que Suleyman al-Marhi reste surtout un théoricien. En tout état de cause, le second répétant le premier, Tibbetts fait des allers et retours entre les deux auteurs, pour profiter des dons didactiques d'el-Marhi, alors qu'il qualifie le style de Ibn Majid de lourd et de difficile. De plus, le hasard des compétences de ses copistes le rend parfois hermétique. Enfin un dernier chercheur composa trois courts articles sur les méthodes d'Ibn Majid, Henri Grosset-Grange. Celui-ci présente l'avantage, outre d'être un orientaliste, d'avoir été à la mer professionnellement⁴³¹, alors que Tibbetts avoue ne pas être lui même un pratiquant. Néanmoins ceci n'enlève rien à la valeur des analyses de ce dernier en matière de théories de la navigation, sa compétence en astronomie le mettant à même d'appréhender les problèmes de navigation qui, en eux-mêmes, sont relativement simples. De plus, il se fait aider par des hommes de l'art chaque fois que l'on arrive aux applications ou aux vérifications pratiques.

Ces deux auteurs ont fait un énorme travail pour expliciter les instruments théoriques utilisés par Ibn Majid, et nous nous contenterons principalement de nous référer à leurs commentaires dans ce domaine. Cependant, il reste à expliquer le fonctionnement même de la méthode, c'est sur cet aspect que nous allons nous concentrer et dans un premier temps nous allons expliciter le problème que nous pose encore Ibn Majid.

B- La problématique d'Ibn Majid

Dans cette théorie de la navigation hauturière, il ne faut pas négliger une base constituée par l'estime telle que nous l'avons déjà vue en usage en Occident, dès le XIII^e siècle, estime qui suppose une mesure des distances qu'Ibn Majid mesure en *zams*. Mais le gros de la théorie, son originalité, réside dans une méthode de navigation astronomique en deux volets. Un premier volet concerne l'observation des étoiles pour déterminer une latitude, c'est la théorie des *quias*, qui a été parfaitement explorée par Tibbetts et Grosset-Grange que nous nous contenterons de résumer donc et un second volet qui concerne la route et son contrôle par les observations astronomiques. C'est cette partie que nous tenterons de démêler à partir du texte, c'est la théorie des *tirfas* qui constitue l'essentiel de la navigation oblique. C'est là, en effet, à

⁴³¹ Henri Grosset-Grange s'est surtout consacré à la rédaction d'un dictionnaire franco-arabe des termes techniques maritimes ; Il a écrit trois articles à propos de la navigation d'Ibn Majid, le premier dans la revue *Jeune marine*, ancienne revue des années 50 des élèves et anciens élèves des écoles d'hydrographie, lors d'un des congrès d'histoire maritime dirigés par Michel Mollat. La teneur de ce dernier article est reprise et augmentée considérablement dans sa contribution au livre édité par Rosdi Rashed . *La science arabe*, Op.cit.

notre point de vue, que réside le vrai problème de la méthode d'Ibn Majid : comment, à partir de simples latitudes, le pilote arabe arrive-t-il à corriger sa route ?

Explicitons : une latitude est un cas particulier d'une droite de hauteur. Ce système est bien connu, il est à la base de nos systèmes modernes de navigation, basé cette droite de hauteur calculée par la méthode Marq-Saint Hilaire datée de 1874. Une méridienne est donc une droite de hauteur orientée strictement Est-Ouest. Ce n'est, en aucun cas, une position précise, c'est à dire un point sur la surface de la mer. C'est, d'une façon beaucoup plus générale, un lieu géographique. La méridienne est le lieu de tous les points de la carte qui ont la même latitude, calculée grâce à l'observation d'un astre au moment précis où il passe au méridien d'un lieu, défini par son point estimé. L'astre observé peut être, dans notre pratique moderne, une étoile, une planète, le soleil, ou même la lune pour certains rares « intégristes » du calcul astronomique. Cette méridienne ne donne au navigateur qu'une seule certitude, il peut être n'importe où sur cette latitude sans que rien ne puisse lui indiquer en quel point précis de cette droite il se trouve. Pour obtenir un point exact, il lui faut une seconde indication. Ce peut être, dans nos méthodes modernes, une autre droite de hauteur d'un deuxième astre orientée différemment qui coupe cette méridienne, mais ceci Ibn Majid ne savait le faire, il ne savait prendre et calculer que des méridiennes de la polaire. La connaissance de cette méridienne n'a donc pas grande signification en elle-même sauf dans le cas particulier, qu'Ibn Majid utilise fréquemment, c'est celui de l'atterrissage par la latitude. A l'approche de terre par un calcul de méridienne le navigateur arrive à déterminer le moment où, en mer, il se trouve à la latitude du port d'arrivée. A ce moment précis, il change sa route pour une route Est-Ouest et se dirige donc vers son but en suivant le parallèle. Il peut alors, en utilisant une autre méthode de repérage, estimer la distance à laquelle il se trouve de la côte. Ibn Majid donne de nombreux indices de la présence proche des côtes⁴³², vol des oiseaux, observation des poissons, turbidité des eaux, présence de débris végétaux etc. mais la méthode la plus précise, comme l'indique Ibn Majid, reste l'interception d'une ligne de sonde déterminée. Dans ce dernier cas, à condition, bien entendu, de connaître, par expérience la distance de terre de cette ligne de sonde, on obtient un point précis. Ceci est un point; c'est un cas particulier de la méthode plus générale du un point par relèvement-distance. (Le relèvement d'un point est

⁴³² G. Tibbets. *Arab Navigation... Op. cit.* Il existe là tout un ensemble de techniques pour se situer près de terre, en analysant divers indices cités plus loin, qu'Ibn Majid appelle *Isharat*. Ils ne font pas partie d'un chapitre particulier mais sont éparpillés dans tout le texte. Tibbets fait une recherche analytique et y consacre un paragraphe 1. *Isharat* dans sa partie III *Navigational Theory*. p 276-289.

l'angle que fait avec le Nord la direction de ce point visé à partir du navire, c'est un lieu géographique passant par le point de terre visé et sur lequel se trouve le navire). On peut dire, dans le cas particulier ci-dessus que l'on est à tant de distance dans l'Est-Ouest de tel point de la côte puisqu'on connaît aussi les latitudes des principaux amers. Mais en haute mer, sans autre référence, l'observation de la méridienne ne donne que la latitude et jamais une position mieux déterminée. Pourtant, au large, Ibn Majid n'utilise que cette méridienne pour contrôler et corriger sa route, c'est toute la problématique d'Ibn Majid.

Il est vrai qu'en pleine mer dans deux cas particuliers bien précis, à défaut de la position exacte, la connaissance de ce lieu géographique peut donner des indications annexes importantes. C'est le cas, en premier lieu, lorsque le navire suit une route Nord-Sud, la méridienne, dans ce cas très particulier, devient ce que l'on appelle une **droite de vitesse**. La distance entre deux méridiennes successives nous donne alors la distance parcourue avec une valeur exacte. On ne sait pas exactement si on est à droite ou à gauche de la route, mais on est certain de la distance entre ces deux parallèles, en effet même si on a dévié légèrement dans un sens ou un autre, c'est-à-dire, si l'on n'a pas suivi très exactement une route Nord-Sud, la différence de parcours n'est cependant pas significative et en pratique on peut être assuré du résultat donné par l'observation. C'est la méthode qui est adoptée nous le verrons dans la théorie des *zams*.

Le second cas particulier est celui où l'on suit une route Est-Ouest, la méridienne devient alors une **droite de position** : puisqu'on suit une route Est-Ouest, on suit, alors, un parallèle bien déterminé et la méridienne va nous donner tout de suite l'information de savoir si on est au dessus ou au dessous de la route suivie c'est à dire si on a dévié à droite ou à gauche de la route prévue, sans nous donner, cependant, la moindre précision sur le chemin parcouru. Comme indiqué cette méthode était très utilisée par Ibn Majid qui préconisait les atterrissages par une route Est-Ouest comme en témoigne ses conseils « .. *pour aller à Goa, prends alors tel cap jusqu'à mesurer telle étoile à telle hauteur qui correspond à l'atterrissage sur Goa. Fais alors de l'Est en corrigeant tes écarts sur la route grâce à la hauteur de l'étoile chaque nuit. Après tant de temps de trajet commence à sonder...* »⁴³³

⁴³³ Grosset-Grange, *La science nautique arabe* in *La science arabe*. *Op.cit.* p 239-

Ces deux exceptions sont à la base de la navigation selon le parallèle que nous avons supposé, dans l'introduction générale de cette troisième partie, avoir précédé le stade de la navigation oblique et dont nous avons dit qu'il en restait des reliquats dans la navigation d'Ibn Majid. En voilà précisément deux exemples, mais dans le cas général de la navigation oblique, la connaissance de ce lieu géographique ne nous donne aucune indication exploitable en l'état. Ainsi, si on suit un cap quelconque donc incliné sur la direction Nord-Sud, la méridienne ne peut dire toute seule si le navire est sur la route suivie ou bien à droite, ou bien à gauche. Et pourtant Ibn Majid dans la sixième *fa'ida* déclare : « ... la route dit à la mesure de la latitude - c'est moi l'original, vous n'êtes qu'un dérivé, donc je dois être considérée comme exacte quand il y a contradiction. - Mais la mesure de la latitude répond « si je n'avais pas été disponible pour montrer que le cap avait changé...⁴³⁴ »

3-2.2 Les instruments théoriques de la méthode.

Notre source c'est le livre d'Ibn Majid sur les *fawa'id*. Malheureusement Ibn Majid est un auteur au style assez déconcertant et il manque de talents didactiques. Il est vrai que son livre n'est pas un précis à l'usage des débutants ; la formation de pilote ne se comprend pas ainsi à cette époque. Les textes et Ibn Majid, lui-même, font mention d'un assistant pilote⁴³⁵ et on comprend que l'on devient pilote après un long apprentissage auprès d'un pilote chevronné. Ses livres, en général, ne s'adressent qu'à ses pairs ; la pratique est donc supposée connue et ne sera jamais exposée. Elle est seulement implicite, à l'état diffus, dans le texte et les éléments constitutifs n'apparaissent qu'après un travail de recherche et d'analyse systématiques. Il faut donc se reporter aux recherches antérieures c'est-à-dire essentiellement celles de Tibbetts et de Grosset-Grange. D'autant plus que ces auteurs ont l'avantage d'être également des familiers de Suleiman al-Mahri qui, de l'aveu général, ne dit rien d'autre que ce que dit Ibn Majid, mais le dit beaucoup plus clairement, de telle sorte qu'ils l'utilisent

⁴³⁴ Tibbetts. *Op. cit. 6eme fa'ida* p 168.

⁴³⁵ Tibbetts. *Op. cit. 6eme fa'ida* p 170

« Il faut être conscient des négligences de l'homme de barre, car c'est là le plus important de vos problèmes. Vous ne serez jamais sûr de ce que vous allez trouver en face de vous, quand vous faites un relèvement de terre, si vous n'êtes pas sûr de votre homme de barre. J'ai écrit ce livre après 50 ans d'expérience ; pendant tout ce temps je n'ai jamais laissé l'homme de barre seul sans être derrière lui, moi ou mon assistant ».

comme une clé pour déchiffrer les passages trop obscurs d'Ibn Majid. Celui-ci restant l'auteur de référence, car les navigateurs arabes l'ont toujours considéré eux-même comme tel. Nous adopterons donc les définitions des instruments théoriques qui vont suivre telles qu'elles apparaissent dans les travaux de ces deux chercheurs ci-dessus et ce n'est que dans le point suivant lorsque leurs explications ne répondent plus à toutes les questions que l'on est en droit de se poser que nous reviendrons au texte original.

A- Instruments de l'observation astronomique. Les *quiyas*⁴³⁶

Les *quiyas* c'est l'art de prendre la hauteur des astres avec un jeu d'instruments, les bois, pour déterminer la hauteur du passage de la polaire au méridien inférieur d'un lieu. A la base il s'agit, de déterminer la hauteur de l'étoile polaire culminant au méridien inférieur du lieu d'observation. En principe cette hauteur, après certaines corrections, donne la latitude. Il y a une relation simple entre ces deux valeurs ; il suffit de corriger cette hauteur instrumentale pour obtenir la hauteur vraie, puis de corriger cette dernière de 3,25° (le demi-diamètre de l'orbite de la polaire) pour obtenir finalement la latitude. Ibn Majid ne le fait jamais, il ne calcule jamais cette latitude. Il ne s'intéresse qu'aux différences de hauteur ; il s'agit, par des observations de méridiennes de polaire en deux lieux de déterminer cette différence de hauteurs qui définit le chemin Nord- Sud entre deux lieux qui est aussi égal à la différence de latitude entre ces deux lieux respectifs. En ne considérant que cette différence de hauteurs, on s'affranchit du passage par la correction de hauteur qui est mal connue mais qui va se trouver annulée, membre à membre, dans la différence des deux observations. Aussi définit-il un lieu non pas par sa latitude mais par la hauteur de la polaire au méridien inférieur de ce lieu. Il s'affranchit ainsi de toutes les inconnues et les erreurs susceptibles d'entacher la correction à effectuer.

⁴³⁶ G.R. Tibbetts. *Op.cit. Navigational theory* p 312-354. et Ahmad ibn Majid. *Kitab al-fawa'id fi usul al-Bahr wa'l-Qawa'id*, 7^{ème} et 8^{ème} fa'ida Bashiyyat et Qiyasat p.171-191

Remarque importante :

Nous avons déjà parlé de latitude dans les calculs d'ibn Majid et nous en parlerons encore, mais il s'agit en fait d'une impropriété utilisée pour les besoins d'une simplification du langage. Chaque fois que nous parlons de « *latitude* » dans les calculs d'Ibn Majid il faut lire en fait « *hauteur de la polaire au passage du méridien inférieur du lieu d'observation* ». On comprend ce besoin de schématisation, d'autant plus que pour passer de cette *hauteur* à la *latitude*, comme nous venons de l'expliquer ci-dessus, il n'y a qu'à appliquer une correction quasi constante. Mais ibn Majid n'est pas en mesure d'en connaître la valeur exacte. Il traite ses calculs et conserve toutes ses données en *hauteurs de polaire*. C'est ainsi que ses cartes indiquent pour chaque port non pas la *latitude* mais la hauteur de la polaire au méridien telle que l'on peut l'observer dans ce port. Il déconseille donc à ses élèves de tenter de calculer cette latitude car les astronomes sont eux plus à même de déterminer cette latitude, ils utilisent en effet l'astrolabe qui donne des hauteurs zénithales et non pas des hauteurs utilisées par ibn Majid comme nous allons le voir ci-dessous. Ces mesures astronomiques sont partiellement exonérées de la plus grosse partie de la correction pour la réfraction. Ces hauteurs zénithales déterminent les données qu'utilisent les géographes scientifiques. Le trouble risque donc de s'introduire dans l'esprit des navigateurs devant ces chiffres contradictoires.

A l'origine la hauteur d'un astre au-dessus de l'horizon est mesurée en se basant sur l'intervalle donné par des travers de doigts posés entre l'horizon et l'astre avec la main tendue à bout de bras. Donc l'unité d'angle est le travers de doigt ou *isba* dont le multiple est la main ou *dhubban*, soient 4 doigts en travers entre l'horizon et l'astre. Ces mesures, très personnelles à l'origine, se standardisent, à l'usage ; Ibn Majid nous donne ces mesures standards faisant partie d'un système global. Il y a 224 doigts dans 360 degrés, soit une valeur du doigt de 1,6 degrés convertis en 96 minutes d'arc. Ce chiffre de 224 n'est pas le fruit du hasard si on écoute Ibn Majid. « *Le nombre des maisons de la lune est de 28 quand elle passe et le nombre de rhumbs est de 32. Certaines étoiles sont utilisées pour des maisons lunaires bien déterminées et d'autres sont utilisées pour les rhumbs et les isbas. Les divisions des maisons et des rhumbs ont été, à l'origine, prises à partir des degrés de l'astrolabe. Je ne sais pas qui a opéré cette transformation des degrés en isbas...* »⁴³⁷ » Bref d'une part la

⁴³⁷ Tibbetts. *Op. cit. Iere fa'ida* p 76.

circonférence de l'horizon est divisée en 28 maisons lunaires, et d'autre part ce même horizon est divisé en 32 rhums ; les hauteurs d'astre correspondant en distances angulaires sur la circonférence du méridien, il faut un système de mesure cohérent. On a donc décidé de diviser l'horizon en 224 isbas, ce qui donne pour les grandeurs les plus usités une mesure en isbas en chiffres ronds. Soit $224:28=8$ isbas pour une maison lunaire et $224:32=7$ isbas pour un rhumb. Ce sont donc des raisons de cohérences dans le système de mesure qui ont amené les astronomes à stabiliser ces valeurs. Cette coïncidence de valeurs entières n'est pas un hasard pour Ibn Majid. Pour lui, c'est une décision d'astronomes pour rendre compatibles le système de mesure scientifique (exprimé en degrés) et celui des marins (exprimé en *isba*). C'est important, car il reconnaît ainsi que c'est la preuve que la science nautique arabe est le fruit d'une coopération.

Pour continuer dans cette cohérence Ibn Majid définit comme unité de mesure des distances, un sous-multiple de la mesure d'arc, l'*isba*, c'est le le *zam*. C'est à partir de la différence de latitude parcourue en une journée par un navire standard qu'il définit ce le *zam*. Le *zam* est donc défini selon le même processus que l'est le mille marin actuel. C'est un écart de latitude, une fraction du méridien terrestre qui se traduit par une distance parcourue sur la mer. Pour revenir au *zam*, c'est le plus petit sous-multiple de l'*isba*, c'est la limite de la précision de la prise de hauteur, 1/8 de doigt soit en minutes de degrés d'arc: $96'/8 = 12'$ minutes d'arc. Il choisit ce sous-multiple de l'*isba* et donc de mesurer les distances à 12 milles marins (22 kilomètres) près⁴³⁸ parce qu'il ne peut observer les astres à l'œil nu avec plus de précision. Mais nous verrons à l'usage qu'il y a une certaine ambiguïté car le *zam* est aussi la durée d'un quart de voilier arabe soit 3 heures et le *zam* est donc aussi la distance parcourue par un navire standard définie à partir d'une définition mathématique.

⁴³⁸ Pour avoir un ordre d'idée de la limite de cette précision, remarquons qu'avec nos instruments actuels en particulier le sextant grâce à sa lunette et sa lecture par vernier un très bon observateur peut atteindre une précision de 1/10 de minute d'arc. C'est l'usage dans les calculs de pousser la précision jusqu'à ce niveau. Ceci paraît plutôt théorique, en fait il vaut mieux compter sur une précision de l'ordre de la minute soit de 1852 mètres sur le point final..

*α-Les substituts de la méridienne. Les bashi*⁴³⁹

Nous devons remarquer que le passage au méridien inférieur n'ayant lieu qu'une seule fois dans les 24 heures, l'heure de ce passage dépend de la longitude à laquelle se trouve l'observateur, ce qui signifie que ce passage n'est peut être pas observable car ce moment peut se produire de jour et la polaire n'est alors pas visible ou bien encore l'observation peut être masquée par un nuage à ce moment précis, ce qui suppose de nombreuses nuits sans observations. Il serait bon de pouvoir faire des observations complémentaires. L'idée de base étant que la polaire décrivant un petit cercle autour du pôle, on remarque que le diamètre de ce cercle, lorsqu'on le mesure couvre une distance angulaire de 4 *isbas*. Autrement dit la hauteur de la polaire lorsqu'elle passe au méridien supérieur diminuée de 4 *isbas* donne une hauteur virtuelle du passage de la polaire au méridien inférieur qui est la référence universelle en navigation arabe.

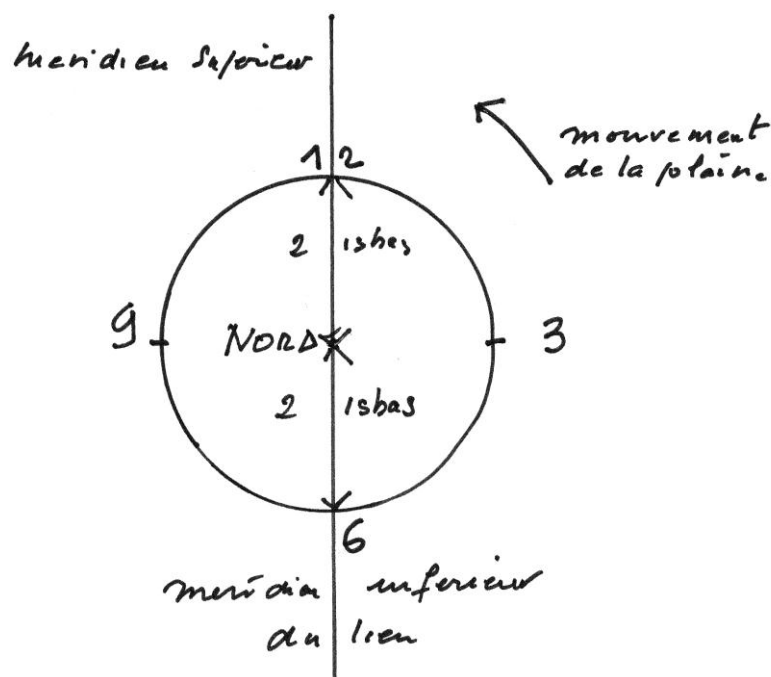


Fig 1

La polaire décrit un cercle autour du Nord vrai de rayon 2 isbas. Elle passe au méridien supérieur répertorié, par analogie, comme sur le cadran d'une montre par le chiffre 12. Son

⁴³⁹ G.R. Tibbetts. *Op.cit. Navigational theory.* p. 331-336. et Ahmad ibn Majid. *Kitab al-fawa'id...Op. cit., 7^{eme} et 8^{eme} fa'ida Bashiyat et Qiyasat.* p.171-191

passage au méridien inférieur sera répertorié par le chiffre 6. Au passage aux repères 3 et 9, on voit que la polaire est, à ces moments précis, à la même hauteur que le pôle Nord.

On voit qu'au passage de la polaire sur la ligne horizontale (3h,9h) la hauteur de la polaire est égale à la latitude ou plus précisément, pour rester dans le contexte arabe, cette hauteur diminuée de 2 *isbas* donne la hauteur virtuelle de la polaire au méridien inférieur. **Mais cet instant précis peut correspondre à un évènement astral concomitant**, par exemple le passage d'une étoile donnée au méridien, bien plus facile à observer. On dit alors que le *bashi* de cette étoile est de deux *isbas*. En généralisant, on peut lister chez ibn Majid 28 culminations d'astres correspondant à autant de positions de la polaire dans son orbite, avec attachée à chacun de ces événements un *bashi* pour corriger la hauteur de la polaire⁴⁴⁰ et ainsi la réduire à une hauteur de son passage au méridien inférieur.

En résumant grâce aux *bashi*, on peut dire que l'on n'est plus obligé d'attendre précisément le passage de la polaire au méridien inférieur mais que l'on a 28 moments privilégiés définis par le moment de la culmination d'un astre particulier pour mesurer la hauteur

⁴⁴⁰ Les 28 événements correspondants aux diverses maisons lunaires qui est un chapitre très important chez Ibn Majid. Il n'est pas essentiel pour la mise au point de la méthode de Ibn Majid, aussi cela sera évoqué dans cette note plutôt que dans le texte même de l'étude.

Le ciel est fixe dans la configuration relative des étoiles, les constellations sont placées définitivement les unes par rapport aux autres au moins dans le moyen terme historique et à plus forte raison à l'échelle d'une génération humaine. Pour une latitude donnée, l'inclinaison du pôle étant fixe, on a une première limitation au spectacle du ciel c'est la ligne d'horizon qui masque une partie du ciel. Cependant comme le ciel tourne le ciel tourne autour de l'axe des pôles, au cours de la nuit on verra les astres caches défiler les uns après les autres durant la nuit. Cependant c'est la nuit, en fait le soleil qui donne les heures d'ouverture du spectacle. Ce spectacle c'est à dire le ciel étoile obéit à un temps le temps sidéral lié au point vernal intersection du plan de l'écliptique et de l'équateur dont le mouvement est lié au mouvement de la terre autour du soleil c'est-à-dire annuel par contre le spectacle nocturne est lié au rythme de la rotation de la terre autour du soleil c'est-à-dire du temps civil de 24 heures. Malheureusement ces deux systèmes ne sont pas reliés par une relation simple puisqu'il y a 365,25 jours civils dans une année solaire. Il en résulte que les « heures d'ouvertures du spectacle » se décalent chaque fois un peu chaque jour. (Sans compter que l'amplitude des heures d'ouverture varie avec les saisons). D'autre part ceci est vrai pour un lieu bien déterminé. Mais même en restant à latitude constante, si on se déplace sur le parallèle donc en longitude on change complètement ces heures de jour et de nuit. Pour résumer, le ciel est toujours invariable mais la perspective est changeante sans arrêt dans le temps et dans l'espace. Il faut une référence pour que l'on puisse se placer dans une perspective déterminée pour pouvoir parler de phénomènes identiques. Cette référence, Ibn Majid la trouve dans les maisons lunaires. L'orbite de la lune est surtout liée à la rotation de la terre, faisant un tour en 28 jours. On détermine un instantané du ciel selon la place de la lune par rapport au firmament en définissent 28 maisons lunaire par la présence de la lune dans 28 constellations différentes et on peut donc comparer des choses comparables. La position de la lune fige un instantané du ciel chaque fois identique que l'on retrouvera quelque soit le jour de l'année et la différence en longitude puisque la lune tourne autour de la terre. Par ailleurs, ces maisons lunaires et solaires (le zodiaque) sont très importantes pour Ibn Majid dont le calendrier officiel est lunaire et qui travaille dans un monde régi par les saisons solaires qui commandent les vents. Il utilise donc concurremment un calendrier solaire hérité des perses et son calendrier arabe.

virtuelle de la polaire au passage du méridien du lieu et a cet instant. Il suffit d'appliquer à la hauteur de la polaire **prise à ce moment là**, c'est-à-dire à une position quelconque dans son orbite ce *bashi*, pourvu que l'observation ait lieu quand l'astre auquel est attaché le *bashi* passe lui-même au méridien inférieur. C'est donc le moment du passage au méridien de cet astre, utilisé comme auxiliaire, qui donne le « *top départ* » de l'observation de la polaire dans une position quelconque. Pour simplifier il y a 29 occasions précises dans la journée (y compris le passage de la polaire elle-même au méridien inférieur) de calculer la latitude à partir de la hauteur de la polaire. Par valeur virtuelle de la hauteur méridienne nous entendons la valeur vraie qu'aura la hauteur de polaire lorsqu'elle passera, en son temps, dans ce lieu précis où nous nous trouvons au moment de l'observation, cette valeur « virtuelle » définit donc exactement ce lieu géographique sur lequel se trouve le navire

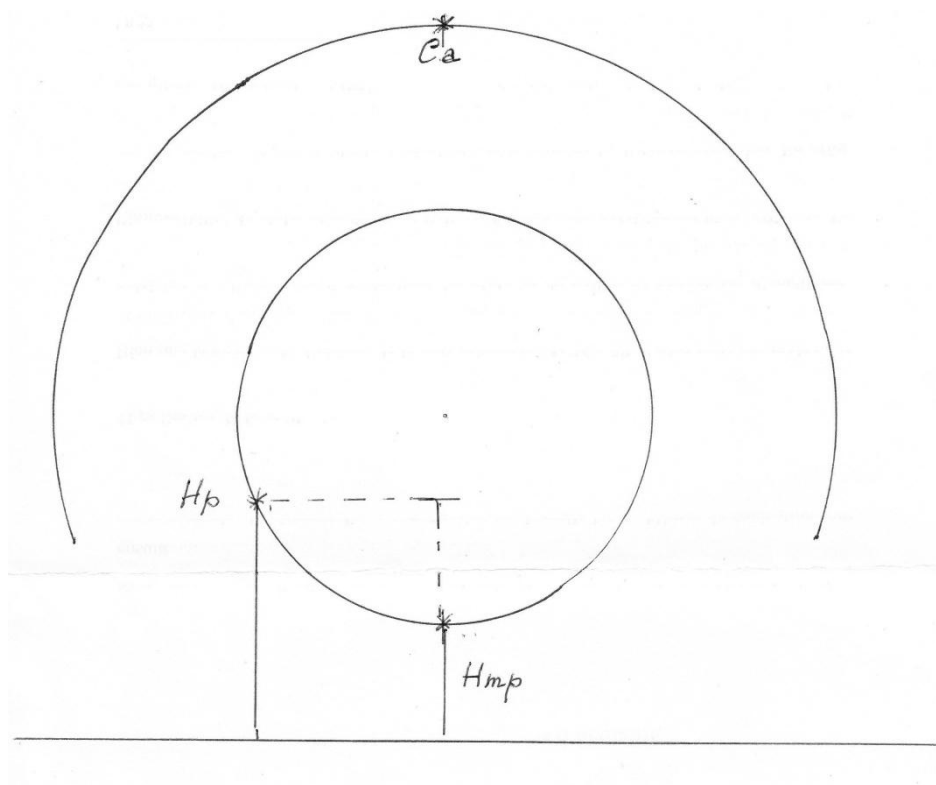


Fig 2.

Un astre donne culmine en Ca. A ce moment la position de la polaire sur son orbite circulaire est en Hp. On mesure la hauteur de Hp au dessus de l'horizon. Le pilote connaît la distance verticale entre Hp et Hpm qui est dit le bashi de l'étoile a. On obtient alors par soustraction de ce bashi la hauteur Hpm qui est la hauteur du passage de la polaire au méridien inférieur du lieu de l'observation quand elle passera à ce méridien, toutes choses égales par ailleurs, c'est-à-dire : si on restait immobile en ce lieu.

β -Autre substitut de la méridienne, les hauteurs abdal⁴⁴¹

Les arabes et leurs bois ne pouvaient observer des hauteurs supérieures à 20 degrés, ils étaient également limités pour les hauteurs inférieures, car dans les basses hauteurs il y a des irrégularités dues à la réfraction qui entachent les mesures d'erreurs grossières, et Ibn Majid l'avait remarqué par expérience : « *il n'y a rien de bon si l'étoile est basse sur l'eau* ». Cela sera explicité plus en détail dans le paragraphe consacré à la validation de la méthode. Le champ d'observation est très limité et, dès que l'on monte en latitude, la polaire est hors champ, les bois sont « trop courts ». Il faut continuer à observer pour naviguer. On opère alors en utilisant un nouveau subterfuge. Il faut choisir deux étoiles de même déclinaison et formant avec la polaire un triangle isocèle dans le ciel, c'est particulièrement le cas de Véga et de Capella. Lorsque ces deux étoiles sont exactement horizontales, elles sont symétriques par rapport au méridien et en même temps la polaire passe elle aussi au méridien inférieur. La distance angulaire mesurant la hauteur géométrique de ce triangle isocèle est une constante puisque la configuration d'une constellation dans le ciel est une figure indéformable. Il suffira d'ajouter à la hauteur de l'horizontale joignant ces deux étoiles cette constante pour avoir la hauteur du passage de la polaire au méridien inférieur.

⁴⁴¹ G.R. Tibbetts. *Op.cit. Navigational theory.* p. 326-327.

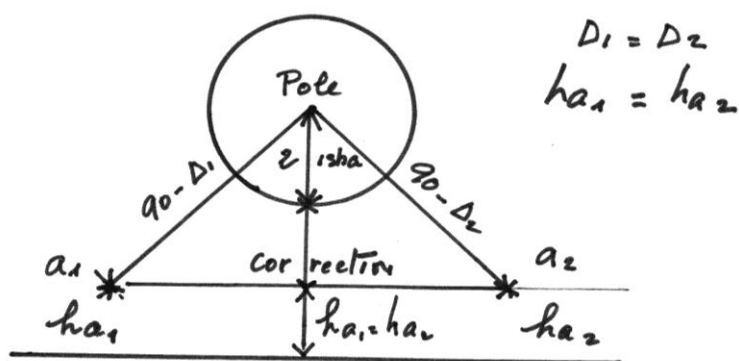


Fig 3.

Les étoiles a_1 et a_2 ont la même déclinaison, elles sont distantes du pôle de $90-D_1$ et $90-D_2$.

La distance du pôle à l'étoile polaire est connu il est par exemple de 2 isbas. Dans le triangle isocèle formé par les deux étoiles et la polaire la hauteur est facile à calculer (pour un astronome). Il est donc facile d'en déduire 2 isbas, pour avoir la valeur de la correction qui est donc une constante et que l'on retiendra par cœur. Il ne reste qu'à ajouter à ha_1 ou ha_2 afin de calculer la hauteur de la polaire au dessus de l'horizon, à son passage au méridien inférieur.

L'intéressant de la méthode est que l'on peut donc calculer la hauteur du passage du méridien inférieur de la polaire alors que la polaire n'est pas observable, parce que trop haute ou bien encore cachée par un nuage. Or Ibn Majid en a déduit une série d'autres méthodes similaires que nous n'allons pas détailler ici, mais que Tibbets recense soigneusement⁴⁴² tout en les énumérant. Elles sont toutes basées sur le même principe : une configuration bien particulière de deux astres, qui ne se produit qu'une fois par nuit et parfois limitées à certaines latitudes, fournit une indication chiffrée sur une correction à appliquer à la mesure de la hauteur de ces astres pour obtenir la hauteur du passage au méridien inférieur de la polaire et ceci sans apercevoir forcément la polaire. Tibbets recense près de 70 combinaisons de cet ordre, éparses dans le texte des fawa'id. Il est vrai que c'est la spécialité d'Ibn Majid et que certaines

⁴⁴² G.R.Tibbets *op.cit* ; p 312 -355

de ces combinaisons sont de son fait. On ne peut mieux résumer la situation qu'en citant directement Tibbetts : « *Tout l'art de la navigation astronomique arabe (i.e. les quiyas) réside dans le fait que tant qu'il restait une étoile brillante dans le ciel, les navigateurs n'étaient pas en peine de mesurer leur latitude. Il en résulte que dans les latitudes où la polaire est encore au dessus de l'horizon (l'hémisphère Nord) et que tout le ciel dans sa partie Nord était couvert par les nuages (donc le passage de la polaire au méridien ne pouvait être observé ni directement ni par une étoile de substitution), on pouvait calculer la latitude ou plutôt la hauteur de la polaire pouvait être estimée en mesurant la hauteur d'une étoile dans le sud ou même d'une étoile équatoriale*⁴⁴³. » Bien évidemment, il faut déterminer ces constantes avec une très grande précision, c'est le rôle des astronomes qui disposent de moyens autrement plus précis que les instruments nautiques somme toutes assez grossiers⁴⁴⁴. Dans le même ordre des choses, on conçoit que lorsqu'on passe dans l'hémisphère Sud, où la polaire n'est plus visible, certaines de ces combinaisons sont praticables et que paradoxalement Ibn Majid arrive à calculer des hauteurs négatives pour la polaire, ce qui introduit le point suivant.

γ -Calcul de la latitude dans l'hémisphère Sud.

Le domaine de navigation des arabes à l'époque d'Ibn Majid est très étendu, il s'étend de Djeddah et Ormuz au Nord, de Sofala dans l'actuel Mozambique y compris les îles Comores et Nosy-bé sur les côtes de Madagascar, jusqu'à Malaca et les îles de la Sonde, dans l'hémisphère Sud. Si l'on examine les terres couvertes par les latitudes qui correspondent à une hauteur de la polaire de 3 à 12 isbas on ne couvre que la partie Nord de ce domaine navigable. Nous verrons que le grand bois mesure les angles limités à 12 isbas et le petit jusqu'à 3isbas. Or Ormuz est à 12 isbas, Djeddah, aux alentours de 10 isbas ainsi que tout le Nord de la côte du Bengale. La limite de 3 isbas passe un peu plus Sud que la corne de l'Afrique, par la pointe de l'Inde et par la côte birmane bien au Nord de Malacca.

⁴⁴³ G.R.Tibbetts : *op.cit.* p. 325

⁴⁴⁴ Les arabes avaient construits de véritables observatoires astronomiques dont nous avons encore des traces . On sait qu'ils avaient construit un genre de lunette méridienne ou plus exactement d'un sextant géant. La taille de cet instrument de près de 6 mètres permettait qu'un degré d'arc laissait une trace de 35 centimètres sur le limbe. Ceci garantissait dans notre opinion des lectures de la minute d'arc. De même ils avaient construit un dioptré d'une dizaine de mètres de diamètre ce qui leur permettait grâce à une procédure de double visées de l'alidade d'obtenir des précisions au moins semblables quant à l'azimut et aussi de la hauteur des astres.

La polaire ne peut donc être théoriquement utilisée que dans une frange géographique étroite. En ce qui concerne les navigations au Sud de l'équateur, Ibn Majid nous cite une navigation ancienne qui doit être en fait une navigation *chola*, familiers de ces latitudes Sud, puisque navigant dans la zone d'influence hindouiste de l'Inde, l'Indochine et l'Insulinde. Dans cette méthode on utilise pour se repérer la Croix du Sud. Cette constellation est assez éloignée du pôle Sud et de ce fait est déjà observable dans l'hémisphère Nord. Dans la zone équatoriale. La Croix du Sud se présente sous la forme d'un losange, il y a une « règle du pouce » qui dit que lorsque les deux étoiles β et δ de la Croix du Sud sont à l'horizontale, alors, l'étoile α de cette constellation est en train de passer au méridien, c'est précisément cette configuration que les *Cholas* utilisaient. Evidemment, tous leurs repérages géographiques étaient construits à partir de cette hauteur et le repérage d'Ibn Majid basé sur la hauteur de la polaire n'était plus valable.

Aussi Ibn Majid n'utilise pas cette technique, mais reste toujours basé sur l'étoile polaire qu'il utilise, même s'il ne la voit pas, en se servant d'étoiles de substitution, selon les méthodes précédemment décrites. N'oublions pas qu'Ibn Majid est un habitué de l'hémisphère Sud, domaine de prédilection des Omani (Ibn Majid habite à Oman) qui fonderont plus tard de véritables colonies dans les îles du canal de Mozambique. Il utilise principalement des étoiles de substitutions proche de la polaire, soit faisant partie de la Petite Ourse, soit de la Grande Ourse. Ce sont les *Fardaqan* et le *Na'sh*. Les *Fardaqan* sont une combinaison de quatre étoiles, comprenant les deux gardes et β et γ de *Ursae Minoris*, tandis que *al Nas'sh* est un sous-élément de la Grande Ourse soit : α , β , γ et δ de *Ursae Majoris*. Ces deux constellations très facilement reconnaissables et pourvues d'étoiles dont les principales sont plus brillantes que la polaire elle-même, tournent donc autour du pôle et, de par leur distance à celui-ci, sont encore observables depuis l'hémisphère Sud, alors que la polaire ne l'est déjà plus. Les Arabes n'allaient jamais si Sud que le Grand Chariot, au moins, ne reste visible. Plus au Sud, où on les perdait de vue, ces régions étaient pour cette raison appelées : « *les régions obscures* ». Heureusement il n'y avait là-bas aucun intérêt commercial⁴⁴⁵.

⁴⁴⁵ Ce qui attirait les arabes à Sofala c'était l'or du Monomotapa. Cependant il faut noter que certainement des explorateurs arabes se sont risqués plus Sud car Ibn Majid nous parle d'un passage entre l'océan indien et l'atlantique par un « canal » tout au sud. Il ne croit donc plus à l'existence du continent austral de Ptolémée, se développant vers l'Est et rejoignant la Chine qui aurait fait de l'océan indien une sorte d'immense méditerranée.

B- Les instruments de l'estime. Les *zams*.⁴⁴⁶

Nous avons déjà introduit rapidement le *zam*. (1/8 de doigt) Précisons : L'*isba* est une mesure d'arc (12'). On peut donc la faire correspondre à l'arc de la circonférence terrestre et donc cette mesure d'arc est aussi une mesure de longueur de distance le long de cette circonférence terrestre. L'*isba* correspondant à la longueur de l'arc, selon le méridien Nord-Sud parcourue en 24 heures de route selon un cap strictement Nord-Sud. Mais le *zam* est aussi une unité de temps. C'est, en fait, la durée du quart à la mer, tel que pratiqué sur les voiliers arabes soit 3 heures de temps et sous multiple de 24 heures⁴⁴⁷. Le *zam*, tel que défini plus haut, suppose donc l'existence d'un navire standard qui se déplacerait à une vitesse telle qu'il parcourre sur une course Sud-Nord 96 minutes d'arc soit 96 nautiques à une vitesse standard de $96' : 8 = 4$ noeuds⁴⁴⁸.

Ibn Majid appelle *zam des routes et des distances*, la route parcourue par un navire réel pendant trois heures. Ce *zam* dépend essentiellement de la vitesse sur l'eau d'un navire particulier, celui sur lequel navigue le pilote, il est donc essentiellement variable. Rien à voir donc avec le *zam* défini plus haut qui est qualifié lui de *zam théorique* et dont la valeur est invariable. Par là même, il conserve implicitement le terme de *zam* pour designer une unité de temps de 3 heures de route et, par extension, la distance parcourue pendant ce laps de temps. Il faut donc déjà noter que la notion de *zam* est ambiguë et qu'il faut bien spécifier de quel *zam* on parle, ce qu'il semble sous-entendre souvent dans son texte, laissant au lecteur le soin d'interpréter selon le contexte. En ce qui concerne le *zam théorique* c'est une mesure de

⁴⁴⁶ G.R. Tibbetts. *Op.cit. Navigational theory*. p .299.

⁴⁴⁷ Il faut bien réaliser que l'heure est une aussi mesure d'angle. La terre décrit sa circonférence soit 360 degrés en 24 heures. L'heure de temps c'est aussi un angle 15° que la terre a décrit pendant sa révolution sur elle-même. Une minute de temps correspond à 15' d'arc et 1 seconde de temps à 0, °4. En incidente, ces équivalences font comprendre l'importance du temps en navigation, une erreur de 4 seconde au chronomètre induit donc un erreur de 1 mille nautique, soit 1852mètres sur la position en longitude à l'équateur.

⁴⁴⁸ Cette notion de navire standard nous l'avons déjà trouvée chez Edrisi. Avec son équivalence : d'une journée de navigation pour 100 milles parcourus, si on admet qu'Edrisi utilisait le mille genoï ou romain de 1500 mètres on obtient 150 kilomètres par jour, alors que la journée de navigation chez Ibn Majid equivaut à 96 minutes d'arc soit 177 kilomètres. On est ans le même ordre de grandeur.

distance sur la direction Nord-Sud de 12 milles marins. C'est une notion qui est familière au marin actuel puisque le mille marin est défini selon le même procédé. C'est en effet la longueur parcourue lorsqu'on se déplace d'une minute d'arc sur l'axe nord sud de la carte marine. Dans sa deuxième acceptation de *zam des routes et distances*, c'est la distance parcourue effectivement sur l'eau par le navire durant un quart de trois heures. Il est utilisé pour mesurer toute distance parcourue quelque soit l'inclinaison de la route, et dans ce sens il dépend essentiellement du vent et des qualités de « bon coureur » du navire sur lequel on se trouve. Mais lorsqu'on veut passer de l'unité temps à une distance on évaluera cette distance parcourue, le *zam des routes et distance*, grâce à un étalon qui est le *zam théorique*. Comme tous les étalons de mesure c'est le quotient d'une unité de longueur par une unité de temps.

En ce qui concerne le *zam théorique*, cette vitesse est définie mathématiquement et correspond à une situation stéréotypée où un navire standard couvrirait 1 *isba*, soit 96 milles marins en 24 heures soit 177 kilomètres, à comparer avec la journée maritime d'Edrisi de 100 milles de 1500 mètres soit 150 kilomètres. Cette vitesse standard d'un navire étalon est de 4 de nos noeuds. C'est une vitesse honorable pour un voilier. Ibn Majid nous dit, quant à lui, que les bateaux de son époque dépassaient cette vitesse car nous dit : « *En ce qui concerne les zams théoriques ils sont plus grands que les zams des routes et distances, car, par exemple, de Madraka à Sauqira, il y théoriquement 16 zams et le navire va le faire en moins de 8 et un navire exceptionnel réduira cela à environ 6 et un navire chargé en 10. Ainsi l'expérience ne doit rien à la théorie car ceci est une science expérimentale et non pas une science narrative* »⁴⁴⁹. (D'après Tibbetts, pour les Arabes, une science narrative est une science que l'on a acquise par l'étude des auteurs anciens, elle s'oppose à celle acquise par l'expérience, Ibn Majid fait donc là un *distinguo* entre pratique expérimentale et connaissances livresques).

On remarquera la curieuse façon de qualifier les *zams*. « à l'envers » par rapport à notre logique habituelle. En effet, son exemple est clair d'après la définition du *zam théorique*, il y a 16 *zams théoriques* soit 192 nautiques de Sauqira à Madraka. Il prend comme exemple trois types de navire : un rapide, un navire normal plus lent et enfin un navire très chargé, encore plus lent qui effectuent le trajet respectivement en 6, 8 et 10 *zams*, soit des vitesses de 10,3

⁴⁴⁹G.R.Tibbetts *op.cit.* p. 152

puis, 8 et 6,4 nœuds⁴⁵⁰ dans le même ordre. Donc dans l'esprit d'Ibn Majid, plus il faut de *zams* en temps (soit autant de quarts à la mer) pour parcourir une certaine distance et plus le temps s'étire et ces *zams* sont grands. Il réitérera, plus tard dans son texte, à propos de l'estime, d'où on déduira que lorsqu'il parle de *zams lourds* il signifie que la vitesse est faible.

