

La stabilité et l'équilibre du voilier

<http://www.lavoile.com/voile/voile.htm>

Dans cette chronique, nous aborderons les notions de *stabilité* et d'*équilibre* du voilier.

STABILITÉ DU VOILIER Ici, le terme stabilité est pris dans deux sens.

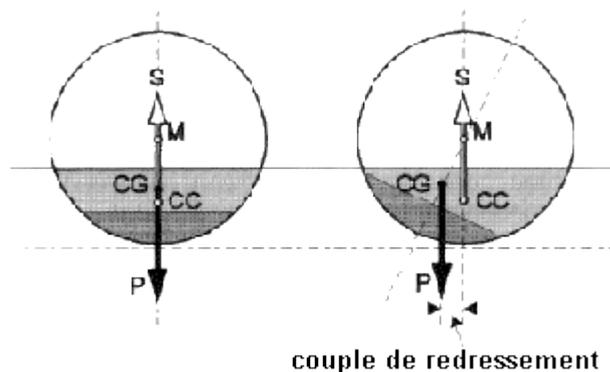
- 1 - La qualité d'un bateau à s'opposer à l'inclinaison sous l'effet de forces extérieures.
- 2 - L'état d'un système en équilibre lorsque l'ensemble des forces et des couples auxquels il est soumis est nul (stable).

STABILITÉ DE POIDS

Ici, un cylindre lesté, développe une stabilité de poids due au seul déplacement de son centre de gravité.

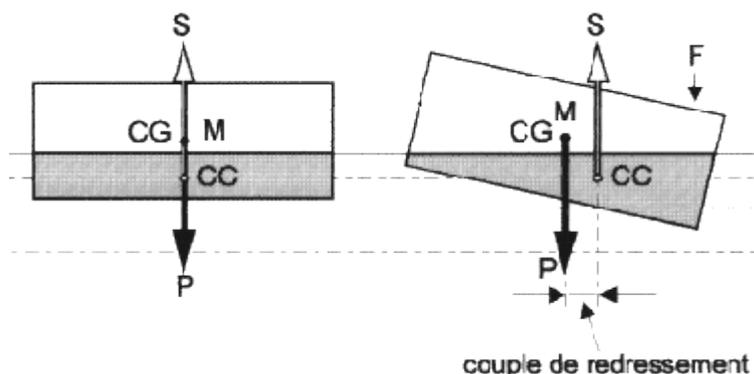
M est le centre de rotation du système, **CG** est le centre de gravité c'est-à-dire le point où semble être ramassé toute la masse (pesanteur **P**).

CC est le centre de carène c'est à dire le point où semble être réuni toutes les forces de sustentation **S** (flottabilité).



STABILITÉ DE FORME

Un bloc de bois posé sur l'eau développe une stabilité de forme due à son centre de carène qui se déplace sous l'action d'une force **F**.



ÉQUILIBRE DU VOILIER

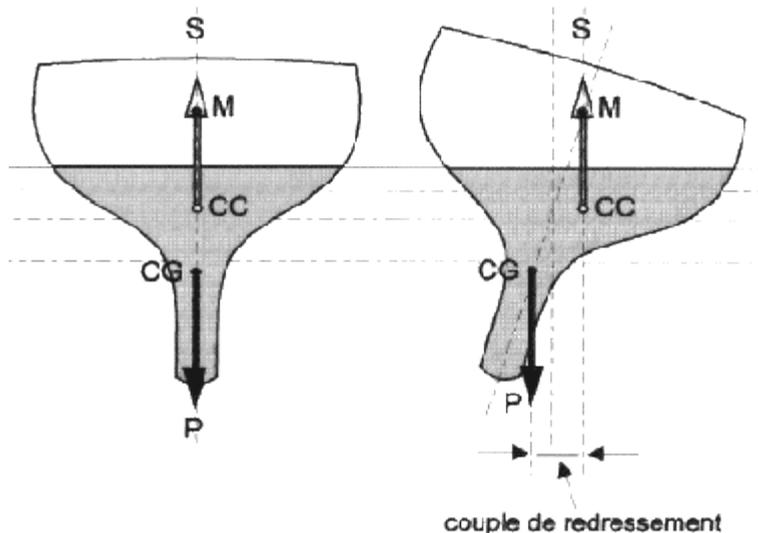
À L'ARRÊT

Un bateau posé sur l'eau, à l'arrêt, est soumis à deux forces, celle de la *pesanteur* **P**, appliquée au *centre de gravité* **CG**, à laquelle s'oppose la force de *sustentation hydrostatique* **S** appliquée au *centre de carène* **CC**.

Pour que le bateau soit en équilibre, il faut que les deux forces soient de même valeur (en équilibre).

À ce moment, le **CG** et le **CC** sont sur un même axe vertical.