Remarque importante

L'ambiguïté d'Ibn Majid n'en est une que pour nous. Elle provient de sa façon d'appréhender les problèmes nautiques qui est différente de la notre. Nous calculons nos problèmes nautiques en distance, il les calcule en temps. Notre procédé mental est complètement biaisé par les usages du métier. Un marin moderne travaille sur une carte marine et tous ses problèmes sont résolus graphiquement, Ibn Majid n'a pas ce support visuel, il lui faut tout résoudre par le raisonnement. De plus, il opère uniquement par calcul mental et uniquement sur des chiffres rationnels. La base de sa navigation, c'est le temps, temps de parcours, limites de temps pour arriver avant la renverse de mousson ou bien avant la grosse houle de mi-mousson sur la côte indienne, dans d'autres circonstances, il devra veiller à arriver à temps pour profiter de telle fenêtre favorable, par exemple pendant le court laps de temps où le vent de Nord habituel dans toute la Mer Rouge faiblit dans la partie Sud de cette mer et permet de remonter jusqu'à Djedda, qui est pour cette raison le terminus de la ligne. Ceci est très important car c'est une clé, selon notre opinion, de la lecture et la compréhension d'Ibn Majid. C'est aussi, pensons-nous, la base des malentendus qu'on perçoit chez ses

⁴⁵⁰ On pourrait être surpris par une vitesse de 10'6 nœuds ce qui semble considérable. En fait des témoignages nombreux affirment que les boutres de la mer rouge ou les *dows* du golfe persique, par bon vent « tenaient » largement un *liberty ship* au temps où ceux-ci naviguaient encore. Or ceux-ci étaient donnés pour une vitesse de 10 nœuds. Evidemment ces boutres et *dows* étaient modernes de construction mais ne diffèrent, sans doute, pas trop, quant à leurs formes, de leurs ancêtres médiévaux. La vitesse limite d'un navire est fonction de la racine carrée de la longueur à la flottaison et est rapidement atteinte, par exemple : 6 à 7 nœuds pour 25 mètres de long. Cependant, les navires arabes présentent des élancements particulièrement importants, c'est-à-dire : autant l'étrave que l'étambot sont très inclinés par rapport à l'horizontale. Cette disposition favorise grandement la vitesse ; elle a été adoptée, en particulier, par de nombreux navires de régates à une certaine époque, tel le Dragon par exemple. L'avantage présenté est que lorsque le navire atteint sa vitesse limite, il déplace une seule vague dont une crête est à l'avant et l'autre exactement à l'arrière. Le navire est assis au creux de la lame qu'il forme dans son déplacement. Les élancements font que la ligne de flottaison, qui est alors courbe, s'allonge au fur et à mesure que le navire prend de la vitesse, elle arrive dans ce cas à égaler la longueur hors tout donc bien plus importante que la ligne de flottaison au repos. Autrement dit le navire court après sa vitesse limite qui est extensible.

commentateurs. Nous reviendrons plus en détail, lorsque nous parlerons du contrôle de la route et surtout lors du point concernant la validation de sa méthode.

C- Les instruments de la navigation oblique. Les *tirfas*.⁴⁵¹

Grosset-Grange définit la *tirfa* comme étant la distance à courir à chaque rhumb pour voir une méridienne changer d'un doigt⁴⁵². C'est donc l'équivalent, en oblique, de 8 *zams* théoriques à cette différence près, que, si 8 *zams* représentent une distance bien définie sur l'eau, la *tirfa* sera variable en distance parcourue, selon le cap suivi. Il y a évidemment une correspondance entre le système de *zams* et celui des *tirfas*. Puisque l'on suit maintenant une route inclinée sur le méridien on comprend que, partant d'une latitude donnée, pour arriver à une nouvelle latitude égale à la précédente augmentée d'une *isba*, il faut faire d'autant plus de chemin que la route est plus inclinée sur le méridien, la route directe du sud vers le nord restant toujours la plus courte. On peut donc établir un tableau des *tirfas*.⁴⁵³

		Distances le long du rhumb		Distances entre rhumbs	
Rhumb	Cap	exacte	Suleyman	exacte	Suleyman
N	0°	8	8	-	-
1NqW	11°,25	8 ¹ / ₅	9	1 ¹ / ₅	2
NNW	22°,50	8 ³ / ₄	10	3 ¹ / ₃	4
NWqN	33°,75	9 ¹ / ₂	11	5 ¹ / ₃	6
NW	45°	11 ¹ / ₄	12	8	8

⁴⁵¹ G.R. Tibbetts. *Op.cit. Navigational theory.* p. 299.

⁴⁵² H. Grosset-Grange. *La science nautique arabe in Histoire des sciences arabes. Op. cit.* p. 247-249.

⁴⁵³ G.R.Tibbetts *op.cit.* p. 300

NWq W	56°25	14 ½	15	12	12
WNW	67°,50	21	20	19 ^{1/5}	18
WqN	78°,75	41	35	40 ^{1/5}	34
W ^{1/2} qN	81 ¾		66 ou 76	81 ^{1/3}	66
W	90°	∞	∞	∞	∞

Fig 4.

Dans ce tableau, pour chaque rhumb, sera indiqué la longueur sur l'eau de la *tirfa* correspondante à chaque cap exprimée en *zams* théoriques, étant donné que la *tirfa* au cap 0 vaut 8 *zams*, par la définition même du *zam* dont on pourrait dire que 8 *zams* sont la *tirfa* du cap Nord. Ce tableau nous est donné par Tibbets et Grosset-Grange nous donne un tableau similaire où il détaille les chiffres donnés non seulement par Suleyman mais aussi d'autres sources. Cependant il demande un commentaire, quant à la façon selon laquelle il a été construit, que nous expliquons par le graphique suivant.

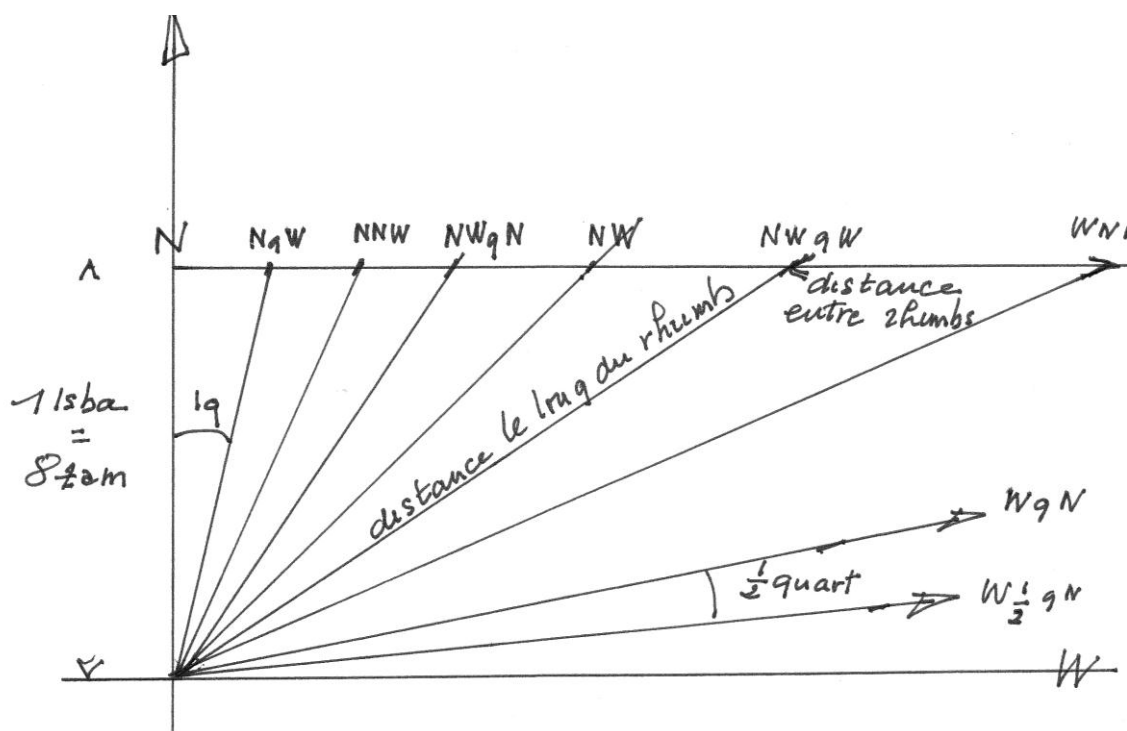


Fig. 5.

Les valeurs dites exactes ont été calculées selon la manière que nous cite Tibbetts et que nous reproduisons *in extenso* pour éviter les erreurs de traduction : « *In this table I have given the values sent to me by Mr. J.Forsyth of Adelaide. They can however be calculated roughly by multiplying by eight the secant of the angle between the rhumb and the north for the distances and the tangent of the angle for the departure* ». Tibbetts appelle *distance* la distance le long du rhumb et *departure*⁴⁵⁴ la distance entre rhumb.

Remarque importante

Ces calculs sont obtenus à partir de fonctions trigonométriques sur un espace plan, par exemple, la carte marine. Dans les valeurs extrêmes tendant vers l'infini la distance et la distance entre rhumbs ont des valeurs calculées très grandes. Mais il faut souligner que les calculs par trigonométrie plane ne sont plus valables dans ce cas précis. En effet, si on considère le triangle formé par l'horizontale supérieure du graphique et les deux caps figurés uniquement par leur départs fléchés, WqN et W 1/2 qN, ce triangle s'étire sur une grande distance sur la sphère et on devrait le résoudre d'une façon autre que par de la trigonométrie plane. En fait, on ne peut même pas le résoudre en géométrie sphérique, car les deux caps indiqués par les embryons de droites fléchées ne sont pas des arcs de grands cercles, mais des loxodromies. La seule façon correcte de poser le problème serait la suivante : étant donné deux loxodromies de cap $78^{\circ},750$ et $84^{\circ},375$, respectivement, issues du point $(\Phi, x$ et $G, y)$, calculer la distance à parcourir pour que ces deux loxodromies interceptent le parallèle de latitude $(\Phi, x+96')$, en deux points, calculer les coordonnées de ces deux points d'intersection et calculer la distance en nautiques entre eux. Le problème se complique du fait que cette dernière distance va dépendre de la latitude à laquelle s'effectue le calcul. Nous avons déjà vu les conséquences de la confusion entre loxodromie et arc de grand cercle, quand nous avons parlé du portulan. Ici s'ajoute une deuxième erreur, c'est la résolution, sur l'espace plan de la

⁴⁵⁴ C'est ce qu'a fait Tibbetts: "in this table I have the values sent to me by Mr. J. Forsyth of Adelaide. They can however be calculated, roughly by multiplying by eighth the secant of the angle between the rhumb and due north and the tangent of the angle for the departure. p. 300. C'est également ce que fait Grange-Grosset

carte, de problèmes qui devraient être résolus sur la sphère terrestre⁴⁵⁵. Nous aurons l'occasion de revenir lors du point consacré à la validation de la méthode et à l'examen critique de l'analyse de Tibbetts dans ce domaine.

Cette dispute met en exergue que les valeurs extrêmes c'est-à-dire proches des caps horizontaux sont discutables. Bien que les Arabes, à notre connaissance, n'aient établi ces valeurs qu'empiriquement, l'usage leur a fait également prendre conscience de cette réalité. C'est pourquoi, Ibn Majid divise les *tirfas* en *ruhuwayyat* ou *rahawiyyat* qui vont des caps I à 5 qui sont exploitables et les *tirfas* au delà dites *shaqaqat* qui ne le sont plus car les chiffres sont trop imprécis. Donc en pratique il reconnaît qu'au delà de NWqW soit 56°, 25, la table n'est plus utilisable, ce qui fait supposer d'ores et déjà qu'il y a plusieurs modalités pour naviguer au large.

Nous allons maintenant définir **les notions de chemin Nord-Sud et de chemin Est-Ouest**.

On remarquera que cette table des *tirfas* est une table qui donne pour une route donnée le chemin Nord- Sud depuis le point de départ en effet en entrant à l'envers dans la table on peut par un calcul par parties proportionnelles calculer à combien de *zams* Nord-Sud correspond une certaine distance parcourue en oblique à un cap donné. On peut également, à partir d'un point déterminé par l'intersection de cette route et d'un parallèle quelconque, calculer le chemin Est-Ouest, entre ce point et n'importe quel autre point sur ce même parallèle, en additionnant les *distances entre rhumbs* successives, puisque la table donne ces valeurs uniquement entre caps successifs et non pas à partir du Nord.

Nous allons expliciter ces notions dans le graphique qui suit. En examinant ce graphique, on peut dire que si on incline sa route on allonge son voyage, (c'est Ibn Majid qui le dit) ou au contraire on le raccourcit. Plus précisément Ibn Majid dirait : on ralentit ou on accélère le voyage, car il raisonne non pas en distance mais en temps de parcours. On a là le secret de la

⁴⁵⁵ En fait Tibbetts est conscient du problème et l'énonce dans son analyse critique de l'œuvre d'Ibn Majid mais il parle de géométrie sphérique et ce n'est déjà plus le cas.

des limites de l'estime et des incertitudes où elle peut mener sans contrôle externe de son exactitude. **C'est dans ce domaine, le contrôle de la route, que son approche est profondément originale de ce nous avons vu jusqu'ici.** Nous pouvons ajouter qu'elle restera aussi radicalement différente de celle des navigateurs qui le suivront, en particulier, nous le verrons, des méthodes occidentales. Si les commentateurs d'Ibn Majid ont parfaitement développé les aspects de la navigation astronomique, nous estimons, quant à nous, que la technique du contrôle de la route selon Ibn Majid n'a pas été suffisamment explicitée. En effet, il n'en parle qu'incidemment, son grand sujet reste les *quiyas*. C'est dans ce dernier domaine que va le commentaire de Tibbetts. Grosset-Grange, quant à lui, de par son origine, a parfaitement débrouillé les aspects pratiques de l'exercice de son métier, nous pensons ici à la pratique de la prise des hauteurs. Mais aucun des deux n'a donné une explication pour savoir comment Ibn Majid contrôlait l'exactitude de sa route. Les seules tentatives de Tibbetts débouchent sur une incompréhension totale et avouée de la logique d'Ibn Majid que nous examinerons lors du point suivant celui-ci. C'est pourquoi, désormais, nous n'allons nous concentrer sur cet aspect dans ce paragraphe et présenter dans ce domaine nos hypothèses. Nous aborderons tour à tour, les observations astronomiques où nous suivrons les études des commentateurs et continuerons ensuite avec l'estime chez Ibn Majid, puis nous étudierons la typologie des routes où nous ne nous référerons surtout au texte d'Ibn Majid et enfin émettrons nos hypothèses en ce qui concerne le contrôle de la route.

A Les observations astronomiques.

Les marins arabes prennent la hauteur angulaire de la polaire grâce à un instrument qu'ils appellent les bois. C'est le développement d'un instrument ancien le *karam* qui a été décrit au paragraphe précédent. Il s'agit, en fait, d'un jeu de trois planchettes dérivées donc du *karam* et mesurant pour la première les angles de 1 à 4 *isbas*, la seconde de 5 à 8 *isbas* et enfin la dernière de 9 à 12 *isbas* soit une par *dubbhan* et avec, sans doute, des subdivisions gravées sur le bois. Henri Grange-Grosset a bien analysé cet instrument et la méthode des prises de hauteur des diverses étoiles et leur conversion en une latitude, y compris les limites de la méthode et sa précision. Nous reviendrons plus en détail sur son analyse au paragraphe consacré à la validation de la prise des mesures astronomiques. Il estime après examen des exemples donnés, non seulement, par Ibn Majid, mais aussi, par Suleiman al-Mahri que les

subdivisions étaient, au moins, à 20 minutes d'arc près et que des précisions de 5' sont trop fréquentes pour ne pas être significatives⁴⁵⁶, donc plus précises que l'unité d'observation théorique (1/8ème de doigt ou 12'). Ces subdivisions, si nous suivons ses conclusions, couvriraient, dans le cas le plus général, un cinquième de doigt, et les mesures prises à travers ces graduations les plus fines vraisemblablement interpolées, à vue, en demi et même en quart de graduation ce qui donne effectivement 5'd'arc, soit une précision sur la latitude à 10 kilomètres près. La précision en latitude serait donc, selon Grosset-Grange, supérieure à la précision en distance qui serait de l'ordre du *zam* soit 22 kilomètres.

Mais n'oublions pas que chaque pilote fabrique lui-même ses instruments ; il fallait donc trouver un standard de cette valeur dans la nature pour pouvoir étalonner l'instrument. Grange-Grosset qui a cherché l'origine du *dhubban* trouve l'explication dans Suleyman al-Mahri qui est beaucoup plus théoricien que ne l'est Ibn Majid. D'après Suleiman, le *dhubban*, correspond exactement à l'écartement entre, d'une part, α et β Cocher, et d'autre part, entre β et ξ Cocher, et il se servira de cet étalon pour la fabrication des bois⁴⁵⁷. Ibn Majid cite également ces mesures, même s'il reste muet quant à un quelconque étalonnage des bois : « *α cocher à un dubbhan de son Est (β cocher) et au Sud du dubbhan est une étoile de même grandeur (ξ cocher) qui s'appelle le dubbhan du dubbhan, elles sont en écart l'une de l'autre de 4 doigts.*» Les écartements d'étoiles sont des invariants, non seulement, selon le lieu d'observation, mais aussi, à travers les siècles. Ces écartements correspondent en fait à $7^{\circ} : 36'$ et $7^{\circ} : 42'$, à comparer avec $6^{\circ} : 24'$ pour une main, selon la valeur de l'*isba* donnée par Ibn Majid. Cette valeur est également très voisine de celle du diamètre du petit cercle effectué par la polaire autour du pôle.⁴⁵⁸

⁴⁵⁶ *La science arabe*. Henri Grosset-Grange. *La science nautique arabe* p ; 243 in *Histoire des sciences arabes*. Tome 1 *Astronomie, théorique et appliquée*. publié sous la direction de Rushdi Rashed. Paris, Edit. Le Seuil 1997.*Op.cit.* p. 243

⁴⁵⁷ Henri Grosset-Grange. *La science nautique arabe Op.cit.* p. 243-244

⁴⁵⁸ G.R.Tibbetts *Op. cit. Navigational theory* in p 314-315

α - Prise de hauteur des astres et méridiennes

Ibn Majid observe essentiellement les hauteurs des astres au dessus de l'horizon, pour cela il utilise ses « bois ». Les bois constituent un appareil qui se compose de trois parties. Le premier des bois, ou petit bois, équivaut à quatre doigts, soit une main, et permet donc d'observer les hauteurs de zéro à quatre doigts, le bois qui le suit, ou bois moyen, correspond à deux, ou plus exactement, à une main plus une main, et permet de mesurer les hauteurs de quatre à huit doigts et, enfin, le dernier bois, ou grand bois, correspond à trois mains et permet d'observer les hauteurs de huit à douze doigts. Cet instrument est confirmé par al-Mahri et par Moallem Cano qui montra ses bois aux pilotes portugais et dont parle de Barros dans sa relation.

Première remarque : Ibn Majid n'utilise pour ses observations que des astres de faible hauteur puisqu'il ne peut prendre que des hauteurs maximales de 12 doigts, ce qui nous donne pour une valeur du doigt de 96' une hauteur d'astre observable de vingt degrés maximum. A notre tour, remarquons qu'il s'agit là d'une décision sage ; au-delà, le bois serait fort long et tenu à bout de bras il n'y aurait aucune garantie de verticalité, autrement dit, l'angle mesuré serait entaché d'une erreur importante, selon que le bois est tenu rigoureusement vertical ou non.

Il faut également remarquer, que comme nous l'avons déjà vu, il déconseille la prise de hauteur de moins d'un doigt pour des raisons qui ne tiennent pas à l'instrument mais à la fiabilité que l'on peut avoir dans des hauteurs trop basses sur l'horizon (réfraction) ce qui limite encore la fraction de ciel observable. C'est sans doute pour cela que Suleiman al-Mahri, qui est postérieur à Ibn Majid d'une génération, a adopté très vite le quadrant occidental qui permet, d'une part, d'observer des astres situés plus haut dans le ciel et, d'autre part, de s'affranchir des erreurs sur les hauteurs dues à cette réfraction aberrante près de l'horizon qui biaise toutes les hauteurs d'astres mais pas leurs distances zénithales.

La prise des hauteurs demande une certaine virtuosité. Démuni de la corde à nœud du *karam* d'origine, il faut un coup de main spécial pour prendre, à bout de bras, des angles à la volée. Tout est dans la technique du geste que fait l'observateur qui tend son bois à bout de bras. Ibn Majid décrit très en détail le *modus operandi*. Il s'agit de décrire un geste très précis en analysant les sensations physiques que l'observateur doit ressentir à chaque fois, afin de pérenniser le geste et le répéter chaque fois à l'identique. Son conseil est très détaillé, le geste sera automatiquement identique au millimètre près. Il faut prendre, pour viser un astre, une position précise garante de sensations retrouvées à chaque observation. Le bras en travers du corps, à 80 degrés environ, la visée se fera avec la tête tournée dans le prolongement du bras, nous supposons que c'est la sensation de torsion du cou, retrouvée observation après observation qui sera le gage de la bonne position.

Mais le souci de la précision demande jusqu'à compenser les différences de lecture conséquences du phénomène de parallaxe dû au passage d'un bois à un autre. Ceci ne donne pas lieu à une correction de lecture mais à d'infimes variations du *modus operandi* qui sont scrupuleusement mentionnés dans la troisième *Fai'da* où Ibn Majid interpelle son lecteur⁴⁵⁹ : « Sache que, quand on fait prend les mesures, il y certaines choses auxquelles le navigateur doit faire attention. Une d'elles est que, lorsque tu te lèves, il est désirable de te laver la face et, surtout, les yeux dans de l'eau froide, et alors de t'asseoir confortablement. Tu dois alors mettre un angle de 7 rhums (80°) entre l'étoile en face de toi et l'étoile que tu veux mesurer, par exemple entre Altair et la polaire. Maintenant les grands bois diminuent quelque peu la lecture, aussi étends ta main, autant que faire se peut, mais les petits bois augmentent, quant à eux, cette lecture, aussi il faut contracter ta main, le plus possible et les bois moyens donnent des résultats exacts, dans ce cas, il ne faut pas négliger la « queue » de l'horizon et tu dois éviter d'utiliser la partie la plus haute de l'horizon. (Il s'agit là, sans doute, de lectures avec un horizon sous la lune où, effectivement, il apparaît deux horizons dont l'un est dû au reflet de la lune dans l'eau.) Comprends que j'ai pris en compte toutes les variations possibles dans cet art. Il est désirable de laisser un interstice entre l'étoile et le bois et entre le bois et l'horizon. La brume de chaleur est une des choses qui amène des erreurs » Et il continue encore ses conseils sur des détails encore plus minuscules et surtout sur les sources d'erreurs possibles, en particulier, lorsque la polaire est

⁴⁵⁹ G.R. Tibbetts. *Arab Navigation...Op. cit.* 3eme fai'da p . 93.

au *bashi* 2, (c'est-à-dire à la même hauteur que le pôle) où sa vitesse de défilement est la plus grande, l'erreur risque alors d'être maximale.

Ici, l'analyse de Grosset-Grange, qui est, lui-même, un observateur, est particulièrement fouillée et pertinente à nos yeux⁴⁶⁰, non pas tant qu'elle décrive le geste qui est très explicite dans le texte même d'Ibn Majid, mais elle en explique la raison. En fait, il analyse qu'au fur et à mesure que la main monte, en tenant un bois plus grand que le précédent. Le bras tourne autour de l'articulation de l'épaule, alors que la visée passe toujours de l'œil au bois. Il en résulte une parallaxe due à la distance de l'œil à l'articulation de l'épaule. Ibn Majid décrit le mouvement de l'articulation de la main que doit effectuer l'opérateur : avec les doigts plus ou moins tendus pour compenser cette parallaxe. Grosset Grange mentionne et explique également par cette raison la recommandation que fait Ibn Majid de décoller plus ou moins légèrement le grand bois de l'horizon. Pour notre part nous préférons croire que le fait de décoller légèrement le grand bois de l'horizon, d'une façon infime d'ailleurs : « *de l'épaisseur d'une lame de couteau* »⁴⁶¹ nous dit Ibn Majid, correspond plutôt à un souci de tenir le grand bois bien vertical en le laissant pendre au bout des doigts. En effet il reste le risque que l'observateur tienne le bois dans sa main crispée et l'incline sur l'horizon dans le plan de la visée ce qui aurait pour conséquence de fausser la lecture par rapport à un bois bien vertical. Il s'agirait plutôt d'un « truc » d'observateur comme le balancement du sextant dans une prise de hauteur⁴⁶². Mais ceci est un détail et il ne s'agit dans ce cas que d'une opinion contre une autre opinion. En tout état de cause, tout cet aspect du texte d'Ibn Majid correspond à des tours de main d'observateurs, plus faciles à montrer, instrument en main, qu'à expliquer formellement. Mais nous ne voudrions pas trop insister, il s'agit là de trucs de métier que seuls les professionnels peuvent apprécier, mais il est important de noter le soin apporté à

⁴⁶⁰ H. Grosset-Grange. *La science nautique arabe...* *Op. cit.* 253-257

⁴⁶¹ G.R. Tibbetts. *Arab Navigation...* *Op. cit.* 3eme fai'da p . 93.

⁴⁶² Lorsqu'on prend une hauteur d'astre au sextant on vise simultanément l'astre à travers une moitié de la lunette et aussi directement l'horizon ; on amène ainsi l'astre à tangenter l'horizon, ce qui est possible par le jeu de miroirs qui constitue l'essentiel de l'appareil. Le risque est que point de tangence ne soit pas exactement à la verticale de l'axe, parce que l'observateur tient le sextant légèrement incliné dans le sens du plan vertical. Pour être rassuré sur la verticalité exacte, on balance d'un mouvement de poignet le sextant dans le plan vertical l'astre décrit un fragment d'arc de cercle dans la lunette, et c'est cet arc que l'on fait tangenter avec l'horizon, on a donc pris la hauteur de

l'astre exactement à la verticale de celui ci.

l'observation. Aussi n'y a-t-il rien d'étonnant à ce que l'on se trouve face à des précisions couramment de l'ordre des 10 minutes d'arc voire même de 5. Ceci nous donnerait, toutes choses égales par ailleurs, des latitudes à 10 kilomètres près, à comparer à nos 2 kilomètres avec un sextant actuel. C'est étonnamment bon pour des méthodes somme toutes moyenâgeuses.

Nous l'avons vu, en fait, Ibn Majid ne détermine jamais la latitude ; il ne se réfère qu'à la hauteur de la polaire à son passage au méridien inférieur du lieu de l'observation⁴⁶³. Or il y a une différence entre la hauteur de la polaire et la latitude, car la polaire est une étoile non pas disposée au pôle mais circumpolaire ; c'est l'étoile la plus voisine du pôle mais qui est située en gros à 3°,25 du pôle à l'époque d'Ibn Majid ou de Colomb. Cet écart est connu, il suffirait donc de corriger la hauteur au moment précis où l'étoile passe au méridien inférieur ou supérieur et ajouter ou retrancher selon le cas la correction ci-dessus. Bien évidemment, Ibn Majid qui a lu tous les classiques, aussi bien géographes qu'astronomes, connaît parfaitement les résultats de leurs travaux ; il sait très bien que pour obtenir la latitude d'un lieu il faut en principe ajouter à la mesure de la hauteur au méridien inférieur le demi diamètre de ce cercle de révolution pour obtenir la latitude. En principe seulement, mais il déconseille à ses élèves de faire une telle opération, car confrontés aux résultats des savants les résultats obtenus par cette méthode ne sont pas en concordance. Aussi conseille-t-il à ses élèves de ne raisonner qu'en termes de hauteur de la polaire au passage au méridien inférieur. D'ailleurs ses cartes, car il a des cartes, même si ce ne sont que des aide-mémoire, sont libellées **uniquement en hauteurs de la polaire**. Autrement dit, sa carte indique pour un port non pas sa latitude mais la hauteur de la polaire au passage du méridien inférieur de ce lieu. Les raisons de ce choix sont évidemment à chercher dans la tradition qui perpétue l'usage de mesures directes plutôt que la pratique du calcul. De plus Ibn Majid raisonne sur les différences de latitude plutôt que sur la valeur de la latitude en soi. En ce sens, il faut observer que la différence des hauteurs de polaire est égale à la différence de latitude des deux lieux d'observation. Mais nous verrons, lors du paragraphe consacré à la validation de la méthode, qu'il s'agit d'un choix particulièrement heureux car il permet d'éliminer les erreurs systématiques d'observation.

⁴⁶³ Cf. *supra*. p. 394

β-La culmination, les gardes.

En principe, il est très simple de déterminer le moment du passage de la polaire au méridien inférieur. Il y a deux repères, d'une part c'est le moment où la hauteur de l'étoile est minimum, et d'autre part c'est l'instant où la polaire est très exactement axée sur le Nord. La pratique est à nuancer. Tout d'abord la polaire n'est pas située exactement au Nord, c'est, répétons le, seulement l'étoile circumpolaire la plus proche du pôle, et d'autre part si la hauteur de la culmination est relativement sûre, elle exige du temps pour être saisie avec précision. En effet, comme il s'agit d'une culmination, l'étoile se déplace sur un arc de cercle de sa trajectoire, autour du point de tangence à une parallèle à la ligne d'horizon sur un segment assez important. La vitesse des variations en hauteur est très faible, par contre celle en azimut est importante. Il faut donc un temps dégagé sur un bon laps de temps, qui n'est pas nécessairement garanti, pour être certain que l'on a observé la culmination. Il faut que la hauteur de l'astre, après avoir décrû, recommence à croître, après être passée par un minimum, qui est précisément la hauteur de culmination. En revanche, l'astre passe rapidement devant le point cardinal Nord, il est donc difficile de déterminer à l'œil le moment précis où une étoile passe au méridien. A terre, dans un observatoire, la mesure est plus facile et s'établit sur un travail échelonné sur plusieurs jours. Le premier jour, on détermine très exactement la ligne Nord-Sud que l'on matérialise par des jalons, le second jour, on guette le passage de l'étoile lorsqu'elle traverse cette ligne. Mais comme nous le répéterons encore, il y a une grosse différence entre les méthodes employées par l'astronomie et celles utilisées par le navigateur, car, celui-ci a besoin de résultats en temps réel. Il est situé sur un mobile par nature et ne peut se permettre d'effectuer des observations sur deux jours, alors que sa position aura bougé entre temps, invalidant les résultats partiels qu'il désirerait introduire dans sa seconde observation. C'est donc un instant délicat pour l'observateur et il faut s'y préparer, c'est-à-dire commencer à suivre l'astre avant sa culmination, soit un peu avant le passage de l'étoile au Nord vrai. Le compas n'est pas assez précis et il va falloir à l'observateur discerner ce Nord dans un ciel vide puisque la polaire est à $3^{\circ},25$ du pôle. De tout cela Ibn Majid est très conscient et il a plusieurs « trucs » pour situer la position virtuelle du pôle dans cet espace vide ; il s'en explique dans la quatrième *fai'da* : « *Au pôle Nord, il n'y a pas a proprement parler d'étoile, c'est un espace vide entre l'Est et l'Ouest, pour le trouver, il faut utiliser l'astrolabe ou l'aiguille aimantée. On peut aussi le trouver lorsqu'on*

*sait qu'il est situé exactement entre le lever et le coucher d'une même étoile*⁴⁶⁴ ». Ceci était l'exposé du problème du point de vue astronomique, mais, en ce qui concerne la pratique marine, Ibn Majid donne deux méthodes pour déterminer la place du pôle à partir de la polaire : « *Entre la polaire et Mikh al-Jah il y a 6 isba. Al-Milkh est ainsi nommée parce que elle est comme un doigt pointant la polaire sur le pôle* » (le pôle, la polaire et al-Mikh sont sur le même alignement). Ou bien « *la polaire, al-Mikh, le pole et Farqadan dessinent un signe dans le ciel qui a la forme de la lettre (arabe) lam : ﺝ (c'est à dire la forme d'un hameçon vertical avec la hampe à droite) et le pôle est placé juste dans la courbe du crochet* ».

En outre Les marins arabes, très au fait de cette situation avaient établi dans ce vide un système de repérage par rapport aux astres voisins pour pouvoir designer l'endroit virtuel où se tenait le pôle. Ibn Majid nous parle alors de son **système des gardes** qui sera utilisé aussi par les occidentaux et copié par les premiers géographes andalous⁴⁶⁵. L'observateur reconnaît dans le ciel un alignement d'étoiles qui passant entre deux étoiles voisines de la polaire appelées les gardes et passant par la polaire passe exactement par le pôle nord. On obtient ce que l'on pourrait appeler une « horloge sidérale,⁴⁶⁶ » à ne pas confondre avec le nocturlabe.

⁴⁶⁴ Tibbetts p 123. Ce que dit Ibn Majid de la position du pole entre le lever et le coucher est strictement exact a condition de rester en un lieu bien, défini. C'est même une méthode pour définir la ligne nord sud ce qu'il dit a propos de l'astrolabe l'astronome sait le faire en ayant calé son instrument sur le complément de la latitude et en visant dans la direction défini par la méthode précédente, par contre l'aiguille ne donne pas la direction du nord vrai., mais du nord magnétique .

⁴⁶⁵ C'est le même système sans doute copié des arabes qu'utilise Cokomb. Cf. *infra*. P 479-480

⁴⁶⁶ Il ne faut pas confondre cette horloge sidérale avec une autre horloge sidérale appelée parfois le nocturlabe. La première est réglée sur le temps sidéral, la seconde sur le temps local. Le système des gardes ne sert basiquement qu'à déterminer le moment de passage de la polaire au méridien inférieur ou supérieur, cet instant est donc basé sur le temps sidéral Le nocturlabe est un appareil qui permet de déterminer les heures de nuit, bien plus difficiles à estimer que les heures de jour où la course du soleil peut être suivie sur une horloge solaire. Ramon LLul nous en a laissé un exemplaire

Il s'agit d'un disque percé d'un trou en son centre on dirige le disque vers la polaire que l'on observe à travers le trou central ; on règle la longueur du bras de telle façon que l'on aperçoive Kochab sur la circonférence du cercle. C'est la rotation, au cours de la nuit, de Kochab autour de la polaire qui va donner l'heure. En effet, Kochab, comme toutes les autres étoiles, va décrire une orbite circulaire autour du pôle. Evidemment, la polaire n'est pas au pôle exact, l'appareil souffre donc d'une approximation qui est cependant très supportable. Le plus gros problème vient de ce que le temps local est lié à la révolution de la terre sur elle-même, soit 24 heures, par définition. L'horloge marcherait à merveille, si les étoiles n'étaient réglées, pour leur part, sur la durée de la révolution de la terre autour du soleil, soit un an, qui n'est pas un nombre entier de jours, puisque l'année comporte 365,25 jours de 24 heures. Il s'en suit que chaque nuit les étoiles se lèvent un peu plus tard, en heure locale ; cette horloge dérive doucement, elle retarde chaque jour un peu plus. Elle ne se retrouvera à l'heure que 4 ans plus tard. Il faut donc compter avec ce décalage. Pour cela l'astronome note sur le disque la position de Kochab à minuit précise, ce qui ne peut être fait qu'en observatoire.

Durant sa trajectoire nocturne autour du pôle, cet alignement tourne, exactement comme une aiguille de montre qui tournerait dans le ciel. Lorsque l'aiguille est verticale avec les gardes en haut par rapport à la polaire, c'est-à-dire quand elle est à 12 heures la polaire est en train de passer au méridien inférieur, par contre quand cette aiguille est à 6 heures on est au méridien supérieur⁴⁶⁷. Les positions 3 heures et 9 heures déterminent deux moments où la hauteur de la polaire est exactement à la hauteur du pôle et on lit directement la latitude en prenant la hauteur de la polaire à cet instant. Les Arabes distinguaient en fait 8 positions de cette horloge, en y incorporant les positions intermédiaires en diagonale. Ceci leur permettait, grâce au système des *bashi*, que nous avons vu précédemment, de prendre huit fois par jour, c'est-à-dire, quatre fois par nuit, une hauteur de polaire et de calculer la hauteur méridienne correspondante.

B - Mise en place de l'Estime.

Ibn Majid connaît parfaitement l'estime telle que la pratiquent les Egyptiens, c'est-à-dire les marins musulmans d'Alexandrie, qui utilisent les méthodes des occidentaux. « ...*Al-Jah (l'étoile polaire) ... c'est un nom persan adopté par les arabes. Cette étoile est connue des peuples d'Egypte comme al-Simmaya et ils l'utilisent en tant que terme technique, mais pas par les commerçants de l'océan indien.* » Ibn Majid nous décrit dans la quatrième *fai'da*⁴⁶⁸ en peu de mots le portulan et la manière de s'en servir : « *Ils ont le « compas » et ils ont des lignes qui décrivent les milles et leurs rhumbs sont au nombre de 8 et entre eux, 8 autres. Tous ces 16 rhumbs ont des noms d'étoiles en dialecte égyptien ou maghrébin : Labash,*

D'où la présentation de l'appareil C'est, comme nous l'avons dit, un disque percé d'un trou central. Sur une première couronne sont indiqués les mois de l'année et leur subdivision décades ou en jours. Cette première couronne permet de positionner l'appareil selon les périodes de l'année. Il est construit de telle sorte que si on place la date horizontalement à droite, Kochab sera au méridien supérieur du lieu, c'est-à-dire à la verticale et à minuit local du lieu. Une seconde couronne est divisée de 0 à 24 heures à partir de ce repère. C'est sur cette couronne que l'on lit l'heure au point de tangence de Kochab avec le disque. Une troisième couronne indique la longueur de la nuit en heures. Car n'oublions pas, qu'au moyen âge, l'heure locale est de durée variable, car la durée du jour et de la nuit varient avec les saisons et l'on compte 12 heures de jour et 12 heures de nuit. Evidemment une telle horloge n'est réglée que sur un seul lieu et est d'un usage très spécialisé, calculer les heures de prière dans les monastères par exemple.

⁴⁶⁷ Ce détail nous est révélé par le journal de Colomb qui utilise le même système

⁴⁶⁸ G.R. Tibbetts, *op.cit.* p..121

*Shuluq, Barani, Sheresh, Simmiyah, Qiblab, Sharq, Gharb...*⁴⁶⁹ Alors que nous utilisons 32 rhumbs et que nous avons les tirfas les zams et les qiyas et qu'ils ne sont pas capables de comprendre les choses telles que nous faisons, nous pouvons utiliser leurs connaissances et naviguer sur leurs navires. » Et plus loin : « ils n'utilisent pas les mesures de qiyas et n'ont ni science (nautique) ni livres seulement le marteloire et le décompte des milles » (l'estime donc). Il ne faut pas se méprendre sur le ton de ce passage, si l'auteur se moque des égyptiens ce n'est pas pour leur manière de naviguer à l'estime mais pour se cantonner à cette seule méthode. Pour lui, l'estime n'est qu'un début mais elle est nécessaire. Et Ibn Majid traite extensivement de l'estime dans la quatrième *fa'ida*, relative au compas, la cinquième *fa'ida*, couvrant divers problèmes de navigation et enfin dans la sixième consacrée aux routes.

Ibn Majid utilise le compas qui, à son époque, est déjà un instrument assez sophistiqué. L'époque de l'aiguille flottante est révolue, depuis au moins deux siècles, le compas contemporain a déjà sa forme moderne : un équipage aimanté, solidaire d'une rose en papier, évolue dans le compas proprement dit, lui-même à l'intérieur d'un habitacle, une boîte qui le protège. Il ne manque que la suspension à la Cardan, qui ne sera inventée qu'au XVI^e siècle pour en faire un instrument très sûr. Pour l'instant, la rose repose, par l'intermédiaire d'une coupelle, sur un pivot en forme d'aiguille qui assure à la rose toute latitude pour pivoter et suivre le Nord mais aussi pour rester plus ou moins horizontale et suivre les mouvements du navire, sans trop d'efforts parasites sur le pivot. On peut supposer que c'est un instrument assez stable⁴⁷⁰ et raisonnablement fiable mais qui demande, sans doute, une surveillance sans faille. Mais, en revanche, en un lieu quelconque et pour un temps limité on peut établir un compas sidéral très partiel, limité à une étoile quelconque, sans besoin qu'elle fasse partie

⁴⁶⁹ G.R. Tibbetts, *op.cit.* P 121 Le compas est la traduction de *quimbas* qui n'est à proprement parler les lignes qui apparaissent sur le portulan c'est donc non pas le compas à proprement parler qui est désigné par un autre nom en arabe mais du marteloire, les lignes figurant les milles sont donc les échelles du portulan. Ibn Majid confond les dénominations des points de la rose en océan indien où elles sont désignées par des noms d'étoiles et celles des méditerranéens où elles ont des origines variées et surtout des noms dérivés des vents.

⁴⁷⁰ La présence de la rose conditionne la présence d'un équipage c'est-à-dire de deux aiguilles en parallèle au moins ; Ceci suppose un certain poids qui a peut-être été considéré comme un facteur de stabilité car en augmentant le moment d'inertie de l'ensemble il amortit les mouvements erratiques qui caractérisent la position de l'aiguille unique dans une boussole simple. Cependant il fut alors difficile de trouver des aimants suffisamment puissants pour que le couple provoque la rotation du couple magnétique soit capable de vaincre cette inertie et les frottements sur le pivot. Si on considère que Ibn Majid est contemporain de Colomb qui doit cependant être son cadet de deux décennies, la lecture de celui-ci nous rassure sur les qualités de cet instrument qui doit être au même niveau aussi bien à l'ouest qu'à l'est c'est certainement un objet de commerce entre ces deux mondes. On est obligé de parler de Colomb pour avoir une image concrète de l'instrument car ce lui-ci écrit beaucoup sur le compas qui est un souci constant chez lui qui est un maître de l'estime tandis qu'Ibn Majid est pratiquement muet sur l'instrument.

d'une quelconque série sélectionnée. Le compas sidéral est basé sur le principe suivant : à n'importe quel moment de la nuit, il y a une étoile qui se lève ou se couche à un gisement donné, et qui va rester sur ce gisement avec une précision satisfaisante pendant au moins 45 minutes environ, puisque sa montée dans le ciel est presque verticale au début, dans un ciel tropical. En effet près de l'équateur, la ligne des pôles est très inclinée et les orbites d'étoile sont presque perpendiculaires à la ligne d'horizon. Ce sera donc un très bon repère fixe sur l'horizon pour savoir si le navire tient sa route. Car le gros souci du pilote, d'après Ibn Majid, c'est la tenue de cap. On sait que le timonier ne se fie qu'à sa voile pour diriger son navire. Il ne sait vraisemblablement pas lire le compas ni ne le peut, car on n'est pas certain que l'habitable bénéficie d'un quelconque éclairage. Le souci du barreur c'est de remplir la toile. Il appartient au pilote, selon Ibn Majid, de veiller à ce qu'il reste bien en ligne. *« On doit spécialement se prémunir contre la négligence de l'homme de barre, car c'est lui qui est votre plus grand problème. Vous ne savez jamais ce que vous allez trouver en face de vous, lorsque vous arrivez en vue de terre, lors d'un atterrissage, (il reconnaît là l'incertitude de l'estime) si l'homme de barre a été mis en défaut. J'ai écrit ce livre après 50 ans d'expérience, en tant que pilote, et durant tout ce temps je n'ai jamais laissé le timonier seul, sans que je ne sois debout derrière lui ou bien avec mon assistant pour me remplacer⁴⁷¹. »*

L'estime, nous l'avons vu, se traduit par un vecteur composé à partir de deux paramètres : le cap et la distance parcourue. Le compas donne le premier et nous venons de voir comment Ibn Majid opère pour en surveiller l'exactitude. Il reste donc à voir comment il estime la distance et donc la vitesse. Il est quasi muet sur la question. Cependant si nous revenons à la définition des *zams* et au chemin Nord-Sud, on se rappelle que les *zams* théoriques sont définis à partir des performances d'un navire standard courant très exactement sur une route Nord. Evidemment, les navires ne sont pas standards et nous avons déjà largement évoqué le problème de la mesure de la vitesse, lorsque nous avons parlé de l'estime dans la deuxième partie de cet exposé. Ceci pose le problème de l'estimation ou de la mesure du rapport de la

⁴⁷¹ Suleyman aussi insiste sur la nécessité de bien gouverner, d'après lui, c'est un risque pour la précision dans la navigation mais on risque aussi de franchir le lit du vent et dans ce cas de casser le mat. Ceci nous est un indice sur la façon de naviguer de ces anciens. Les traversées se faisaient sur un seul bord à la même amure. Apparemment ils aménageaient le vaisseau en vue de cette traversée à une même allure. C'est encore l'habitude sur les boutres qui naviguant encore à la voile, il y a peu. L'équipage érige des pavois provisoires sous forme de claies de sparterie sur le bord sous le vent, plus près de l'eau à la gîte pour protéger le pont des embruns ; de même le mat est muni d'un étai provisoire pour le renforcer du côté au vent où a lieu le gros de la poussée. Si le navire embarde brusquement et passe de l'autre côté du vent, de ce côté n'est plus renforcé, étant démuné d'étai et risque donc de casser. Cette incidente est pour souligner le caractère très technique de ces textes.

vitesse réelle du navire à celle du navire standard. Dans le cas présent de la navigation arabe, chaque capitaine a un avantage certain, quant à l'estime de sa vitesse. En effet, il a à sa disposition un *modus operandi* éprouvé pour mesurer sa vitesse exacte. Il lui suffit de faire une journée de navigation, cap au nord pour déterminer sa vitesse maximum réelle avec une bonne précision puisqu'il dispose d'une base de vitesse de plus de 100 kilomètres et que les résultats sont des résultats expérimentaux par observations astronomiques.

Ceci suppose une vitesse constante. C'est un peu vrai, car les voiliers, nous l'avons déjà signalé, ont une vitesse maximum définie par la longueur de coque qui ne dépend donc que du navire lui-même. Même sur-voilé, il n'ira pas plus vite, naviguer avec de la voilure en excès ne sert qu'à forcer la mature mais n'augmente en rien la vitesse. Les performances sont bloquées par une constante physique, la longueur à la flottaison. Il y a donc une vitesse de croisière qui, sauf accident (essentiellement une panne de vent), est à peu près constante. Elle peut être comparée à la vitesse du navire standard. Le pilote déterminera alors sa vitesse propre en l'évaluant par comparaison avec la vitesse standard. Toutes les données standard des divers tableaux utilisés seront donc affectées, en proportion, pour effectuer des calculs corrigés⁴⁷². Il n'en reste pas moins qu'il reste la difficulté d'estimer la vitesse du navire lorsque le vent est faible. (cas, heureusement assez rare, car la mousson est un vent soutenu). Il est possible que ceci soit surtout une question plutôt théorique, car les navigateurs choisissaient, on l'a vu, soigneusement leurs périodes de navigation, il n'en reste pas moins qu'ils arrivaient souvent à la limite de la renverse de mousson et donc dans des temps variables, avec des vents inconstants. Ibn Majid fait mention de ce problème et nous parle de ce qu'il appelle les *zams lourds*. Selon son mode de pensée habituel, qui nous semble paradoxal, les *zams lourds* sont les *zams* que l'on utilise lorsque la vitesse est plus faible que la vitesse de croisière habituelle. Comment fait-il pour les estimer ? Il n'en dit pas un mot, mais il est sûr de son résultat.⁴⁷³ Il se place en effet, nous le verrons au paragraphe suivant,

⁴⁷²de la même façon qu'un moderne pilote de jet se rapporte toujours au mach 1 qui est également une vitesse standard, la vitesse du son dans des conditions, en particulier, d'altitude bien précises

⁴⁷³ On peut imaginer bien des méthodes pour estimer la vitesse. Le loch qui n'existait sans doute pas est basé sur la vitesse de défilement de l'eau le long du bord, qu'il n'est que d'observer attentivement pour pouvoir y recueillir des indications sûres ; outre le défilement, toujours observable par les lambeaux d'écume qui passent le long du bord, la forme de la vague d'étrave ou de celle de poupe qui est la source du sillage donnent des indices sur lesquels bâtir une estimation sûre. De ces méthodes on n'a pas de traces dans les sources. Cependant, il en reste de vagues souvenirs dans les « tours de mains du capitaine » même à l'heure actuelle. En mer de nos jours le compte-tours de la machine est plus précis qu'un tachymètre de voiture : mais c'est surtout dans les

toujours dans l'hypothèse où son cap est douteux mais sa distance parcourue exacte. Seul Suleyman élève l'objection des erreurs d'appréciation des distances.

On peut en effet admettre que la valeur du *zam* *théorique*, établie par une mesure astronomique, peut être considéré comme valable la plupart du temps lorsque la mousson est établie. On peut supposer que le bateau est dessiné et la voilure calculée pour aller à sa vitesse maximum sous les conditions les plus courantes de son utilisation, c'est-à-dire un vent bien établi mais considéré comme normal. Au-delà, il faut réduire la voilure pour ne pas casser. En revanche, c'est uniquement dans le cas où vent vient à baisser en intensité donc dans les petits airs et des vitesses plus faibles que la normale que l'on rentre dans le domaine de l'incertitude. La vitesse va, dans ces conditions, diminuer, encore qu'il soit possible de l'augmenter dans une certaine mesure⁴⁷⁴. Cependant ceci a des limites et on ne peut empêcher le navire de se traîner dans la bonace. C'est dans ces conditions qu'Ibn Majid parle alors de *zams lourds*. Il va falloir en tenir compte. Si on estime un temps pour un parcours déterminé, il va falloir un plus grand nombre de quarts pour parcourir cette distance donnée. Ibn Majid nous parle alors de *zam technique* qui serait donc la mesure en *zams* théoriques de la durée du quart effectif. Nous voyons, là, la difficulté de cette notion ambiguë du *zam* : distance théorique ou temps de traversée bien réel.

manœuvres que l'observation de la surface est importante. Lors du mouillage, qui en principe se fait en avec de l'erre en arrière, c'est l'observation de la vitesse de défilement qui donne le top pour laisser tomber la pioche. Pas assez vite et la chaîne tombe en tas sur l'ancre, trop vite on élonge la chaîne avec trop de force et on risque de la voir filer par bout. De même le pilote règle la machine uniquement à vue en fonction de la vitesse surface qu'il désire lors de l'accostage afin d'arriver « à mourir » à son poste d'accostage et réussir un accostage dit « à l'amiral » l'équivalent du *kiss landing* en aviation.

⁴⁷⁴ Il semblerait bien à la lecture d'Ibn Majid, qui parle de navires à deux voiles que l'on puisse augmenter la surface vélique par ajout d'une voile supplémentaire à l'arrière. C'est d'ailleurs le cas des boutres actuels qui possèdent tous un petit mat à l'arrière, au vent de travers, si la brise mollit on peut ajouter une voile plus petite que la voile principale. En effet la possibilité d'apiquer c'est-à-dire de dresser les voiles plus ou moins à la verticale permet de faire avancer ou reculer le point vélique de la voile la triangulaire dont la majeure partie de la voile est en arrière du mat, ainsi on peut ajouter une voile sans trop détruire l'équilibre sous voile du navire. Cet équilibre est conditionné par la correspondance en vertical du point vélique et du centre de carène. Tout au plus peut être le navire est-il un peu plus ardent. Il faut alors d'après Suleiman faire attention à ne pas le navire embarder jusqu'à la laisser franchir le lit du vent car il risque de casser son mat ce qui indique que celui-ci n'est haubané que du côté au vent et pas du côté sous le vent. Tout ceci et aussi l'observation de pratiques modernes des *nakoubas* nous montre que, sur ces navires habitués de longues traversées effectuées sur une même allure au portant, ils aménagent leur bateau pour la durée de la traversée ; par exemple, ils établissent de faux pavois en nattes sous le vent pour éviter les entrées d'embruns mais aussi largement les haubans sous le vent pour ne pas casser la rotondité de leur voile ; dans ces conditions l'établissement de toile supplémentaire à titre précaire est fort possible. Tout ceci pour suggérer que la vitesse du navire est plutôt une constante qu'une variable bien que l'on ait affaire à un voilier pur.

Il reste maintenant à examiner quelles sont les limites qu'Ibn Majid pose quant aux résultats de cette construction intellectuelle qu'est l'estime. Il s'exprime sur cette question très clairement. Ibn Majid considère que la route que croit suivre le pilote ne correspond pas à la réalité. Pour résumer, il pense que lorsque le pilote fait une estime, elle est faussée en direction mais, pour lui, la distance estimée est exacte. Ce faisant, il ne fait que confirmer les remarques qu'ont faites ses lointains prédécesseurs. Néarque, selon ce que rapporte Arrien, n'était absolument pas sûr de sa position, mais disait-il, il n'y avait qu'une chose dont il était sûr, c'était la distance parcourue de mouillage à mouillage⁴⁷⁵. Nous avons aussi remarqué la relative précision de Colomb quand à la distance parcourue et l'imprécision en direction. Cet aspect a d'ailleurs été analysé dans les chapitres consacrés à l'estime⁴⁷⁶.

Les erreurs dans la tenue de cap peuvent être, selon lui, d'origine diverses : la dérive due au courant, la mauvaise tenue de cap de l'homme de barre, la déviation anormale du compas due à une perte d'aimantation de l'aiguille, tous ces facteurs font que le pilote pense courir sur un cap bien déterminé, alors qu'il suit une route déviée. C'est dans la sixième *fa'ida* qu'il va expliquer son point de vue sur cette question, il faut citer le passage entier où il définit la route dite *Dirat al mul* : « Les routes sont de trois sortes, la première est la route le long de la terre, *dirat al mul* qui est la route de base dont les autres types sont dérivées. Cette sorte de route doit être précise, exacte, car toute erreur est évidente. Soit que l'erreur soit du fait de l'homme ou pour tout autre sorte d'erreur. On peut tout simplement perdre la terre de vue, si en inclinant la route trop vers le large ou toucher terre et se jeter à la côte en inclinant la route trop à terre. De là découle ce qui fait la nécessité de son exactitude. Les choses auxquelles il faut prendre garde sont : le déplacement du navire dû aux marées ou d'être poussé en dehors de la route par le vent ou par un défaut du compas appelé *al-samka* ou encore *samkat al-huqqa* ou encore par le fait que l'homme de barre sommeille ou qu'il s'appuie trop sur la barre ou bien encore par tout autre chose due à l'ignorance du pilote sur la mesure de la hauteur de la polaire à n'importe quel endroit. Tout cela rallonge le voyage et met le navire en dehors de sa route. Si le pilote fait attention à tout cela, il restera sur la

⁴⁷⁵ Cf. *supra*. estimation de la distance... p. 266

⁴⁷⁶ Cf. *supra*. p. 269

*route et ne déviera pas, il ne perdra pas la terre de vue ni ne courra le risque de se mettre à la côte . »*⁴⁷⁷

Commentons ce texte uniquement sur la question de l'incertitude du cap : Une question à éclaircir, ici, est la nature de cette erreur dite *samka al-Huqqa*. Tibbetts se pose la question de savoir s'il s'agit là de la déclinaison magnétique⁴⁷⁸. Notre opinion est que la déclinaison magnétique n'entre pas en ligne de compte. Ibn Majid n'y fait jamais allusion. En tant qu'erreur systématique, elle reste donc toujours de même valeur et de même sens, elle affecte également toutes les lectures, elle est donc déjà incorporée dans le cap qui lui est donné par les documents qu'il consulte. Ce point a été explicité dans la partie concernant l'estime. La **variation** est la somme de la **déclinaison magnétique** générée par la différence de localisation entre pôle magnétique et pôle géographique et la **déviati**on. La déviation reste, quant à elle, une erreur accidentelle, c'est-à-dire complètement aléatoire, propre à chaque compas ou à chaque circonstance. Elle est surtout le fait de la position et de la nature des fers à bord. Sur un bateau de bois, elle devrait être minime, sinon nulle, sauf en présence de cette matière dans le chargement.⁴⁷⁹ Cependant on doit vraisemblablement introduire dans cette *samka* d'autres erreurs accidentelles : les frottements sur le pivot de la rose diffèrent selon la gîte, en l'absence de suspension à la cardan. De même la qualité des fers durs employés pour les aiguilles n'étaient peut être pas parfaite et le compas toujours à la merci d'une baisse d'aimantation. Enfin si la déclinaison magnétique est une donnée quasi universelle dans des conditions restreintes d'utilisation, il faut noter qu'elle subit quelques différences dans le temps et aussi dans l'espace (les zones couvertes par ces navires étaient étendues). Ces différences doivent donc être incorporées dans cette *samka al-huqqa*.

On remarquera aussi qu'Ibn Majid introduit une dérive qui est composite puisque vent et courant en sont des causes, sans individualiser aucune d'entre elles. Enfin son souci principal,

⁴⁷⁷ G.R.Tibbetts, *Op.cit.* p. 165

⁴⁷⁸ G.R.Tibbetts, *Op.cit. Navigational theory.* p. 292

⁴⁷⁹ La présence de fers dans la cargaison ne devait pas être rare, car nous savons que ce que les arabes appréciaient surtout chez les chinois ce n'est pas tellement la soie qu'ils produisaient mais le fer fondu c'est-à-dire la fonte dont les chinois avaient le monopole du savoir faire. Il en était de même de l'acier européen, il ne faut pas oublier que le commerce par mer intéresse sans doute davantage les marchandises stratégiques donc les armements que des produits destinés à satisfaire la demande privée.

comme nous l'avons déjà noté, reste l'homme de barre et des divagations du navire dont, dit-il, son peu de soin est la cause⁴⁸⁰. Ce que l'on peut retirer du paragraphe précédent est qu'Ibn Majid considère que le navire est soumis à une dérive et que le cap compas n'est qu'un **route surface**, une apparence trompeuse, et qu'il faut calculer la **route fond** que suit réellement le navire. C'est ce qui justifie la nécessité du contrôle de la route par l'observation et qui va donc être évoquée dans le paragraphe suivant.

Remarque importante

Cette conviction que l'estime sur le cap est mauvaise, en raison de la présence du courant qui ne peut être estimé à l'avance, va nous livrer une clef du raisonnement nautique d'Ibn Majid. Toutes ces opérations de contrôle de la route vont, nous allons le voir se résumer à la résolution de problèmes de courant. La route fond, celle que suit réellement le navire, est différente de la route surface, celle indiquée par les instruments et que croit suivre le pilote. Ce calcul, de nos jours, est un problème de cartes classique ; il est donc résolu vectoriellement c'est à dire graphiquement directement sur la carte en installant le triangle des vitesses : Vitesse surface, vitesse courant et la résultante de ces deux vecteurs : la vitesse fond. Ce que nous faisons avec un graphique et donc un support visuel, Ibn Majid le fait par le raisonnement et en calculant de tête. Evidemment sa façon d'aborder ces problèmes est essentiellement différente de la notre et il en résultera une différence dans l'approche logique entre lui et nos contemporains.

C- Typologie des routes d'après Ibn Majid

Les routes sont expliquées par Ibn Majid dans la sixième *fai'da* et nous retournons ici au texte car les travaux de Tibbetts en ce domaine demandent des explications ; en effet il pose véritablement la question de la nature de la troisième sorte de route : *dirat al-Iqtida*.

⁴⁸⁰ La lecture d'Ibn Majid nous fait pressentir un homme de caractère peu enclin à l'indulgence et dont la cohabitation à bord avec les maîtres d'équipage semble être toujours orageuse. Nous en retrouvons, là, une des raisons ; l'homme de barre est de la responsabilité directe du maître d'équipage dont le souci est de faire aller le navire au maximum et qui doit donc insister sur la nécessité de remplir la voile et donc de suivre le vent, le souci du pilote c'est de suivre le cap, il y a là un conflit d'intérêt qui débouche assurément sur un conflit de compétences.

La route pour Ibn Majid est bien évidemment une direction à suivre, elle est donnée par des routiers ou ouvrages proches de nos instructions nautiques, elle n'est donc pas lue sur une carte, comme en Occident, Ibn Majid s'est, lui-même consacré à la rédaction de ces instructions nautiques. Dans les dernières *fawa'id* de son ouvrage, il reporte un nombre important de routes à suivre pour aller de port à port. En ce qui concerne les routes, en général elles sont l'objet de sa part d'une classification en trois types.

1-Ainsi il nous parle de la route, *Dirat al-Mul*⁴⁸¹ qui est la route dont les deux autres sont dérivées. C'est une route côtière qui va d'un cap à un autre cap. La zone dangereuse peut être du côté large ou du côté terre selon le cas. Citons de nouveau le passage d'Ibn Majid pour en suivre le texte au plus près : «... *la première route est la route le long de la terre (Dirat-al-Mul), qui est la route-type de laquelle les autres sont dérivées. Ce type de route demande à être très précise, car toute erreur est devenue évidente, soit que ce soit une erreur du propre de l'homme, soit une erreur due à toute autre cause. On peut perdre de vue la terre en inclinant trop vers le large. D'où la nécessité de son exactitude. La seule chose dont il faut vraiment se garder c'est de se laisser dériver, en raison des courants de marée, ou d'être dépalé de la route, à cause du vent ou d'un défaut du compas appelé al-Samka ou Samka-al-huqqa, ou bien encore, si le timonier sommeille ou laisse trop venir la barre, ou bien enfin par un manque de compétence du pilote quant aux mesures de la polaire. Tout ceci allonge le voyage et met le navire hors de sa route.* » Donc, si le vent souffle de terre le risque est de perdre la terre de vue et de passer le cap-cible sans le voir et d'être perdu, cet inconvénient est relativement mineur, il suffit d'obliquer vers la terre pour finir par l'apercevoir. Si le vent souffle du large le risque est d'être trop à terre et de s'enfoncer trop loin dans la baie, arrivée en vue du cap-cible, le marin s'aperçoit qu'il ne dispose désormais plus d'un espace suffisant, pour pouvoir remonter au vent et passer le cap ; il est piégé. On risque la même dangereuse issue si le vent est irrégulier et que l'on est obligé de changer de route sans arrêt, voire de louvoyer, risquant ainsi de se perdre dans sa propre estime : « *Mais on doit être très attentif quand on suit ce type de route avec un vent variable et sujet à des changements soudains, chaque fois que l'on modifie le cap et spécialement quand on est forcé de changer de bord ou de louvoyer. On risque de se retrouver (trop) à terre, entre deux caps...* » nous en concluons que davantage qu'une direction à suivre cette route représente plutôt une frontière entre une

⁴⁸¹ G.R. Tibbets *Arab Navigation... Op.cit. 6eme Fa'ida* p. 165

zone dangereuse (celle trop près de terre) et une autre saine (celle plus au large), ou inversement selon le vent et le cas de figure, c'est la philosophie générale de la route côtière.

2- La deuxième route, *Dirat a-Matlaq*⁴⁸² est une dérivée de la précédente, c'est une route directe coupant le large pour aller en droiture d'un port à un autre port : « *Ce type de route, c'est le cas lorsque les navires entrent et quittent un port, sur la gauche ou sur la droite, en utilisant un cap bien déterminé. Le gros problème avec ce type de route, c'est que vous ne savez pas vers quoi vous allez, aussi bien vers la droite que vers la gauche ... On appelle cette route, la route libre, mais elle a ses limites, disons que toute route Matlaq est exacte, son exactitude dépend de la précision des hauteurs de la polaire aux deux bouts* ». Ce qui demande une explication. Si nous suivons bien l'auteur, cette route libre est une route où on ne suit que les indications du compas, sans correction par des hauteurs intermédiaires ou des repères côtiers car c'est une route de traversée, plutôt courte. Le vent ayant une direction fixe (mousson), et selon le cap demandé, vous allez partir, soit tribord amures soit bâbord amures : « *vers la droite ou vers la gauche (de la direction du vent)* » dit-il. La route est exacte dans la mesure où les coordonnées des points de départ et d'arrivée sont bien connues : « *disons que toute route Matlaq est exacte, son exactitude dépend de la précision des hauteurs de la polaire aux deux bouts* » Cependant, en raison des dérives inconnues et de l'absence de contrôle intermédiaire, il y aura des écarts dont vous ne pourrez constater l'ampleur que lors de l'atterrissage, lorsque la terre reviendra en vue, et éprouver à cet instant quelques surprises. « *Le gros problème avec cette route c'est que vous ne savez pas vers quoi vous allez...* »

3- La troisième, variante, *Dirat al-Iqtida*,⁴⁸³ est une route hauturière allant d'un port à un autre port, mais elle comporte un changement de cap à un moment de la route, pas forcément pour éviter un danger mais parce qu'une portion de cette route facilite les calculs. « *Le troisième type de route est la route, Dirat al Iqtida, elle est aussi dérivée du premier type, elle est calculée de telle sorte qu'elle finit en un point connu, avec un navire sur un point donné et partant d'un point connu. Ainsi on commence avec une telle route, à cause de la facilité des calculs.* » Il nous faut revenir en arrière et nous souvenir ce que nous disions à propos des

⁴⁸² G.R. Tibbets. *Arab Navigation...Op.cit. 6eme Fa'ida* p. 166

⁴⁸³ G.R. Tibbets. *Arab Navigation...Op.cit. 6eme Fa'ida* p. 167.

tirfas et le fait qu'Ibn Majid les divisait en deux classes : les *tirfas ruhuwayyat* ou *rahawiyyat* qui vont des caps I à 5 qui sont exploitables et les *tirfas*, au-delà, du cap 5 jusqu'aux caps franchement Est-Ouest les *tirfas* dites *shaqaqat* qui le sont plus. Donc, en pratique, il reconnaît qu'au delà de NWqW soit 56°, 25, ses tables ne sont plus utilisables. Ceci nous fait supposer, d'ores et déjà, qu'il y a plusieurs modalités pour naviguer au large. Il confirme et s'explique quelque peu dans la quatrième *fa'ida* : « *En ce qui concerne les tirfa al-rahawiyyat, nous avons davantage de précision en raison de l'expérience et de la conduite générale du navire et l'utilisation des calculs sur de telles routes...ce type de cap est meilleur, plus fiable et précis spécialement quand avec cette route on utilise conjointement les hauteurs de polaire... Mais, en ce qui concerne les shaqaqat, c'est la latitude qui est plus précise que les calculs précédents.* » Il nous semble comprendre que pour les caps de 1 à 5 il faut suivre la route oblique car on peut se fier au cap, puisqu'on a la possibilité de contrôler l'exactitude de la route par des observations successives, tandis que, si l'on suit une route plutôt Est-Ouest, il vaut mieux suivre la latitude du point d'arrivée. Ainsi un premier type de route serait une route n'excédant pas les cap 56,25, qui serait suivie selon une méthode oblique jusqu'à ce que l'on coupe le parallèle d'arrivée quelque part au large, où en ce point précis on cale la deuxième partie de la route sur ce parallèle d'arrivée pour arriver au port de destination. C'est aussi l'opinion de Tibbets

Le point commun de toutes ces routes c'est que la route, chez Ibn Majid, est bien une direction à suivre, elle est donnée par des routiers ou ouvrages proches de nos instructions nautiques, elles ne sont donc pas lues sur une carte, car l'étymologie de *Dirat al- Iqifa*, selon Tibbets, est « route d'imitation », le pilote ne fait que suivre les indications de l'expérience commune. Ibn Majid a lui même produit un tel ouvrage, catalogue ou répertoire de routes à suivre, le *Hiwaya*.

D- Le contrôle de la route par une suite de méridiennes.

Il n'y a pas qu'une méthode pour contrôler la route, il y en a plusieurs et on doit choisir en fonction des circonstances car « *...le pilote doit avoir la compétence appropriée, c'est comme à la guerre, on a plusieurs options pour le choix des armes : on peut utiliser l'arc ou la lance*

ou bien l'épée ou encore le poignard. ». Revenons à la définition de la route du large selon Ibn Majid « *Le troisième type de route est la route, Dirat al Iqtida, elle est aussi dérivée du premier type, elle est calculée de telle sorte qu'elle finit en un point connu, avec un navire sur un point donné et partant d'un point connu. Ainsi on commence avec une telle route, à cause de la facilité des calculs.* Cela semble donc clair on part sur une route oblique jusqu'à couper le parallèle du port d'arrivée et, de ce point, on continue sur une route Est-Ouest jusqu'au port d'arrivée. Cela semble être le cas le plus général et même une obligation dès que l'on a une route à un cap supérieur à $56^{\circ},25$, car il y a « *des preuves sûres de la fausseté des tirfa fi 'l-shaqaqat.* »⁴⁸⁴ ». Cependant quelques lignes plus loin, en parlant de cette route en deux temps, quelques lignes éveillent notre attention ; « *Le calcul est vite fait, car dans ce cas, il n'est nul besoin de mesurer les distances le long du parallèle ou la route, mais de suivre l'exemple de celui qui est à l'origine de la route et de gagner (sur le temps,) et sur les autres choses.* »⁴⁸⁵ » Voici une phrase sibylline, qui semble dire qu'il y a, d'une part cette route en deux parties qui a l'avantage de ne demander, dans sa seconde partie, (la route selon le parallèle), ni surveillance particulière de la route suivie, ni calculs compliqués, mais que d'autre part, dans la première partie, une manière directe d'atteindre le point d'arrivée (la route oblique), nécessite, au contraire, un décompte soigneux des distances parcourues et exige de contrôler que l'on reste sur la route désirée. L'existence d'une telle route n'est pas une surprise car, jusqu'à présent Ibn Majid, n'a fait que parler de la science des *quiyas* et de leur importance en ce qui concerne le contrôle de la route, il disait à propos des égyptiens : « *...et il y dans cet océan (il parle là de la navigation arabe dans l'Océan Indien) une science écrite sur des livres avec des measurements de quiyas, mais ils (les méditerranéens) n'ont aucune mesures des quiyas, pas de science et pas de livres non plus, seulement le compas et un décompte des milles...* »⁴⁸⁶ Puis il décrit sa méthode qu'ils n'ont pas et que, lui, donc utilise : « *non plus ils ne savent la mesure de la hauteur des étoiles pour les guider quand ils inclinent vers la droite ou la gauche...* »⁴⁸⁷ Il est encore plus clair dans le petit apologue suivant où deux personnages la « Route » et la « Mesure de la latitude » se disputent les mérites de mener le navire à bon port : « *la route dit à la mesure de latitude : je suis l'original et vous n'êtes qu'un dérivé, donc on doit me donner raison lorsqu'il y a un désaccord. Mais*

⁴⁸⁴ G.R.Tibbetts, *op.cit.* p. 167

⁴⁸⁵ G.R.Tibbetts, *ibidem* p. 167

⁴⁸⁶ G.R. Tibbetts *Arab Navigation...Op.cit.* p. 121

⁴⁸⁷ G.R.Tibbetts. *Arab Navigation Op.cit.* p. 122

la latitude réplique : si je n'avais pas été là pour vous montrer le cap ... Change ton cap, ô navigateur mal guidé car chaque cap (ici : le cap est un promontoire utilisé comme point d'atterrissage et non pas cap au compas) est un point changeant entre deux routes différentes » Bref il pose les deux termes d'une opposition dialectique classique qu'il résout sous la forme d'une synthèse « *et le cap compas dit aux deux antagonistes : la route est ma mère, mais la mesure de la latitude est mon père et je suis l'enfant que le navigateur avisé et au jugement clair a établi à partir de vous deux* »⁴⁸⁸.

Il faut expliciter : pour suivre la route, il faut établir le cap à l'aide de la prise des latitudes ; En d'autres termes : Ibn Majid distingue le cap compas de la route fond. La route fond est donnée par l'expérience des anciens c'est celle qu'il faut suivre mais pour la suivre et tomber exactement sur le point d'atterrissage choisi, il faut ajuster le cap compas chaque jour à la suite d'observations astronomiques. Ibn Majid pose donc le problème de navigation au large comme un problème de calcul de dérive. C'est ce que nous avons établi dans le point consacré à l'estime et souligné dans une remarque importante où nous avons noté : « Cette conviction que l'estime sur le cap est mauvaise, en raison de la présence du courant qui ne peut être estimé à l'avance, va nous livrer une clef du raisonnement nautique d'Ibn Majid. Toutes ces opérations de contrôle de la route vont, nous allons le voir, se résumer à la résolution de problèmes de courant. Ce calcul de nos jours est un problème de cartes classique c'est est donc résolu vectoriellement c'est à dire graphiquement directement sur la carte en installant le triangle des vitesses Vitesse surface, vitesse courant et la résultante de ces deux vecteurs : la vitesse fond ».

Nous en concluons qu'il y a bien une méthode pour relier deux points en pratiquant de bout en bout une navigation oblique, mais que, dans la plupart des cas, on finit par rejoindre le parallèle d'arrivée, avant d'avoir atterri exactement sur le port-cible, soit délibérément, parce que ce calcul n'est pas applicable, soit par des variations aléatoire du cap⁴⁸⁹. C'est à la

⁴⁸⁸ G.R. Tibbets *Arab Navigation...Op.cit. 6eme Fa'ida* p. 168

⁴⁸⁹ Nous remarquons que, pour Ibn Majid, seul le cap est entache d'erreurs par la dérive inconnue, il ne parle en aucun cas d'incertitude sur la distance parcourue. Il est vrai que si nous examinons les résultats de l'expérience

reconstruction de cette méthode de navigation oblique que nous allons désormais nous attacher. Nous allons établir une hypothèse pour essayer de résoudre le problème que pose cette méthode et que nous avons exposé dans l'introduction de cette partie, à savoir : comment contrôler une route, sans faire le point, uniquement par latitudes successives.

La première étape de cette hypothèse consiste à essayer de résoudre ce problème avec nos instruments modernes. Il y a plusieurs solutions, il faut donc choisir une solution qui tienne compte de l'approche du même problème par ibn Majid, en se servant des mêmes instruments qu'il avait à sa disposition. Nous venons de remarquer qu'il considère que le navire ne suit jamais la route qu'il est supposé suivre. Les problèmes à résoudre au quotidien sont donc des problèmes de dérive. Or la dérive dépend du rapport de la vitesse du courant à celle du navire et de leurs orientations respectives. Cette notion de vitesse est importante, car nous remarquons qu'il pose le problème de la direction de la route en terme de temps. Il dit à propos de la route *Dirat al-Mul* en parlant des écarts par rapport à la route : « ...*tout ceci allonge le voyage et met le navire hors de sa route...*⁴⁹⁰ » Pour lui, écart et délai sont synonymes.

Une seconde remarque s'impose en relisant Ibn Majid : nous sommes frappés par le fait que si le navire est hors de la route c'est une conséquence directe d'une erreur de cap, dont il énumère les diverses causes dont la principale, selon lui, réside dans la façon de barrer approximative voire négligente du timonier. Il ne parle jamais de problèmes d'erreurs sur l'estimation la vitesse du navire, sans doute parce qu'elle est de son seul fait. A la différence notable de Suleiman al-Mahri qui analyse scrupuleusement toutes les causes d'erreur sur la vitesse. Donc pour résumer la vision d'ibn Majid : la vitesse est juste, seul le cap est faux.

historique de Christophe Colomb, c'est bien ce qui se passe en réalité, les erreurs sur la distance estimée sont faibles seule l'incertitude sur le cap est vraiment grande et le principal problème du navigateur a l'estime. Cependant il semblerait d'après les commentateurs que Suleiman al-Mahri se soit posé la question de l'incertitude sur la vitesse estimée et qu'il avance un certain nombre de facteurs qui concourent à cette incertitude ; cependant nous verrons dans la discussion sur la validation de la méthode que l'introduction de cet élément n'ajoute pas grand chose à la précision de la méthode.

⁴⁹⁰ Cf. *supra*. *Contrôle de la route...* cit. p. 428

Nous allons mettre en position, selon notre mode de pensée actuel, c'est-à-dire sur un schéma, l'estime telle qu'elle se présente à Ibn Majid.

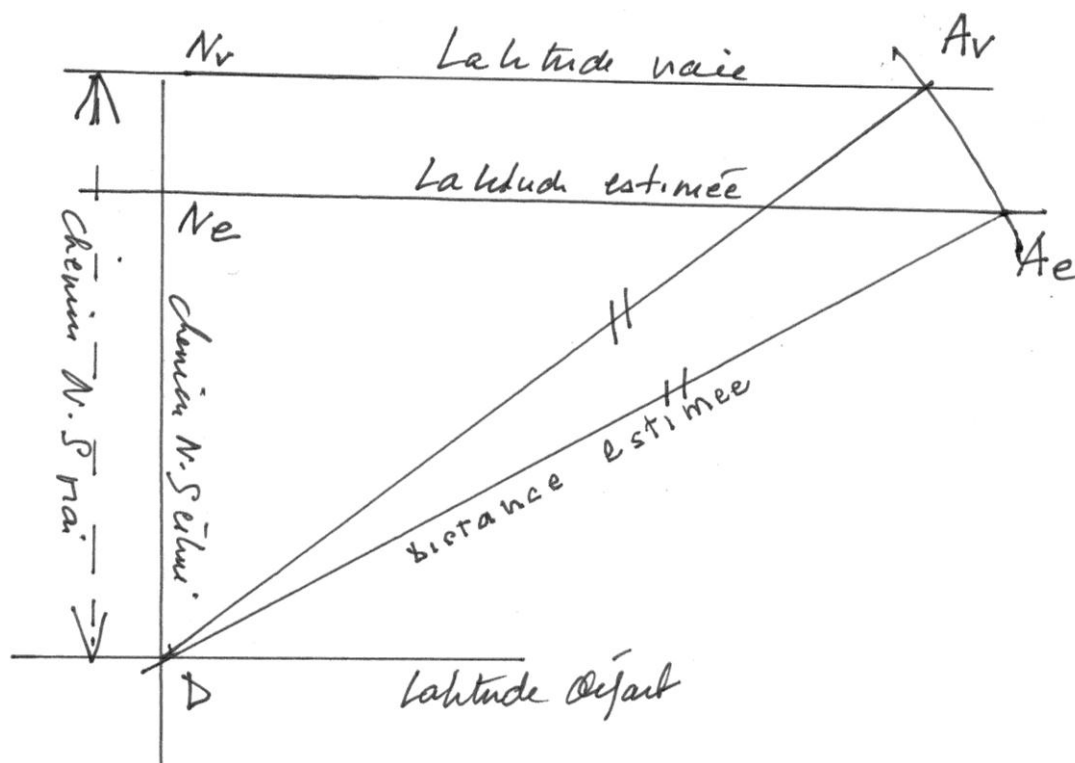


Fig. 7

A partir du point de départ D , on porte la distance estimée jusqu'à l'observation suivante. A cet instant, en entrant dans les tables de tirfa à l'envers, on peut déterminer un chemin Nord-Sud estimée DNe , et un chemin Est-Ouest estimé $NeAe$. Mais l'observation prise à ce même moment révèle que la latitude vraie est différente de la latitude estimée.

Puisque l'on suppose la distance estimée correcte mais le cap erroné le point où on se trouve est non pas Ae mais Av obtenu en portant de D la distance $DAv = DAe$. On en déduit une nouveau chemin nord sud vrai et un nouveau chemin est ouest vrai DNv et $NvAv$.

Ce schéma nous permet de figurer ce qui se passe entre le moment du départ et le premier calcul de latitude. Il faut retourner au principe de la navigation oblique et du système des tirfas, le tableau des tirfas montre que, pour toute distance parcourue en oblique vont correspondre d'une part, un chemin Nord-Sud et, d'autre part, un chemin Est-Ouest, tous deux

donnés en *zams théoriques*. En comparant situation estimée et situation observée, on remarque que, partant d'une distance estimée selon le cap on peut calculer des chemins Nord-Sud et Est-Ouest estimés DNe et NeAe que l'on va comparer aux nouveaux chemins Nord-Sud et Est-Ouest vrais DNV et NVAv que l'on va calculer à partir de la position donnée par l'observation.

Pour revenir au point de vue d'Ibn Majid, il faut se souvenir ce que nous disions à propos des problèmes de courant par Ibn Majid : « Ce que nous faisons avec un graphique et donc sur un support visuel, Ibn Majid le faisait par le raisonnement et en calculant de tête. Evidemment sa façon d'aborder ces problèmes est essentiellement différente de la notre et il en résultera une différence dans l'approche logique entre lui et nos contemporains.⁴⁹¹ » Il faut donc se rappeler qu'il ne travaillait pas sur une carte marine, les positions de Ae et Av n'ont aucune signification pour lui. Autrement dit, il n'a pas de point, il ignore la position exacte du navire, il ne connaît que la latitude vraie et il peut en déduire, uniquement par le raisonnement, soit qu'il est à droite, soit qu'il est à gauche de la route qu'il était supposé suivre (c'est le cas précis dans le schéma ci-dessus). Une seconde façon de dire les choses est de dire que, **si la latitude observée est plus grande que la latitude estimée, c'est parce qu'on a gagné en vitesse de déplacement Nord-Sud** ; on a donc suivi une route trop au nord, on est à gauche de la route (c'est le cas précis du schéma). Inversement, **si cette latitude observée avait été plus faible que la latitude estimée, on aurait suivi une route trop inclinée vers l'Ouest**, on aurait été à droite de la route.

Pour rester dans le cas précis de la figure, on peut dire que, puisque le pilote sait maintenant qu'il est à gauche de la route, il peut rectifier son cap et appuyer plus à droite pour compenser, mais dans quelle proportion ? A ce stade, il l'ignore. Il a été soumis à un écart, il pourrait corriger donc la route en conséquence, en espérant ainsi annuler la dérive, mais, en premier lieu, il ne connaît pas son point exact actuel pour pouvoir calculer une nouvelle route et en deuxième lieu, cela ne garantit en rien que la dérive sera la même le lendemain. Il se peut et il est même probable que, le lendemain, il va se retrouver en présence d'un nouvel écart, dans un sens ou dans l'autre et ce problème de compensation se reposera en termes toujours aussi douteux. Il faut renoncer à ces ajustements tactiques et adopter une attitude stratégique qui

⁴⁹¹ Cf. *supra*. Remarque. p. 424-425

fasse espère ainsi rester dans la direction générale de la route choisie et ne corriger les écarts que s'ils s'avèrent dangereux. Il faut donc considérer le voyage dans sa globalité ce que nous allons examiner dans le schéma suivant.

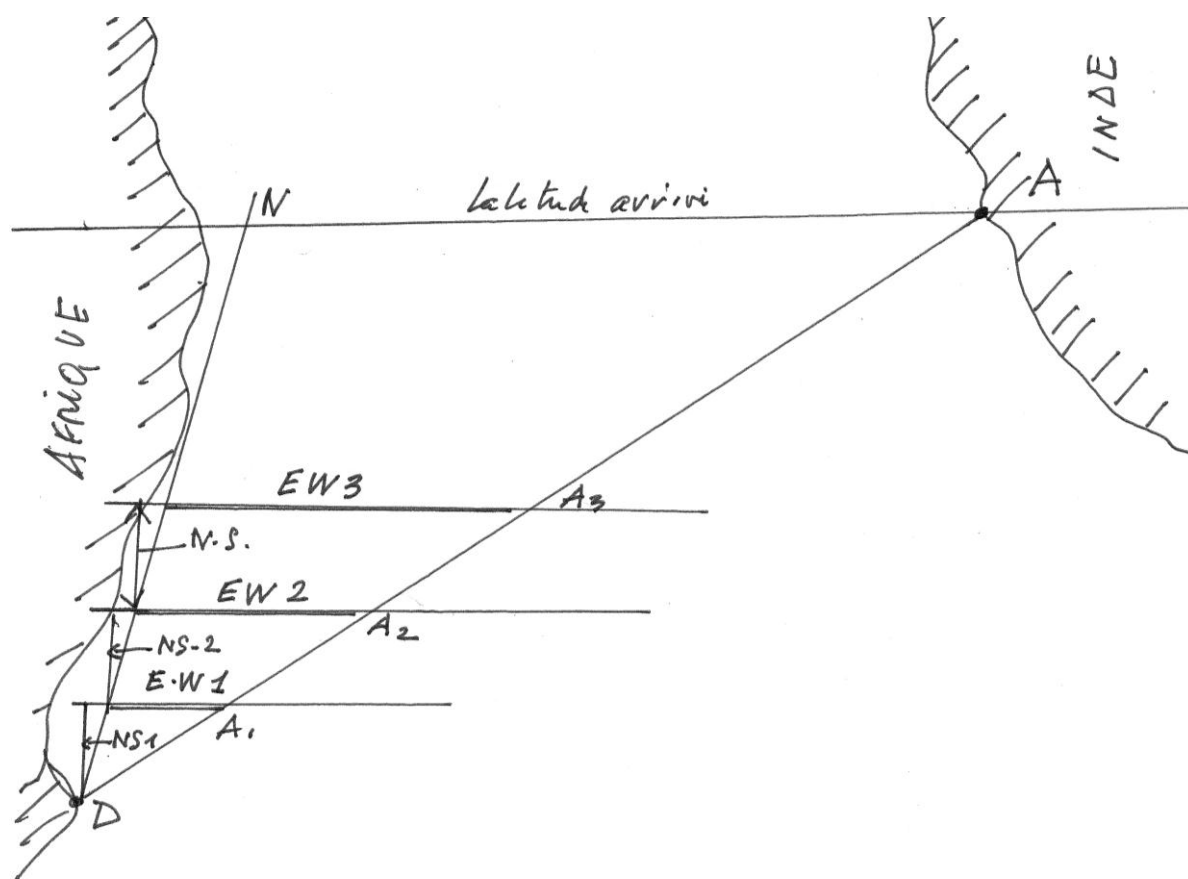


Fig. 8

Supposons que l'on parte d'un point D de la côte africaine allant vers A, port de la côte indienne. On effectue le voyage en prenant une latitude quotidiennement : au jour 1, 2, 3, etc. Chaque jour, on obtiendra un chemin Nord-Sud vrai et un chemin Est-Ouest calculé, non pas à partir du cap Nord, comme dans le schéma précédent, mais à partir de la route côtière, le long de l'Afrique, qui joint le port de départ à l'endroit N, où le parallèle du port d'arrivée coupe la côte. La distance Na, nous est donnée par les masafat, les distances selon le parallèle des points principaux d'une côte à la côte antagoniste. Ces masafat sont données par les instructions nautiques arabes.

Remarquons que l'on ne sait toujours pas au jour 3, par exemple, où l'on se trouve exactement sinon sur la latitude prise ce jour. Pour être certain d'arriver au point A, la première chose à faire c'est de ne pas arriver trop Sud. Dans ce but, la prudence conseille de rectifier le cap aussitôt que l'on s'aperçoit, par le calcul, tel qu'exposé précédemment, que l'on est à droite de la route. On peut espérer que les écarts varient aléatoirement de sens jour après jour, de telle sorte qu'en fin de voyage ils s'annulent plus ou moins. On ne connaît pas la valeur de l'écart mais uniquement le sens⁴⁹². Le fait de ne corriger que les écarts sur la droite va certainement introduire un biais qui va faire que l'on va suivre, en réalité, une route située à gauche de la route originellement prévue DA. Il y a de fortes chances que l'on coupe la latitude d'arrivée avant d'être arrivé en A. C'est une situation favorable car elle est sûre. On est ainsi certain de ne pas atterrir au Sud de A, avec le vent à remonter pour arriver, opération difficile voire impossible.

Arrivé à ce point du voyage où on coupe du parallèle du port d'arrivée, il suffit de suivre désormais une route Est-Ouest, contrôlée par la prise de hauteurs, pour vérifier que l'on reste constamment sur cette latitude. En effet, à la différence de ce qui se passe en navigation oblique où la valeur des écarts est inconnue, (on ne connaît que leur sens, à droite ou à gauche), ici, dans le cas particulier d'une navigation Est-ouest, on peut chiffrer très exactement cet écart, on le déduit par différence des latitudes successives observées. Rappelons ce que nous disions à propos du rôle de la méridienne en tant que droite de position⁴⁹³ dans une navigation Est-Ouest.

⁴⁹² Il faut se rapprocher de la pratique moderne du point à la mer. Pour aller du Havre à New York, par exemple, on trace la route sur un routier et on mesure le cap. La carte n'est pas assez détaillée pour que l'on puisse travailler dessus. On la remplace donc par plusieurs cartes mercator blanches qui représentent donc le large, sans aucun dessin de côte. Ces cartes, les *plotting sheets* sont donc des cartes muettes d'échelle maniable. Un degré de latitude couvrant une dizaine de centimètres, de telle façon qu'un mille marin soit représenté, à peu près, par un centimètre. Seules les latitudes sont indiquées, car c'est une carte de mercator et des latitudes dépendent l'échelle des milles. Les longitudes sont en blanc et on les numérote au crayon, selon la zone sur laquelle on évolue. Cette carte sert à faire l'estime, à partir du point estimé on y trace le point observé. Il n'y a pas de correction du cap. A partir du dernier point observé on se contente de faire passer la nouvelle route toujours au même cap. Ce n'est que 24 ou 36 heures avant l'arrivée que l'on reporte le dernier point observé sur une nouvelle carte, la carte d'atterrissage ou figurent les atterrages de New York. A partir de ce point reporté, on trace cette fois la route vers le point d'arrivée, disons : le bateau pilote de New York et on lit alors le nouveau cap. Ce n'est donc que vers la fin du voyage que l'on corrige le cap. Désormais on va travailler sur cette carte des atterrages et à chaque nouveau point on modifiera le cap, si nécessaire, pour se diriger sur le bateau pilote.

⁴⁹³ Cf. *supra*. La problématique d'Ibn Majid. p 392.

De plus, dans ce cas particulier de la navigation sur le parallèle, Ibn Majid sait calculer en *zams* la valeur de cet écart, alors qu'il ne le peut dans le cas général de la navigation oblique. Suivons le dans le texte : « *S'il y a quelque difficulté, (si vous quittez la latitude qu'il faut suivre) prenez en compte la division du compas et la distance plus ou moins longue de la route en question* ». Autrement dit, si vous voyez que vous vous écartez de cette latitude d'arrivée qui est désormais votre route, il faut corriger en « *divisant la carte du compas* » c'est-à-dire en naviguant entre les rhumbs, pour corriger, en douceur, l'écart et retomber sur la latitude. Car il connaît parfaitement la valeur de l'écart en fonction de la distance parcourue. Il en a donné la formule, juste quelques lignes plus haut : « *On se sert de ce modèle de calcul quand on navigue entre deux rhumbs : i.e. quand deux navires naviguent sur deux rhumbs voisins, la distance qui les sépare est alors égale au quart de la distance parcourue ou, selon d'autres, du cinquième⁴⁹⁴* ». La procédure pour suivre le parallèle est simple : calez le compas sur l'Est ou l'Ouest, selon le cas, et vérifiez la latitude par des observations continues, si vous constatez que vous êtes *x zams* trop au sud, par exemple, alors, venez un rhumb ou même une fraction de rhumb vers le nord sur une distance calculée selon la formule précédente, suffisante pour rattraper *x zams* et ainsi se retrouver exactement en route sur le parallèle.

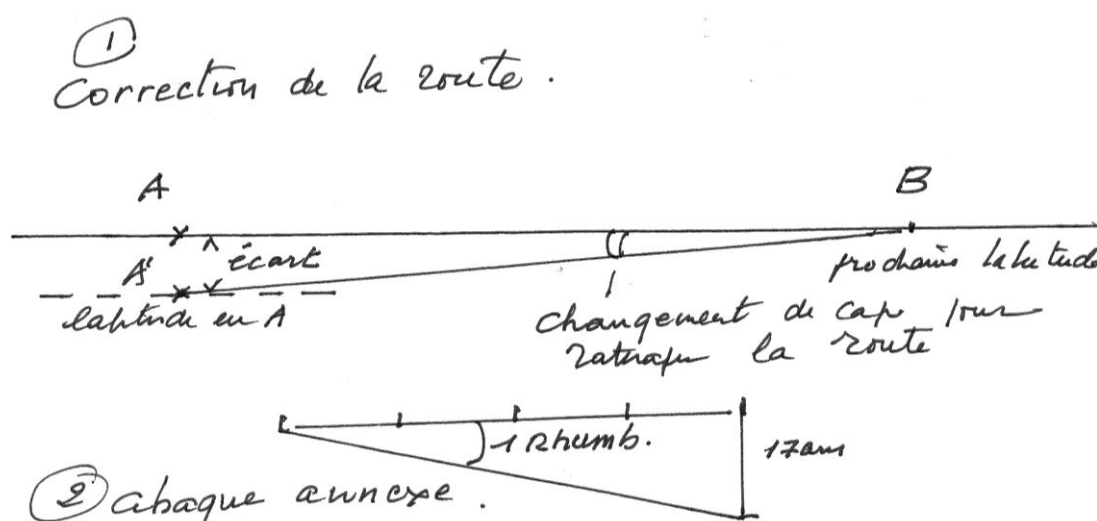


Fig. 9.

⁴⁹⁴ G.R. Tibbets. *Arab Navigation... Op. cit. 4eme Fa-'ida. Compass rhumbs*. p. 151. En fait ce sont les autres qui ont raison l'écart se calcule par la trigonométrie antique, c'est-à-dire : en passant par les radians. Un écart au bout d'une course déviée d'un rhumb = 11,25 soit en radian $11,25/57,3 = 1/5$. L'écart pour une déviation d'un rhumb est égal au $1/5$ de la distance parcourue. c.q.f.d.

Le navire doit suivre la route Est-Ouest AB. En A le pilote fait une latitude, il est trop Sud, il peut calculer donc son écart, en zams, par rapport à la latitude qu'il doit suivre. Pour rattraper cet écart il va corriger la route d'un angle tel que, en B, point estimé de sa prochaine méridienne il ait récupéré cet écart.

Pour calculer le changement de cap, il se sert de la règle figurée sur l'abaque en annexe : à un angle de 1 rhumb correspond un écart de 1 zam pour 4 parcourus. (Ce sont les chiffres d'Ibn Majid. En réalité on a un angle de 13° au lieu de 11°, 25, nous avons vu que le rapport est plus proche de 1 à 5)

On peut utiliser la formule suivante ; 5 (en fait, c'est notre supposition, Ibn Majid fait le calcul selon les données ci-dessus mais sans plus de détails.)

Ecart à rattraper / AB divisé par 1/4 donne la fraction de rhumb à corriger. « On divise le rhumb avec des ciseaux... »

Ibn Majid est assurément un expert du calcul rationnel et le travail sur les fractions n'a aucun secret pour lui, il énonce souvent dans son texte des résultats en 1/5 ou en 1/7 de rhumb.

La formule est mathématiquement inexacte elle suppose que $\text{tg } 2.\alpha = 2. \text{tg } \alpha$, ce qui pour le petits angles peut constituer une approximation acceptable.

Remarque méthodologique. : Cette construction est une construction moderne et fait appel à des développements logiques modernes. Elle fait appel à une méthode d'analyse semblable à celle qui fut utilisée par Marq Saint-Hilaire pour mettre au point sa droite de hauteur dans les années 1870. En effet, le principe de la droite de hauteur est de comparer un lieu géométrique objectif, la droite de hauteur d'un astre observé, avec un lieu géométrique virtuel recalculé à partir du point estimé. On utilise une démarche s'apparentant à un raisonnement par l'absurde. On va, à partir des éléments fournis par l'estime, qui sont précisément ceux dont on doute, se supposer au point estimé et refaire le calcul à l'envers pour trouver la hauteur théorique sous laquelle on verrait l'astre, si on était vraiment au lieu précis où l'on prétend se trouver. De cette confrontation des éléments calculés à partir de l'estime (He) et des éléments observés ou vrais (Hv) on déduit l'erreur que l'on a faite dans l'estime (Hv-He, l'intercept). C'est une démarche logique originale dans l'histoire de la navigation. C'est précisément le principe que

nous avons appliqué dans notre hypothèse. La route suivie est supposée être celle qu'indique le compas, mais il y a sur cette exactitude un doute plus que raisonnable. On va confronter notre latitude réelle obtenue par observation avec la latitude à laquelle on devrait être si notre estime était juste. S'il y a discordance entre ces deux latitudes, nous avons le choix entre les deux termes d'une alternative. **Ou bien**, notre vitesse est fausse et la différence de latitude s'explique par le retard ou l'avance qui en découle, ou bien notre cap n'était pas celui suivi et nous sommes positionnés forcément sur la latitude observée (vraie) mais situés à droite ou à gauche de la route, selon le cas. Car dirait ibn Majid, nous avons gagné ou perdu du temps c'est-à-dire de la route.

Evidemment la logique est universelle et on n'est pas en droit de soupçonner qu'Ibn Majid était moins logique que nous, cependant il faut considérer que les types de raisonnements qui déterminent l'usage des applications logiques ne sont pas innés, ils sont datés, il y a une histoire de la logique. Al-Biruni invente avec el Kwarazimi l'algèbre dès le X^e siècle, mais certains développements logiques particuliers, par exemple la pratique du calcul infinitésimal, n'apparaissent que beaucoup plus tard. Cependant nous nous sentons parfaitement en droit d'appliquer un tel raisonnement qui n'est pas anachronique. Il ne s'agit que des moyens de l'étude qui peuvent faire appel aux techniques de recherche les plus modernes même pour un objet ancien. Par contre on ne peut l'appliquer à l'objet de la recherche qui est ici comment ibn Majid a pu résoudre ce paradoxe trouver un cap uniquement à partir de latitudes successives. Nous l'avons résolu à notre manière qui prouve qu'il y a une voie logique, s'il y en a une, il en est certainement d'autres et il nous faut maintenant trouver celle qui était accessible à ibn Majid dans son contexte. Celle-ci ne peut être trouvée que dans ses écrits et de sa façon de raisonner dont ils livrent les indices.

En d'autres termes, l'analyse précédente est une explication de la méthode d'ibn Majid entièrement de notre fait. C'est notre analyse, elle est sur papier, donc inapplicable pour ibn Majid, ce n'est donc pas la reconstruction de la méthode annoncée plus haut⁴⁹⁵. Pour ce faire, il faut reformuler ce raisonnement qui soit une autre façon d'exposer ce même problème mais,

⁴⁹⁵ Cf. *supra* p. 430

cette fois, selon des termes acceptables par ibn Majid, c'est à dire en évitant soigneusement tout raisonnement de facture trop moderne.

Nous avons déjà remarqué⁴⁹⁶ qu'il considère que le navire ne suit jamais la route qu'il est supposé suivre et nous remarquons qu'il pose le problème de la direction de la route en terme de temps. Nous répétons ici ce qu'il dit à propos de la route *Dirat al-Mul* en parlant des écarts par rapport à la route : « ...*tout ceci allonge le voyage et met le navire hors de sa route...* »⁴⁹⁷ Pour lui, écart et délai sont synonymes.

D'autre part, d'un second extrait déjà cité, concernant le contrôle de la route, nous isolons : « ...*gagner sur le temps et les autres choses...* »⁴⁹⁸. Il analyse les problèmes de navigation, nous venons de l'Ea remarquer⁴⁹⁹, en termes de vitesse et de son principal souci est de tenir une date d'arrivée. On peut dire, en termes modernes, qu'Ibn Majid calcule un ETA (*estimated time of arrival*)⁵⁰⁰.

Remarque importante.

Lorsqu'on dit que ibn Majid raisonne en termes de vitesse et non de distance cela semble aller contre une évidence logique qui se traduit par la formule : $d = vt$, où d est la distance parcourue, v la vitesse du navire et t le temps passé. Distance et temps passé recouvrent la même réalité affectée du facteur v . En tout état de cause, il y a une différence qui est sensible dans la pratique ; le capitaine qui chasse un ETA spécifique, par exemple l'heure de la marée de tel port, pour l'ouverture de l'écluse affronte une autre réalité que celui qui doit arriver au bateau d pilote de tel autre port et y attendre d'être servi. La différence au niveau de la logique

⁴⁹⁶ Cf. *supra* p 452

⁴⁹⁷ Cf. *supra*. *Contrôle de la route... cit.* p. 428

⁴⁹⁸ Cf. *supra* *Route Dirat al-Mul ...cit.* p. 425

⁴⁹⁹ Cf. *supra*. *Remarque importante* p 424-425

⁵⁰⁰ Estimated Time of Arrival. Ce terme désigne le temps d'arrivée calculé au plus tôt. Il est refait chaque jour pour corriger au fur et à mesure que varient les paramètres.

peut se formuler par le fait que dans le second cas, v est un coefficient donné et dans le premier un paramètre.

Dans le cadre de ses observations et de ses calcul, ibn Majid peut déterminer deux vitesses, une vitesse en déplacement Nord-Sud grâce à ses observations et une seconde en déplacement Est-Ouest qui lui est donnée par déduction grâce à sa table des *tirfas*. Si ibn Majid veut, dans sa navigation oblique, que sa course coupe la latitude d'atterrissage avant l'arrivée au port de destination, il faut et il suffit que son E.T.A. en chemin Nord-Sud précède celui en chemin Est-Ouest. Il a à sa disposition tous les éléments du calcul : ses observations quotidiennes et il peut lire dans ses documents nautiques la distance Nord sud lui est donnée par la latitude du port d'arrivée et le chemin est ouest par la table des *masafat*. Il peut ajuster la différence entre les deux E.T.A. en agissant sur le cap. S'il veut accélérer l'E.T.A. Nord-Sud, il doit faire un cap plus au Nord pour raccourcir la distance Nord-Sud ou appuyer plus à l'Est (dans le cas de nos schémas) pour la rallonger.

Il y donc bien une méthode mais Ibn Majid ne l'expose jamais directement, il a écrit ici un livre de science nautique mais pour étudiants avancés, uniquement ; les bases sont supposées connues. **C'est donc effectivement, en prenant des méridiennes successives que Ibn Majid sait s'il est sur la bonne route ou pas.** Ce calcul exige la comparaison quotidienne de l'ETA selon le chemin Est-Ouest et le calcul de l'ETA selon la latitude. Dans les deux cas on calcule les vitesses de déplacement selon ces deux chemins, ce sont ces vitesses déjà réalisées qui par extrapolation vont servir à établir les projections, bases de ses prévisions. On comprend pourquoi Ibn Majid ne considère jamais la vitesse de son navire dans ces calculs, il l'obtient par une méthode statistique grâce à des observations successives, les E.T.A. seront donc de plus en plus probables au fur et à mesure que l'on avance dans le voyage⁵⁰¹. Une autre constatation s'impose à propos de ces deux E.T.A. Seule celle relative au chemin Nord-Sud est certaine, puisque donnée directement par les latitudes observées, celle concernant le chemin Est-Ouest est plus approximative, car déduite par la table des

⁵⁰¹ Le processus est similaire à un calcul d'E.T.A. pour une étape en voiture (avant le GPS bien évidemment) On repère un panneau de distance parcourue de puis le départ on en calcule une vitesse moyenne que l'on projette sur la distance à parcourir, on obtient une première ETA. En renouvelant l'opération au fur et à mesure du trajet et des panneaux, on affine la vitesse moyenne et on précise de plus en plus l'ETA.

tirfas. C'est pourquoi on a intérêt à corriger les écarts vers le large et laisser le navire dériver de l'autre bord vers le parallèle d'arrivée. Ce faisant, on introduit un certain biais volontairement⁵⁰². Grâce à ce biais, malgré l'incertitude qui reste sur une arrivée exactement au point précis prévu, on est certain que l'on coupera la latitude du point d'arrivée avant de toucher la terre. Cette option permettant une arrivée au port dans les conditions les plus favorables⁵⁰³.

Nous avons tenté de rétablir une méthode selon les règles fixées par Ibn Majid dans ses écrits, le cahier des charges imposé en quelque sorte par son texte, à savoir : sans calculer la vitesse réelle du navire ni la distance à franchir : mots qui n'apparaissent en aucun endroit sous la plume d'Ibn Majid. Cependant il faut noter que ceci n'a valeur que d'hypothèse de travail. Une telle construction dans ces conditions ne prétend pas reproduire la méthode exacte qu'employait Ibn Majid mais simplement prouver qu'une méthode était possible dans les conditions de travail et les moyens qui apparaissent être ceux d'Ibn Majid, à travers ses livres. Il faut donc corriger cette hypothèse de deux remarques importantes.

3-2.4 Validation de la méthode

Pour valider la méthode, nous allons analyser ses modes opératoires au travers d'une analyse selon nos méthodes modernes. En revanche, il est hors de question de comparer les résultats de ses instruments avec les nôtres. L'invention de la lunette puis du vernier fait que nos modernes sextants (grâce à leurs pouvoirs séparateurs aussi bien au niveau de l'observation qu'à celui de la lecture des mesures) ne souffrent aucune comparaison avec ses bois taillés confectionnés par lui-même. Il suffit de dire que malgré le peu de sophistication de ses instruments il arrive, semble-t-il à une précision d'une dizaine de kilomètres sur la latitude et d'une vingtaine sur les distances, ce qui n'est pas sans nous étonner, bien des capitaines, à des époques encore contemporaines, avant la diffusion de radars fiables, ont du se contenter

⁵⁰² Cf. *supra*. p. 434

⁵⁰³ Une arrivée selon le parallèle garantit une arrivée au large puisque la mousson est à 45 ° de cette ligne dans un sens ou dans l'autre. C'est l'allure idéale pour manœuvrer largement dans un sens ou dans l'autre pour rattraper les derniers écarts que l'on percevra à l'œil, dès que l'on pourra apercevoir la côte.

d'incertitudes bien plus angoissantes après quelques jours sans observations possibles. Si ses résultats sont bons c'est que ses procédés sont vraisemblablement sûrs c'est ce que nous allons examiner maintenant..

A- Les observations astronomiques, validation.

Nous avons vu que les méthodes d'Ibn Majid supposent une collaboration avec des astronomes. Henri Grande-Grosset pense, quant à lui, qu'il a fort bien pu calculer ces coefficients par expérience⁵⁰⁴. En effet Ibn Majid, à une occasion, se vante d'avoir trouvé une étoile et son *bashi* de par ses propres recherches. Cependant quant on liste le nombre de *bashi* (28, selon Tibbetts, les situations où il utilise des étoiles de substitution et des corrections aux hauteurs qu'elles impliquent (plus de 70, toujours selon Tibbetts) on comprend qu'il n'a pas pu calculer cela tout seul. D'ailleurs il ne le prétend pas et parle avec compétence des méthodes et de la science des astronomes, cite les plus importants pour les travaux qu'ils ont effectués en relation avec la science nautique⁵⁰⁵ et se pose, finalement la question des divergences entre leurs résultats et ceux des marins. Nous avons vu cela à propos de la latitude des ports qu'Ibn Majid ne calcule jamais, et il conseille aux navigateurs de ne pas comparer leurs propres résultats avec ceux des astronomes et de se contenter d'utiliser systématiquement leurs propres résultats et en cela il fait preuve de beaucoup d'intuition.

Nous, avec le recul, nous sommes à même d'expliquer cette contradiction. Elle tient au fait qu'Ibn Majid prend des **hauteurs** d'astre avec ses bois, les astronomes prennent des **distances zénithales** avec leurs astrolabes. En principe la hauteur est la distance d'arc entre l'astre et l'horizon, la distance zénithale, la distance du même astre au zénith, soient deux mesures complémentaires. En théorie leur somme doit être égale 90° ; en pratique, ce n'est pas vrai car la hauteur observée n'est pas la hauteur vraie. La hauteur est affectée de deux erreurs systématiques, c'est-à-dire qui se retrouvent à chaque observation. C'est, en premier lieu, la

⁵⁰⁴ Henri Grosset-Grange *La science nautique arabe. Op. cit.* p.266

⁵⁰⁵ G.R. Tibbetts. *Arab navigation... Op. cit. The navigators and their works* p. 39-41 Tibbetts liste tous les savants reconnus cités par Ibn Majid dont Ibn Hawqual, Massudi, Aboulfida, al Battani et el-Magesti c'est à dire l'Almageste de Ptolémée sur lesquels nous nous sommes nous-même appuyés à un moment ou à un autre.

dépression de l'horizon : l'horizon visible n'est pas situé à l'horizontale mais au dessous, La dépression reconnaît le fait que la ligne d'horizon serait à l'horizontale au seul cas ou l'œil de l'observateur serait strictement au ras de l'eau ; son rayon de vision est dans ce cas tangent à la surface de la sphère, ce qui est la définition du plan horizontal. Dès que l'œil s'élève, du fait de la courbure de la terre, la ligne d'horizon s'éloigne de l'observateur et cette ligne d'horizon plonge en quelque sorte sous l'horizontale. Ce fait est vérifiable sensiblement : plus l'observateur monte et plus l'horizon semble s'éloigner ; en fait il plonge. Or le pilote qui prend ses observations debout sur sa dunette, même dans le cas d'un bouterolle modeste, a son œil situé entre 4 et 6 mètres de la surface. Il y aurait donc une première erreur à calculer et une cette première correction à faire.

Une seconde erreur est due à la **réfraction**. Elle est moins évidente, son explication suppose de connaître les propriétés physiques de la lumière. Les rayons lumineux issus de l'espace viennent du vide absolu pour traverser l'atmosphère terrestre, il y a changement de milieu donc déviation du rayon lumineux au même titre que lorsqu'on passe de l'air à l'eau... Ce dernier phénomène est sensiblement vérifiable. La déviation est d'autant plus importante que le rayon est tangent à la surface terrestre car c'est sous cette incidence rasante qu'il aura à traverser l'atmosphère au maximum de son épaisseur⁵⁰⁶. Donc, plus les hauteurs sont faibles, plus important le phénomène. Le fait se vérifie très spectaculairement tous les jours, au coucher ou au lever du soleil ou de la lune, où ces astres, au début ou à la fin de leur course, sont au voisinage de l'horizon. Pendant les courts instants durant lesquels ils traversent cette couche épaisse, ils nous apparaissent avec un diamètre démesuré, c'est en raison de l'effet de loupe dû à cette réfraction, très importante aux faibles hauteurs. Ibn Majid devait être un habitué du spectacle, mais il est vrai que, dans l'état de nos connaissances, l'explication est plus facile pour nous que pour lui.

⁵⁰⁶ Le phénomène est sensiblement vérifiable c'est lui qui est le responsable du grossissement des astres soleil et lune au lever et au coucher ; on estime que le lever ou coucher vrai du soleil est lorsque l'astre est au dessus de l'horizon et que son bord inférieur est encore ou déjà au dessus de l'horizon d'une hauteur équivalente au deux tiers de son diamètre apparent à cet instant. C'est une « *thumb rule* » grossièrement valable pour un observateur debout sur une passerelle d'un bateau très moyen ; elle est à revoir si il est juché sur la passerelle d'un super porte-container aussi haut que l'immeuble du siège social de la compagnie de navigation.

De nos jours on est arrivé à quantifier ces deux erreurs et à pouvoir les retrouver sous formes de tables simples à l'usage, puisqu'elles ne sont fonction que de deux paramètres, la hauteur de l'œil de l'observateur, d'une part et la hauteur de l'astre au dessus de l'horizon, d'autre part. Il est donc simple de corriger la hauteur observée de ces erreurs dues à la dépression de l'horizon et à la réfraction, pour obtenir la hauteur vraie. Encore que le mot vrai cache, sans aucun doute, encore quelques autres inexactitudes. Il est certain que d'autres paramètres, tels que l'humidité de l'air ou la pression atmosphérique, en faisant varier la densité de la couche basse, induisent aussi des erreurs. Mais elles paraissent négligeables et ne dépassent jamais la valeur de la précision nécessaire aux besoins de la navigation, soit un dixième de minute d'arc, en principe, et plutôt la minute d'arc, dans la pratique. On obtient donc, après corrections, une hauteur d'astre qui est le complément exact (ou à très peu de chose près) de la hauteur zénithale. Ce n'était pas le cas à l'époque d'Ibn Majid. Ce qui ne l'empêchait pas de connaître, intuitivement, l'existence de ces deux erreurs. Elles expliquent, donc, les différences de valeur qu'il peut y avoir entre les observations marines et les observations astronomiques, et, par voie de conséquence, que les latitudes calculées par les marins ne soient pas celles des astronomes. En effet, les astronomes ne peuvent avoir recours à l'horizon, comme base de référence, car ils travaillent à l'intérieur des terres et ont affaire à des horizons irréguliers. Tous leurs instruments prennent comme référence la verticale, aisément matérialisée par un fil à plomb ou un niveau d'eau. C'est le cas en particulier de l'astrolabe qui est suspendu par un anneau et dont le seul poids assure la verticalité. C'est aussi le cas de cet astrolabe simplifié qu'est le quadrant⁵⁰⁷ que semble connaître Ibn Majid mais dont il ne se sert pas. Ceci explique que les latitudes calculées par les astronomes sont plus près de la latitude exacte que ne le sont les latitudes calculées à partir des observations marines.

Mais cela Ibn Majid le sait et il rassure son élève. « *Si tu trouves, pour un port, une latitude différente de celle donnée par les savants garde ta latitude* ». Ce n'est pas de l'outrecuidance, c'est reconnaître l'existence d'une erreur systématique, une équation personnelle en quelque

⁵⁰⁷ Le quadrant ne reprend qu'une seule fonction des nombreuses fonctions de cet instrument excessivement complexe qu'est l'astrolabe. Il ne sert qu'à prendre les distances zénithales des astres observés. Il consiste en un quart de cercle, d'où son nom, gradué de 0 à 90 degrés. On le tient verticalement et on vise l'astre le long d'un rayon du cercle qui sert de bordure, en visant l'astre à partir de la circonférence vers le centre du cercle. En ce point est fixé un fil à plomb qui, passant sur la graduation, donnera la mesure de la distance zénithale ou la hauteur selon le sens de la graduation. On notera que l'instrument ne peut servir aux observations solaires car on ne peut viser le soleil à l'œil nu.

sorte : il faut savoir qu'elle existe, mais elle n'est au demeurant pas gênante. Ibn Majid s'intéresse dans ses calculs davantage aux différences de latitude, ou plus exactement de hauteurs d'un même astre, plutôt qu'aux valeurs absolues des latitudes. C'est là où l'on voit le degré de sophistication d'Ibn Majid, il a compris que cette erreur est pour sa plus grande part une erreur systématique : c'est-à-dire s'appliquant toujours dans le même sens à la hauteur. Il conseille donc de renoncer à calculer les latitudes et de conserver toutes les données sous la forme brute obtenue de l'observation soit les hauteurs de la polaire au passage du méridien inférieur du lieu donné. Ses cartes, ses documents sont tous libellés selon cette mesure. Il ne travaille plus sur des différences de hauteurs observées. On remarque que dans les différences, de telles erreurs, de même sens et de presque de même valeur, s'annulent membre à membre. Finalement, les différences de hauteurs sont équivalentes aux différences de latitude, il est donc inutile de passer par le calcul de la latitude.

B- Le contrôle de la route

Ibn Majid ne raisonne pas en termes de distances mais en termes de temps. L'unité dans son système n'est pas le mille ou toute autre distance c'est le *zam* qui est une vitesse. Nous pensons que c'est là la clé de l'incompréhension profonde des commentateurs modernes d'Ibn Majid. De ses explications, il ressort que Tibbetts raisonne en moderne, c'est-à-dire : en distances sur la carte marine. D'une façon générale, Grosset-Grange le fait également dans ses travaux. A notre avis, ils n'en n'ont pas le droit, Tibbetts soulève d'ailleurs l'objection et reconnaît que, pour de grandes distances, il faudrait, pour plus d'exactitude, travailler en géométrie sphérique et non pas plane. A notre avis cela ne suffirait pas, car comme nous le faisons remarquer à propos des *tirfas*, les triangles en question ne sont pas des triangles sphériques puisque leurs côtés ne sont pas des arcs de grand cercle mais des loxodromies. D'autre part, nous ne sommes pas habilités à faire de la géométrie euclidienne dans une espace qui ne l'est pas, ce qui est le cas de notre carte marine de Mercator. En effet, le postulat de base d'Euclide veut que deux parallèles ne se coupent jamais. Ce n'est le cas de la loxodromie ; deux routes au même cap, l'une étant dans une zone située plus au Nord que la seconde, sont parfaitement parallèles sur la carte. Pourtant des deux routes sont des loxodromies, c'est-à-dire, des spirales s'enroulant autour de la sphère jusqu'à tangenter le pôle, qui est donc le point de rencontre de toutes les loxodromies. Mais, ceci n'est qu'un

détail qui n'a d'incidence que sur l'exactitude relative des calculs. La cause profonde du malentendu est ailleurs.

Tibbetts relève dans son commentaire une contradiction sévère qui semble indiquer une faute de logique dans le raisonnement d'Ibn Majid. Citons Tibbetts « *...bien que les chiffres donnés par Suleiman sont approximativement corrects, les tentatives des deux auteurs, aussi bien Ibn Majid et Suleiman, de donner des exemples théoriques de calculs de tirfas sont rendus complètement inintelligibles par des arguments totalement illogiques et le fait qu'ils reconnaissent que ces calculs ne sont pas exacts ne sont pas faits pour nous aider. Les calculs d'Ibn Majid sont tellement mal exposés qu'il est nécessaire de se tourner vers le travail de Suleiman et de l'examiner d'abord. Par chance, Suleiman fait les mêmes erreurs qu'Ibn Majid, en utilisant les mêmes exemples, mais ses explications sont bien plus succinctes de sorte que nous pouvons suivre le défaut de raisonnement d'Ibn Majid* » *« without undue effort »*. ***L'erreur basique dans leurs exemples est de supposer que la somme des deux petits cotés d'un triangle est égale au plus grand côté.*** »⁵⁰⁸

Pourtant Ibn Majid sait bien que le grand côté d'un triangle est plus petit que la somme des deux autres côtés. Il le reconnaît implicitement chaque fois qu'il pratique la navigation oblique, une route *Dirat al-Iqtida*. Si nous prenons, au hasard des nombreux trajets qu'il cite dans son texte, l'exemple du trajet de Mogadiscio, en Somalie à Diu, en Inde du Nord. Le plus facile serait de faire route le long de la côte africaine jusqu'au cap Guardafui, selon une route côtière, traverser le golfe d'Aden selon une route de traversée, puis continuer la remontée vers le Nord le long des côtes sud du Yémen, de nouveau selon une route côtière jusqu'à trouver la latitude de Diu, et de là, faire route sur ce parallèle jusqu'à Diu en naviguant à l'estime, puisqu'on connaît le *masafat*, ou distance en *zams théoriques* d'une côte à l'autre sur ce parallèle. Tout cela est aisément réalisable avec une mousson de S-W qui donnerait des vents portants dans tous les segments du voyage. Cependant, la solution la plus élégante est de quitter Mogadiscio en suivant un cap et d'arriver à Diu sur le même cap. Une solution intermédiaire serait de partir en oblique mais de ne pas aller plus Nord que la latitude de Diu. Ces deux dernières solutions qui sont les siennes économisent les milles nautiques et donc les

⁵⁰⁸ G.R. Tibbetts Arab navigation in the Indian Ocean before the coming of the portugueses , being a translation of Kitab al Fawa'id usul al-bahr wa'l-qawa'i of Ahmad b.Majid al-Najdi, p 301

temps de parcours par rapport à la première. **C'est bien parce qu'il reconnaît bien le principe que Tibbetts lui conteste qu'il déploie toute cette technique.** Il reconnaît implicitement et il confirme lorsqu'il écrit à propos d'un autre exemple « *Nous avons établi que chaque fois que vous courrez 56 zams sur deux routes, et que maintenant vous courrez cette distance selon une seule route cette route sera à l'évidence plus courte que 56 zams. C'est totalement évident et il n'est nul besoin d'essayer d'en établir la preuve....* »⁵⁰⁹. Cette citation montre bien qu'Ibn Majid est bien conscient qu'une route en droiture est bien plus courte qu'une route selon deux caps, c'est même une évidence pour lui. Le procès que lui fait Tibbetts est donc un mauvais procès.

On est en présence d'une typique opposition dialectique et déjà nous pouvons présumer que Tibbetts et son auteur ne parlent pas le même langage. C'est ce qu'il nous faut éclaircir. Malheureusement il nous est impossible de reprendre, point par point, les exemples précis sur lesquels travaille Tibbetts, car il se réfère sans arrêt aux explications de Suleyman comme une clé du texte d'Ibn Majid et que nous ne disposons pas de ce texte. Nous avons déjà noté que les problèmes d'Ibn Majid sont des problèmes de courant résolus par analyse vectorielle. Dans ce type d'analyse on a l'égalité : vecteur vitesse fond = vecteur vitesse surface + vecteur vitesse du courant. Représentés sur la carte, ces trois vecteurs constituent un triangle, dit triangle des vitesses. Du point de vue vectoriel il est exact de dire que la vitesse fond (le plus grand coté du triangle de vitesse) est égal à la somme de la vitesse surface et de la vitesse courant les deux autres côtés). On se trouve précisément dans le cas que relève Tibbetts « *L'erreur basique dans leurs exemples est de supposer que la somme des deux petits cotés d'un triangle est égale au plus grand coté.* » Vectoriellement, c'est pourtant tout à fait exact. C'est là, à notre avis, que réside l'origine de la contradiction entre Ibn Majid et son traducteur. C'est bien une question de langages différents. Tibbetts considère les distances géométriques, ibn Majid raisonne vectoriellement, en temps de parcours. Il s'agit là de principes généraux que nous allons essayer de traduire d'une manière plus concrète en reprenant l'exemple déjà vu précédemment.⁵¹⁰

⁵⁰⁹ G.R.Tibbetts, Ibid. p. 152

⁵¹⁰ Cf *supra*. p. 433

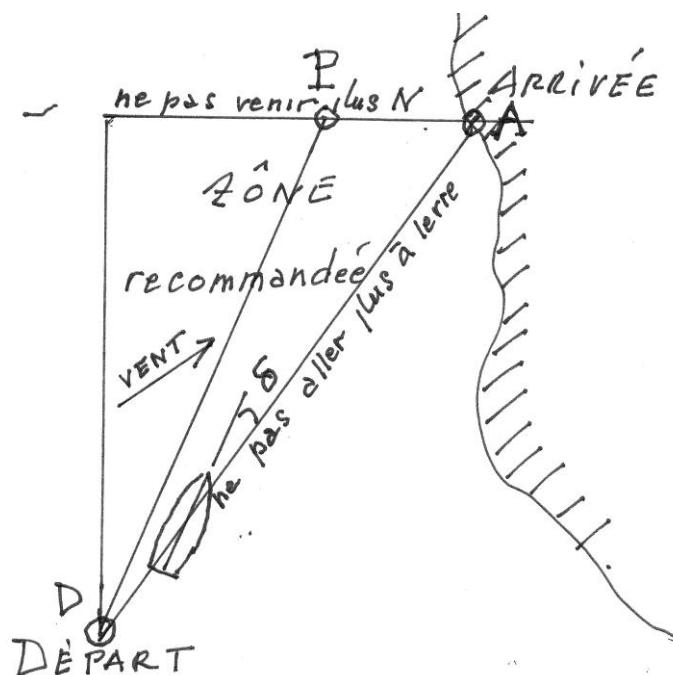


Fig.10

On se propose d'aller en oblique de **D** à **A**. Le courant est de **P** en **A**. On a le choix : soit on laisse le navire dériver et le navire va faire la route **DP**, il faudra alors parcourir **PA** pour rejoindre l'arrivée prévue ; soit on corrige au jour le jour le cap par la dérive et le navire décrira la route **DA**. Ce faisant il faut prendre la dérive δ . Ce que dit Ibn Majid c'est que quelque soit la solution choisie on arrivera **au même moment** en **A**. En quoi il a raison.

Notons bien qu'il s'agit de temps et non de distance, il est évident comme dit Ibn Majid que la distance $DP+PA$ est plus importante que la distance DA , mais il a raison d'affirmer que ces deux chemins sont équivalents en temps de parcours. **La clé est que les parcours ne sont pas parcourus à la même vitesse**. En effet, si on suit la route fond DA on doit incorporer la dérive pour compenser la composante traversière du courant qui nous pousse vers la droite. Ce faisant, on incorpore à la vitesse propre du bateau la composante du courant qui le pousse dans l'axe de la route. En d'autres termes : s'il est vrai que vecteur vitesse fond = vecteur vitesse surface + vecteur vitesse courant ; il est faux d'en déduire que la valeur absolue de la vitesse fond = la somme des valeurs absolues des vitesses surface et courant.

3-2.5 Conclusion. La navigation oblique, un goulet vers le port.

La méthode, telle que nous l'expose Ibn Majid est difficile à dater mais on peut dire les principes qu'ils remontent remontent au XII^e ou au XIII^e siècle, époque à laquelle on peut historiquement placer les trois lions qui sont, selon Ibn Majid, les pères de la méthode. Cette méthode succède, assurément, à une autre méthode, puisque les attestations de la navigation au très long cours des Perses et des Cholas datent, au moins du début de notre ère, sans qu'aucune datation plus précise ne soit possible. Cette méthode très ancienne dont les procédés se sont perdus mais dont les principes transparaissent, çà et là, à titre de souvenirs et d'éléments épars encore opérationnels, était basée très probablement, sur une navigation Est-Ouest et Nord-Sud. Il est vraisemblable que la nécessité d'une méthode nouvelle est consécutive à l'apparition de problèmes nouveaux que pose la pénétration de plus en plus profonde vers le Sud, le long des côtes africaines, qui eut lieu à une époque postérieure que K.N.Chaudhuri date du IX^e siècle seulement⁵¹¹, alors que les voyages de la Perse vers la Chine peuvent être attestés dans la littérature dès la fin du VII^e siècle, voire l'an 500 de notre ère⁵¹². Chaudhuri a bien expliqué les conséquences qui découlent des relations qu'il y a entre le phénomène de la mousson et le rayon d'action des navires. Aussi peut-on développer cette idée et dire que, pour aller plus loin dans le Sud et en revenir avec la renverse de la même mousson, il faut gagner du temps sur le parcours, d'où l'intérêt de la navigation oblique. Ibn Majid n'en souffle mot, mais en ce qui concerne cette nouvelle méthode, celle qu'il utilise lui-même, dont il fait un bref historique dans la première fa'ida, les trois lions qu'il considère comme des pères fondateurs n'étaient pas des pilotes : « *c'était des écrivains pas des hommes expérimentés à la mer.* »⁵¹³ En effet, il nomme aussi, mais à part, des pilotes et des *nakhodas* (capitaines) écrivains contemporains de ces grands ancêtres : « *Le plus gros de leurs connaissances résidait dans la description des côtes et des routes côtières, principalement sous le vent (golfe du Bengale) et de la côte du continent chinois.* »⁵¹⁴ Il y aurait donc eu, à côté de pilotes consignait par écrit leur expérience en ce qui concerne les descriptions de côtes, des routes et des détails de l'océanographe, des chercheurs, initiateurs d'une véritable

⁵¹¹ ⁵¹¹ K.N. Chaudhuri, *Trade and Civilisation in the Indian Ocean. An Economic History from the rise of Islam to 1750* Cambridge University Press. p 56

⁵¹² K.N. Chaudhuri, *Ibid*, p. 50

⁵¹³ G.R.Tibbetts. *Arab navigation...Op.cit. Iere Fa'ida, les auteurs anciens sur la navigation.* p. 70-71

⁵¹⁴ G.R.Tibbetts. *Ibid*, p. 70

science nautique. Il y aurait donc eu, si on suit Ibn Majid, deux types d'ouvrages : des instructions nautiques et des traités de navigation. Ibn Majid, quant à lui, se considère un peu comme la synthèse de ces deux courants et leur héritier : « *Je ne connais pas de quatrième à ces trois-là, excepté moi-même.* » Tout ceci prouve bien que la science nautique arabe est le fruit d'une collaboration entre savants et praticiens. C'est déjà une recherche appliquée.

Si nous rassemblons ce que nous avons dégagé de l'étude d'Ibn Majid on peut dégager une méthode sous-jacente dans le texte, mais jamais explicitement formulée. Cette méthode que l'on pourrait dénommer méthode oblique est, tout d'abord, **une méthode de contrôle de la route**, en utilisant uniquement la méridienne de polaire, qui reste la référence. La polaire ne passant qu'une fois par jour au méridien inférieur d'un lieu, et encore pas forcément durant la nuit, Ibn Majid utilise tout une panoplie de divers astres que l'on utilise, à certains moments favorables, pour obtenir, par tout un jeu de corrections, des valeurs virtuelles du passage de cette polaire au méridien inférieur du lieu. Il multiplie ainsi les occasions d'observations et même sous des latitudes où, paradoxalement, la polaire n'est pas observable ni même visible. Cette méthode fait appel dans un second aspect à une **stratégie de la conduite du navire**. La méthode utilise une route empirique pour rejoindre le port d'arrivée. Cette route est donnée par l'expérience commune des navigateurs et consignée dans un livre d'instructions nautiques. Ce même document donne la latitude ou plus exactement la hauteur de la polaire au méridien inférieur du point d'arrivée. Cette route et ce parallèle d'arrivée tracent une zone convergente qui mène au port d'arrivée, aussi sûrement que le ferait un goulet géographique. Tout l'art du navigateur consistera à jouer avec l'incertitude sur sa position pour continuer à rester, grâce à l'interprétation des résultats de ses observations, à l'intérieur de ce goulet qui sera son meilleur guide pour une bonne arrivée. On voit bien que sa navigation se précise, d'autant plus qu'il s'approche de destination.

On comprend qu'une technique aussi élaborée soit le fruit d'une réflexion profonde et juste. D'autant plus qu'elle est le fruit d'une continuité de pensée qui s'étend sur au moins 3 siècles et qui a donné des résultats pratiques en faisant reculer sans cesse les limites du domaine maritime parcouru par ces navigateurs. Car, n'oublions pas que l'intrusion des Portugais dans l'Océan Indien n'a pas fait disparaître instantanément la navigation commerciale arabe ; il l'a seulement rendue plus compliquée. Les marins d'Oman, qui avaient coutume de se ravitailler

à Ceylan en épices qui venaient des îles de la Sonde, lorsque cette île fut occupée par les Portugais, furent obligés d'aller se ravitailler directement à la source par des voyages en droiture d'une longueur qu'ils n'avaient jamais connue auparavant. De tels résultats supposent une technique efficace. Aussi faut-il exempter le raisonnement d'Ibn Majid d'illogisme. C'est assurément un auteur difficile par son style, peut être, mais surtout par ses ellipses qui ne s'éclairent que si l'on suppose que le lecteur baigne dans le contexte professionnel de l'époque. D'autant plus que son exposé manque cruellement de définitions élémentaires et définitives qui pourraient aider à structurer un raisonnement logique. Il saisit parfaitement les situations d'une façon sensible, de l'intérieur du phénomène, pourrions nous dire, et en déduit des positions qui sont justes et entreprend des actions efficaces. C'était sans doute la règle générale dans ce milieu éclaté par la force des choses. En effet, d'après les commentaires qui en sont faits, on s'aperçoit que le vocabulaire technique de Suleyman, qui pourtant reprend souvent Ibn Majid, est différent de celui du premier auteur. On comprend qu'ellipses et ambiguïté des termes rendent cette lecture pleine de difficultés et parfois hermétique. En particulier, la validation des méthodes d'Ibn Majid a donné lieu à des controverses qui ne peuvent être dénouées que si on admet que la méthode d'analyse d'Ibn Majid est différente de la notre. Il ne fait pas appel à la notion de distance et ne peut donc pas, pour cette raison, entre autres, recourir à une quelconque représentation graphique de la navigation. L'absence de cartes qui, techniquement, puissent être utilisées comme support à de tels graphiques est une seconde raison de cette impossibilité. Il ne raisonne donc qu'en termes de vitesses et de temps de parcours et c'est à partir de là qu'il constitue ses modèles dont il suit le fonctionnement uniquement par le raisonnement.

Troisième Partie

Chapitre troisième

Les méridiennes portugaises.

3-3.0 Introduction du troisième chapitre

C'est au Portugal que naît l'élan qui va présider aux grandes découvertes et mener aux grandes traversées océaniques. Ces voyages au long cours engendrent des problèmes techniques au niveau de la navigation que ne peut résoudre l'estime d'une façon satisfaisante, puisque dans cette méthode l'incertitude croît avec la distance parcourue. Dès lors, ils demandent des solutions nouvelles. C'est la naissance de ces nouvelles méthodes, les méridiennes qui est l'objet de ce chapitre. Le Portugal est idéalement placé géographiquement comme base de départ pour ces voyages au long cours, à l'extrémité Ouest de l'Europe. Mais c'est surtout un concours de circonstances historiques dans un contexte politique favorable, qui fait que ce sont des portugais qui initient cet essor sans précédent de recherche de nouvelles routes, dans un Océan Atlantique largement inexploré. Pour comprendre le processus d'élaboration de ces conditions il faut faire un bref rappel historique

Désormais, au XV^e siècle, les gouvernants occidentaux veulent avoir une action directe sur le développement du commerce maritime et pousser les navigateurs à aller au-delà des limites habituelles. C'est le nouveau tour de l'Histoire surtout portugaise de la navigation. Les marins veulent des nouvelles méthodes de navigation efficaces pour surmonter des contraintes nouvelles. Ils ne se contentent plus de la trop lente élaboration de méthodes issues de l'empirisme, ils veulent forcer le cours du temps, en associant des savants à une recherche active des solutions aux nouveaux problèmes de navigation.

Très tôt le Portugal s'est intégré dans l'espace commercial maritime européen et singulièrement dans l'espace atlantique. En effet, au Moyen Age entre l'espace maritime

méditerranéen et l'espace des mers nordiques vient s'intercaler à partir du XI^e siècle, un espace atlantique caractérisé par la dominance de deux commerces complémentaires : celui du sel et celui du vin, tous deux produits du Sud très appréciés dans le Nord « *La conjonction entre ces deux commerces s'est opérée dès le XI^e siècle à Châtelaillon, avant même la naissance de la Rochelle. Mais c'est à partir des années 1170-1180 que l'exportation des vins d'Aunis et de Poitou prend tout son essor, lorsque le commerce des draps, du blé, des métaux a suffisamment élevé le pouvoir d'achat des pays nordiques, Flamands et Anglais*⁵¹⁵. »

C'est ce modèle de commerce qui, en s'étendant vers le Sud, va faire rentrer le Portugal dans cette espace atlantique. « *A partir du XII^e siècle le Portugal participa à l'expansion générale du commerce européen et évolua vers une économie de marché. L'ouverture de la voie maritime de l'Occident ouverte par les normands et par les croisés (il s'agit là des passages Nord-Sud initiés dès la première croisade), ainsi que les liens politiques et familiaux de la dynastie bourguignon (ils s'agit de la dynastie qui sera remplacée par celle d'Alvis) avec la France, la Flandre et l'Angleterre y contribuèrent beaucoup. Les Portugais furent ainsi en contact avec les centres commerciaux et financiers et les marchés de l'Europe du Nord-Ouest. Au XIII^e siècle, des colonies de marchands portugais s'établirent à Londres, Dublin, Bordeaux ou Bruges. Il y détenaient le monopole des échanges avec leur pays ; à l'importation, fruits et sel, vins, huile et miel ; à l'exportation, pour l'essentiel, des draperies, avec la prédominance de plus en plus marquée des Anglais.*⁵¹⁶ »

Une seconde intégration s'opérera par le Sud par le fait de l'avancée génoise en Méditerranée occidentale puis en Atlantique. Cette attraction de la Méditerranée Occidentale est très ancienne et reste relativement méconnue. « *La dynamique orientale de la politique méditerranéenne (de Gênes) a sans doute occulté abusivement celle qui existe manifestement en Occident* »⁵¹⁷ C'est en 1137 que l'on remarque plusieurs ententes diplomatiques

⁵¹⁵ Philippe Contamine, Marc Bompaire, Stéphane Lebecq, Jean-Luc Sarrazin. *L'économie médiévale* Armand Colin Paris 2001. p. 188

⁵¹⁶ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal* Fayard Paris 2010. p. 84-85

⁵¹⁷ Georges Jehel. *Les relations entre Gênes et le Maghreb occidental au Moyen Âge, aspects politiques et économiques*, in *L'Occident musulman et l'occident chrétien au Moyen Âge*. Coord. M. Hammam Rabat. Université Mohammed V ; 1995 p. 187 article spécialisé à partir de l'ouvrage de référence *Les Génois en Méditerranée occidentale ébauche d'une stratégie pour un empire*. Centre d'étude d'histoire des sociétés. U. de Picardie. Amiens-Paris 1993

d'envergure avec le Maroc. En effet à cette date les provinces atlantiques de l'Ibérie sont encore musulmanes et ce n'est qu'en 1140 que le Portugal est sorti de ses frontières au delà du Rio Mondego, Lisbonne n'est devenue portugaise qu'en 1147. Cependant cette poussée vers l'Ouest ne se limite pas à l'Ibérie musulmane : « *On remarquera qu'une équipe de charpentiers génois a répondu en 1113 à l'invitation de l'évêque de Compostelle pour y aider à la construction d'une flotte afin de tenir en respect les corsaires de l'Atlantique.* »⁵¹⁸ C'est donc dans l'ordre des choses si les Génois tentent le plusieurs passages par Gibraltar vers l'Europe du Nord ais aussi vers l'Afrique⁵¹⁹ « *C'est au début du dernier quart du XIII^e siècle que se sont produits les premiers passages des navires génois, catalans et majorquins se rendant des ports d'Italie et de la couronne d'Aragon aux Flandres et à l'Angleterre par le détroit de Gibraltar. Il en résulte très vite l'établissement d'une nouvelle ligne de navigation qui a relie les régions les plus développées de l'Occident chrétien. L'ouverture de cette liaison maritime directe est un événement d'une importance majeure pour toute cette partie du monde. Ses conséquences ont été funestes sur les itinéraires terrestres qui convergeaient vers les foires de Champagne... Inversement elle a éveillé le littoral ibérique de l'Atlantique à une vie économique de plus en plus active préparant ainsi la voie à l'expansion portugaise et espagnole vers les nouveaux mondes.* »⁵²⁰.

La place de Lisbonne était, à ce titre, privilégiée. Située dans un vaste estuaire d'entrée facile, cet estuaire prend la forme d'une véritable mer intérieure *la mar de paja*, profonde et très bien abritée, balayée par le flux et le reflux qui permettent un accès facile aux navires jusqu'au centre ville. Cette escale technique parfaite pouvait aussi se doubler d'une escale commerciale importante. Aussi rien que de très normal si des commerçants génois s'y fixèrent. Les Génois qui étaient parfaitement neutres dans les conflits arabo-chrétiens de la *reconquista* gardèrent leurs bonnes relations avec les Portugais lorsqu'ils eurent achevée leur part de *reconquista* dès le XIII^e siècle. Ils gardèrent leur place dans le commerce local lorsque les chrétiens remplacèrent les andalus. Ainsi : « *Dans le commerce méditerranéen le Portugal devint l'intermédiaire entre les pays du Nord de l'Europe et ceux du Midi et du*

⁵¹⁸ G. Jehel. *Ibid.* p 108

⁵¹⁹ Cf. *supra* 2eme Partie, Conclusion. L'explosion géographique de l'espace maritime ... p. 343

⁵²⁰ Bernard Rosenberger *Le contrôle du détroit de Gibraltar aux X-XIII^e siècles.* In *L'Occident musulman ... Op. cit.* p. 15

*Nord de l'Afrique. Aux XIIIe et XIVe siècles, la circulation des monnaies d'or et d'argent de l'Islam compensaient le manque de numéraire local. Tout le commerce portugais de la Méditerranée était cependant entre les mains des marchands italiens établis à Lisbonne et dans d'autres ports*⁵²¹».

Cette ouverture sur l'extérieur la nouvelle dynastie d'Avis l'a consolidée pour des raisons politiques. Mise en place, après un début de guerre civile entre un parti castillan et un parti nationaliste, entre 1383 et 1385. Le parti nationaliste porte au pouvoir le maître d'Avis qui remporte la victoire d'Aljubarota, le 10 Août 1385 contre les Castillans qui avaient envahi le pays. Pour se protéger des ambitions de la Castille, cette dynastie recherche les ententes et les alliances matrimoniales avec l'extérieur. L'alliance anglaise est signée par le traité de Windsor le 9 mai 1386 et concrétisée par une union royale du roi portugais avec une princesse anglaise en 1387. Un peu plus tard, les Portugais renouvèlent leur traditionnelle bonne entente avec la maison de Bourgogne, en 1429, quand l'infante du Portugal épouse Philippe le Bon de Bourgogne. « *Parallèlement les relations commerciales entre les deux états devinrent de plus en plus intenses : elles préparaient l'avenir avec la fondation de la feitoria de Flandres et la présence de marchands et de maîtres de navires flamands à Lisbonne.* »;⁵²²

« *C'est cette dynastie(Avis) qui sauvegarda leur liberté et leur indépendance, qui présida aux découvertes de mondes nouveaux et qui leur donna le plus grand empire commercial de l'univers.* »⁵²³

Ce rappel historique est pour expliquer que le Portugal se trouve particulièrement bien placé pour répondre au besoin d'expansion qui se fait jour dans la deuxième moitié au XV^e siècle en Europe. « *Le manque d'or, la chute de Constantinople et la rupture de la route des épices par l'Asie imposaient la recherche d'autres voies pour le commerce des épices et l'or du Soudan... On a insisté sur les raisons scientifiques. Les progrès que l'Antiquité avait fait faire à la science nautique, perdus par la Chrétienté, étaient transmis par les musulmans de la*

⁵²¹ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op. cit.* p .85

⁵²² Labourdette, *Ibidl.* p 117

⁵²³ Labourdette *Ibid.* p 114

péninsule ibérique. » ⁵²⁴ Or le Portugal est bien intégré dans le mouvement scientifique international et ibérique. Dès 1288 le roi Dinis avait favorisé la fondation d'une université sous le nom de *Estudo Geral das Ciências*.⁵²⁵ Les membres de cette université seront très liés avec les universités de Toulouse, Montpellier, Oxford et bien entendu Salamanque.

Voici donc la situation des Portugais au début de leur aventure mondiale. Celle ci s'est déroulée en quatre temps : tout d'abord, la première phase de 1415 à 1433, la formation de la Mer Atlantique sous l'impulsion d'Henri le Navigateur, puis dans une deuxième phase, ce même Henri entreprend l'exploration des côtes d'Afrique. Après sa mort en 1460, dans une troisième phase de transition, le roi Alphonse V se tournera surtout sur la politique péninsulaire et en ce qui concerne l'avancée africaine, les choses resteront plus ou moins en l'état. Les îles de l'Atlantique et la côte africaine constituent un ensemble où se développent des relations commerciales et dans ce cadre les voyages maritimes atlantiques deviennent une quasi-routine. Enfin la dernière phase se place un peu avant la montée sur le trône de João II, dit aussi Jean le Navigateur. Son père lui délègue, de son vivant, une part de ses pouvoirs et, dès 1474, avant de monter officiellement sur le trône, il est, plus spécialement, délégué aux affaires extérieures, y compris navigation et découvertes. On peut clore cette période par les dates de 1498 : Vasco de Gama aux Indes, de 1500 : Pedro Cabral au Brésil et enfin 1501 : Gaspar Corte Real à Terre Neuve, après Cabot mais ignorant tout des voyages de dernier. Tout ou presque, si on excepte l'Océanie, a été découvert. D'un seul coup, on est passé d'un tiers des terres émergées aux cinq sixième du monde habitable constituant le monde connu.

Nous allons faire une hypothèse articulée en deux propositions. La première proposition est que cette avancée s'est accompagnée d'une avancée technique qui a été produite par une coopération entre professionnels et scientifiques. C'est le premier exemple de recherche appliquée dans l'Histoire. La seconde proposition est que cette démarche n'est rendue possible que parce qu'il y avait une volonté politique pour susciter cette symbiose et surtout pour la financer.

⁵²⁴ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op. cit. L'enseignement et la fondation de l'Université.* p.78-79

⁵²⁵ Labourdette *Ibid* p 139

C'est pourquoi, nous examinerons dans les développements suivants :

1-Tout d'abord un, exposé historique des 4 périodes et de l'enchaînement des étapes du savoir nautique qui l'ont facilité et permis.

2- L'interprétation du déroulement des diverses phases techniques de cette conquête, implique une théorie de la progression de la science nautique. Evidemment ceci suppose une ou même des hypothèses que nous avons admises mais que certains contestent. Il faudra dans une deuxième point exposer les termes du débat scientifique à propos de ces hypothèses..

3-Au terme de ce débat et pour l'éclairer, nous retournerons aux textes et tenterons d'y trouver les indices qui justifient les hypothèses qui permettent de résoudre les problèmes posés par le développement technique nautique durant cette période.

3-3.1 La conquête de l'Afrique, son déroulement, ses motivations.

A propos des motivations chez Henri le navigateur il y a deux thèses qui s'affrontent chez les historiens : une qui voit dans l'action de l'Infant une motivation mystico- religieuse par le désir de reprendre la croisade et l'autre qui y voit des raisons plus matérielles de recherche de l'or. Michel Vergé-Franceschi propose une synthèse⁵²⁶ comme quoi les motifs premiers sont dans un premier temps la croisade en Afrique du Nord, puis dans un second temps (à partir de 1441) la recherche d'une jonction avec le Prêtre Jean pour tourner par le sud les pays musulmans, toujours dans l'optique d'une croisade.

Cependant le Portugal étant un petit pays et les expéditions coûtant cher, L'Infant aurait été contraint à partir de 1443 de faire fructifier ce domaine nouvellement découvert. La découverte doit nourrir la découverte. Ceci expliquerait la mise en exploitation des îles de l'Atlantique, l'exploitation des nouveaux territoires, pêche aux phoques au Rio de Oro et

⁵²⁶ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur. Un découvreur au XV^e siècle*. Edition du Félin. Paris, 1998. Partie 2, chap. 1, *Les causes de l'expansion portugaise*, p. 121 à 157.

Arguin recherche de l'or à Arguin et commerce des esclaves en Guinée. En ce qui concerne les motivations de Jean II, elles apparaissent uniquement économico-politiques⁵²⁷ ; il vise un Portugal enrichi par le commerce, ouvert sur l'Europe plutôt que concentré sur l'Ibérie. Il voit dans cette posture une stratégie consacrant une garantie d'indépendance vis à vis de l'encombrant voisin, et peut être aussi, mais là les avis sont plus partagés, le moyen de réaliser sur ce nouveau terrain une synthèse entre des deux composantes de la société portugaise dont il cherche le support, les nobles et la bourgeoisie marchande.

Ces motivations ne nous concernent qu'assez peu dans la mesure où notre souci principal doit être de tenter de savoir comment les Portugais vont régler leurs problèmes de navigation et pas nécessairement de répondre à la question de savoir pourquoi ils naviguent. Néanmoins dans ce débat, les intervenants mettent tous en exergue le fait qu'il y a bien une volonté des princes de poursuivre cette marche en avant ce qui abonde dans le sens de notre hypothèse de base : c'est la volonté du Pouvoir qui induit la recherche scientifique. Cette progression têtue s'est faite de 1415 à 1498, elle connaît donc les phases suivantes.

A La première période Henri le navigateur. De 1415 à 1433

Henri le Navigateur est le frère du roi⁵²⁸, c'est un chevalier et, semble-t-il, son idée fixe est la croisade. Il vit peut être dans un certain passé, mais il a la faculté de se projeter dans l'avenir ou du moins d'aménager ses idéaux aux réalités nouvelles. C'est ce que l'on pense, on ne sait que peu de choses de ses démarches intérieures qu'il ne livre pas au premier venu. Tout son cheminement intérieur supposé est en fait déduit de ses actions et par les faits. La croisade, il la voit à sa porte, au Maroc, et ça va être la grande affaire de sa vie avec des répercussions lointaines entraînées par une stratégie savante et qui voyait loin. En fait de persévérance et de plan à long terme, il devra faire face à des péripéties très diverses, s'éloignant parfois de fort loin de l'idée directrice (supposée), néanmoins, il sait réagir avec promptitude avec les changements subits de la conjoncture et n'oublie jamais sa progression en avant.

⁵²⁷ Jean-François Labourdette, *Histoire du Portugal*. Fayard, Paris 2010. p. 148-149

⁵²⁸ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur, un découvreur au XV^e siècle*. Paris 1998

Il participe à la prise de Ceuta en 1415 qui procède, en fait, de cette idée de croisade, mettre un pied définitif en terre africaine, pour établir une tête de pont permanente, permettant le passage aisé de troupes. Il devient Gouverneur de Ceuta en 1416 et se fixe à Sagres, à la même époque. Ceuta est vivement attaqué par les forces marocaines en 1419. « *Après avoir défendu la place, dom Henrique ne cessa d'envoyer contre les infidèles des navires de guerre qui firent de grandes destructions sur les côtes de deçà et de delà.* » Il ambitionne alors, d'après Zurara « *d'assurer la sécurité de toutes les terres de l'Espagne chrétienne situées près de la mer et même de la plupart des marchands qui trafiquaient du Levant vers le Ponant.* » Pour cela, prenant conscience qu'il lui faudra des moyens financiers conséquents qu'il n'a pas encore en 1419, il sollicite et obtient de son père une charge considérable ». ⁵²⁹

Il est donc nommé gouverneur et administrateur de l'Ordre du Christ, richissime congrégation issue de l'ordre des Templiers. « *Par ses fonctions, dom Henrique se trouve officiellement chargé de la présence portugaise en Afrique ou dans les îles de l'archipel qu'il faut soit convertir, soit évangéliser, d'où sa volonté d'imposer la présence portugaise outre-mer, à Ceuta, en Afrique comme aux Canaries ou aux Açores.* » ⁵³⁰ Les Canaries sont un enjeu entre marins portugais, italiens et espagnols qui fréquentent cet archipel. Ces terres nouvelles (découvertes en 1311) sont déjà mentionnées sur les portulans dès 1426. De retour de ces îles, les navigateurs aperçoivent souvent Madère où s'installent spontanément deux colons qui entreprennent le défrichement. Les îles sont données à dom Henrique en 1433. ⁵³¹ Pour ne pas renouveler le précédent fâcheux des Canaries ⁵³² et éviter toute contestation possible sur Madère en prenant les Espagnols de vitesse, en 1441, l'Infant monte une expédition qui atterrit à Porto Santo où une première colonisation est tentée. En ce qui concerne les Açores, la date de la découverte est difficile à préciser. Le portulan de Gabriel de Vallsecha en 1439 en

⁵²⁹ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur, un découvreur au XV^e siècle*. Paris 1998. p. 104-105

⁵³⁰ Michel Vergé-Franceschi, *Ibid....* p. 106

⁵³¹ Michel Vergé-Franceschi, *Ibid....* p. 109-110

⁵³² Les Canaries ont été attribuées à l'Espagne par le pape. Bien que les Portugais arguent du fait de la présence répétée et fréquente de leurs navigateurs, l'Espagne fait valoir qu'au point de vue ecclésiastique les Canaries, connues de l'antiquité, faisaient partie alors de la province romaine de Maurétanie tingitane, partie alors du diocèse de Séville.

attribue la découverte en 1427 à Diogo de Silves, mais il existe aussi d'autres versions. C'est un certain Vehlo qui, là aussi, entreprend une installation de son propre chef.⁵³³

« *La découverte du littoral africain aurait commencé sous l'autorité de dom Henrique vers 1422.* » Il y a une volonté de l'infant de pousser plus loin que Bojador qui semble être le terminus de la navigation à cette époque. Zurara affirme que dom Henrique « *après la prise de Ceuta ne cessa d'armer des navires contre les infidèles ... parce qu'il avait le désir de savoir quelle terre s'étendait au delà des Canaries et d'un cap appelé du Bojador* ». ⁵³⁴ Cette volonté est aussi rendue évidente par la préparation scientifique qui l'accompagne, « *Car, vers 1420, Henri le navigateur paraît embaucher Jaffuda Cresques qui devient maître Jaime Ribes « homme très versé dans l'art de naviguer », qui faisait des cartes et des instruments. De deux sources indépendantes Duarte Pacheco Pereira et João de Barros, nous savons en effet qu'est venu au Portugal un cartographe majorquin, et il s'agit très vraisemblablement de Jaffuda, connu pour avoir collaboré au fameux atlas catalan paternel de 1375. Duarte Pacheco écrit « il enseigna l'art de dessiner (les cartes de navigation) à ceux de qui l'on appris à ceux qui vivent à notre époque.* » ⁵³⁵ L'Infant est donc à l'origine de la fameuse école portugaise de portulans.

Quelles que soient ses motivations profondes : désir de trouver de nouveaux territoires à ouvrir au commerce- (il a depuis 1433, le quint des bénéfices du commerce)⁵³⁶ ou désir de prendre le Maure à revers⁵³⁷ il fait montre, dans sa tentative d'aller plus au Sud, d'une rare obstination. Il envoie sur la côte africaine 15 expéditions, selon Zurara, et 12, selon de Barros, avant d'avoir un résultat.⁵³⁸ Tout l'effort d'Henri va porter sur une progression par mer et, dans un premier temps, sur le cap Bojador qui se présente à cette époque comme la limite Sud

⁵³³ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid....* p. 115

⁵³⁴ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid....* p. 221

⁵³⁵ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur... Op.cit.* p. 217

⁵³⁶ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid....* p. 137

⁵³⁷ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid....* p. 222

⁵³⁸ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid....* p. 225

de la navigation en Atlantique. Les navigateurs évitent de passer ce cap, peu rassurés, semble-t-il, sur les conditions d'un retour possible, mais, aussi, manquant de motivations commerciales ; la côte n'est qu'un désert. Henri y envoie successivement plusieurs navires, mais, chaque fois, les capitaines reviennent avant d'avoir franchi le cap. Ils trouvent toujours une occasion, avant d'être arrivés dans ces parages, de faire une opération commerciale fructueuse qui leur sert de prétexte pour éviter de doubler le cap. Comprenant bien que le cap ne sera pas franchi spontanément, Henri missionne alors Gil Eanes avec l'ordre express, qu'il lui donne personnellement, de franchir ce cap. Gil Eanes échoue, au premier voyage, en 1433 mais réussit, la fois suivante, en 1434. C'est un tournant, une avancée technique et un déclic psychologique. Dès l'année suivante, il arrangerait une troisième expédition avec un bateau un peu plus gros menée par Baldaia et Eanes. Ces derniers entament une progression vers le Sud, ils observent des traces humaines et de chameaux. Ceci conforte la résolution de l'Infant qui organise, en conséquence, une quatrième expédition, l'année suivante, en 1435. Cette fois, ils atteignent le Rio do Ouro, c'est-à-dire le bras de mer protégé par la péninsule de Dakhla, véritable mer intérieure qu'ils vont prendre, apparemment, pour l'estuaire d'une rivière inexistante. C'est une escale intéressante et rentable de par la présence de nombreux phoques dont les peaux sont très prisées en Europe et, de plus, quelques captifs sont saisis et vendus à Lagos.⁵³⁹

Cette marche en avant systématique connaît, alors, un coup d'arrêt L'intérêt et les finances de l'Infant sont détournées par l'affaire de Tanger, destinée à l'origine à consolider la position de Ceuta. Cette expédition se révèle être un désastre sanglant et définitif ; l'Infant du Portugal dom Fernando est fait prisonnier, il mourra en prison, faute de pouvoir être racheté. Cette malheureuse affaire sera suivie de deux années de troubles de 1438 à 1441⁵⁴⁰.

B La deuxième période d'Henri le navigateur de 1441 à 1460.

Les affaires du royaume s'étant calmées, Henri reprend sa marche vers le Sud. Il envoie, en 1441, Antão Gonçalves et Nuno Tristão au Rio de Ouro pour charger des peaux et de l'huile

⁵³⁹ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid.*.... p. 226-227

⁵⁴⁰ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid.*.... p. 229-241

de phoque. La chasse achevée, ils poussent vers le Sud pour ramener des esclaves et passent le cap Branco (cap blanc), 21° de latitude Nord. Les récits d'un interprète lui font comprendre le mécanisme des caravanes du Soudan emmenant le sel et ramenant de l'or. Désormais la conquête doit nourrir la conquête, le Rio de Ouro se révélant une bonne affaire, il réitère à Arguin, en 1445, encore plus au Sud où il fonde un établissement. Les colons d'Arguin vont construire un fortin et l'amorce d'une factorerie à Ouadane, escale des caravanes, à quelque distance d'Arguin, où les ruines de leur établissement sont toujours visibles. Un petit piquage du trafic caravanier est donc établi sur la route des caravanes et on note les premières entrées d'or au Portugal, très modestes, certes, mais qui permettront cependant à ce pays de battre une monnaie d'or pour la première fois de son existence. Le premier cruzado d'or est frappé en 1452. La pérennité de l'établissement d'Arguin, désormais autosuffisant, est assurée, on est donc maintenant entré dans la deuxième phase.

Considérant qu'il risque de ne pouvoir financer ces expéditions, l'Infant approche le pape et le roi. Il reçoit l'appui du premier sous forme d'indulgences et le soutien du second qui confirme le quint sur le commerce d'Afrique et octroie en plus le monopole de la navigation. En 1433, outre sa nomination comme gouverneur de l'ordre du Christ et des bénéfices qui y sont rattachés, son frère le roi Duarte lui donne en dotation Madère. Vient donc l'idée de mettre en exploitation les îles de Madère presque vides et des Açores qui sont inhabitées et données également à l'Infant. On en restera là jusqu'en 1460, date de sa mort. La situation restera ainsi en l'état pendant une vingtaine d'années.

Dans un premier temps, en vue d'une colonisation et pour éviter une mainmise des Espagnols, comme cela se passa aux Canaries, une mise en exploitation les îles de Madère presque vides est décidée en 1419. C'est donc le début de la colonisation de ces deux archipels, puisque l'opération va se renouveler aux Açores qui sont inhabitées, en 1439, qui va consolider l'ensemble du projet. Vers le Sud, le Rio de Ouro et Arguin entretiennent un commerce sur lequel il touche le quint basé sur les peaux de phoque, les esclaves et l'or, (les premiers esclaves noirs ont été vendus à Lisbonne en 1445)⁵⁴¹. Il peut désormais se consacrer à l'exploration approfondie du pays des noirs c'est à dire le Sénégal, la Gambie et la Casamance. De 1445 à 1455 il lance plusieurs expéditions vers le Sud en particulier avec le

⁵⁴¹ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur... Op.cit.* p. 242-264

pilote Diogo Gomes⁵⁴² qui atteint la latitude 6°,5 Nord, c'est le point d'inflexion de la côte africaine vers l'Est. Il s'attache les services du vénitien, Ca' da Mosto en 1455 et du génois, Usodimare. Jusqu'en 1460, date de la mort de l'Infant,⁵⁴³ ces deux explorateurs entreprennent une exploration approfondie du Sénégal Jusqu'à la Casamance.

C- L'époque intermédiaire d'Alphonse V, de 1460 à 1481

A sa mort en 1460, on voit d'une part qu'Henri n'est pas arrivé véritablement au bout de son projet, mettre le Maroc financièrement à genoux pour continuer la *reconquista* sur le sol maghrébin. En revanche dans cette tentative d'exploration systématique coûteuse, il est arrivé à constituer un espace maritime, commercialement valable, qui autofinance plus ou moins son entreprise. On peut alors dresser un état des lieux à ce moment, en 1460, date de la mort de L'Infant. Depuis 1415, les choses ont terriblement bougé. La Mer Atlantique est maintenant un espace considérable, tant vers le Sud, car on a atteint les côtes de la Casamance que vers l'Ouest, où les îles du large comprennent. Madère et les Açores. Vers le Sud, les îles du Cap Vert sont connues, mais n'offrent aucun intérêt particulier ; elles sont inhabitées et manquent terriblement d'eau. Il en est de même des Canaries qui, de plus, sont devenues espagnoles.

Madère en est déjà à sa deuxième génération de colons, elle est dotée d'un terrain volcanique très fertile et l'eau est abondante, Elle est dès le départ vouée à la production du blé qui y donne d'excellents résultats. A la mort de l'Infant, elle en produit et en exporte 3000 à 3500 tonnes par an, ce qui n'est pas négligeable pour le Portugal qui en manque terriblement. Quant aux Açores, elles en sont à leur début, et se montrent excellentes, avec leur climat doux et humide, pour une agriculture de type européen, à base d'élevage et de cultures céréalières.⁵⁴⁴ Plus au Sud, Arguin continue son exploitation du milieu marin et son commerce modeste,

⁵⁴² Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid*.... p. 243 et Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p.147

⁵⁴³ Michel Vergé-Franceschi, , *Ibid*.... p. 311-349

⁵⁴⁴ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* P144-147

certes, mais qui demeure la seule source d'or du royaume et permet à la *casa de moeda* de frapper son premier *cruzado d'or* dès 1457⁵⁴⁵.

Entretemps, l'Infant avait signé un contrat avec un certain Diogo de Teive, pour l'installation d'un moulin à sucre, ce qui va donner à l'île un nouvel élan. L'introduction de la canne à sucre à Madère est un trait de génie. L'île s'y montre remarquable, et du coup va se spécialiser. Cependant, il y a un gros problème de main-d'œuvre à Madère, dont la population totale n'excède pas alors, les 2000 personnes.⁵⁴⁶ Une conséquence de ce succès, c'est de remettre dans l'actualité les côtes africaines de Guinée, en revivifiant la traite des esclaves. Cette nouvelle donne ouvre la période coloniale du Portugal, caractérisée par une exploitation directe de plantations de sucre, alimentée par une traite des noirs qui verra son apogée avec l'épisode brésilien, encore à venir. « *Entre 1441 et 1448 au moins un millier d'esclaves furent importés au Portugal (capturés ou en majorité achetés) aux marchands musulmans. A partir de 1450 ce fut une moyenne annuelle de » 700 à 800 esclaves. La côte de Guinée se révéla le plus fructueux marché jusque là atteint par les portugais »* ⁵⁴⁷

Henri meurt en 1460. Son projet est mort avec lui, il est sans héritier direct, puisque célibataire. Son domaine maritime, néanmoins ne me disparaît pas avec lui. Il continue de fonctionner en routine « *La mort de .D. Henrique freina l'expansion. Faute de ressources et d'intérêt, elle se fit à un rythme plus lent. La politique de D. Alfonso V était remplie par ses projets castillans et marocains et son frère D. Fernando, héritier du navigateur, ne songeait qu'à faire fructifier ses donations. Pourtant au cours des années qui vont jusqu'en 1474 le golfe de Guinée fut prospecté et un premier contact avec la Mina fut établi.* ⁵⁴⁸ ». Le domaine maritime hérité de l'Infant par dom Fernando était désormais économiquement plus que viable : rentable. Le Roi se décharge donc du problème en concédant le monopole du commerce outre mer à un marchand, Fernão Gomes, contre 200.000 escudos et l'obligation d'explorer 100 lieues de côtes africaines par an. L'esprit initial d'exploration et de conquête

⁵⁴⁵ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 148

⁵⁴⁶ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* P147-148

⁵⁴⁷ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 148

⁵⁴⁸ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 148

de l'Infant n'est donc pas entièrement perdu de vue dans cet arrangement. Diego Gomes passe ce qu'il pense être l'équateur et c'est lui qui atteint la Mina dans ses explorations de 1455 à 1462 relatées par Martin Behaim qui recueillera, bien plus tard, ses confidences, lors de son séjour au Portugal pour y entreprendre une mission scientifique avec Diogo Cão entre 1482 et 1485. C'est à cette dernière époque, soit près de 20 ans après, qu'il rédige le *De prima inventione Guineae*, ouvrage dont il sera beaucoup question dans le point suivant.

D- La marche vers le Sud à allure forcée. Jean II ou le Navigateur, à partir de 1481.

João, le futur Jean II, ne montera sur le trône qu'à partir de 1485, mais il a déjà reçu en délégation, certains pouvoirs pour mieux se préparer à sa tâche future, dès 1481, dont le soin de s'occuper des questions d'outre-mer. L'inventaire de la situation (tel qu'établi au point précédent) laisse dans ce domaine entrevoir certaines espérances appuyées par le succès qui s'affirme du sucre à Madère. Ce succès est consolidé par le fait que le Portugal, puissance maritime neuve, arrivant avec des produits nouveaux, sait, tout de suite, se ménager des débouchés nouveaux. Les commerçants portugais, déjà bien implantés dans les ports anglais et des Flandres parvinrent à court-circuiter les Italiens⁵⁴⁹, et plus précisément, les Vénitiens, maîtres, jusqu'alors de ce marché avec leur production coloniale de Crête. Ces faits s'imposent, au fur et à mesure, dans l'esprit du futur roi de Portugal qui en tirera les éléments d'une doctrine du développement et aussi des bases de sa politique future. Mais ce n'est donc plus pour la croisade, comme but ultime, qu'il avance, comme dans le cas de son prédécesseur, Henri, mais pour l'or et le épices, autrement dit les richesses et la possession de nouveaux territoires, instruments de cohésion politique et d'aisance financière, outils de renforcement du royaume. Bien entendu, comme c'était le cas avec Henri le Navigateur, nous n'avons par reçu cela de la bouche de Jean le Navigateur, mais cela se déduit de ses actes. Il n'est pas sûr que sa doctrine se soit faite d'un seul coup, en tous cas, on peut dire qu'elle s'est faite « en marchant », en reconnaissant les succès de ses œuvres pour les continuer.

⁵⁴⁹ Les Italiens dominent le marché de Bruges. Mais ce port est en perte de vitesse. Les Anglais restreignent l'envoi de laine brute pour exporter des produits de leur *cottage industry*. Refoulés par les fabricants de Bruges (Bourguignonne), ils se rabattent sur Anvers (hollandaise) où les suivent les Portugais.

Il voit, semble-t-il, dans cette recherche de territoires nouveaux la continuation de la synthèse politique entre classe marchande et classe noble, qui caractérisait, pour les raisons que nous avons vues plus haut, l'action de la dynastie d'Aviz. La grande idée, c'est la fondation, en 1482, d'une forteresse importée, en pièces détachées du Portugal, São Jorge de la Mina. Située tout près des sources de l'or du Soudan, elle devient un vrai succès pour la captation du trafic de ce métal qui changera complètement de dimension par rapport à ce qui se faisait à Arguin. Il abandonne toute idée de *reconquista* ou de croisade et donc toute velléité d'envahir le Maroc. Au contraire, il signe des accords de commerce avec ce pays. Cette décision se révèle être très habile⁵⁵⁰. Les populations de Guinée sont, par tradition, accoutumées aux produits de l'artisanat marocain qui leur parvenaient auparavant par les caravanes transsahariennes. Or, par ces nouveaux accords, les Portugais se fournissent, désormais au Maroc, de pacotille, tissus, dinanderie et chevaux qu'ils échangent conjointement avec des produits du Nord de l'Europe contre l'or et des épices de Guinée⁵⁵¹. Ils vont se procurer, également en Guinée, des esclaves qu'ils débarquent à Madère où ils rechargent du sucre pour le Nord. Ils mettent déjà au point le voyage colonial triangulaire. Les profits sont conséquents.

En 1480, le roi du Portugal accepte les arrangements avec l'Espagne au sujet des frontières et commence à considérer la possibilité d'aller aux Indes en contournant l'Afrique. Tout ceci est préparé avec méthode et une suite remarquable dans les idées. Les explorations continuent et l'équateur est passé des 1475. Voyages au Congo, dès 1480, par d'Aveiro. En 1484 et 1486 deux nouveaux voyages sont organisés au Congo et en Angola par Diogo auxquels participe Martin Behaim, en tant que géographe ; c'est vraisemblablement là que la méridienne de soleil a été mise au point. Il ouvre des discussions sur ses projets avec le pape en 1485. Il envoie Piro da Covilha vers les Indes, par voie terrestre. Celui-ci a le temps de lui faire passer son rapport avant d'être bloqué définitivement en Ethiopie par le Négus qui le retient auprès de lui.

⁵⁵⁰ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 148-149

⁵⁵¹ Le Golfe de Guinée produit des épices de deuxième qualité, la malaguette et le poivre du Bénin, mais qui se vendent très bien sur un marché, désormais élargi.

Tout est, désormais, en place aller jusqu'au bout de l'Afrique⁵⁵² ce qui est fait par Bartolomeu Diaz en 1488. Jean II charge Estevão de Gama le père de Vasco de Gama de préparer le passage. Il y faudra plus de 10 ans, car le roi et le père de Vasco de Gama meurent tous les deux. Il reviendra au roi Manuel et à Vasco de Gama d'avoir l'honneur de finaliser l'affaire. Mais l'offensive est préparée depuis plus de 10 ans. Le roi Jean II, avant sa mort a approché diplomatiquement le Pape. Il fait valoir l'importance de son projet d'évangélisation et se fait accorder par ce dernier des avantages politiques et en profite pour renégocier, directement avec les parties concernées, les accords précédents avec l'Espagne sur les limites des zones de navigation réservées. Ce sont les accords de Tordesillas⁵⁵³, conclus en 1494.

3-3.2 La théorie nautique.

Après ce rappel du déroulement des événements historiques il nous faut maintenant examiner les aspects purement nautiques de cette aventure et les implications techniques que vont entraîner les problèmes que ces voyages vont soulever. Tout d'abord, il va nous falloir fixer dans un point **A**, quelques définitions et en particulier définir les instruments d'observation dont il va être sans arrêt question dans le débat. Nous exposerons ensuite la théorie nautique de cette navigation nouvelle, tant dans l'hémisphère Nord que Sud, dans les points **B et C**. Cette théorie nautique expose des solutions qui supposent plusieurs hypothèses qui ne sont pas admises par tous. Il y a donc matière à débat ce qui fera l'objet du point **D**. Il y a en fait deux sous débats : un plus important en ce qui concerne la navigation au Nord et un second, mineur, en ce qui concerne celle dans l'hémisphère Sud. Ils ne seront pas distingués, car les arguments s'entremêlent et certains se rapportent aux deux problèmes

⁵⁵² Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 150-151

⁵⁵³ Jean-François Labourdette. *Histoire du Portugal. Op.cit.* p. 151-152

A- La mise au point des instruments de mesure Astrolabe et quadrant⁵⁵⁴.

La vraie nouveauté : ce sont les instruments utilisés. On ne peut utiliser les bois arabes, la polaire est trop haute dans l'Atlantique Nord. Il est important de se rappeler que, contrairement à ce qui est communément écrit çà et là, l'astrolabe est un instrument d'observatoire. Cet instrument que nous avons précédemment cité au chapitre consacré à l'étude de l'astronomie arabe est construit pour une latitude déterminée, celle de l'observatoire où il est utilisé. Il ne peut être déplacé. Ce n'est donc pas un instrument nautique. Cependant, il existe une forme dérivé très simplifiée de l'astrolabe, mais qui n'en assure pas toutes les fonctions, c'est **l'astrolabe nautique**, d'où cette confusion de langage largement répandue. Mais surtout, pour effectuer des mesures astronomiques à bord, il va falloir inventer un nouvel instrument spécifique, **le quadrant**.

Pour définir l'astrolabe expliquons les problèmes pratiques qu'il sert à résoudre. Nous sommes ici obligés de prendre un exemple très actuel. Le marin, qui, de nos jours, fait un point par trois étoiles, n'a que deux moments privilégiés dans la journée pour pouvoir procéder. Le matin à la pointe du jour, et le soir au crépuscule, en effet, il doit pouvoir distinguer nettement dans la lunette de son sextant, et l'étoile et l'horizon. Ce dernier doit être encore très distinct si on veut en faire une mesure précise. (Rappelons que la mesure se fait au dixième de minute d'arc). Au matin, peu de problèmes, l'observateur a eu toute la nuit pour sélectionner les étoiles qu'il va observer. Evidemment, quand l'horizon commence à apparaître clairement, les étoiles palissent dans le ciel. Elles sont à la limite d'être vues à l'œil nu, mais l'observateur qui sait où les chercher dans le ciel, les distingue encore parfaitement dans sa lunette et fait son observation. Ce temps d'observation est très court. Mais c'est le soir que la difficulté est la plus grande ; on ne sait pas où scruter le ciel pour y apercevoir une étoile, lorsque les plus brillantes apparaissent, il est trop tard : l'horizon est noir. Il faut donc savoir, à l'avance, où trouver l'étoile, c'est-à-dire connaître sa hauteur et son azimut approximatifs. Alors on peut caler le sextant dans l'azimut et à la hauteur pré-calculés et généralement on aperçoit cette étoile, bien brillante dans la lunette. Il existe donc un instrument, le navisphère

⁵⁵⁴ Sur ces instruments et voir la communication de M. Poulle. *Les origines de la navigation astronomique aux XIV^e et XV^e siècles*. p. 111-116 avec illustrations in *Le navire et l'économie maritime du XV^e aux XVIII^e siècles*. Travaux du Colloque d'histoire maritime tenu le 17 mai 1956 à l'Académie de Marine, présenté par Michel Mollat. Ed. SEVPEN Paris 1957

qui va aider le marin pour préparer son point du soir. Il s'agit d'un globe céleste sur lequel sont portées les principales étoiles. Il suffit de le mettre en perspective pour l'heure et le lieu estimé de l'observation. Il suffit pour cela d'incliner la sphère sur son support, selon la latitude estimée du lieu, et de faire tourner la sphère, pour la mettre exactement dans la perspective selon laquelle on va voir le ciel, selon l'angle horaire du point vernal donné en temps local⁵⁵⁵. La sphère, ainsi calée va nous montrer la moitié du ciel visible à cet instant précis et nous lisons facilement sur le support, la hauteur et l'azimut de l'étoile. Muni de ces renseignements, il est facile de régler le sextant sur cette hauteur et de diriger la lunette dans la direction donnée (l'azimut) pour voir apparaître l'étoile dans la lunette.

Cet appareil, à l'ancienne, est efficace mais peu pratique ; il est peu commode de faire tenir cet instrument, pittoresque mais instable, sur une table des cartes pour peu que le navire bouge un peu. Les américains, toujours pratiques, et peu inhibés par la tradition, ont transformé ce navisphère en *starfinder*. Il a le même usage mais est complètement plat, donc bien plus pratique sur une passerelle. Le globe est remplacé par sa représentation plane : une carte du ciel et le demi-globe observable est remplacé par un transparent, en plastique, où apparaissent méridiens terrestres et almicantrats (ce sont les cercles qui réunissent les points de même hauteur. Evidemment, il faudrait en principe, autant de transparents que de points de vue, donc au minimum un par latitude possible d'observation. On se limite à des transparents en nombre limités pour des latitudes rondes de 10 en 10 degrés. Evidemment dans ces conditions, les hauteurs et les azimuts, lus sur le transparent, seront approximatifs, mais l'approximation est suffisante dans la pratique pour retrouver l'astre. Il suffira de balayer le ciel avec la lunette autour de sa hauteur et son azimut approximatifs.

On peut donc voir dans ces deux instruments les descendants directs des instruments bien connus des astronomes médiévaux: la **sphère armillaire** (Le navisphère) et l'**astrolabe** (le *starfinder*). L'astrolabe, à l'instar du *starfinder*, est basé sur une carte du ciel gravée sur une plaque de métal circulaire, au dessus de cette carte, on installe un cercle d'égales dimensions muni d'une fenêtre ronde excentrée qui figure la portion de ciel visible au-dessus de l'horizon

⁵⁵⁵ Cette valeur est AHsg, obtenue après avoir consulté les éphémérides nautiques qui donnent cette valeur, par simple lecture, à partir de la longitude estimée du lieu et l'heure au même moment en au méridien d'origine, ce qui est facilement obtenu par la lecture du chronomètre qui est la référence, conservée à bord, à cette heure GMT.

(et qui joue donc le rôle du transparent). Bien évidemment, l'excentrement de cette fenêtre est fonction de la latitude du lieu d'observation. En ce qui concerne la rotation à faire subir au cercle figurant l'horizon, l'astronome médiéval ne peut recourir à l'angle horaire du point vernal, il en connaît peut être le principe mais il n'a pas encore de chronomètre pour déterminer sa longitude. Il va se tirer de ce mauvais pas en prenant le problème à l'envers. C'est à partir de la hauteur observée d'un astre qu'il va mettre l'instrument en perspective pour le moment de l'observation. C'est pourquoi, on doit être également capable de prendre la hauteur d'une étoile avec ce même instrument. En fait l'astrolabe traduit en termes de navigation moderne, c'est un *starfinder* avec un sextant incorporé.

A partir de là, l'astronome peut désormais placer la position des astres errants : les planètes, car il connaît la maison c'est-à-dire, la constellation qui abrite cette planète à cet instant précis. C'est l'usage le plus fréquent de cet instrument, l'astrologie, mais pas le seul. En effet, à cette époque, entre astronomie et astrologie, la frontière reste ténue, sinon inexistante⁵⁵⁶. L'important est que l'instrument, étant plat, on peut toujours y fixer une alidade, un instrument pour viser un astre, et une couronne graduée, permettant de prendre, non pas la hauteur, mais son complément à 90 degrés, la distance zénithale. La référence de l'astrolabe n'est pas l'horizon qui est inexploitable, à terre, en raison des accidents de terrain qui déforment la ligne d'horizon. C'est la verticale qui est donnée par l'instrument lui-même, suspendu par un anneau et donc s'orientant selon la verticale, de lui-même, par la seule pesanteur. Les principes de construction et son fonctionnement font comprendre pourquoi cet instrument n'est absolument pas un instrument de navigation. D'abord, par construction : l'excentricité de la couronne mobile doit être calculée et fabriquée une fois pour toutes, pour une latitude donnée, celle de l'observatoire où il sera utilisé. En deuxième lieu, pour la mesure des hauteurs, l'instrument exige d'être suspendu à une potence fixe, le tenir à bout de bras n'est pas assez précis. Le moindre mouvement fait penduler l'instrument. Pour la même raison, il faudrait des doigts de fée pour régler l'alidade sans faire bouger l'ensemble. Inutile de dire que son utilisation à bord est impensable pour cette seule nécessité d'une stabilité absolue.

⁵⁵⁶Rappelons que les astrologues modernes utilisent l'angle horaire du point vernal et les éphémérides pour établir des thèmes astraux qui sont des états du ciel très exacts au moment de la naissance du sujet dont on étudie le thème, calculés rétrospectivement.

Astrolabe nautique et quadrant, arbalestrille.

Mais notons que l'astrolabe est un instrument composite constitué en fait de deux instruments joints par commodité. Rien n'empêche d'avoir deux instruments distincts pour chacun de ces deux usages, une carte du ciel et son cercle d'horizon d'une part et un instrument pour prendre la hauteur de l'astre d'autre part, d'où, les instruments simplifiés dits nautiques.

L'astrolabe nautique ne garde que la fonction mesure de la hauteur, mais il manque évidemment la partie principale du vrai astrolabe, sa carte du ciel et son cercle d'horizon mobile, il garde par contre son système de visée par alidade à pinnule. Il reste difficile voire impossible à utiliser à bord, mais on le conserve pour vérifications fines à terre. Son système d'alidade est en effet réversible : de nuit, on peut viser une étoile directement à travers l'œilleton, en revanche, cette observation directe n'est pas possible dans le cas du soleil ; on procède alors, à l'envers, en faisant correspondre l'ombre du fil de la pinnule sur le trou de l'œilleton...

Le quadrant nautique est un instrument dérivé du quadrant astronomique décrit par Emmanuel Poulle⁵⁵⁷, mais il est aussi simplifié et ne sert qu'à prendre la hauteur de l'astre. On se sert d'un quart de cercle gradué, en fait un demi-rapporteur d'écolier moderne. On vise directement l'étoile selon un des côtés droits du quadrant, un fil à plomb est fixé au centre du cercle et marque la verticale. On lit la hauteur de l'astre visé à l'intersection du fil à plomb et de la graduation sur le secteur circulaire. En fait, on prend, non pas la hauteur, mais la distance zénithale, qui est le complément de cette hauteur. En vérité, on a le choix, en théorie on peut lire directement, soit la hauteur, soit la distance zénithale, cela ne dépend que du sens que l'on a choisi pour graduer le secteur de 0 à 90 degrés. La précision de l'instrument est médiocre et surtout variable selon les mouvements du navire qui influent sur les mouvements du fil à plomb et donc sur la précision de la lecture : par expérience de 0,5 à 3 degrés, selon que le temps est calme ou la mer agitée.

⁵⁵⁷ Cf *supra*, note 37, p. 463

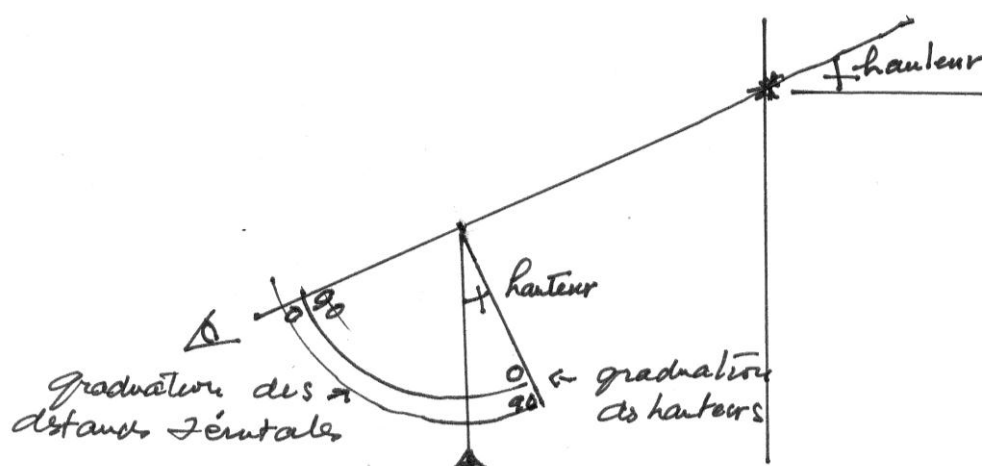


Fig 11

Le quadrant

On aligne le bord du quadrant sur l'étoile polaire. La hauteur est l'angle que fait cet alignement avec l'horizontale. Le fil à plomb donne deux valeurs pour cet angle, selon que l'on lit sur la graduation des hauteurs de droite à gauche, ou celle des distances zénithales de gauche à droite.

Une fois établi le principe de la mesure, reste à établir le détail de la méthode. Il est largement exposé dans le journal de bord de Christophe Colomb. Il ne l'explique pas en détail, (son journal est un rapport de voyage et pas un précis de science nautique), mais il y parle de ses observations et des résultats de ses calculs de telle sorte qu'on peut facilement en déduire la méthode d'usage. La validation, par les résultats donnés, nous l'avons déjà signalé, est cependant décevante dans ce cas très particulier

L'arbalestrille est un *bâton de Jacob* que l'on utilise à l'envers. L'instrument qui servait à mesurer les hauteurs de soleil est, depuis la plus haute antiquité, le **gnomon**, mais il nécessite un sol horizontal pour la mesure de l'ombre. Le quadrant est inexploitable car on ne peut viser le soleil directement. Le **bâton de Jacob** est un bois long sur lequel coulisse une traverse de bois placée en croix, en visant un astre avec ce bâton, on règle la traverse sur la hauteur de l'astre au dessus de l'horizon. Des graduations sur le bâton, préalablement étalonné, donnent

directement la hauteur de l'astre visé, en fonction de la longueur du bois utilisé⁵⁵⁸. Pour utiliser le soleil, qu'on ne peut viser directement en raison de son éclat insoutenable, on tourne le dos à l'astre, on vise l'horizon et on observe la longueur de l'ombre de la réglette sur le bras. Il suffit d'étalonner le bras, en conséquence pour en déduire la hauteur. L'arbalestrille est, en quelque sorte, un gnomon portatif et qui doit son nom vraisemblablement à sa forme et au fait qu'on l'épaule pour viser l'horizon.

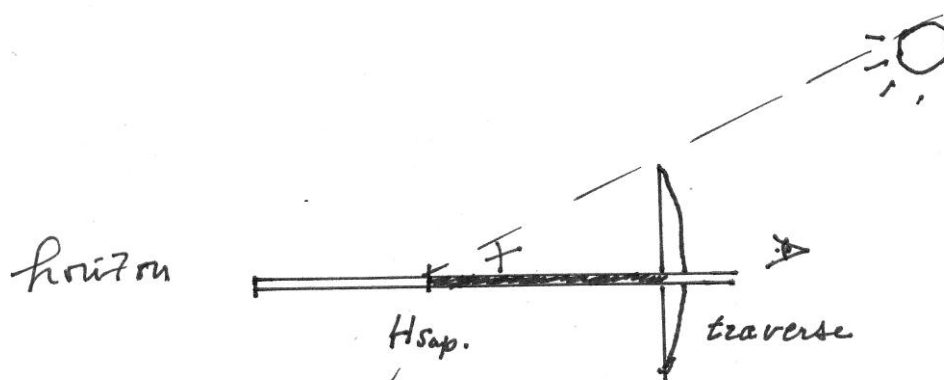


Fig. 12

L'arbalestrille.

L'observateur se met dos au soleil et vise l'horizon avec le bois long. Il repère l'ombre de la traverse sur le bois long. Celui-ci est directement gradué en hauteurs du soleil. On remarque que l'ombre indique la hauteur du bord supérieur du soleil et non celle de son centre.

Après cette revue des instruments insistons sur le fait que astrolabes et quadrants nautiques n'ont qu'un lointain rapport avec leurs homonymes astronomiques. Simplifiés, ils ne

⁵⁵⁸C'est l'inverse du système des bois arabes, les bois arabes sont des réglettes graduées que l'on tient à distance fixe de l'œil, à la longueur du bras : les graduations sur le bois vertical donnant la hauteur de l'astre ; le bâton de Jacob est une réglette fixe que l'on fait coulisser le long d'un bras gradué, la hauteur de l'astre se mesure par la distance de l'œil à la réglette que l'on mesure sur le bras gradué.

conservernt qu'une fonction : la prise de hauteur d'un astre, débarrassés de leur carte du ciel, ils peuvent être utilisés quelque soit le lieu. Le quadrant ne peut servir qu'à mesurer des hauteurs d'étoiles, l'astrolabe peut servir à observer le soleil par visée indirecte, très délicat à utiliser à bord, il sera remplacé dans les observations de soleil par un instrument plus maniable l'arbalestrille.

B- La volta d'Eanes et la hauteur de polaire

Après donc de nombreuses tentatives antérieures, Gil Eanes⁵⁵⁹ missionné expressément par l'Infant réussit, à sa deuxième tentative, à forcer « l'interdit » du cap Bojador. Du point de vue nautique, les parages ne sont pas engageants, la côte est basse et rectiligne, sans repères et apparemment sans abris. Elle reste, de plus, soumise à des vents dominants qui portent tous au Sud. Se pose, donc, le problème du retour. Il semble bien, que ce passage réussi constitue un véritable déclic puisque dans sa suite les tentatives réussies deviennent annuelles jusqu'en 1437. Le commandant Texeira da Mota explique cette action de Gil Eanes : « *En 1334, le cap Bojador est doublé. Ce n'est pas la progression vers le Sud qui présentait une difficulté, mais le retour. Car au cap Bojador jusqu'aux îles du Cap Vert soufflent toute l'année les alizés du Nord au Nord Est et remonter le long de la côte africaine contre vent et courant était, sinon difficile, au moins long et difficile.* » En effet les Canaries demeurent, pendant un certain temps, un terminus car elles ne sont soumises aux alizés que pendant l'été. Les alizés de Nord Est s'exercent dans une bande géographique qui suit le soleil dans son mouvement alternatif du Tropique du Capricorne au Tropique du Cancer et vice versa. Une partie de l'année, ces îles restent à la lisière de ces alizés, dans une zone de vents variables. Dans les parages des Canaries, avec de la patience, un retour est donc toujours possible.

Parfois en s'écartant vers le large, lors du retour des Canaries, les navigateurs aperçoivent-ils Madère où les navires touchent, sporadiquement, et que l'on trouve bien placée, en conséquence, sur les portulans. On aperçoit, parfois, les Açores, plus lointaines, mais elles restent déjà moins bien localisées et on en ignore encore le nombre exact⁵⁶⁰. Ces îles

⁵⁵⁹ Cf. *supra* p. 456-457

lointaines sont un peu indistinctes dans la perception des navigateurs et donnent lieu à quelques confusions chez les géographes contemporains d'où des mentions d'îles telles que Saint Bredan out Antilla, qui s'avéreront totalement virtuelles lors de l'avancement des connaissances.

Pour en revenir au passage du cap Bojador, le commandant Texeira insiste sur le fait que « *Ce fut là une grande découverte que les Portugais ont faite alors, la véritable clé du problème a été la constatation de la possibilité de retourner (au Portugal) en coupant le vent de travers à travers la zone des alizés pour gagner la latitude des vents variables d'Ouest, aux environs de la zone des Açores. Une fois celle-ci rencontrées, il n'y a plus qu'à courir une bordée sur l'Europe. En 1436, déjà, Andrea Bianco enregistre sur sa carte la mer de Baga. Baga ou sargaço (c'est ce dernier terme qui a prévalu) sont les noms bien, portugais qui désignent la végétation caractéristique de la mer des Sargasses.*⁵⁶¹ » Autrement dit, l'invention d'Eanes fut de démontrer qu'on pouvait facilement aller au delà du cap Bojador, puisqu'il existait une manœuvre pour pouvoir en revenir à tout coup. On part donc vers le large avec l'alizé par le travers, donc cap au Nord-Ouest, pour sortir de la zone où les alizés soufflent d'une façon constante. On entre alors dans une zone de vents variables. Plus on va au vers le Nord et plus on va trouver des vents qui de variables vont finir par s'établir en vents du secteur Ouest, c'est-à-dire allant du Sud Ouest à l'Ouest-Nord-Ouest. C'est ce qui permet de rentrer vers la péninsule ibérique aux allures portantes. Il faut, tout le long de cette remonté vers le Nord, se tenir vent de travers, en suivant donc le vent au fur et à mesure qu'il change, on parcourt par le large une grande boucle. C'est la **volta** qui va, en prenant comme point de départ les Canaries, aller de plus en plus Ouest puis pour retourner décrire un grand tour par le grand large et aboutir comme point d'arrivée sur les Açores, avec comme point intermédiaire de repère, Madère. Il faut une bonne pratique de l'estime pour se retrouver dans ce voyage aux routes changeantes qui se passe, de plus, presque exclusivement « dans le blanc de la carte » c'est-à-dire quasiment sans repères puisque le Madère et les Açores étaient aperçues mais pas reconnues puisque leur position sur le portulan n'était pas encore fixée. C'est cette volta

⁵⁶⁰ Armando Cortesao. Note sur les origines de la navigation astronomique au Portugal. P. 58 in *Les aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles*. Actes du cinquième colloque d'histoire maritime à Lisbonne 14-16 Septembre 1960. Présentés par Michel Mollat Ed SEVPEN. Paris. 1966

⁵⁶¹ Avelino Texeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle et la création de la navigation astronomique*. In *Le navire et l'économie maritime du Moyen Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée*. Travaux du 2^{ème} colloque international d'Histoire maritime. 17-18 mai 1957. SEVPEN. Paris 1958 p 132-133

qu'Eanes a commencé à élargir. Tous les explorateurs de la route du Sud qui le suivront vont - l'élargir chacun son tour, de plus en plus vers le grand large, au fur et à mesure que leur point de retour est de plus en plus Sud.

Mais ce faisant le problème de la volta du retour est de savoir quand tourner et faire route vers le continent, quand on est au large, sans repère sauf l'estime qui a le mérite d'exister mais manque d'autant plus de précision que l'on s'éloigne du dernier point assuré, c'est à dire le passage au Canaries. Une hypothèse voudrait que, ce soit en estimant non pas leur latitude mais uniquement en mesurant leur distance Nord-Sud par la méridienne de polaire, que les marins auraient pris la décision de prendre le virage du retour. **Cette première hypothèse** ne fait pas consensus et certains, nous le verrons lors de l'exposition du débat dans le point suivant nient le passage par cette étape de la méridienne de polaire.

C- La nautique dans l'hémisphère Sud, méridienne de soleil et *volta do Brasil*.

L'arrivée dans l'hémisphère Sud est une vraie découverte pour les Occidentaux, tout est nouveau, en particulier les vents sont inversés et surtout la polaire est désormais invisible dans un ciel inconnu où voilà que « *se lèvent dans les cieux des étoiles nouvelles* ». Il faut trouver une autre solution que l'observation de la seule polaire. Il y a bien la Croix du Sud que l'on a déjà aperçu au Nord de l'équateur, mais celle-ci est beaucoup plus éloignée du pôle que ne l'est la polaire et les alignements pour déterminer la position du pôle par rapport aux diverses configurations de la constellation sont encore à découvrir et à mettre au point. (Les Arabes les connaissaient pourtant, grâce à l'héritage des Cholas⁵⁶², ce qui est une nouvelle preuve que la transmission des connaissances s'est faite surtout au niveau de l'astronomie, science pure plus qu'au niveau science de la navigation, technique appliquée).

En tout état de cause, il faut donc prendre des hauteurs de soleil. C'est une complication. En effet si on peut comparer dans le temps deux hauteurs de polaire (pourvu qu'elles soient prises au même moment de l'orbite, le passage au méridien inférieur, par exemple), cette opération

⁵⁶² Cf. supra. Calcul de la latitude dans l'hémisphère Sud p. 399-400

n'a plus de sens avec le soleil, car il y a une nouvelle variable. La hauteur du soleil n'est pas fixe dans la durée en raison de la variation journalière de sa déclinaison. Il faut donc impérativement passer par le détour du calcul de la latitude pour pouvoir comparer des valeurs comparables et non plus se contenter du chemin Nord-Sud parcouru. Il faut de nouvelles méthodes de calcul et dresser des tables de déclinaison. Le roi Jean II constitue, dans ce but, *a junta dos matematicos do Rei*.⁵⁶³ Constituée de trois membres permanents, elle est, cependant, « à géométrie variable » et reçoit, le cas échéant, des membres associés dont le fameux Martin Behaim. Les trois membres permanents sont : le licencié Diego Ortiz de Villegas, Mestre José (Moïse de son nom hébreu) Vizinho, un marrane et Mestre Rodrigo de Pedras Negras dont on ne sait pas grand-chose⁵⁶⁴. En revanche Dom Diego est connu, en particulier pour avoir pris part aux négociations de Tordesillas et Mestre Vizinho pour avoir traduit l'Almanach *perpetuum celestium mutuum*. Il s'agit d'une collection des données variables des étoiles, planète et soleil calculées pour les années 1473 à 76. Vizinho traduit cet ouvrage et actualise les calculs pour les époques postérieures. C'est donc un spécialiste du système solaire et les savants portugais sont désormais bien plus à l'aise avec les mouvements du soleil.

Vraisemblablement, on s'aperçoit lors de ces calculs que l'on fonctionnait jusqu'à présent avec des latitudes erronées ce qui n'avait strictement aucune importance puisque le calcul de cette latitude importait peu. Les seuls éléments à prendre en compte étaient les chemins Nord-Sud accessibles directement par différence de lecture des hauteurs de polaire au quadrant en deux lieux. **C'est l'objet d'une seconde hypothèse.** Tout le monde semble d'accord pour accepter la date de 1480 comme un tournant dans la science nautique⁵⁶⁵. C'est aux alentours

⁵⁶³ Sur cette *junta* voir de Guy Beaujouan. *Diego Ortiz et la « junta dos matematicos » de Jean II*. p. 74-77 dans sa communication : *Science Livresque et art nautique au XV^e siècle*. p 59-85 in *Les aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles*. Actes du cinquième colloque d'histoire maritime à Lisbonne 14-16 Septembre 1960. Présentés par Michel Mollat Ed SEVPEN. Paris. 1966

⁵⁶⁴ Cette *junta dos matematicos* fut appelée à donner son avis, après examen sur le projet d'aller aux Indes que Christophe Colomb présenta au roi Jean vers 1481. Elle rendit un avis défavorable, en raison de nombreuses erreurs de calcul de Colomb et le roi rejeta donc ce projet sans doute par manque de moyens, désirant se concentrer sur un projet, le sien, dont il entrevoyait le terme.

⁵⁶⁵ Teixeira da Mota. *Influence de la cartographie portugaise sur la cartographie européenne à l'époque des découvertes*. p. 230 in *Les Aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles* Op.cit.

de cette date que scientifiques et marins auraient pris conscience de l'obligation de passer par le calcul de la latitude par la méridienne de soleil en ce qui concerne la navigation dans les nouveaux espaces de l'Atlantique Sud. Cette décision aurait entraîné des expéditions au-delà du Congo pour, en particulier, expérimenter la méthode et aussi déterminer les latitudes exactes des points remarquables de la côte africaine⁵⁶⁶. Encore que certains émettent des réserves quant à l'usage de cette technique par les marins. Pour eux cette technique était le seul fait des scientifiques.

En ce qui concerne donc les opérations sur le terrain, il faut donc organiser en toute urgence une mission scientifique comprenant Martin Behaim, mestre José et Mestre Rodrigo partent avec Diogo Cão en 1485 pour « *saber a altura do sol em toda Guiné* » et établir un nouveau *Regimento do Sol* c'est à dire de préparer l'édition des éphémérides nautiques ou liste des tables de déclinaison qui donnent la déclinaison du soleil jour par jour. On sera alors à même de déterminer la latitude d'un lieu par le soleil, en utilisant le gnomon, procédé qui permet par la mesure de l'ombre de déterminer avec précision la hauteur du soleil à midi au passage à la méridienne, et d'en déduire par un calcul simplissime la latitude. Par la même occasion on va calculer la latitude exacte de tous les points remarquables de la côte africaine. On savait faire cela au moyen du gnomon depuis l'antiquité ou de l'astrolabe depuis les arabes et couramment pendant tout le Moyen Age en Occident. Mais cela ne reste possible qu'à terre. Reste à mettre au point l'instrument de marine : l'arbalestrille.

Cette latitude est d'autant plus importante que les problèmes pour gagner le Sud et passer le Cap de Bonne Esperance sont symétriques de ceux du Nord. Il faut établir une volta du Sud.

« *On connaît bien la volta da Mina (celle-là même initiée par Gil Eanes) ou Volta do Sargaço et le soin de D.João II de cacher que par elle les navires aux voiles carrées pouvaient retourner du Golfe de Guinée en Europe. La pénétration de l'Atlantique Sud se heurte à la même difficulté. Le problème était toutefois de poursuivre vers le Sud, le voyage était trop lent le long de la côte d'où l'immense Volta do Brasil jusqu'à la région des vents d'Ouest a l'aide desquels on allait doubler le Cap de Bonne Espérance.* »⁵⁶⁷ D'ailleurs, juste après ce

⁵⁶⁶ Cf. *infra* .p. 478-479

passage Avelino Texeira da Mota mentionne que sur 15 ans un seul navire est arrivé à passer le cap en cabotant le long de la côte d'Afrique. Le problème était le symétrique de celui qui s'était présenté au Nord. Cette volta de trois mois exigeait donc un repérage en latitude pour passer le cap d'où l'invention de la méridienne de soleil.

C'est Bartolomeu Diaz qui trouve le chemin du Cap, un peu par hasard. Il cabote avec quelque difficulté, car les vents ne sont guère favorables, le long des côtes de l'actuel Angola, en essayant de gagner un peu plus vers Sud, quand un coup de vent de terre le repousse loin au large dans le Sud-Ouest où il perd complètement la terre de vue. Le coup de vent passé, il met cap à l'Est pour retrouver la terre, mais, à sa grande surprise elle tarde à apparaître. Il a alors l'intuition qu'il est en train de s'enfoncer dans l'inconnu et oblique vers le Nord pour essayer d'apercevoir la terre et de préciser un peu sa position. Effectivement la terre apparaît, au Nord, et il comprend qu'il était effectivement en train de passer vers l'Océan Indien, s'il n'était pas revenu Nord. Il baptise ce cap le Cap des Tempêtes, en raison de l'expérience toute récente qu'il vient de vivre, et arrête là son voyage, puisque, aussi bien, il a rempli son contrat. C'est le roi qui rebaptise le cap, Cap de Bonne Espérance. On remarquera que 10 ans s'écoulèrent entre le moment où le passage fut découvert et le moment où les Portugais tentèrent le passage définitif. Nous n'avons pas de détail sur cet intervalle de temps qui fut vraisemblablement occupé par des expéditions intermédiaires, car on peut remarquer que, dans ces dix ans, les Portugais ont établi cette *Volta do Brasil*. Ils occupèrent, probablement, ces 10 ans à établir l'océanographie de cet Atlantique Sud qui leur était inconnu au large. Ils découvrirent que l'océanographie de l'Atlantique Sud présente des dispositions de vents et courants symétriques de celles de l'Atlantique Nord. En particulier, les vents dominants permettaient un voyage vers le Sud plus facile que celui qui colle à la côte africaine, en piquant vers le large pour revenir vers l'Est, en navigant donc selon une *volta* symétrique de la *volta* de guinée, pour chasser la latitude du Cap et forcer le passage, vent arrière, par les vents d'Ouest qui règnent en permanence sur les *roaring forties*. Alors que Diaz était venu en droiture du Portugal à la Mina et descendu vers le Sud en serrant la côte, Vasco de Gama, lui, suivit cette nouvelle route et partit des îles du Cap Vert pour arriver 3 mois plus tard au Cap, en passant par le large.

⁵⁶⁷ Avelino Texeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op.cit.* p. 131

D – Le débat.

Nous avons mentionné des deux hypothèses en présence quant au déroulement des opérations. Il s'agit d'hypothèses, car les sources officielles ont disparu dans le grand incendie de Lisbonne. Elles sont liées, puisque la première se rapporte à une étape éventuelle dans la recherche en science nautique. Nous parlons à dessein de recherche, car il faut souligner que la mise au point de cette méthode est le fruit d'une mobilisation des compétences et des énergies sous l'égide du pouvoir royal. Elle est parfaitement organisée et financée par les autorités.

En ce qui concerne la première hypothèse il faut citer l'Amiral Gago Coutinho,⁵⁶⁸ qui confirme les travaux de Guy Beaujouan et Emanuel Poulle, niant que les navigateurs aient pu déterminer leur position en latitude par la polaire et que la latitude ne put être déterminée que par la méridienne de soleil, qui ne put être effectuée qu'à terre et par des savants uniquement et surtout pas avant 1480⁵⁶⁹. Le débat concerne donc plus précisément dans un premier temps l'existence même de l'observation de la polaire avant 1480. En revanche il existe un consensus sur la date de 1480 pour l'établissement de la latitude par la méridienne de soleil mais ici dans un deuxième temps du débat il y a un doute sur la participation des marins dans l'observation de la latitude. Les tenants de cette hypothèses expliquent que tout part de Barbosa qui a émis une théorie selon laquelle : « *Depuis le deuxième quart du XV^e siècle, les Portugais savaient naviguer en déterminant leur latitude d'après la hauteur du pôle, ils se seraient ainsi évité les difficultés inhérentes à l'emploi d'un almanach solaire... de plus les marins dépassèrent l'équateur en 1471, ils cessaient donc d'apercevoir l'étoile polaire et durent donc avec l'aide de tables appropriées recourir à la hauteur du soleil. Cette nouvelle technique aurait été mise au point entre 1480 et 1485.* »⁵⁷⁰ Les auteurs cités ci-dessus contestent cette théorie car elle ne repose que sur le témoignage de João de Barros, l'historien portugais a été, après coup, l'historiographe de Vasco de Gama. « *Le seul texte sur lequel*

⁵⁶⁸ Gago Coutinho *A nautica dos descobrimentos* 2 vol. Lisboa 1951-1952

⁵⁶⁹ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le Navigateur...* *Op.cit.* p. 207

⁵⁷⁰ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle Les origines de la navigation astronomique du XIV^e au XV^e siècle in *Le Navire et l'économie maritime du Moyen Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée. Travaux du 1er colloque international d'histoire maritime. 17 mai 1956.* SEVPEN. Paris 1957 p 108.

qu'ait pu invoquer l'historiographie portugaise se rapporte à l'emploi du quadrant par Diego Gomes lors de son second voyage de Guinée en 1463 ».

Le fait que la latitude ait été déterminée à terre par des savant avant de l'être à la mer par des marins confirme notre hypothèse que ce chapitre de la technique navale est le résultat d'une véritable recherche appliquée mais n'explique en rien comment les Portugais ont pu pratiquer la volta de 1433 à 1480 de si nombreuses fois, en routine. L'argument critique de base de Guy Beaujouan est que tant que la carte de Mercator ne fut mise au point, en 1569, on ne pouvait faire figurer une latitude sur un portulan, qui était la seule carte disponible alors. L'argument est irréfutable ; dans la carte bâtie par caps et distance il n'y a aucune référence possible pour une latitude. Nous avons vu que les lignes horizontales du marteloire ne sont en aucune façon des latitudes. Le deuxième argument est que le témoignage de Diego Gomes se résume à une seule phrase : « ...et ego habebam quadrantem quando ivi ad partes istas.... » Mais ce témoignage est douteux car l'ouvrage : *De prima inventione Guineae* est basé sur les souvenirs de ce premier voyage de 1463 de Diego Gomes confiés à Behaim, en 1482-84, qui rédigea, alors, l'ouvrage et que le style de Behaim met à la première personne aussi bien ses propres affirmations que celles de Diego Gomes. Enfin il argumente sur les possibilités d'utilisation d'un quadrant à bord. : « Mais comment Diego Gomes se serait-il servi d'un quadrant pour déterminer sa position alors qu'il se fie à l'égale durée des jours et des nuits pour affirmer qu'il franchit l'équateur ? S'il avait disposé d'instruments astronomiques, il se serait rendu compte qu'il était alors à 14° :13' de latitude Nord. »⁵⁷¹ Là aussi l'argument paraît imparable, Si Diego Gomes a confondu égalité des jours et des nuits et passage de l'équateur, il a fait là une grossière erreur. Il était simplement dans ces parages le jour de l'équinoxe et ce jour-là ce n'est pas seulement à l'équateur que jour et nuit sont égaux mais partout dans le monde. Peut-être dans ce cas (dont nous doutons)n'était-t-il pas assez versé en astronomie, ce n'était qu'un marin pas un savant.

C'est sur ces deux derniers points que va insister Emmanuel Poulle. Il insiste sur le fait qu'il est dangereux d'extrapoler sur une seule citation, simplement attribuée de surcroît à Diego

⁵⁷¹ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle *Les origines de la navigation astronomique du XIV^e au XV^e siècle*. In *Le navire et l'économie maritime du Moyen Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée*. Travaux du 1^{er} colloque international d'Histoire maritime . 17 mai 1956. SEVPEN. Paris 1957 p 109

Gomes. Il fait une brillante démonstration de la vanité d'une telle tentative en prenant pour base la célèbre citation de Ramon Llul sur la carte et l'aiguille : « *Habeant chartam, compassum, acum et stellam maris* » qu'il démonte terme par terme et prouve que l'on peut lui faire dire n'importe quoi, y compris que les navigateurs du XIII^e siècle faisaient déjà de la navigation astronomique, ce qui est manifestement faux⁵⁷². Par cette démonstration par l'absurde, il prouve donc qu'on ne peut baser une argumentation scientifique sur une courte citation. Emmanuel Poulle qui est particulièrement versé dans la littérature scientifique médiévale sur ce sujet connaît particulièrement bien le problème et insiste sur l'impossibilité d'utiliser ces instruments scientifiques à bord. Il connaît aussi leur forme nautique mais affirme que les formes nautiques ne peuvent pas être attestées avant le premier quart du XVI^e siècle. (Sur ce dernier point, Godinho va s'inscrire en faux.) Quant à l'usage de l'astrolabe et du quadrant à bord il affirme : « *J'ai pu consulter tous les traités médiévaux d'astrolabe accessibles en France. Il n'y est fait nulle part allusion à une quelconque utilisation nautique.* » Il ajoute « *Il doit être facile d'éviter tout abus de langage si on se rappelle que l'astrolabe nautique n'apparaît que dans la première moitié du XVI^e siècle* ». La conclusion de cette double intervention revient à Beaujouan : « *la manière de déterminer la latitude à terre était le patrimoine commun de tous les astronomes des XIV^e et XV^e siècles, il n'y a là ni nouveauté ni ...* »⁵⁷³

Un contre argument à ces derniers propos est venu de Vitorino Magalhes Godinho⁵⁷⁴. « *Je me permets de signaler que bien avant le texte de Diego Gomes, il y a le texte de Ca' da Mosto, un vénitien qui a navigué sur un navire portugais, lequel décrit une méthode extrêmement empirique de détermination de la hauteur d'un astre à l'aide d'une lance.* » Quant au texte de Diego Cam, il est lui-même en train d'étudier ce texte et le problème des dates de ce passage où il question du quadrant. Il ne se rapporterait pas à 1467 mais à 1462 ou même à 1458. Il est exact que l'on ne sait toujours pas ce qui a été interpolé par Martin Behaim mais il faut suivre les travaux de Duarte sur ce sujet qui sont toujours en cours. « *Il y a aussi d'autres textes plus anciens qui ont été présentés par Jaime Cortesao, un nom qui n'est pas souvent cité à*

⁵⁷² Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle. *Les origines de la navigation astronomique...* Op.cit. p. 116

⁵⁷³ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle. *Les origines de la navigation astronomique...* Op.cit. p 110

⁵⁷⁴ *Ibid*, l'intervention de Vitorino Magalhes Godinho fait suite à la communication précédente d' Emmanuel Poulle.

l'étranger, mais je crois qu'il faut cependant le citer. » Donc le texte de Diego Cam n'est pas isolé et en ce qui concerne l'utilisation de l'astrolabe nautique seulement au XVI^e siècle le Commandant Texeira da Motta note : « *Quant à la nautique proprement dite, remarquons que le voyage de Lisbonne à Calicut la présuppose dans ses débuts. Nous ne pouvons pas essayer de retrouver les plus anciens astrolabes nautiques, ils étaient en bois. On les a jetés, on ne peut donc établir leur date de construction et d'usage.* »⁵⁷⁵ De Barros confirme la présence de quadrant et d'astrolabe en bois dans sa relation et quant à nous, nous avons noté d'autre part que Colomb en 1492 utilise quadrant et astrolabe⁵⁷⁶.

L'approche du Commandant Texeira apporte une réponse plus globale et synthétique au problème posé par Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle. Il s'appuie sur les travaux de E.G.R. Taylor⁵⁷⁷ « *qui apporte des éléments très intéressants grâce auxquels nos connaissances ont fait des progrès considérables en commentant une page du Répertoire des Temps de Valentin Fernandes.* » A partir de ces éléments, il émet alors sa proposition : « *Il y a eu une phase antérieure (au calcul de la latitude), celle de l'utilisation des différences de hauteur. La méthode est très simple. Au départ du Portugal on observait la polaire pour une position déterminée des gardes et l'on marquait sur le limbe l'endroit où tombait la plombée. Au cours du voyage on observait la polaire les gardes étant dans la même position et on marquait l'endroit où tombait la plombée. On comptait les degrés entre les deux marques. En multipliant le nombre de degrés par 16 2/3 lieues, on avait aussitôt le chemin Nord-Sud. C'est-à-dire que le quadrant était lu en termes de distances et non pas en terme de mesure angulaire pour donner la latitude. De telle façon que le quadrant permettait de savoir rapidement soit quand on avait atteint l'endroit correspondant à telle hauteur de la polaire, soit la latitude recherchée, on naviguait ensuite vers l'Est ou vers l'Ouest pour arriver. Ce système, on le verra était la base de la navigation astronomique de l'Océan Indien.* »⁵⁷⁸

⁵⁷⁵ Avelino Texeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op.cit.* p. 151

⁵⁷⁶ Cf. *infra* p. 482.

⁵⁷⁷ E.G.R. Taylor, *The navigating manual of Columbus.* in *Bolletino Civico Instituto Ccolombiano*. Gènes. 1953, p 32-45

⁵⁷⁸ Avelino Texeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op.cit.* p. 132-133

Reprenant ces derniers mots, ceci nous rappelle, évidemment, Ibn Majid qui n'utilisait que la hauteur de la polaire au passage du méridien inférieur⁵⁷⁹ ; il ne calculait jamais la latitude. Il conseillait à ses disciples d'éviter de le faire et si jamais ils le faisaient de ne pas s'étonner de la divergence avec les résultats des savants. Il n'utilisait que le chemin Nord-Sud.

En ce qui concerne donc les méridiennes de soleil le commandant Texeira reprend la théorie de Barbosa en précisant à la lueur des faits ci-dessus « *au-delà de l'équateur, le recours à la polaire n'était plus possible ; on arrive à la deuxième phase, la navigation par latitudes (obtenues par le soleil par opposition à la navigation par différences Nord-Sud par la polaire) effectuée par observations méridiennes du soleil. C'est ainsi que Diego Cão a navigué (celui qui était accompagné de Behaim dans son voyage au Congo) et qu'on a créé la carte aux rhumbs avec graduation de latitudes.* (que nous avons relevée et mentionnée dans l'ouvrage de Monique de la Roncière) *vers 1485. A cette fin, il fut nécessaire de procéder à un nouveau lever de toutes les côtes d'Afrique, sur ordre de João II. Je me permets de ne pas entrer dans les détails des méthodes nouvelles de navigation car elles sont bien connues.* » (la latitude est obtenue par la formule $\varphi = 90^\circ - (h + d)$ ou h , est la hauteur et d , la déclinaison du soleil qui, comme elle varie chaque jour, doit être prise dans les éphémérides nautiques ou *regimento do sol*. La carte et la méthode étaient parfaitement au point lorsque Vasco de Gama réussit son passage puisque. « *En 1497 quand Vasco de Gama partit pour les Indes, on pratiquait déjà suffisamment les nouvelles méthodes de navigation par latitudes et on avait déjà fini le lever de la carte avec graduations de latitudes. Après un départ de l'archipel du Cap Vert, Vasco de Gama navigua trois mois en haute mer avant d'arriver à Angra de Santa Elena, au Nord du Cap de Bonne Espérance. Il y débarqua en compagnie du pilote Pero de Alenquer afin d'effectuer une détermination rigoureuse de la latitude à terre, au moyen d'un grand astrolabe (celui-là même que de Barros décrit montré au pilote Malemo Cano par les pilotes portugais à Malindi) suspendu à une chèvre. (Un trépied) ; en mer, on utilisait des astrolabes plus petits en métal ce qui donnait avec la route des observations précises. Un fois déterminée la latitude à terre, Pero de Alenquer conclut qu'il se trouvait à 30 lieues du Cap et qu'il s'était trompé que d'une lieue, soit un peu plus de 3 milles marins actuels* ». ⁵⁸⁰

⁵⁷⁹ Cf. supra. Remarque Chap. 2 p. 402

⁵⁸⁰ Avelino Texeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op.cit.* p. 135

Bien entendu on peut également objecter que c'est là le témoignage du seul de Barros, aussi ajoute-il : « *Il n'est pas étonnant que l'italien Ca' Masser, quelques années plus tard, rédigeant la relation de son voyage au Portugal sur les ordres de la Seigneurie de Venise désireuse de s'informer sur la navigation aux Indes écrit : la navigation se fait seulement d'après la hauteur et d'après le soleil et aussi ou encore d'après le pôle arctique avec l'astrolabe; il ne faut pas oublier que l'on ne voit la terre pendant 3 mois, et pourtant on sait à tout instant où l'on se trouve et qu'au bout de si nombreux jours on se trouve à l'endroit déterminé. C'est une très belle chose, le chemin est sûr et on le fait avec pratique et aisance comme le voyage du Levant. (Qui se fait lui uniquement à l'estime)*⁵⁸¹ » En ce qui concerne la traversée de l'Océan indien, de Malindi à Calicut, elle fut effectuée sous la direction du pilote gujarati Malemo Cano, exposée par ailleurs.

3-3.3 Les méthodes de navigation de Colomb d'après son journal.

Il est donc temps de faire une synthèse de ces différentes opinions et pour cela il faut prendre l'arbitrage de Colomb et de son texte en regardant plus précisément sa façon de résoudre dans sa pratique ces problèmes de navigation. La relation du voyage de Colomb n'a pas été exploitée jusqu'à présent dans cette direction. Evidemment, cette relation date de 1492 donc contemporaine de la solution du problème. Cependant, il faut considérer que les conceptions de Colomb ne sont pas si avancées, il n'a certainement pas eu accès aux dernières méthodes de la hauteur par le soleil qui étaient couvertes par le *sigillo* (la politique du secret technique et commercial) portugais. Colomb arrive au Portugal en 1475, il a, sans doute, près de 25 ans, sa formation de marin est déjà faite. D'après sa correspondance, il aurait commencé à aller en mer à 14 ans, ce qui lui aurait donné donc à son arrivée une expérience déjà suffisante pour commander, ce qu'il dit avoir déjà fait auparavant en Méditerranée où, selon sa lettre de janvier 1495, il précise qu'il fut envoyé par le roi Reynel prendre le commandement d'une galéasse, « *la Fernandina* » à Tunis.⁵⁸² Mais c'était une formation génoise de la marine du

⁵⁸¹ Avelino Teixeira da Mota. *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op.cit.* p. 136.

⁵⁸² Cristobal Colon *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Varela* Edit. Alianza Universidad. Madrid 1992. *Fragmento de una carta a los Reyes, La Espanola, Enero 1495.* p 166

Levant, donc basée sur l'estime et le portulan. Il s'est sans doute mis au courant des dernières techniques du Ponant car il pratique la méridienne de polaire (mais pas celle de soleil). Il connaît la volta et compte sur elle pour revenir. Son projet, y compris les méthodes de navigation employées, est bouclé, sans doute, vers 1485, puisqu'il avoue lui-même avoir mis 7 ans à trouver un commanditaire.

A La volta selon Christophe Colomb.

Le 16 Janvier Christophe Colomb se décide à rentrer : « *il dit qu'il voulait partir car il n'y avait plus aucun profit à rester*⁵⁸³ ». Et de plus la caravelle commence à tamiser de l'eau par ses coutures. Il ne lui reste plus qu'à trouver, selon les indications qu'il reçoit des indigènes, l'île des Caraïbes mangeurs d'hommes et l'île Martinino ou île des femmes vers l'Est, lui a-t-on dit. Il part donc vers le Sud-Est, mais il remarque que l'équipage se rembrunit en raison de cette déviation par rapport à la route directe de retour, aussi, préfère-t-il laisser cette route supposée le mener à ces îles et reprend le chemin direct du retour, Nord-Est-quart-Est⁵⁸⁴. La position générale de départ est la suivante : l'alizé de Nord-Est souffle dans une bande géographique, zone qui n'est pas fixe en latitude, elle suit le soleil et donc en hiver descend vers le Sud. Colomb se trouve, à ce moment précis, à la lisière de la zone des alizés. Les vents seront donc irréguliers et variables du secteur Est tournant de plus en plus vers l'Ouest au fur et à mesure que l'on remonte vers le Nord.

On remarquera que Colomb n'a aucune hésitation, il fait du Nord-Est, compromis parfait : en route pour gagner en chemin Nord-Sud et gagner la latitude où pouvoir profiter d'un courant d'Ouest et prendre le cap vers le port du retour. Puis, les jours qui suivent vont se ressembler, le vent change souvent et va de l'Est à l'Ouest, Christophe Colomb n'a donc pas de course constante, il navigue entre le Nord et le Nord Est selon ce que lui permet le vent du jour. Prenons par exemple le Samedi 19 janvier « *Il courut cette nuit-là 56 milles au Nord quart Nord Est et 64 au Nord Est quart Nord. Après le lever du soleil il courut au Nord Est*

⁵⁸³ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 199

⁵⁸⁴ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 201-202

*avec un vent Est Sud Est (il est obligé de serrer le vent au maximum car il est très loin à l'Ouest dans l'Atlantique) et ensuite à un quart du Nord et il courut 84 milles qui font 21 lieues ».*⁵⁸⁵ On continue ainsi jour après jour et le vent s'infléchit vers l'Ouest d'une façon de mieux en mieux établie, de même, la course s'infléchit de plus en plus vers l'Est au fur et à mesure que l'on remonte vers le Nord.

Arrêtons-nous ici un instant pour faire une première remarque. **On voit que Christophe Colomb entreprend la volta retour avec détermination, il n'a aucun doute sur le cap à suivre et sur les vents qu'il espère.** Il est donc parti avec l'hypothèse de base que les alizés l'accompagneraient pendant tout le voyage et que les vents d'Ouest soufflaient tout le long de l'océan depuis l'hypothétique Chine jusqu'au Portugal. Avec cette conviction, il lui suffisait, au terme du voyage, d'attaquer la volta pour assurer le retour : pari gagné.

Maintenant il reste à déterminer quand tourner pour rejoindre le Portugal. Dans ce processus on ne peut pas dire qu'il abuse des observations méridiennes, il se sert plutôt de la vieille méthode des climats. Ainsi le 20 janvier il note : « *il dit que l'air était très doux comme à Séville en avril ou en mai* »⁵⁸⁶. On est donc sans doute encore trop Sud. En revanche le Lundi 21 Janvier : « *Il se trouvait que l'air était plus frais et il dit qu'il pensait qu'on le trouverait chaque jour plus frais au fur et à mesure que l'on arriverait plus Nord et aussi que les nuits allongeaient...* » et il note aussi, le 29 du même mois : « *l'air très doux comme en avril en Castille* »⁵⁸⁷.

La méthode du climat n'est pas suffisante, il s'en est expliqué longuement dans une lettre adressée aux rois, en 1502 où il leur prodigue un cours sur l'instabilité du climat et ses variations géographiques et saisonnières.⁵⁸⁸ Aussi utilise-t-il concurremment la méthode de

⁵⁸⁵ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 204

⁵⁸⁶ Jose Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento. .Notas y comentarios al diario de Colon* ; Edit. Instituto de Ingenieros Technicos de España. Madrid 1992, année du cinquième centenaire P 205

⁵⁸⁷ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 209

la longueur des jours. Mais celle-ci est aussi très approximative. Il en a fait l'expérience le 13 Décembre en essayant de vérifier ses ampoulettes en les confrontant à la longueur du jour : échec.⁵⁸⁹ On approche donc, mais ces sensations sont très subjectives. Le Dimanche 3 Février : il note que dans la nuit du 2 au 3 le navire courait à l'Est-Nord-Est, avec le vent arrière soit de l'Ouest-Sud-Ouest ; on est donc entré dans la zone des vents d'Ouest. « *Cette nuit courant avec une mer de l'arrière avec une mer assez plate, grâce à Dieu, il courut 29 lieues. L'étoile polaire paraissait bien haute, telle qu'elle le serait dans les parages du cap Saint Vincent. Il ne put prendre la hauteur ni avec l'astrolabe ni avec le quadrant car la houle ne lui en laissa pas l'occasion. Durant la journée course au L'Est Nord Est à dix milles par heure pendant 11 heures soit 27 lieues*⁵⁹⁰ ». La vue du ciel lui précise que l'on approche de la latitude de Saint Vincent, il ne faut pas aller trop au Nord Palos son point de départ et Séville son point présumé d'arrivée sont au Sud de ce parallèle. Il faudrait prendre une méridienne de la polaire pour avoir une mesure et ne pas se contenter de simples impressions. Il ne le peut pas à cause de la mer de l'arrière qui, doit faire rouler le navire bord sur bord. C'est toujours le cas par mer de l'arrière. Il ne le pourra ni ce jour ni les suivants où le temps va empirer. A défaut, il va tourner à l'estime.

On voit bien le processus, dès que l'on est dans le flux d'Ouest il faut guetter les signes qui indiquent que l'on est à la bonne latitude. Le marin essaye de se souvenir du temps qu'il fait à Saint Vincent à cette époque de l'année, que les jours ont la même durée qu'à Saint Vincent et surtout que le ciel a le même aspect qu'à Saint Vincent, avec la polaire aussi haute dans le ciel. Mais la meilleure façon de s'en assurer c'est de mesurer cette hauteur de polaire pour s'assurer que c'est la même qu'à Saint Vincent. Nous notons qu'il ne parle pas de latitude, mais uniquement de la hauteur de la polaire.

Le lendemain il navigue au même cap presque plein Est, à l'Est quart Nord-Est, il trouve un ciel très chargé avec de la bruine et un peu frais ce qui lui fait dire que l'on était dans les

⁵⁸⁸ Cristobal Colon *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Varela* Edit. Alianza Universidad . Madrid 1992. *Carta a los reyes LIX, Granad , 6 de Febrero 1502.* p 305 à 308.

⁵⁸⁹ Jose Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento.... Op.cit.* p. 148-149 note 264

⁵⁹⁰ Jose Martin Lopez, *El viaje del descubrimiento.... Op.cit.* p. 210

parages des Açores. Bien qu'on ne puisse observer, il est temps de tourner c'est-à-dire de faire du plein Est. (En effet, nous savons que Saint Vincent est à 37° Nord et les Açores s'étendent du parallèle 37 :20 pour Flores la plus Nord à 37° pour Santa Maria la plus Sud. Il reçoit confirmation le lendemain 3 Février quand : « *Ils virent des pardelas et des pallilos, (des oiseaux marins) qui étaient un signe qu'ils étaient proche de terre* ». La même situation se reproduit le 6 ; il change de route le jour suivant, Mardi 7 Février. Il met à l'Est : *Leste franco* dit-t-il, c'est-à-dire non pas route vers l'Est, mais cap au 90 très précisément. En route pour le continent, ce mardi-là la volta est terminée.

B La hauteur de la polaire selon Colomb. Une application de la méthode arabe.

Si Colomb n'a pu faire de méridienne de polaire pour tourner c'est qu'il en a été empêché par le roulis car il sait fort bien la faire. Il s'en explique longuement au cours de son récit.

Si la polaire était exactement située sur l'axe du monde, le problème de la latitude serait simplissime ; la hauteur de l'axe du monde étant égal à la latitude, prendre la hauteur de cette étoile donnerait directement la latitude. Il y a deux difficultés. La première est que la polaire n'est pas localisée exactement au pôle, elle tourne autour de lui en 24 heures, la différence est de 6,5 degrés environ à l'époque de Colomb(il cite ce chiffre). En effet, cette distance varie avec un mouvement séculaire qui fait osciller l'axe terrestre, un peu comme une toupie en fin de parcours commence à se balancer autour de son axe. Mais laissons cela, sauf que cela complique un peu les calculs rétrospectifs, étant donné que le ciel médiéval n'était pas exactement celui d'aujourd'hui. Mais Christophe Colomb, durant sa vie, n'a absolument pu percevoir cette différence. Donc, dans le moyen terme, tout peut être considéré comme constant.

Donc, une hauteur quelconque de la polaire nous donne la latitude à un moment donné pour une valeur exacte à 6,5 degrés près, soit une incertitude totale de $110 \times 6,5 = 710$ kilomètres d'incertitude, autrement dit, cette observation est sans grande utilisation pratique. Il faut donc préciser. Il y a cependant dans cette orbite décrite par la polaire deux instants notables, celui où elle passe au plus bas de cette orbite ou au plus haut. Nous avons ici nommé le passage au

méridien inférieur ou au méridien supérieur, qui peut se remarquer par le minimum ou le maximum de hauteur de l'astre durant son circuit dans le ciel. La seule difficulté est qu'il est malaisé de déterminer le moment exact où cette hauteur est minimale surtout avec la précision des instruments dont navigateur médiéval dispose. Les astronomes offrent aux navigateurs une méthode pour repérer plus aisément ces moments importants

Il y a des points caractéristiques qui jalonnent le parcours de l'astre sur son orbite, ce sont les astronomes arabes qui les ont indiqués aux navigateurs arabes, et qui ont été transmis en l'état aux navigateurs occidentaux, par les canaux ibériques, assurément. Voici la base de la méthode : l'observateur repère, une fois pour toute, un alignement dans le ciel, qui joint la polaire à un point précis, choisi dans la constellation de la petite ourse, de telle sorte que cet alignement passe également par le pôle. Cet alignement est appelé « *les gardes* » par Christophe Colomb, on le retrouve dans les écrits d'Ibn Majid, ce qui nous fait justement penser à une origine commune, arabe, forcément. Cet alignement tourne autour du pôle comme une aiguille d'une horloge inscrite dans le ciel (en espagnol, on l'appelle justement *reloj nocturno*). L'alignement a été choisi de telle sorte que quand cette aiguille indique 6 heures, la polaire est exactement en dessous du pôle et à sa verticale, elle est donc saisie à l'instant de son passage au méridien inférieur; par voie de conséquence, lorsque l'aiguille est à 12 heures, on est au passage au méridien supérieur. On peut ajouter qu'à la position correspondant à 3 ou 9 heures, l'étoile polaire est exactement à la même hauteur que le pôle. Dans ces conditions, on peut déduire de l'observation de la polaire la latitude. A 3 ou 9 heures au « cadran » de cette horloge sidérale, la hauteur de la polaire nous donne directement la latitude. A 6 ou 12 heures, il faut corriger cette hauteur des $6,5 : 2$ degrés que nous avons mentionnés, en plus ou en moins, selon le cas de figure, pour obtenir la latitude. Donc il y a 4 moments dans la journée où on pourra, sans calcul, ou avec un calcul minimum, déterminer directement la latitude de la seule mesure de la hauteur de la polaire. Bien évidemment, deux moments sont inexploitablement parce que se passant durant la période de jour où l'étoile n'est plus visible, et deux moments qui se passeront de nuit seront facilement observables. Nous noterons que le quadrant ne se référant pas à l'horizon mais à la verticale, on n'est pas tributaire du fait que l'on puisse ou non distinguer précisément l'horizon dans l'obscurité comme c'est le cas avec la méthode arabe des bois, ou avec notre moderne sextant.

En fait, dans sa pratique telle qu'il l'explique, Christophe Colomb se repère par rapport à la figure d'un homme virtuel, qu'il place dans le ciel. Il s'agit d'une image, ressemblant un peu à l'homme de Vitruve, mais dans une position de crucifié. La position 3, 6, 9 ou 12 heures, n'ont aucune signification pour lui puisqu'il n'a jamais vu un cadran d'horloge. Il remplace ces positions remarquables par les notations correspondantes par rapport à son homme virtuel « *las guardas estando en la cabeza, ou bien, en los pies, ou encore, a la mano isquierda, o derecha, selon le cas* ». Il connaît parfaitement la correction à appliquer, dans le cas de l'observation au méridien supérieur ou inférieur, car il nous la livre à propos d'un incident qui lui arrivé au cours d'une observation dans un cas limite⁵⁹¹. Bien que cet incident soit anormal et se soit passé lors du troisième voyage nous le citons, néanmoins, car il détaille bien la méthode. « *Il arriva là qu'à la entrée de la nuit j'avais l'étoile du Nord à 5 degrés, les gardes étaient alors au-dessus de la tête, ensuite à la mi-nuit (sur l'axe 3-6 heures) la hauteur était de 10 degrés et au lever d a la pointe du jour, alors que les gardes étaient aux pieds, la hauteur était de 15.* »

⁵⁹¹ Cristobal Colon. *Textos y documentos... Op.cit.* Relation du troisième voyage p. 212. Voici ce qui s'est passé ; Observant la polaire très bas sur l'horizon et exceptionnellement au méridien inférieur puis supérieur dans la même nuit (c'est possible dans certains cas sous les tropiques ou la nuit est plus ou moins égale à 12 heures, il s'aperçoit que la différence entre les deux observations est de 10 degrés ; elle excède de beaucoup les 6°,5 communément admis par les astronomes. Il cherche une explication, il en conclut qu'il est beaucoup plus près de la polaire qu'il ne doit l'être normalement ; c'est donc un effet de parallaxe qui provoquerait, à son sens, cette anomalie ; plus près de l'astre, son circuit apparaîtrait plus grand à l'œil de l'observateur. Donc sa conclusion : la terre n'est pas exactement ronde, elle doit avoir une forme de poire, et il serait sur la partie proche de la queue, donc plus proche de l'astre. Il n'a évidemment aucune idée de la distance de la terre à l'étoile qui est infinie et rend donc toute variation dans la position de l'observable négligeable. Dans l'état de ses connaissances, c'est la seule explication et il est obligé de reconnaître que Ptolémée, qui est son autorité absolue, avait ignoré ce détail.

L'explication est bien, sûr à chercher ailleurs ; les rayons lumineux, en rentrant dans l'atmosphère, sont réfractés et donc toute observation de la hauteur d'un astre doit être corrigée, en raison de la réfraction. Cette réfraction n'est pas constante, elle est minimum si le rayon lumineux attaque l'atmosphère selon une incidence presque verticale, elle est maximum si cette incidence est proche de l'horizontale. Dans cette dernière occurrence, les rayons attaquant l'atmosphère tangentiellement à la sphère terrestre, vont traverser l'atmosphère dans sa plus grande épaisseur, et subiront un maximum de déviation. Ce phénomène est rendu sensible au lever ou coucher du soleil ou de la lune, l'un ou l'autre visible à l'horizontale subit cet effet de loupe qui le fait apparaître énorme par rapport à ce qu'il peut être vu lorsqu'il est plus haut dans le ciel. Navigant près de l'équateur, la polaire est donc très basse sur l'horizon et cet effet de loupe joue à plein sur la dimension apparente de son cercle de révolution..

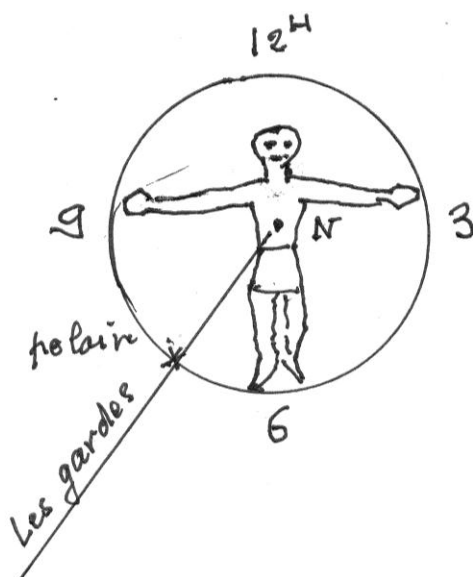


Fig 13

La figure de l'homme virtuel placé dans le ciel au Nord. Les gardes passent par l'étoile polaire et le Nord vrai. Quand les gardes passent par les pieds de l'homme la polaire est en train de passer au méridien inférieur, soit à 6 heures. A 12 heures à la tête, elle passe au méridien supérieur. A 3 out 9 heures, à sa main gauche ou droite, sa hauteur est égale à la latitude.

Bref, notre navigateur semble très au fait des méthodes modernes de son époque, puisque la mise au point de ce calcul de la polaire est a peu de chose près contemporain de sa période d'apprentissage du métier de marin. Il nous livre cependant les difficultés pratiques d'application, en raison de conditions d'observations mauvaises, en raison d'un ciel bouché, ou bien parce que la mer secoue un peu trop sa « plate forme d'observation ». Il livre peu ses résultats, Christophe Colomb est un maître de l'estime, ce n'est sans doute pas un virtuose du quadrant et de l'observation astronomique

Nous voyons que la méthode portugaise de l'observation des hauteurs de polaire provient directement de la méthode arabe. Ibn Majid nous parle déjà des gardes. Mais c'est une méthode simplifiée, en ce sens qu'il faut, ici, obligatoirement une observation directe de la polaire, nous n'avons pas cette collection de substituts qui permettent à Ibn Majid de faire une méridienne de polaire en tout temps (même si la polaire ne passe pas à ce moment la au

méridien) et en tous lieux (même si la méridienne n'est pas observable) c'est donc une méthode très appauvrie que celle des Portugais, comparée à celle des Arabes. D'autre part nous notons qu'à l'instar d'Ibn Majid qui se contente également de la hauteur de la polaire au passage au méridien inférieur et ne se préoccupe jamais de la latitude, Colomb ne cherche que le moment où la polaire aura la même hauteur qu'à saint Vincent, car il ne veut pas aller plus Nord. En effet, qu'aurait pu faire Colomb d'une latitude qui ne correspond à rien sur son portulan, on ne peut même pas la tracer en l'absence d'une échelle des latitudes. **La méthode dont il se sert pour tourner et achever sa volta est complètement indépendante de son système de navigation par l'estime, la hauteur de la polaire n'est utilisée que pour préciser la très vieille méthode de repérage par les climats, bien antérieure à l'invention de l'estime.**

Examinons maintenant cette méthode de l'atterrissage par la polaire qui vient se superposer à l'estime. Raisonnons par la méthode des zones d'incertitude pour analyser les risques d'erreur à l'atterrissage lors de l'atterrissage lors de son arrivée de Colomb à Lisbonne. C'est ce que nous avons voulu figurer dans la figure suivante. Nous avons déjà chiffré la zone d'incertitude de Colomb aux Açores⁵⁹². Elle est énorme, mais ici on est reparti sur des bases nouvelles ; le dernier point avéré est l'île de Santa Maria aux Açores et 1500 kilomètres, seulement, restent à courir en mer ouverte avant l'arrivée.

Dans un premier temps déterminons la zone d'incertitude due à l'estime. La précision de la route est de 1 rhumb au total, un demi-rhumb à droite ou à gauche de la route moyenne soit une ouverture de 295 kilomètres(en prenant le radian à $57,3^\circ$, on applique la formule $1500 \times 11,25 : 57,3$). La précision en vitesse est, nous l'avons déjà calculée sur les chiffres de Colomb au voyage aller, entre 5 et 6 %, soit 83 kilomètres. La zone d'incertitude de l'estime est un parallélogramme courbe de 295 x 83 kilomètres.

D'autre part, et selon une toute autre méthode, celle de l'atterrissage par le parallèle , on peut dire que le quadrant en tant qu'instrument d'observation varie de $0^\circ,50$ à 2° , selon que le temps est calme ou agité, ce sont les chiffres avancés les spécialistes qui se sont penchés sur

⁵⁹² Cf. *supra* Partie II, Chap. 3, *l'estime de Colomb*. p. 318.319.

cet instrument, ils paraissent vraisemblables. En mettant donc les choses au mieux, l'incertitude du quadrant sur la latitude nous donne une latitude à $0^{\circ},5$ près soit 30 minutes d'arc et 55 kilomètres. La zone d'incertitude de cet atterrissage est une bande de 55 kilomètres de large, en tout, de part et d'autre de la latitude du cap Roca, sans limitation précise en longitude. La zone finale due à la combinaison de ces deux méthodes est l'union de ces deux surfaces, soit un rectangle de 55 kilomètres de large sur 83 de long, centré sur la latitude de Roca. Avec une vue normale de 20 milles marins, soit 37 kilomètres, on est certain de voir Roca, pas forcément droit devant mais assurément, dès lors que l'on se rapprochera de la côte en vue de terre. En ce qui concerne l'incertitude de 83 kilomètres elle se traduit en temps d'arrivée soit à la vitesse moyenne de 6 nœuds, 11,1 kilomètres, de 7 :30 heures de différence entre l'arrivée au plus tôt et l'arrivée au plus tard. En agissant avec prudence, c'est-à-dire en réduisant l'allure pendant la nuit si on n'a pas encore aperçu la terre, au coucher du soleil, alors qu'on est dans les limites de l'estimation, on ne risque rien. Somme toute, cet atterrissage n'a rien de hasardeux et ceci grâce au supplément de précision apporté par cette nouvelle méthode.

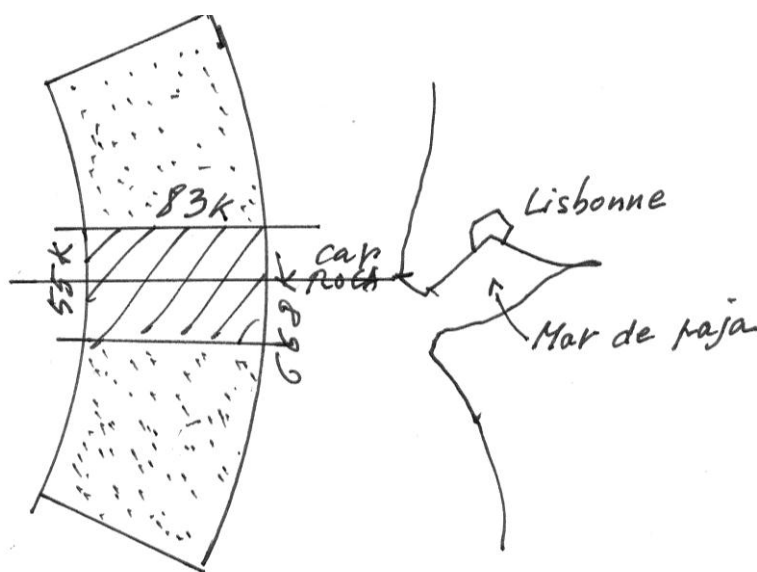


Fig. 14

La zone d'incertitude due à l'estime depuis le dernier point vérifié, aux Açores, est la zone en pointillé de 295x83 kilomètres. La méthode de l'atterrissage sur le parallèle du cap Roca donne une zone d'incertitude réduite à la surface hachurée de 83x55 kilomètres.

C La latitude chez Colomb.

Nous sommes certains que Colomb prenait des hauteurs de polaire mais nous pouvons dire qu'il ne calculait pas de latitude ; il suivait certainement le schéma décrit par le Commandant Texeira, il tournait lorsqu'il était certain « *d'être sous le même ciel qu'à Saint Vincent* ». Pourtant Colomb va calculer à deux reprises au moins sa latitude. Outre que les résultats sont faux si on les compare aux positions rétrospectivement calculées par José Lopez dans son ouvrage, on peut dire que la latitude que calculait Colomb ne lui servait à rien dans le cours de sa navigation. Ce calcul répond à un autre souci. C'est, sans doute la raison pourquoi il en prenait si peu, en tout 2 dans le voyage aller et retour et nous allons maintenant les raisons de ce calcul dans le point suivant.

Tout d'abord notons que Christophe Colomb fait la différence entre l'art de naviguer : « *a nautica* » et la géographie scientifique. Il le signifie dans le prologue au récit de son premier voyage où il énonce le cahier des charges de sa mission « *écrire chaque soir tout ce qui s'est passé pendant le jour et chaque matin ce qui a été parcouru pendant la nuit. J'ai l'intention de dresser une carte nouvelle de la Mer Océane avec ses propres points (remarquables) sous leurs propres vents et de plus composer un livre en y faisant également figurer ces mêmes points par leur latitude par rapport à la ligne équinoxiale et en longitude Ouest....* »⁵⁹³. Il se propose donc de dresser un portulan classique, ce qu'il sait faire, par caps et distances des points remarquables. A côté de cela il se propose d'écrire un index des points remarquables repérés par leur latitude et leur longitude à l'Ouest des Canaries. Il connaît bien Ptolémée et son système de coordonnées. C'est donc pour poursuivre ce second objectif qu'il s'essaye à calculer quelques latitudes.

Mais revenons à sa pratique du calcul des latitudes. Le 30 Octobre il trouve 42° de latitude il dit : « *Al parecer del Almirante distava de la linea equinoxial 42 grados* » alors que José

⁵⁹³ Cristobal Colon *Textos y documentos completos. Prologo y notas de Consuelo Varela* Edit. Alianza Universidad . Madrid 1992. p 16-17.

Lopez fait remarquer il est à l'île Watling aux Bahamas qui est sur le parallèle 24.⁵⁹⁴ Las Cases, lui-même, qui relit les notes de Colomb n'y croit pas trop, il intervient dans le texte : « *si no esta corrupta la letra de donde transladé esto* ». Mais Lopez écarte toute possibilité d'interversion des chiffres, erreur classique des copistes, car on n'arrive à rien de cohérent en essayant dans cette direction. Reste donc, selon José Lopez, une erreur volontaire pour brouiller les pistes. Mais le 4 Novembre, il réitère : 42 degrés⁵⁹⁵. Troisième latitude le 21 novembre. : Toujours 42°, exactement, comme il l'avait calculé auparavant, il y quelque chose qui ne va pas et il s'en inquiète. « *A ce moment là l'Amiral se trouvait à 42 degrés au Nord de la ligne équinoxiale, comme au port de Mares, mais là, **il dit qu'il laissait désormais le quadrant à l'écart jusqu'à ce qu'il arrive au port pour le faire régler** Il lui paraissait que cette distance à la ligne équinoxiale ne devait pas être aussi grande. Et il avait raison,* (commentaire de las Cases) »⁵⁹⁶. On aurait du avoir le même ciel qu'en Castille et il faisait chaud, alors que nulle part au monde on n'aurait pu avoir une telle chaleur pour une distance équinoxiale de 42°. Alors que l'on avait trouvé le même résultat à Mares le 30 Octobre. Conclusion le quadrant sous évaluait.⁵⁹⁷

Mais apparemment ce problème n'est pas propre à ce voyage. Par ailleurs, en 1495, il écrit : «... *J'ai navigué en l'an 1477 durant le mois de Février jusqu'à Thulé (l'Islande) dont la partie Sud est distante du cercle équinoxial de 77° et non pas 63°, comme l'affirment certains...* »⁵⁹⁸ Le problème est que cette côte Sud est à 63° :17' de latitude. Il y a donc une erreur systématique chez Colomb. Un indice de la source de cette erreur peut être décelée à travers l'allusion qu'il fait à propos d'un réglage de l'instrument à faire effectuer à terre est un détail important. Cet instrument n'est donc pas étalonné par rapport au pôle ou à l'équateur ; il est étalonné par rapport à un point de référence correspondant à une position déterminée à terre, (peut être le point de départ ou le lieu de résidence du facteur de ce quadrant.) Il calcule la latitude en corrigeant la hauteur de la polaire lue sur le limbe par la distance supposée du point de référence par rapport à cette ligne équinoxiale. Il faut donc, puisqu'il se réfère sans

⁵⁹⁴ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 105 note 143.

⁵⁹⁵ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 108 note 156

⁵⁹⁶ Jose Martin Lopez, *Ibid Miercoles 21 de Noviembre.* P 124

⁵⁹⁷ Jose Martin Lopez, *Ibid.* p. 124 note 124.

⁵⁹⁸ Cristobal Colon *Textos y documentos completos. Op.cit. Fragmento de una carta a los Reyes.* p 167.

cesse à cette fameuse ligne équinoxiale, savoir où il la situe. Il répond au moins deux fois : dans le prologue du troisième voyage il écrit : « ...la ligne équinoxiale... supposée être au droit du parallèle qui passe par la Sierra Leone en Guinée »⁵⁹⁹. Et ensuite en 1495 « ...J'ai été dans le fort de la Mina du Roi du Portugal, qui est en dessous de la ligne équinoxiale,... ». Or la Mina est au Ghana, toujours dans l'hémisphère Nord. Nous avons donc la solution, il a adopté la position de l'équateur qui était reconnue avant que les latitudes ne soient déterminées définitivement par des observations du soleil soit *une linea equinoxial* qui passait bien plus au Nord, 14° :13 nous dit-on⁶⁰⁰ de l'équateur réel.

3-3.4 Conclusion. Problèmes de datation

Le texte de Christophe Colomb va nous aider à prendre position dans ce débat. Christophe Colomb utilise des méthodes de navigation qui ne sont pas les plus avancées de son époque. Parce que c'est une personne privée, il n'a pas accès aux derniers développements des Portugais et en particulier les méthodes d'observation du soleil, protégées par le *sigillo*. En 1492 c'est un homme mûr et sa formation est déjà ancienne quoique excellente, sa formation est donc aux méthodes anciennes. Cependant son texte est explicite il est parfaitement au courant de la méridienne de polaire et en connaît toutes les subtilités, il connaît les arcanes de la cartographie et est un maître de l'estime. Il connaît la méthode de l'atterrissage par la hauteur de polaire. Il faut se pencher sur son calcul de la latitude. Apparemment, il ne déduit pas la latitude de la hauteur de la polaire au lieu de l'observation par application de la formule $L = 90 - (h + D)$. Il passe par le truchement de la hauteur de la polaire et de la latitude à Lisbonne, il calcule par l'estime à quelle distance de la *linea equinoxial* se trouve sa position au moment de l'observation. Il estime cette distance en lieues faussées par son adoption des mesures de Ptolémée, (16 lieues $\frac{2}{3}$ ⁶⁰¹ ou peut être moins au degré au lieu de 18,°8). Vraisemblablement la même méthode a été employée par ses prédécesseurs pour déterminer où passe cette *linea equinoxial* avec l'erreur que l'on sait.

⁵⁹⁹ Cristobal Colon Ibid Relacion del Tercer Viaje (1498) p 212.

⁶⁰⁰ Cf *supra* p. 496.

⁶⁰¹ Texeira da Motta. L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op. cit. p. 133

De sa façon même sa façon d'aborder et d'entreprendre sa *volta* de retour, puis d'aborder le virage de sa *volta*, nous fait comprendre l'avancée décisive de Gil Eanes dans ce domaine. Ceci semble tout à fait corroborer la thèse de Teixeira da Motta qui admet que la navigation astronomique s'est faite en deux temps : un premier temps par la polaire et le calcul des distances Nord-Sud, puis un second temps par le soleil et le calcul des latitudes géographiques. On aura donc tendance à suivre le Commandant Texeira qui estime que Gil Eanes connaissait cette première méthode et l'appliquait pour la première fois lorsqu'il a passé Bojador. Ceci expliquerait en effet pourquoi son passage fut si remarqué en son temps. A suivre Zurara on comprend qu'il y a quelque chose de neuf qui vient de se passer, mais sans pouvoir définir exactement quoi. Car si on développe la pensée du commandant Teixeira on peut dire que le système de la *volta* se met en place très tôt, à partir de la découverte des Canaries en 1336. Le Commandant Texeira ne fait que suivre dans cette idée une hypothèse très étayée d' Armando Cortesão⁶⁰² dans une courte communication qu'il conclue ainsi : « *J'avance, en conséquence l'hypothèse que l'idée de la navigation astronomique (qui avant la fin du XV^e siècle ,devait atteindre son apogée avec la préparation des premiers régiments nautiques et de leurs tables de déclinaison solaire) apparut au Portugal au commencement du XV^e siècle, sinon auparavant, et que l'infant D. Henri prit Maître Jacome à son service dans l'intention essentielle de mettre cette idée en pratique. »* Sa démonstration se base sur une analyse de la séquence temporelle de l'apparition des diverses îles de l'Atlantique sur les portulans. Découvertes en 1331, ces îles sont absentes d'un portulan de 1325 de Dulcert, mais trois de celles-ci, les plus à l'Est, apparaissent sur un portulan de 1339 du même Dulcert. Apparaissent également sur le même portulan, l'île Madère et deux autres îles isolées identifiées comme étant Terceira et Corvo de l'archipel des Açores. Autrement dit, Lanzarote Malocello qui part du Portugal pour découvrir ces îles revient en effectuant la *volta*, en allant, en travers de l'alizé, loin dans l'Atlantique central pour chercher les vents d'Ouest du retour. La *volta* des Canaries était donc déjà inventée qui fait passer près de Madère et tomber sur les Açores, points de repère plus que suffisants, pour rejoindre le Portugal en suivant le parallèle 38. Le problème de Gil Eanes n'est pas d'aller vers le Sud, (les alizés y portent naturellement) mais de revenir ; il faut suivre la *volta*, mais, plus on descend Sud, plus la *volta* s'allonge vers l'Ouest et la *volta* de Bojador, plus ample que celle des Canaries, ne permet plus de se recalcr

⁶⁰² Cortesão. (Armando) *Note sur les origines de la navigation astronomique au Portugal* . p. 57-59. in *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XV et XVI* actes du 5^{ème} colloque international d'Histoire maritime 14-16 septembre 1960. SEVPEN. Paris 1966.

sur les Açores. Il faut donc tourner plus loin vers l'Ouest, dans la fameuse Mer des Sargasses, sans autre repère plus précis. Aussi comment tourner c'est ici que la théorie de Teixeira et de Cortesão prend tout son sens.

Avelino Teixeira da Mota reprend à son compte la théorie de Barbosa et l'étaye par des indices concrets⁶⁰³. Selon lui, il n'est pas innocent qu'Henri le navigateur appelle auprès de lui à Sagres et embauche en 1420 un Maître Jacomo qui semble être bien Yaffuda Cresques, plutôt connu sous son nom de marrane Maître Jaime Ribes.⁶⁰⁴ C'est un cartographe mais aussi un astronome, élève de son père Abraham et issu du célèbre centre juif des Baléares. Sa titulature auprès de la cour d'Aragon mentionne sa qualité, non seulement de facteur de portulan, mais aussi de facteur d'instruments astronomiques. Jaime Ribes est un pur produit du monde savant des Baléares, composé de juifs, très versés dans la littérature scientifique arabe. Or la hauteur de la polaire et le calcul des distances Nord-Sud est un classique de cette littérature et la méthode qu'expose Christophe Colomb est exactement la même que celle exposée par Ibn Majid. C'est pourquoi nous, aussi, avons tendance à suivre le commandant Teixeira dans son hypothèse (qui est plus que raisonnable) et à attribuer au majorquin une part importante, sinon la totalité de la découverte de la mise au point de la méthode et surtout de l'instrument, le quadrant nautique qui permet l'observation de la polaire à bord.

Mais pour lui le plus important c'est que la méthode de la hauteur par la polaire daterait de l'époque de Gil Eanes et lui avait sans doute servi à virer dans sa volta de retour. Second point important cette méthode n'implique pas directement le calcul de la latitude. Revenons sur ses mots : *« Il y eut une phase antérieure (au calcul de la latitude) celle de l'utilisation des différences de hauteur (c'est la méthode d'Ibn Majid). La méthode est très simple. Au départ du Portugal, on observait la polaire pour une position déterminée des gardes et l'on marquait sur le limbe l'endroit où tombait la plombée. Au cours du voyage on observait la polaire, les gardes étant dans la même position et on marquait la plombée. On comptait les degrés entre les deux marques. En multipliant le nombre de degrés par 16 lieues 2/3, on avait ainsi le*

⁶⁰³ Avelino Teixeira da Mota *Influence de la cartographie portugaise sur la cartographie européenne à l'époque des découvertes*. In *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XV^e et XVI^e siècle*. Actes du 5^{ème} colloque international d'Histoire maritime, 14-16 Septembre 1960. Edit. SEVPEN Paris 1966.

⁶⁰⁴ Michel Vergé-Franceschi, *Henri le navigateur* Paris 1998 p217

*chemin Nord- Sud (en lieues) .C'est-à- dire que le quadrant était lu en termes de distances et non pas en termes de mesure angulaire pour donner la latitude ».*⁶⁰⁵ Autrement dit, on est dans un système mixte, on calcule la distance parcourue en utilisant le quadrant comme un « loch astronomique », la méthode n'étant valable que pour les distances Nord-Sud. Dans notre esprit la première position de l'équateur fut estimée par cette méthode, en faisant correspondre le nombre de degrés restant à couvrir depuis le Portugal et la distance parcourue en lieues. Texeira nous parle d'un facteur de conversion de 16 lieues 2/3 au degré⁶⁰⁶ et on sait que Colomb utilisait même quant à lui un facteur de 14 1/6.⁶⁰⁷, valeur conservée alors par les Espagnols. La valeur calculée est de 18,8 ; c'est sans doute dans la direction de ces facteurs de conversion qu'il faut chercher l'origine de cette différence. C'était une erreur de vouloir faire de la géographie avec des outils de marin ; Ibn Majid avait bien senti le piège.

Car rappelons le, les géographes savaient calculer la latitude d'un lieu à terre, même en Occident, dès le XIV^e siècle, par la méthode de la polaire avec l'astrolabe. Jean de Mandeville⁶⁰⁸ aurait établi la latitude de plusieurs villes des Flandres à partir de 1330. Il y a consensus là-dessus. . « *La manière de déterminer la latitude à terre était le patrimoine commun de tous les astronomes du XIV^e et XV^e siècle* ». ⁶⁰⁹ Mais ce sont des procédés de géographes et non pas de marins. Jaime Ribes n'aurait donc travaillé qu'à la transposition d'une méthode de la hauteur par la polaire incorporable dans le vieux système de l'estime. Il aurait en effet adapté la méthode arabe aux conditions locales. En effet les bois décrits par Ibn Majid ne sont pas utilisables en Europe du Nord ; ils sont trop courts pour une polaire trop haute. Il paraît être, en effet, l'homme idoine, astronome de formation par son père et très au fait des réalités nautiques par son métier de cartographe. Mais très honnêtement, il n'y aucune trace pour nous permettre de connaître l'inventeur exact de la méthode.

⁶⁰⁵ Cf.*supra* p 478.

⁶⁰⁶ Texeira da Motta . *L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle...Op. cit.* p. 133

⁶⁰⁷ Guy Beaujouan. *Science Livresque et art nautique au XV^e siècle.* p 82 in *Les aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles.* Actes du cinquième colloque d'histoire maritime à Lisbonne 14-16 Septembre 1960. Présentés par Michel Mollat Ed SEVPEN. Paris. 1966

⁶⁰⁸ Jean Favier *Les grandes découvertes* Fayard Paris 1991 p 258

⁶⁰⁹ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle. *Les origines de la navigation astronomique... Op.cit.* p 110.

Cette théorie, outre le fait qu'elle nous semble bien confirmée par la pratique de Christophe Colomb, a de plus l'avantage d'expliquer deux faits troublants.

1 Les portulans contemporains des découvertes portent une échelle des latitudes graduées en lieues et non pas en degrés.

2 l'explication cohérente de la citation de Diego Gomes qui dans sa forme complète se lit comme suit dans le *De prima inventione Guineae* : « *habeam quadrantem quando ivi in istas regiones et scripti in tabula quadrantis altitudinem poli arctici et ipsum meliorem inveni quam cartam. Certum est quod in carta videtur via marinandi, sed semel errata nunquam redeunt ad premium propositum.* » traduite par Charles de la Roncière « *J'avais un quadrant quand j'allais dans ces régions, j'inscrivis sur le limbe du quadrant la hauteur du pôle arctique et je la trouvais plus exacte que sur la carte. Il est certain que sur la carte on voit les routes à parcourir mais beaucoup d'erreurs accumulées ne partent jamais du propos principal* ». ⁶¹⁰ J. Bensaude propose lui pour la seconde phrase « *Mais une fois qu'elle est fausse on ne revient jamais au but primitivement fixé* ». ⁶¹¹ La seconde traduction éclaire la première partie et en fait un tout qui signifie à notre avis Quand je suis parti pour ces régions j'avais un quadrant, j'inscrivis sur son limbe la distance zénithale de la polaire, bien meilleure méthode que l'estime. En ce qui concerne l'estime pour le retour les erreurs s'accumulant au fur et à mesure que l'on fait route, et donc lorsqu'on retourne vers le Nord on ne peut retrouver la position initiale.

C'est bien le schéma que suit Colomb, il cherche à retrouver l'aspect du ciel de Séville, parmi toutes ces sensations qu'il essaie de se remémorer, une hauteur de polaire aurait précisé ces impressions trop fugaces. Et même loin dans l'Ouest il se rapatrie en faisant route à l'Est.

⁶¹⁰ Guy Beaujouan et Emmanuel Poulle. *Les origines de la navigation astronomique...* Op.cit. p 116

⁶¹¹ Jaime Cortesão. *Note sur les origines de la navigation astronomique au Portugal* in *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XV et XVI actes du 5eme colloque international d'Histoire maritime 14-16 septembre 1960*. SEVPEN. Paris 1966. p. 69

C'est la base de la technique arabe, l'atterrissage par la hauteur de polaire. Il n'est question dans tout ceci pas question de latitude il n'est question que de hauteur de la polaire en Andalousie. La phrase de Diogo Gomes est à détacher de la position de l'équateur à 14° :12. D'où peut provenir cette erreur. Il est hors de question que sa détermination soit le résultat d'un calcul des longueurs des jours et des nuits. Les jours sont égaux aux nuits non seulement sous l'équateur mais aussi partout dans le monde deux fois par an le jour de l'équinoxe. Une estime calculée à partir d'une différence de hauteurs de la polaire transformée en distance parcourue. Mais cette distance est calculée à partir d'une valeur de la longueur du méridien minorée par rapport à la réalité, est, à notre avis responsable d'une erreur systématique. Christophe Colomb n'est pas le seul à commettre cette erreur, il ne fait semble-t-il qu'appliquer des formules généralement admises à son époque.

En revanche quand on franchit l'équateur en 1475, on rentre dans un monde inconnu l'Atlantique Sud ; ce n'est pas seulement la mer qui est inconnue, c'est surtout le ciel. Même les navigateurs arabes ne sont d'aucun recours, ils n'ont dépassé l'équateur que marginalement, soit en cabotant le long de la côte africaine, soit en se faufilant entre les îles d'Indonésie de la partie Ouest.⁶¹² On ne sait pas quand la méridienne de soleil sera mise au point. L'élément le plus important, les tables de déclinaison solaires existaient déjà. Ne manquait que la mise au point d'un instrument simplifié pour la mesure de la hauteur du soleil. Les Arabes savaient prendre la hauteur du soleil avec l'astrolabe. Il était évidemment impossible de viser directement le soleil avec l'alidade à pinnule, mais on pouvait indirectement observer la trace du rai solaire que laissait passer l'œilleton de l'alidade dirigé vers le soleil. *« La nouvelle méthode de navigation n'était viable que dans la mesure où les cartes nautiques étaient graduées en latitude. Or les cartes utilisées alors ne comprenaient que des rhumbs et des distances et étaient, par conséquent, impropres à la nouvelle navigation. Il était indispensable de procéder à un nouveau levé de côtes africaines et certains documents nous font penser que l'on a commencé à le faire précisément dans la période 1480-1485, simultanément avec la création de nouveaux règlements nautiques (regimentos do sul). Je crois que ces simples faits expliquent, en toute logique, certains*

⁶¹² Henri Grosset-Grange *Les procédés de navigation en Océan Indien au moment des grandes découvertes*. Voir carte p. 227 à 229 in *Sociétés et compagnies de commerce en Orient et dans l'Océan Indien Actes du 8ème colloque d'histoire maritime du 5-10 Septembre 1966* ; Edit. SEVPEN Paris 1970

événements (comme les observations sur terre de M^e José Vizinho en 1485) qui ont suscité la perplexité de Mssr. Beaujouan et Poulle »⁶¹³

L'équateur passé, Diego Cao, lors de sa première expédition 1482-83 va jusqu'à la latitude 13° Sud, au cap Sainte Marie en Angola. Il devient à cet instant évident que l'hémisphère Sud sera de plus en plus fréquenté et le problème demande alors une solution urgente. Lors de son second voyage 1484-85 il atteint le parallèle 22° Sud, soit Cape Cross en Namibie. Mais il a alors à son bord Martin Behaim et on peut supposer que celui-ci est là, soit pour mesurer la latitude à terre avec l'astrolabe et peut être qu'il n'est pas étranger à la mise au point de cette méridienne de soleil par l'arbastrille. Car entre 1488 et 1498, comme nous l'avons vu précédemment, le système de la *contre-volta* se met en place et cela implique que le navigateur sait « chasser » le parallèle 34° Sud, grâce à la méridienne solaire, pour pouvoir passer le Cap de Bonne Espérance.

C'est exactement le même principe qui préside à la méthode symétrique de celle utilisée pour chasser le parallèle des Açores avec la méridienne lunaire, au Nord pour l'atterrissage sur Lisbonne dans la *volta des sargasses*. La seule différence est dans le détail des calculs. Dans la *volta des sargasses* on utilisait les distances Nord-Sud obtenues par différences de hauteurs polaires, alors que dans la *volta du Brésil* on passe par l'intermédiaire des latitudes calculées par la méridienne de soleil. D'ailleurs, João de Barros dans son récit atteste que Vasco de Gama utilisait cette méridienne de soleil. C'est pourquoi nous penchons pour les dates de 1482-1488 pour la date de la méridienne de soleil.

Pour terminer ce panorama de cet instant très important de l'arrivée de nouvelles méthodes de navigation par les astres qui vont accompagner désormais toutes les découvertes maritimes qui vont se succéder au cours des deux siècles suivants, il faut remarquer que des méthodes existaient depuis longtemps dans la communauté scientifique. La question principale a été d'en adapter les principes à la pratique marine. Nous devons ici citer la conclusion de M Guy

⁶¹³ Avelino Teixeira da Mota *Influence de la cartographie portugaise...Op.cit.* p. 230

Beaujouan à ce sujet⁶¹⁴ : « *On ne saurait souligner, avec trop de force, le fait suivant : l'immense pas en avant, sous l'énergique et clairvoyante impulsion de Jean II, ne tient pas du tout, comme on le croit si souvent à un quelconque progrès de l'astronomie ; il est le résultat d'un remarquable effort d'organisation et de coordination. La préparation d'un manuel élémentaire d'astronomie nautique, le relevé systématique des latitudes le long de la côte africaine, la mise en service des grands astrolabes allégés de leur partie astrologique ; voilà bien les trois initiatives qui marquèrent entre 1483 et 1485 l'aurore de l'art nautique moderne...* » Cela est passé par des instruments nouveaux : non seulement l'astrolabe marin, mais aussi le quadrant et l'arbalestrille qui est un gnomon marinisé. Cela suppose, évidemment, une collaboration entre savants et navigateurs. Celle-ci n'a été rendue possible que parce ce qu'il y avait une volonté politique d'apporter des solutions rapides aux problèmes nouveaux qui se posaient. En fait les princes portugais, pressés par le temps, n'ont pas attendu le seul jeu de l'empirisme et qu'une collection de découvertes individuelles partielles fasse émerger des solutions issues d'une longue. C'est cette volonté politique extérieure qui, à notre sens, explique la relative rapidité de la mise au point de ces méthodes de navigation, d'une part, méridiennes de polaire ou de soleil et, d'autre part, *volta* et *contrevolta*. C'était notre hypothèse de départ⁶¹⁵.

⁶¹⁴ Guy Beaujouan. *Sciences livresque et art nautique* p. 81 in *Les aspects internationaux de la découverte océanique ... Op.cit.* p. 81

⁶¹⁵ Cf supra p. 452-453.

Troisième Partie

3-4.0 Conclusion de la troisième Partie.

A chacun sa vérité.

Si on veut comparer les méthodes de navigation astronomique arabes et occidentales, force est de constater que la méthode portugaise (première manière) consistant à utiliser dans la pratique de la volta les chemins Nord-Sud, mesurés à partir de la hauteur méridienne de la polaire est directement inspirée de la méthode de navigation arabe. Sans que nous puissions trouver une source historique explicite sur ce sujet, les indices d'une filiation directe sont plus que troublants. L'utilisation de la hauteur de la méridienne de polaire pour définir une différence Nord-Sud est non seulement une application brutale de la méthode arabe, mais plus encore, le moyen de déterminer l'instant de passage de la polaire à la méridienne par l'observation des gardes semble être une copie conforme de cette même méthode. D'une façon générale cet atterrissage en suivant la ligne Est-Ouest du port d'arrivée est clairement expliqué dans les ouvrages d'ibn Majid.

L'hypothèse du Commandant Texeira da Mota de l'intervention probable de Jaime Ribe dans ce domaine et l'influence de sa culture maritime arabe de l'école des Baléares dans cette affaire nous paraît constituer un début d'explication convaincante de cette filiation directe. Nous n'ajouterons que pour mémoire que ces deux méthodes sont le fruit d'un empirisme déjà fortement influencé par une recherche appliquée. Et que dans ce dernier aspect, les deux recherches sont issues d'une même matrice scientifique, l'astronomie qui est passée, en l'état, des arabes aux occidentaux. Cependant il faut noter que les Portugais n'ont utilisé la méthode de navigation arabe que d'une façon sommaire, n'utilisant que certains détails et en négligeant toute la sophistication de ses développements et sans assimiler les principes généraux qui l'inspirent. C'est ce que nous allons examiner maintenant.

3-4.1 Comparaison des méthodes arabes et occidentales.

Nous avons vu que la méthode d'ibn Majid procède comme par l'utilisation d'un goulet virtuel dans lequel le navigateur arabe cantonne le navire pour le guider. Nous avons vu que la route, chez Ibn Majid, n'est pas une trajectoire à suivre mais, plutôt, une frontière à ne pas dépasser. Pour aller vers le port visé, il ne faut pas venir dans la zone comprise entre la route

et la terre, pour des raisons de sécurité ; en revanche, au-delà, on a toute latitude de naviguer même si on ne connaît pas trop exactement la position précise. Cependant, il y a une limite à ne pas dépasser dans cette errance. Il ne faut pas aller au-delà de la route Est-Ouest menant au port d'arrivée. Plus précisément si on arrive sur cet axe, il faut changer de cap et faire une route Est-Ouest en conservant la même hauteur de la polaire, jusqu'à rejoindre le port. On est donc en présence de deux limites qui définissent, entre elles un secteur de sécurité qui se dirige vers le point d'arrivée. Et plus on se rapproche du point d'arrivée et plus des deux limites se rapprochent, à la façon d'un entonnoir ou plutôt d'un goulet, pour se rejoindre finalement au port de destination. La précision croît avec le développement du voyage. On est en présence d'une technique de *homing*.

C'est exactement le contraire qui se passe dans la méthode de l'estime. Nous avons insisté, lorsque nous avons traité des limites de l'estime, sur le fait que les dimensions du quadrilatère d'incertitude grandissent avec la distance parcourue. L'estime calcule la position à partir du point de départ et procède à partir de ce point de départ par extrapolation. Il en résulte que plus on s'éloigne de ce point et plus l'erreur sur le cap se combine à l'erreur sur la vitesse pour donner une incertitude, à chaque pas plus grande. Nous avons vu, que ce quadrilatère d'incertitude à une largeur de l'ordre de 20% de la distance parcourue, sur 5% de la même distance, en profondeur. On est en présence d'une navigation linéaire dont l'imprécision va en croissant au fur et à mesure que l'on s'approche de l'objectif.

Cette explication n'est pas très parlante pour ceux qui ne sentent pas les situations nautiques. Explicitons cette différence entre *homing* et navigation linéaire par un exemple pris au domaine de l'artillerie. L'artillerie doit en effet résoudre des problèmes similaires à ceux de la navigation, il s'agit de prévoir le parcours d'un projectile pour qu'il arrive au point prévu à l'avance. Dans un tir de D.C.A., par exemple, on doit déterminer, à l'avance, le point qu'il faut viser, bien en avant de l'avion, de telle sorte que l'obus, qui, dès sa sortie du canon, suit une trajectoire désormais déterminée qui lui a été fixée définitivement par l'artilleur, atteigne, un endroit déterminé à un moment déterminé, un point où précisément on a prévu que l'avion sera au même instant précis. C'est le même principe que dans l'estime : on part d'un point de départ et on construit sa route vers le but cherché. Evidemment il faut prévoir tous les paramètres qui entrent dans le calcul avec la plus grande précision, c'est le point délicat.

L'autre méthode demande de tirer une fusée à tête chercheuse vers le même avion. La fusée, à l'inverse de l'obus, n'est pas un projectile passif, elle peut être manœuvrée et changer sa trajectoire pendant son vol. Une des techniques utilisées consiste à équiper la fusée d'un dispositif à infrarouge qui la manœuvre. Grâce à ce dispositif la fusée se s'aligner automatiquement vers la source de chaleur que constitue le moteur de l'avion visé. Comme l'avion se déplace, la fusée va donc suivre une courbe à la poursuite de l'avion, dite courbe du chien⁶¹⁶, et rattraper l'avion grâce à sa vitesse propre qui est supérieure à celle de sa cible. C'est la méthode du *homing* ; **la navigation se fait à partir de l'objectif et non pas du point de départ**. Cet exemple fait bien apparaître la différence entre le *homing*, une navigation à partir du but à atteindre et la navigation linéaire où tous les paramètres sont pré calculés dès l'instant du départ.

L'exemple est bien entendu schématique et la réalité plus nuancée, l'estime en particulier admet les corrections en cours de route, si les paramètres évoluent durant le trajet et les occidentaux utilisaient le homing dans d'autres applications, par exemple pour entrer dans un port en suivant un alignement de deux amers⁶¹⁷. Ces approches différentes ne sont pas le fruit du hasard, elles découlent des impératifs et des contraintes auxquelles sont soumis les navigateurs. Ces contraintes sont différentes selon les objectifs que l'on se fixe, qui eux-mêmes varient en raison des circonstances dans lesquelles ces techniques s'appliquent, d'où la diversité des techniques choisies. A chacun sa vérité, pourrait on dire.

⁶¹⁶ Un chien s'est éloigné de son maître. Il l'aperçoit qui traverse un champ, le chien pour le rejoindre se dirige vers lui. Comme son maître se déplace, le chien ne va pas en ligne droite mais poursuit une courbe d'où le nom : courbe du chien. Le projectile tiré se dirige en ligne droite ; on a calculé préalablement les paramètres de sa course pour qu'il suive une route dite de collision. C'est la route que suit un navire qui aperçoit un navire à l'horizon qui suit une route traversière. Si le navire aperçu reste au même relèvement bien que les deux navires se rapprochent, on est sur la route de collision. Il faut manœuvrer, c'est adire changer les paramètres de la route.

⁶¹⁷ 2 Lorsqu'on suit un alignement pour embouquer la passe d'entrée d'un port les lois de la perspective font que plus on s'approche et plus l'alignement devient sensible et précis. Dans la navigation actuelle, on retrouve ce *homing* dans le cas d'un navire entrant dans un port en se guidant sur un phare à secteur ; un secteur blanc indique au navire venant du large qu'il est dans une zone saine, ce secteur blanc est bordé de secteurs colorés vert et rouge qui indiquent un danger et indiquent au navigateur que la zone dangereuse est sur la droite en entrant au port ou sur la gauche. Il doit évacuer la zone en revenant dans centre du chenal indiqué par le secteur blanc.

3-4.2 L'objectif du navigateur arabe : atterrir

Les marins arabes sont en présence de trajets souvent longs mais profitent de vents stables, qui s'exercent cependant pendant un temps limité. La mousson est un vent dominant qui efface souvent les brises thermiques plus faibles. Dans ces conditions, la route le long de la côte peut être difficile, selon l'endroit où on atterrit et surtout le moment dans la période de mousson. Ce sont les impératifs qui ont donné lieu à ces fenêtres de départ que nous avons déjà vues dans le Périple de la mer Erythrée, explicitées dans le détail par Ibn Majid. Elles sont calculées « à l'envers », à partir du moment jugé favorable pour le moment de l'arrivée, après une traversée dont le temps est alors, de ce fait, mesuré. Il en résulte pour le navigateur arabe l'obligation de ne pas se laisser piéger, en ayant trop de route à faire au vent d'une côte inhospitalière. Cela lui impose de réussir un atterrissage aussi précis que possible, pour se présenter à la fois sous les aspects les plus faciles et les plus sûrs. Un atterrissage selon la latitude à défaut d'un atterrissage à point nommé constitue une alternative acceptable. La précision de la méthode ne dépend, en fait, que de la précision de la mesure des observations, d'une part, et de la possibilité de faire des observations d'autre part. C'est ce qui explique toute la somme d'efforts qui ont été faits par les navigateurs arabes pour trouver et mettre en pratique tous ces astres substitués et de ne pas se contenter que de la seule observation de la polaire, bien trop aléatoire pour leurs besoins. Pour la beauté du concept, on peut dire que le système arabe est beaucoup plus gratifiant, au niveau intellectuel, que l'estime. Cette notion de précision qui croît, alors que le but s'approche est particulièrement satisfaisante pour l'esprit, elle appelle à la notion, si moderne, de cercle vertueux. Alors comment expliquer l'arrêt de la recherche dans ce domaine et, surtout, pourquoi les Portugais, qui ont été très tôt au contact, n'en ont pas profité pour développer une science nautique originale.

3-4.3 L'objectif des portugais, chasser le vent portant.

Il serait inexact de soutenir que les Portugais ne recherchent pas, dans la mesure du possible, un atterrissage précis sur le port d'arrivée projeté. Mais dans leur système de navigation, c'est l'estime qui reste la base du système de naviguer. L'utilisation de la méridienne ne peut être qu'une méthode complémentaire destinée à préciser le système général de navigation. La méridienne ne reste qu'une méthode annexe à n'utiliser que pour l'atterrissage. L'apport de la

méridienne ne sert qu'à réduire la superficie du quadrilatère d'incertitude à des niveaux compatibles avec une reconnaissance à vue de la côte. Pour comparer la pratique portugaise et celle des Arabes, observons que les Arabes ont besoin d'observer tous les jours pour mieux contrôler leur route. Les Portugais continuent à se fier à l'estime, même incertaine, mais ce dernier cas, une seule observation, la veille de l'arrivée, suffit pour se recaler en vue de l'atterrissage. L'avantage de se baser sur l'estime est de conserver un système qui ne dépend pas entièrement des observations. Les temps couverts sont davantage le fait de l'Océan Atlantique plutôt que de l'Océan Indien. Ceci explique, sans doute, que les Portugais dans leur pratique n'utilisent pas toutes les ressources de la science astronomique.

D'autre part, un second problème du navigateur interocéanique occidental est la recherche du vent portant. Les Arabes disposent de la mousson qui est un vent universel, (tout du moins dans l'intervalle bien défini de sa saison) dans tout l'espace navigable par le navigateur arabe, En effet les Arabes ne sortent pas de la zone des moussons, ils se contentent d'explorer et d'exploiter les meilleures opportunités de cette vaste zone, suffisamment vaste et riche pour pouvoir combler les aspirations des voyageurs les plus aventureux et des commerçants les plus entreprenants. Leur domaine s'étend dans les sens Est-Ouest avec la mousson soufflant toujours en diagonale dans ce domaine. Chaque fois qu'ils font des avancées vers le Sud dans des zones tropicales où la mousson ne joue plus, ils les font le long des côtes d'Afrique vers le canal du Mozambique ou entre les îles de l'Insulinde. Quant aux Portugais, le seul choix qui s'est imposé à eux est d'explorer l'Atlantique, un domaine qui s'étend dans le sens Nord-Sud, où il faut successivement traverser des régions de vent différents et opposés selon les climats : vents d'Ouest de l'Atlantique Nord, puis vent d'Est des alizés Nord et Sud, puis de nouveau, vents d'Ouest de l'Atlantique Sud. Chaque domaine de vent est séparé du suivant par des zones de vents variables souvent faibles voire presque nuls, (le pot au noir). Pour compliquer le schéma il faut dire que la carte des vents n'est pas fixe dans le temps. Les alizés suivent le soleil et commencent plus ou moins tôt en latitude, selon que le soleil monte ou descend dans l'hémisphère Nord. La zone des bonaces, le fameux pot au noir, fluctue autour de l'équateur, son épaisseur varie selon la longitude et le navigateur a tout intérêt à chasser l'endroit où elle sera la plus facile à franchir. D'une façon générale les vents, étant liés au soleil, se présentent comme soufflant selon des bandes horizontales, c'est le vieux système des climats. Mais ces climats ne sont pas immuables, ce sont des anneaux du globe terrestres

où les mêmes conditions générales de temps prévalent mais ils changent de place et aussi se déforment en suivant le soleil.

Les conditions qu'affrontent les Portugais sont donc radicalement différentes que celles qui prévalent pour les Arabes. Ils trouvent devant eux un océan qui est loin d'être uniforme, c'est un manteau d'Arlequin qui se déforme selon les saisons, c'est une succession de zones qui vont de franchement favorable à leur progression à définitivement hostile en passant par un stade intermédiaire, celui de négociable avec persévérance. Ils doivent donc se frayer un chemin sinueux pour optimiser au mieux la route en fonction des vents tels qu'ils se présenteront. Le marin va donc être confronté non pas à un seul objectif mais à des objectifs intermédiaires. Sa route est forcément une ligne brisée où il va d'un bord à l'autre de l'océan pour trouver le meilleur chemin possible.

Ces objectifs ne sont même pas des points déterminés, ce peuvent être des latitudes, le vent d'Ouest se trouve à la latitude des Açores, l'alizé pour l'Amérique, un peu plus bas que les Canaries et il faut descendre presque au 40° Sud, pour trouver le vent qui vous fait passer Bonne Espérance. Selon le vent que l'on trouve, jour après jour, on fait cap au mieux. Il en résulte des courses qui ne ressemblent en rien à la traversée franche de l'Océan Indien Nord, le marin portugais va de volta en contre volta. C'est là que l'estime devient très utile, malgré ses imperfections. C'est **une mémoire de la route passée**. Ceci explique le fait que les Portugais, inventeurs de ces routes nouvelles, et les occidentaux qui se sont lancés sur des voyages au long cours à leur suite, aient conservé ce système.

Mais le péché originel de l'estime, demeure ; c'est cette précision qui s'évapore avec la distance parcourue. C'est ce qui explique également que tous les soins des navigateurs désormais vont porter dans trois directions. Tout d'abord il faut affiner les paramètres, c'est-à-dire de préciser la mesure des objets de l'estime, la distance parcourue et surtout le cap suivi dans le but d'améliorer les résultats globaux. C'est surtout sur ce dernier point que les besoins de précision se font sentir. On a commencé, dès la fin du Moyen Age, à distinguer la déclinaison magnétique et corriger le cap surtout des variations de cette déclinaison dans l'espace, puis dans le temps. Il a fallu également tenir compte des dérives, mais cela beaucoup

plus tard : celle due au vent que les grands voiliers mesuraient par l'observation de leur sillage et aussi celle due au courant pour laquelle on a élaboré une théorie des marées. Le second point sur lequel l'attention se portera sera sur le support physique du graphique d'estime, la carte marine, dès le XVI^e siècle, le portulan devra être abandonné en faveur de la carte de Mercator et enfin, il faudra développer les méthodes complémentaires, la navigation astronomique notamment, destinées à préciser cette estime vraiment trop vague pour être exploitée seule en l'état pour les traversées intercontinentales. Ce seront donc les chemins tout désignés pour la future recherche appliquée qui commence donc dès le XVI^e siècle. C'est cette recherche maniaque de l'amélioration de la précision qui va caractériser la suite de l'Histoire nautique.

Conclusion générale

4-0. Conclusion générale

Les progrès de la science nautique dans le contexte général.

Nous avons vu que l'estime est une invention à l'origine de grandes avancées dans les méthodes de navigation. La technique des mesures de hauteur de la polaire ou du calcul de la latitude par la méridienne de soleil sont également de nouvelles méthodes de navigation qui permettent de faciliter les atterrissages en complément de l'estime, puisque celle-ci devient trop imprécise, surtout dès que l'on est en présence de longues traversées. Jusqu'à l'invention de la carte de Mercator il n'y a aucune cohérence entre les deux méthodes mais une simple coexistence. En effet, ce n'est que sur cette carte que le navigateur pourra simultanément tracer sa route et les résultats de ses calculs de hauteurs astronomiques : la latitude.

4-0.1 L'évolution des méthodes

En ce qui concerne la navigation et son histoire pour conclure cet exposé des méthodes de navigation mises au point pendant le Moyen Âge, on peut dire que le voyage de retour du premier voyage de Christophe Colomb est un excellent résumé de l'usage en vraie grandeur de ces méthodes. On y retrouve en effet l'estime dans sa pratique détaillée et chiffrable. On y voit aussi le fonctionnement de la *volta* et le problème qu'elle pose au navigateur pour tourner au moment précis qui permettra de retrouver la route du retour. Elle montre aussi comment le navigateur tente de résoudre ce problème en cherchant à retrouver son ciel de départ, y compris par l'observation de la hauteur de la polaire. Nous comprenons par-là l'évolution qui mènera bientôt de cette première pratique, héritée des Arabes à une nouvelle technique, beaucoup plus sophistiquée mais universelle, bâtie sur la base scientifique de la latitude par le soleil. Une analyse de ce premier voyage nous semble présenter une parfaite synthèse des acquis du navigateur pendant tout le Moyen Âge. Il nous permet à partir de cette revue de toutes les techniques exposées, d'ouvrir une réflexion sur l'évolution de la science nautique.

On est frappé du peu de temps qui s'est écoulé entre le voyage de Gil Eanes et celui de Diogo Cão au Congo. C'est-à-dire entre la première utilisation probable de la méthode de la hauteur de la polaire et celle de la mise au point du calcul de la latitude par la méridienne de soleil. Il s'est écoulé l'espace d'une génération puisque Diego Gomes qui utilise et nous explique la première méthode peut s'entretenir avec Martin Behaim qui travaille, déjà, à l'élaboration de la seconde. Cette accélération de l'évolution technique est, à ne pas douter, la conséquence directe de la recherche appliquée au regard des progrès plus lents par l'accumulation empirique.

Il va sans dire que les méridiennes ont eu un impact énorme sur les futures navigations hauturières, c'est normal, en ce sens qu'elles ont été inventées pour cela. Mais les conséquences sont contenues dans la période suivante. Il ne fait aucun doute que le phénomène colonial n'a pu exister que parce qu'il existait une marine au long cours qui pouvait établir des liens importants en volume, à un coût raisonnable et surtout en toute sécurité entre la métropole et la colonie. Il est certain que les progrès de la science nautique y jouent un rôle tout particulier, mais ces développements se produiront à l'époque moderne qui est en dehors de notre champ d'étude. Il y a forcément un décalage chronologique entre les causes et les conséquences, mais

La corrélation entre l'expansion de la navigation commerciale et les avancées parallèles de la science nautique est à même de nous obliger à nous interroger sur la situation actuelle de cette science et sur la signification de l'évolution des techniques de navigation. Il est intéressant de noter que les avancées médiévales dans la science nautique ont laissé des traces dans la navigation actuelle. Le matin, on fait généralement une droite de soleil et, vers midi, il est toujours d'usage de prendre la méridienne de soleil. La droite de soleil du matin est transportée, c'est à dire que l'on la déplace sur la carte selon le cap suivi et pour la distance estimée parcourue entre le temps des deux observations. Cette droite transportée coupe la méridienne ce qui donne un point à l'heure de cette dernière observation. A partir de ce point on calcule par l'estime le point à midi du bord. C'est ce point qui est inscrit au journal de bord, communiqué à l'armateur et c'est à partir de là que l'on, calcule l'ETA (*estimated time of arrival*). Ce point à midi donne un point intermédiaire bienvenu entre le point d'étoile du matin et celui du soir.

Pour résumer les méthodes employées on peut observer que la droite de soleil du matin fut mise au point par Marq Saint-Hilaire vers les années 1870, elle est reportée sur une carte de Mercator, résultat d'une modification, dans la deuxième moitié du XVI^e siècle, d'une carte plus ancienne, la carte des rhumbs et des distances qui date, quant à elle, du XIII^e siècle et le transport est exécuté selon l'estime datant également du XIII^e siècle. Le point est obtenu en superposant cette droite transportée sur une méridienne de soleil, mise au point dans les dernières années du XV^e siècle. A voir cet empilement de techniques qui vont des plus anciennes au plus contemporaines, à voir cette suite constante de perfectionnements, la boussole au XII^e siècle, l'estime et la carte par rhumbs et distances au XIII^e siècle et la méridienne de soleil élaborée vers 1480, on serait tenté de dire que l'évolution historique des techniques suit un sens, celui de l'efficacité. Ce que nous venons de voir nous amène cependant à nuancer un tel jugement.

S'il y a une logique dans ces choix, elle paraît curieuse. Si nous étudions la méthode oblique d'Ibn Majid et la comparons à l'estime d'après Christophe Colomb, la première est intellectuellement bien plus satisfaisante que la seconde. En effet, chez Ibn Majid le but étant défini, les applications de la méthode faisaient que la position par rapport à ce but se précisait au fur et à mesure de l'approche. En revanche, dans le cas de l'estime nous avons vu que dès l'instant du départ, on introduit une incertitude sur la position d'arrivée et que plus on s'éloigne du point de départ et plus cette incertitude grandit, jusqu'à ce que la méthode ne vaille plus grand chose si on n'y adjoint pas une seconde méthode pour préciser la première. Il est clair que dans le cas de la navigation oblique, cette propension à davantage de précision lors de l'approche, c'est-à-dire au moment où c'est le plus nécessaire, qui découle de la construction de la méthode de la navigation oblique, est particulièrement satisfaisante. Pourtant cette méthode a été abandonnée et les boutres du XIX^e siècle naviguaient selon les méthodes occidentales.

L'Histoire de l'évolution des techniques de navigation nous montre donc que certaines méthodes ont été laissées au bord de la route, voire oubliées. Le système scandinave ou le *homing* que pratiquait Ibn Majid, que nous venons d'évoquer, ont définitivement été laissés

de coté par la navigation maritime. Ce n'est pas faute d'efficacité, car si on élargit un peu notre cercle de vision, il faut admettre que ces méthodes ont été reprises par d'autres navigateurs. Le système scandinave peut être considéré comme l'ancêtre de l'astrocompas qui a été repris, bien plus tard, pour les navigations spéciales, en particulier les navigations polaires ou le compas magnétique ou même gyroscopique deviennent complètement inefficaces. Les principes sur lesquels sont basés la navigation oblique ont été repris par la navigation radioélectrique utilisée à grande échelle par les aviateurs. Ceux-ci ont assez vite abandonné le sextant à bulle et la navigation de type marine, c'est-à-dire une navigation en totale autonomie, qui caractérisait les débuts des voyages aériens intercontinentaux pour passer aux balises automatiques et transpondeurs et d'une façon générale à la navigation guidée du sol. De même le principe du portulan et son système de coordonnées polaire a retrouvé un regain d'intérêt lorsqu'est apparu le radar. Il fallut alors faire des *plotting* manuels sur un graphique annexe, tant que le radar à mouvement vrai n'a pas été mis au point.

Mais, d'une part, le sentiment de l'élégance d'un raisonnement est une affaire de normes et, d'autre part, on voit bien que ces rejets ne sont pas définitifs et que de vieilles méthodes abandonnées peuvent être reprises. Ce n'est certes pas un effet de mode, mais il semble que la clé qui détermine l'adoption d'une technique, c'est l'adéquation de la réponse qu'elle fournit aux contraintes de l'époque et celles-ci sont changeantes. Le progrès technique serait donc, avant tout, circonstanciel et obéirait davantage à une logique darwinienne plutôt qu'à une quelconque logique de la prédestination.

Car ce qui apparaît le plus nettement est que l'invention de nouvelles techniques de navigation est chaque fois une réponse adaptée à une question précise. Ces techniques sont autant de solutions à des problèmes lancinants qui se posaient aux navigateurs de l'époque. C'est sans doute ce qui explique ce parcours discontinu et zigzagant de leur histoire. Ces solutions dépendent chaque fois des contraintes du contexte qui peut être chaque fois différent. Les Arabes, dans l'Océan Indien, ne naviguaient pas dans les mêmes conditions que les Portugais à la conquête de l'Atlantique. Le domaine maritime arabe est le fruit d'aventures individuelles qui ont mis au point des méthodes autonomes de navigation. L'aventure portugaise est le fruit d'un effort du pouvoir public. C'est aussi ce qui explique que ces problèmes ont pu être résolus d'une façon spontanée mais aussi dirigés par une autorité

supérieure ce fut apparemment le cas des Portugais où Henri, dans un premier temps, puis Jean, dans un second, se sont employés à définir les objectifs à atteindre et à mettre en œuvre les moyens nécessaires à leur réalisation.

* * *

Nous avons ci-dessus résumé les avancées que nous avons pensé avoir explicité dans cet exposé concernant le domaine de l'histoire de la technique de navigation. Mais dans le domaine maritime, les avancées de la nautique ne sont pas les seuls progrès advenus pendant le Moyen Age. Il serait intéressant d'étudier les interactions entre toutes ces avancées. On ne peut ici qu'esquisser les questions que l'on est en droit de se poser. On est donc obligé, dans ce qui suit, de se cantonner aux généralités. Par généralités, il faut entendre un mélange de faits avérés ou reconnus, d'assomptions sans que l'on puisse discerner entre les hypothèses et de simples assertions. Ne s'agissant que d'interrogations il est cependant possible de rester à ce stade général, le problème de la recherche historique des preuves ne peut intervenir qu'à un stade ultérieur, celui d'autres études en vue de répondre à ces questions.

4-0.2 Les progrès de la science nautique s'inscrivent dans le cadre plus vaste d'une évolution généralisée du monde maritime.

Dans le domaine de l'architecture navale, l'invention du gouvernail d'étambot est aussi un progrès décisif. Bien que nous ayons exclu de notre étude tout ce qui a trait à l'architecture navale et à son histoire, une spécialité à part entière, il est impossible de ne pas en faire mention. Il est à noter que cette avancée est contemporaine des avancées de la science nautique, ce qui ne laisse pas sans poser quelques questions.

La présence de ce gouvernail est attestée par l'iconographie au plus tôt au XII^e siècle et uniquement dans les mers du Nord. On reconnaît à l'introduction du gouvernail d'étambot d'être un grand progrès technique, mais les explications sur les raisons de ce progrès sont loin d'être claires. Aussi faut-il les résumer ici sans trop entrer dans le détail. Pour assurer la

stabilité de route le constructeur du navire doit aligner sur une même verticale le centre vélique (centre de gravité du total de la surface des voiles) et le centre de carène (centre de gravité du volume immergé de la coque) pour annuler autant que faire se peut le moment causé par l'antagonisme des deux forces qui s'appliquent : l'action du vent contre la résistance à l'avancement. C'est la condition pour que le navire reste en ligne. Cet alignement varie avec les changements d'allures qui modifient la géométrie de la voilure. Aussi faut-il un gouvernail pour corriger. Dans le cas d'un navire à deux voiles, l'action des voiles est primordiale car on peut modifier l'action de l'une par rapport à l'autre, par exemple, en modifiant légèrement le réglage de chacune d'entre elles. On rétablit ainsi, peu ou prou, la position du centre vélique et le rôle de l'homme de barre consiste simplement, alors, à éviter les **embardées accidentelles** et veiller à ce que les voiles soient toujours bien remplies. En revanche, dans le cas d'un navire à voile unique, outre les **embardées accidentelles** l'action du gouvernail doit compenser en permanence la **tendance systématique** à venir dans un sens ou dans l'autre. Nous voulons montrer que la présence du gouvernail fixe et central a permis la solution du navire de mer avec voile unique. Evidemment, on n'a pas attendu le XII^e siècle pour faire naviguer des embarcations avec une seule voile et un aviron de queue, l'iconographie le prouve largement, mais ces embarcations n'évoluent qu'en rade ou ne s'éloignent pas de la plage pour pouvoir rentrer dès que le vent forçait quelque peu.

Cependant ce gouvernail présente un inconvénient par rapport à l'aviron de queue, il n'est pas compensé. L'aviron de queue est bâti symétriquement dans le sens de la longueur et tourne autour de cet axe de symétrie. Lorsqu'on incline ce gouvernail dans les filets d'eau pour le faire agir, une moitié de la pale va agir contre ces filets d'eau, mais l'autre moitié va agir dans le même sens. En d'autres termes : une moitié de la pale va résister à l'action du barreur, mais l'autre moitié va aider au mouvement. Le résultat est qu'il suffit, au total, d'un effort très mesuré pour actionner ce type de gouvernail. En revanche, dans le cas d'un gouvernail d'étambot, celui-ci présente toute sa surface du même côté de son axe de rotation ; il va falloir au barreur une force plus importante pour mettre « *ce battant de porte* » en travers des filets d'eau. Il ne devra compter que sur l'effet sur le bras de levier de la barre franche pour l'aider. Plus la barre est longue, moindre l'effort. Cependant la barre est limitée en longueur par la largeur du navire. En effet, l'angle de barre d'efficacité maximum est de trente degrés environ, c'est un fait d'expérience. Donc, si la barre est trop longue le barreur va devoir

« sortir » du bateau ; c'est impossible sur un bateau de mer. Cette contrainte a limité la taille des navires pendant longtemps.

Cependant les avantages l'emportent largement sur les inconvénients. Car nous l'avons vu avec l'expérience rapportée du voyage de Paul, l'aviron de queue est très fragile et doit être rentré à la moindre menace de déferlantes sur l'arrière. Ce qui est nouveau, c'est que le gouvernail fixe est solide. Il est monté sur la pièce d'étambot (une forte poutre verticale) par un système de charnières constituées de pièces males s'emboitant dans des pièces femelles (**les aiguillots et les femelots**) le tout fonctionne comme les gongs d'une porte indégondable. L'ensemble ainsi est très robuste et ne craint pas la mer de l'arrière, il suffit de prendre la précaution de brider la barre grâce à deux palans transversaux pour aider l'homme de barre à encaisser les à-coups occasionnés par le choc des déferlantes. C'est une simple question de mise au point. Cette particularité a permis de mettre au point **la cape sèche**, c'est-à-dire la fuite sous gros temps à sec de toile. Le navire dérive seulement sous l'action du vent sur la mature dénuée de toute toile. Le navire à sec de toile se met à fuir devant le vent, sa fuite est bien moins rapide que sous voile de fortune. Il conserve, néanmoins, une erre faible et des filets d'eau continuent à défiler le long de la coque, le gouvernail reste actif et le navire reste manœuvrant malgré la faible vitesse résiduelle qui continue à le mouvoir. On est dans la situation que Christophe Colomb appelle : « *ir a arbol seco* » courir à sec de toile⁶¹⁸, c'est-à-dire que l'on a inventé la cape à sec de toile.

On a donc mis au point, grâce à ce gouvernail d'étambot, un navire de taille modeste, à un seul mât mais très sûr et très marin ; nous venons de décrire la coque (la *coca*), un bateau de type nouveau qui connaîtra un grand succès. C'est le navire universel qui peut aller partout pour prendre n'importe quelle cargaison (on dirait de nos jours un navire *handy size*). C'est ici que les progrès de la science nautique rejoignent les progrès de la construction. On a mis au point un navire qui peut faire tous les voyages que lui propose l'espace connu, mais son pilote doit pouvoir l'y mener. Précisément l'invention de l'estime et le portulan (mémoire collective des navigateurs) mettent à sa disposition une expérience désormais écrite. Il n'est plus

⁶¹⁸ Ce que l'on appelle généralement mat est constitué de plusieurs éléments de bois ligaturés les uns aux autres pour pouvoir atteindre la hauteur nécessaire. Chaque élément constitutif est à proprement parler, en termes techniques, un mat. L'ensemble des mats constitue un arbre. On parlera du bas mat, du mat de hune, du mat de perroquet etc. On parlera, en revanche, d'arbre de misaine ou d'arbre d'artimon etc.

tributaire de la spécialisation locale où le cantonne son apprentissage, il a désormais accès à une expérience universelle et à la manière de s'en servir.

4-0.3 Interactions entre les progrès de la science nautique, ceux de la construction et l'évolution du commerce maritime en général

Mais en plus des qualités ci-dessus, c'est aussi le côté économique de la coque qui va assurer son succès. En effet, connu dès le XII^e dans les mers du Nord, ce navire destiné aux frets volumineux et bon marché est un navire très économique. La voilure unique est plus simple que celle de la nef à deux voiles. De plus, d'autres astuces de voilure, la présence de ris ou de bonnettes permettent une manœuvre de réduction plus aisée. C'est donc un navire qui suppose un équipage réduit à tonnage égal. Sa construction à clin, une technique nouvelle, va dans le même sens. La construction reste selon le principe de la coque première ; les membrures sont donc posées après le montage de la coque, mais ce type de construction est caractérisé par le recouvrement des virures l'une sur la suivante comme les tuiles d'un toit, permet la présence de virures plus ou moins épaisses selon les besoins de rigidité. En augmentant la rigidité longitudinale on peut supprimer les ceintures surajoutées sur la coque que l'on voit sur la nef. Mais, surtout, la construction à clin, si elle n'améliore pas forcément l'étanchéité comme on semble le croire, par ses bordés à simple recouvrements simplement rivés évite les minutieux et couteux ajustages directs du bordé à franc bord. Plus simple à construire, il est donc moins cher.

Ces particularités : un navire de petite taille, pourtant capable d'affronter la haute mer et très économique à la construction aussi bien qu'à l'usage, expliquent sans doute son succès immédiat et massif dès son apparition en Méditerranée. La coque est importée dans cette mer par les navigateurs cantabriques lorsque le royaume de Castille acquiert pour la première fois une façade maritime en Méditerranée avec le royaume de Murcie y compris l'important port de Carthagène. Ce port va connaître un très grand développement commercial, car il est le débouché vers la mer Méditerranée de la *Meseta* centrale. Il devient l'équivalent des ports lainiers du Nord cantabrique pour l'exportation des laines organisée par la *Mesta* fondée un peu plus tôt. L'Espagne devient un exportateur de laine et la coque est le navire parfait pour

ce trafic. Son succès attesté par les chroniqueurs génois va le faire adopter par tous les marins espagnols, catalans ou génois. Néanmoins, ce succès ne va durer que 70 ans environ. La coque ne va pas tarder à se transformer puis par être remplacée par la caraque. Ce succès doit donc s'expliquer parce que le bateau était particulièrement adapté aux besoins du moment.

Selon les historiens économistes, la deuxième moitié du XIV^e siècle, après le passage la grande peste, va marquer un tournant important de l'économie médiévale. Jusque-là, l'économie du XIII^e siècle était une économie de plein emploi des terres et des hommes, cette saignée démographique libère des terres, la production revient dans une phase de rendements croissants. On assiste à une augmentation du coût de la main d'œuvre en raison de sa rareté et parallèlement à une augmentation du niveau de vie. Il en résulte une consommation accrue et une augmentation de la circulation des marchandises. Ce n'est que par l'augmentation de la productivité que l'activité de transport a pu résoudre cette difficile équation. La coque est donc arrivée au bon moment.

Cette caractéristique d'être un petit bateau très marin d'usage universel accompagne certainement les importantes innovations dans les techniques commerciales qui ont lieu dans le commerce maritime à ce moment-là. Alors que c'est un peu plus tôt qu'a eu lieu dans le commerce terrestre la révolution commerciale dont parle Lopez qui s'accompagne de nouvelles formes de contrats d'association et de nouvelles techniques de change, c'est à partir du XIV^e siècle que le commerce maritime entreprend sa grande mutation. Le commerce maritime international cesse d'être un commerce d'acheteurs pour devenir un commerce d'agents commerciaux. Explicitons, le commerce international maritime reste jusqu'alors un commerce où le marchand voyage avec ses marchandises. Dans les associations commerciales, il y a toujours, comme dans l'antiquité, une spécialisation : le *negociator*, commerçant local connaissant bien le marché envoie Outre-mer un *mercator*, c'est à dire un *comprador* qui connaît la marchandise pour se procurer les produits d'importation. C'est le schéma qui est décrit dans le manuscrit de Muziris, c'est aussi celui qui explique les contrats d'association italiens décrits par Lopez. La présence d'un acheteur intéressé aux bénéfices garantit la qualité du produit. Cette qualité est primordiale dans ce type de commerce concernant des produits chers tels que les épices ou les soieries, c'est la raison d'être du livre de Pegolotti.

Désormais, on va être se trouver en présence de produits de peu de valeur, transportés sur des distances de plus en plus longue, au fur et à mesure que les coûts de transports baissent. On va chercher le sel bien plus loin que Bourgneuf, au Portugal ou à Ibiza, on se contente pas de faire passer le *Channel* à la laine anglaise, on va chercher en Espagne, Le coton des futaines et l'alun des teintures viennent d'Orient. (Au moins jusqu'à Tolfa). Mais ce type de transport d'un port désigné à un autre port désigné, pour un chargement bien déterminé, ne peut plus rester prisonnier d'une ligne régulière. Ce nouveau trafic ne peut fonctionner que si on nolise un bateau pour cette marchandise et ce voyage sur mesure. La coque, le petit bateau qui peut faire comme les grands, répond parfaitement à cette demande et son pilote grâce à l'estime et surtout au portulan peut le mener partout, à la demande.

Il faut mettre au point de nouveaux contrats de transport pour permettre à ce commerce non accompagné de pouvoir fonctionner en toute sécurité commerciale. C'est un commerce anonyme, les intervenants ne se connaissent pas. Il faut donc que le capitaine puisse remettre le produit qu'il a à son bord à l'agent du chargeur qu'il ne connaît pas, Bref il a fallu inventer le nolis au voyage, objet précisément de la charte partie. Dans le même ordre d'idées, il faut que le chargeur qui confie sa marchandise à un capitaine inconnu puisse, dans tous les cas de figure, remettre à son correspondant au port d'arrivée la cargaison qu'il lui a confiée ou sa contrevalet, c'est l'objet de l'assurance maritime.

C'est une révolution commerciale, mais nous entrons, là, dans un domaine où on semble s'éloigner des problèmes de navigation. Cependant, on ne peut qu'observer la simultanéité des phénomènes. Il est bon de rappeler que les progrès de la navigation accompagnent les progrès de l'architecture navale et tous les deux accompagnent à leur tour, l'évolution des techniques commerciales maritimes. Il y a, au moins corrélation sans que l'on puisse évaluer à première vue ce qui est cause et ce qui est effet. Il serait intéressant d'analyser les liens d'interaction entre les différents phénomènes. On se doute bien que l'on doit être en présence de liens croisés ; les causes et les effets jouent dans un sens et dans l'autre. C'est une situation que l'on retrouve souvent en sciences sociales, en particulier en Economie où elle se traduit par des effets cumulatifs qui sont la source du mouvement donc de l'Histoire.

Bibliographie

Ashburner (W.), *The Rhodian Sea-Law. Edited from the manuscripts*. Oxford, 1909.

Aujac (G.), *Claude Ptolémée astronome, astrologue, géographe. Connaissance et représentation du monde habité*. Paris, Ed. du C.T.H.S, 1993, 427 p.

Balard. (M.), *Gênes et l'outre-mer. Les actes de Caffa du notaire Lamberto di Sambuceto 1289-1290*. Ed. de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, Paris, 1960, 212 p.

Balard. (M.), *La Romanie génoise*. Ecole française de Rome, Paris, 1978, 2vol., 1008 p.

Beaujouan (G.), Poulle (E.), « Les origines de la navigation astronomique du XIV^e au XV^e siècle » p. 103-117, in, *Le navire et l'économie maritime du Moyen Age du XV^e au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée. Travaux du 1er colloque international d'histoire maritime. 17 mai 1956*. Paris, SEVPEN, 1960, 176 p.

Beaujouan (G.), « Science livresque et art nautique au XV^e siècle. » p. 61-85, in, *Les aspects internationaux de la découverte océanique aux XV^e et XVI^e siècles. Actes du cinquième colloque international d'histoire maritime (Lisbonne 14-16 Septembre 1960)*. Paris, SEVPEN, Paris, 1966, 386 p.

Bennassar (B.), *Histoire des Espagnols*, t.1, VI^e-XX^e siècle. Paris, Perrin, 1992, 696 p.

Boiteux. (L.A.). *La Fortune de mer*. Paris, SEVPEN, 1968, 210 p.

Bonnefoux et Paris, *Dictionnaire de la marine à voile*. Paris, Ed. de la Fontaine au Roi, 1855. Réimp., Paris, Ergesa, 1987, 776 p.

Boyer (R.), *Les Vikings. Histoire, Mythes, Dictionnaire*. Paris, Laffont, 2008, 912 p.

Boyer (R.), *Livre de la colonisation de l'Islande. Traduit de l'islandais ancien et commenté par Régis Boyer*. Paris, Brepols, 2000, 382 p.

Byock (J.) *L'Islande des Vikings*. Paris, Aubier, 2000, 492 p.

Brice (C.), *Histoire de l'Italie*. Paris, Perrin, 2002, 492 p.

Cahen (Cl.), "Monetary Circulation in Egypt at the time of the Crusades and the Reform of AL-Kâmil." Chap. 9, in (A.L.)Udovitch (éd.) *The Islamic Middle East, 700-1900: Studies in Economic and Social history*. Princeton (New Jersey), Danwin Press, 1981, 838 p.

Craeybeckx (J.), *Un grand commerce d'importation, les vins de France aux anciens pays bas XIII^e-XIV^e siècle*. Paris, SEVPEN, 1958, 315 p.

Charles-Dominique (P.), *Voyageurs arabes. Ibn Fadlân, Ibn Joubayr, Ibn Battûta et un auteur anonyme*. Paris, Gallimard, 1995, 1409 p.

Chotard (H.), *Le périple de la Mer Noire. Traduction, Etude historique, index et carte.* Paris, A.Durand, 1860, 240 p.

Code justinien. Traduction en anglais du *Corpus Iuris Civilis* par R. Schoell W. Kroll. Berlin 1959

Code théodosien. Traduction en anglais du texte latin des *Theodosiani libri cum constitutionibus sirmondianis.* de P. Krueger et Th; Mommsen. Berlin 1962

Colon (Cristobal) *Textos y documentos completos ; prologo y notas de consuelo Varela.* Edit ; Alianza Editorial . Madrid, 1992.

El-Bokhâri. *Les traditions Islamiques.* Trad. de l'arabe avec notes et index par O.Houdas et W.Marçais. Paris, 1984, 2vol.

Cheriff (Mohamed), *Ceuta aux époques almohade et mérinide.* Paris. 1996.

Contamine (Ph.), Bompaire (M.), Lebecq (St.) et Sarazin (J.- L.) *L'économie médiévale.* Paris, A. Colin, rééd. 1997, 439 p.

Cortese. (A.) « Note sur les origines de la navigation astronomique au Portugal. » p. 57-59. in *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XVe et XVIe. Actes du 5eme colloque international d'Histoire maritime 14-16 septembre 1960.* Paris, SEVPEN, 1966, 386 p.

Day. (J), *The Medieval Market Economy.* Oxford (UK)/New York (NY). John Willey & sons 1987, 232 p..

Favier (J.) *De l'or et des épices.* Paris, Le grand livre du mois, 2004, 481 p.

Favier (J.) *Les grandes découvertes. D'Alexandre à Magellan.* Paris, Fayard, 2001, 619 p.

Fischel. (W.J.), *Jews in the Economic and Political life of Mediaeval Islam.* New York, 1969, 139 p.

Fossier (R.), *Le Moyen Age. 350-950. Les temps nouveaux 950-1250 .* Paris, A.Colin, 1982, 544 p.

Fossier (R.) *Le Moyen Age. 950-1250. L'éveil de l'Europe.* Paris, A.Colin, 1982, 519 p.

Fossier (R.) *Le Moyen Age. 1250-1520. Le temps des crises.* A.Colin, 1983, 548 p.

Fourquin (G), *Histoire Economique de l'Occident Médiéval.* Paris, A Colin, 1971, 446 p.

Gay. (Jules), *L'Italie Méridionale et l'Empire Byzantin. 2 t. chap. 8. Le Droit Lombard, le droit romain, le droit byzantin dans l'Italie méridionale.*

Goitein (S.D.), *Letters of Medieval Jewish Traders ;translated from the arabic with introduction and notes*. Princeton, University Press, 1974,359 p.

Goitein (S.D.), *Studies in Islamic history and Institutions. A Mediterranean Society*. Berkeley/ Los Angeles,, University of California Press,1967,391 p.

Goitein (S.D.), *The Jewish communities of the Arab world as portrayed in the documents of the Cairo Geniza*, vol. I. *Economic foundations*. Berkeley/ los Angeles/ London(U.K.), 1967, 576 p.

Goitein (S.D.), *Changes in the Middle East (950-1150) as illustrated by the Documents of the Cairo geniza* .

Goldstein, Bernard R. « L'Héritage de la science arabe en hébreu. » p. 301-308 in R.Rashed (éd.) *Histoire des sciences arabes*. T.1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seui, 1997,376 p.

Gravier(M.), *Les Scandinaves*. Paris, Lidis Brepols, 1984, 686 p.

Guichard (Pierre), *L'Espagne et la Sicile musulmanes au XI^e et XII^e siècle*. Lyon, CNED-SEDES, 1990, 232 p.

Guichard (Pierre) et Sénac (Philippe), *Les relations des pays d'Islam avec le monde latin. Milieu X^e - Milieu XIII^e*. Lyon CNED-SEDES, 2000.

Grosset-Grange (H.), « Les procédés de navigation arabes en Océan Indien au moment des grandes découvertes. » p 227-p 253 in *Sociétés et compagnies de commerce en Orient et dans l'Océan Indien Actes du 8eme colloque d'histoire maritime du 5-10 Septembre 1966*. Paris, SEVPEN, Paris, 1970, 733 p.

Grosset-Grange (H.), « La science nautique arabe » p. 233-268 in, R. Rashed, *Histoire des sciences arabes*. T.1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 386 p.

Haywood (John), *Atlas des Vikings. 789-1100*. Paris, Ed. Autrement, 1996, 143 p.

Heers (J.), *La première croisade. Libérer Jérusalem. (1095-1107)*.Paris, Perrin, réed. 2002, 371 p.

Heers (J.), *Gênes au XV^e siècle*. Paris, Flammarion, 1971,437 p.

Heyd.(W.von), *Histoire du commerce du Levant*. Amsterdam réédition 2010, 2 vol., Bibliobazar, 814 p.

Hygin le gromatique, Frontin, *Les arpenteurs romains, Tome I*. Guillaumin (J-Y), (éd.). Paris, Ed. Les Belles Lettres, 2005.

Hygin, Siculus Flaccus, *Les arpenteurs romains, Tome I*. Guillaumin (J-Y), (éd.). Paris, Ed. Les Belles Lettres, 2010,

Hocquet (Jean-Claude), *Le sel et le pouvoir*. Paris, A. Michel, 1985, 517 p.

Hocquet (J.- C.), *Venise et la mer. XII^e XVIII^e siècle*. Paris, Fayard, 2006, 508 p.

Holt P.M. Lambton (A.K.S.), Lewis (B.), *The Cambridge History of Islam*.t.2, *The further islamic land, islamic society and civilization*. Cambridge, The University Press, 1970, 2 vol., 992 p.

Hourani (G.F.) *Arab Seafaring in the Indian ocean in ancient and early medieval times*. Princeton/New Jersey, John Carswell, 1995, 189 p.

Hugonnard-Roche (H.), « Influence de l'astronomie arabe en Occident médiéval » p. 309-329. in R. Rashed(éd.), *Histoire des sciences arabes*. T.1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.

Hunt(Ed. S.), Murray (J. M.) *A History of Business in Medieval Europ*. Cambridge (U.K.), University Press, 1999, 288 p.

Ibn Khaldoun, *Discours sur l'Histoire universelle. Al-Muqaddima*. Beyrouth, Ed. Thesaurus Sindbab, 3eme éd, 1968.

Ibn Rushd. *The Distinguished Jurist's Primer. A Translation of Bidâyat Al-Mujtahid*. Translated by Imran Ahsan Khan Nyazee. Ithaca Press, 1996, 2 vol., 1336 p.

Idris Hady. Roger. *La Berbérie Orientale sous les Zirides. X^e-XII^e siècles*. Paris 1962 2 vol

Iman Malik Ibn Anas. *Al-Muwatta. The First Formulation of Islamic Law*. Translated by Aisha Abdurrahman Bewley. London/ New York; The Islamic Classical Library, 465 p.

Jacoby (D.), *Trade, Commodities and Shipping in the medieval Mediterranean*. Aldershot (Hampshire):Brookfield(Vermont) , Variorum, 1997, 340 p.

Jacoby (D.), *Byzantium, Latin Romania and the Mediterranean*. Aldershot/Burlington(USA)/ Singapore/ Sydney, Ashgate, 2001, 388 p.

Jehel (G.), *L'Italie et le Maghreb au Moyen Age*. Paris ? P.U.F., 2001, 208 p.

Jehel (G.), *La Méditerranée médiévale de 350 à 1450*. Paris 1992

Jehel (G.), *Les relations des pays d'islam avec le monde latin. Du X^e siècle au milieu du XIII^e siècle*. Paris 2000

Jehel (G.), « Les relations entre Gênes et le Maghreb occidental au Moyen Age. Aspects politiques et économiques. » p 187 in *L'occident musulman et l'occident chrétien au Moyen Age*. Coord. M.Hammam Rabat. Université Mohammed V ; 1995. Article spécialisé, à partir de l'ouvrage de référence *Les Génois en Méditerranée occidentale. Ebauche d'une stratégie pour un empire*. Amiens/Paris, Centre d'étude d'Histoire des sociétés. Université de Picardie, 1993, 539 p.

Kennedy (E.S.), « Géographie mathématique et cartographie » p. 217-239 in, R. Rashed (éd.), *Histoire des sciences arabes*. T. 1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.

King, David A. « Astronomie et société musulmane : quibla, gnomonique, miqat ». p 173-215 in R. Rashed(éd.), *Histoire des sciences arabes*. T.1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.

Labourdette (J.-F.), *Histoire du Portugal*. Paris, Fayard, 2000, 703 p.

Lebecqz Stephane. *Marchands et navigateurs frisons du haut moyen âge*. 2 volumes Lille 1983, 470 p.

Lagardere.Vincent. *Histoire et société en occident musulman au moyen âge. Analyse du Mi'yar d'al- Wansarîsî*. Madrid, 1955, 494 p.

Lane (F.C.), *Venise. Une république maritime*. Paris, Flammarion, 1985, 661 p.

Lane (F.C.), *Studies in Venetian Social and Economic History*. Edited by Benjamin G; Kohl and Reinhold C. Muellezr. London 1987

Lapeyre.Henri. *Une famille de marchands les Ruiz Contribution à l'étude du commerce entre la France et l'Espagne au temps de Philippe II*. Paris, A.Colin, 1955, 672 p.

Le Mené. Michel. *L'économie médiévale*. Paris ? P.U.F., 1977, 229 p.

Levi-Provencal. *Histoire de l'Espagne musulmane. Le califat Umayyade de Cordoue 912-1031*. Paris, Maisonneuve et Larose, 1999, 435 p.

Levi-Provencal *L'Espagne musulmane au X siècle*. Paris, Maisonneuve et Larose, 1999, 564 p.

Lombard (M.) *Espaces et réseaux du haut moyen âge*. Paris, Mouton, 1972.

Lombard (M.) *Monnaie et histoire d'Alexandre à Mahomet*. Paris/La Haye, 1971, 233 p.

Lombard (D.), Aubin (J.), *Marchands et hommes d'affaires asiatiques dans l'Océan Indien et la mer de Chine. XIII^e-XX^e siècles*. Paris /Marseille, éd. de l'EHESS ; 1988, 376 p.

Lopez (Jose Martin) *El viaje del descubrimiento. Notas y comentarios al Diario de Colon*. Edit. Instituto de ingenieros tecnicos de Espana. Madrid 1492.

Lopez (R. S.), *Byzantium and the world around it/ Economic and Institutional Relations*. London, Valiorum reprints, 1978, 312 p.

Lopez (R. S.), *The Shape of Medieval Monetary History*, London, Valiorum reprints, 1986, 330 p.

Lopez (R. S.), *The commercial revolution of the Middle Ages. 950-1350*. New York (N.Y.) Cambridge (U.K.), University Press, 1976.

Lopez (R. S.), *Medieval Trade in the Mediterranean world, Illustrative documents with introduction and notes*. New York, Columbia University Press, 1955, 458 p.

Maddison, Francis. « Observatoires portatifs: les instruments arabes à usage pratique » p. 141-170 in, R. Rashed (éd.), *Histoire des sciences arabes*. T. 1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.

Makhzûmiyyât, *Le Midhâdj. Etudes sur l'histoire économique et financière de l'Egypte médiévale* traduction et commentaires du *Midhâdj* Trad. de Claude Cahen, Leiden, E.Brill, 1977, 271 p.

Marco Polo, *Le Devisement du Monde*. Texte integral, A.C. Moule (éd.), Paris, La Découverte, 2004, 2 vol., 554 p.

Menant (François), *Les villes italiennes XI^e- XIV^e siècle. Enjeux historiographiques, méthodologie, bibliographie commentées*, Paris 2004"

Miquel (André), *L'Islam et sa civilisation, VII^e-XX^e siècles*, Paris, A. Colin, 1968, 599 p.

Mitteis (L.) und Wilcken (U.), *Gründzuge und Chrestomathie der Papyruskunde*. 4 volumes. Hildensheim. 1963.

Mollat (M.), Adam (P.), *Histoire des pêches maritimes françaises*. Paris, Privat, 1987, 407 p.

Monnier (R.) *Droit romain. Manuel élémentaire de droit romain*. Paris, Domat Monchrestien, 1948, 2 vo., 551 p.

Morelon (R.), « Panorama général de l'histoire de l'astronomie arabe. » p.17-32, in, R. Rashed (éd.) *Histoire des sciences arabes*. T. 1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p

Morelon (R.), « L'astronomie arabe orientale entre le VIII^e et le XI^e siècle. » p 35-66, in, R. Rashed (éd.), *Histoire des sciences arabes*. T. 1. *Astronomie, théorique et appliquée*. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.

Muhammad B.Iyad (m.575/1179), *Madâhib al-Hukkâm fî nawâzil al-Ahkâm. La actuación de los jueces en los procesos judiciales*, Madrid, 1998
Chap. XXX *Capitulo sobre la asociacion*.
Chap. XXI. *Capitulo sobre el reparto "*

Novelles de Justinien Traduction en anglais du Corpus iuris civilis par R. Schoell
Et W. Kroll, Berlin, 1959.

Pardessus (Jean-Marie), *Collections de lois maritimes antérieures au XVIII^e siècle*. Paris, 1828, 6 vol..

Pegolotti. (Francesco, Balducci), *La pratica della Mercatura*. edited by Allan Evans
reprint New York 1970.

Picard. (Ch.), *La Mer et les Musulmans d'Occident au moyen âge. VIII^e-XIII^e siècles.* Paris.1997

Picard. (Ch.), *L'océan Atlantique musulman. De la conquête arabe à l'époque almohade. Navigation et mise en valeur des côtes d'al-Andalus et du Maghreb occidental (Portugal-Espagne-Maroc),* Paris.

Picard. (Ch.), *La navegacion en el estrecho de gibraltar en la época de Ibn Abi Amir al-Mansur dans Al-Andalus y el mediterraneo en torno al ano 1000,* Algeciras 2003

Procacci (G.), *Histoire des Italiens.* Trad. de l'italien par C. Bourdet et J. Nicolas. Paris, rééd., 2002, 473p.

Pryor (J. H.), *Geography, technology, and war. studies in the maritime history of the Mediterranean, 649- 1571,* Cambridge/ New York/ New Rochelle/ Melbourne/ Sydney, Syndicate of Cambridge university Press, 1988, 264 p.

Renouard (Yves), *Les hommes d'affaires italiens du Moyen Age.* Parls, 1968.

Reinaud, (Joseph-Toussaint) *La géographie d'Aboulfeda.* Traduction du manuscrit *Taqwimp al-Bouldan* de Abu l-Fida , 1331, édition originale par l'Imprimerie nationale , Paris , 1848, réédité à Franckfurt am Main, 1985.

Richard (J.), *Histoire des Croisades.* Paris, Fayard, 1996, 544 p.

Richard (J.), *Orient et Occident au Moyen Age, contacts et relations XII^e XV^e,* London 1976

Richards (D.S.), *Islamic Civilisation. 950-1150. A Colloquium published under the auspices of the Near Eastern History Group.* Oxford, Pensylvania. Cassirer, Bruno Ltd, 1973,284 p.

Rodinson (Maxime) *Islam et capitalisme;* Paris, éd. Du Seuil, 1966, 284 p.

Roncière (M. de la) et Mollat du Jourdain (M.), *Les portulans, cartes marines du XIII^e au XVII^e siècle.* Paris, Narthan, 1984, 295 p. dont 160 p. d'illustrations en couleur.

Rose (S.), *Medieval Naval warfare 1000-1500.* London/ New York, Routledge, 2002, 224 p.

Rosenberger (B.), « Le contrôle du détroit de Gibraltar aux XX^e-XIII^e siècles ». p 15, in M.Hammam (éd.) *L'occident musulman et l'occident chrétien au Moyen Age.* Rabat, Université Mohammed V, 1995.

Saeed Abdullah, *Islamic Banking and Interest.A Study of the Prohibition of Riba and its Contemprorary Interpretation.* Leiden, New york, Köln, 1996.

Saliba, (G.), « Les théories planétaires en astronomie arabe après le XI^e siècle. » In, R. Rashed (éd.), *Histoire des sciences arabes.* T. 1. *Astronomie, théorique et appliquée.* Paris, Ed. du Seuil, 1997,376 p.

Schach Joseph, *An Introduction to Islamic Law.* Oxford. (U.K.), Clarendon Press,1964, 304 p.

Tangheroni Marco, *Politica, commercio, agricoltura a Pisa nel Trecento*, Pisa 1973 reedition 2002"

The Digest or Pandects. Reprinted from an original copy in the collections of the Biddle law library, University of Pennsylvania. Cincinnati 1973 et Digesta Iustiniani Augusti. Th.Mommsen. Berlin 1962.

Texeira da Mota. (A.), « L'art de naviguer en Méditerranée du XIII^e au XVII^e siècle et la création de la navigation astronomique. » in *Le navire et l'économie maritime du Moyen Age au XVIII^e siècle principalement en Méditerranée. Travaux du 2^{eme} colloque international d'Histoire maritime. 17-18 mai 1957. Paris, SEVPEN, 1958, 176 p.*

Texeira da Mota (A.), « Influence de la cartographie portugaise sur la cartographie européenne à l'époque des découvertes. » p. 224-250. In *Les aspects internationaux de la découverte océanique au XV^e et XVI^e siècle. Actes du 5^{eme} colloque international d'Histoire maritime, 14-16 Septembre 1960. Paris, SEVPEN, 1966, 386 p.*

Tibbets (G.R.), *Arab navigation in the Indian Ocean before the coming of the portugueses , being a translation of Kitab al Fawa'id usul al-bahr wa'l-qawa'i of Ahmad b.Majid al-Najdi. London, The Royal Asiatic Society of great Britain and Ireland, 1981.*

Timbal (P-Cl.), Castaldo (A.), *Histoire des Institutions publiques et des faits sociaux. Paris, Dalloz, rééd. 1993, 733 p.*

Tolan (J.), Josserand (Ph.), *Les relations entre le monde arabo-musulman et le monde latin; milieu du X^e-milieu du XIII^e siècle. Paris, Bréal, 2000, 205 p.*

Tyan (E.), *Histoire de l'organisation judiciaire en pays d'islam. Leiden, E.Brill, 1960, 673 p.*

Vergé-Franceschi (M.), *Henri le Navigateur. Un découvreur au XV^e siècle. Paris, Ed. du Félin, 1998, 433 p.*

Vergé-Franceschi (M.), *Dictionnaire d'histoire maritime. Paris, Lafont, 2002, 2 vol.,1508 p.*

Vernet (J.), Samso (J.), « Les développements de la science arabe en Andalousie », p.271-296, in, R. Rashed (éd.), *Histoire des sciences arabes. T.1. Astronomie, théorique et appliquée. Paris, Ed. du Seuil, 1997, 376 p.*

Zysberg (A.), *Les galériens. Vies et destinés de 60.000 forçats sur les galères de France 1680-1748. Paris, Ed. du Seuil, 1987, 474 p.*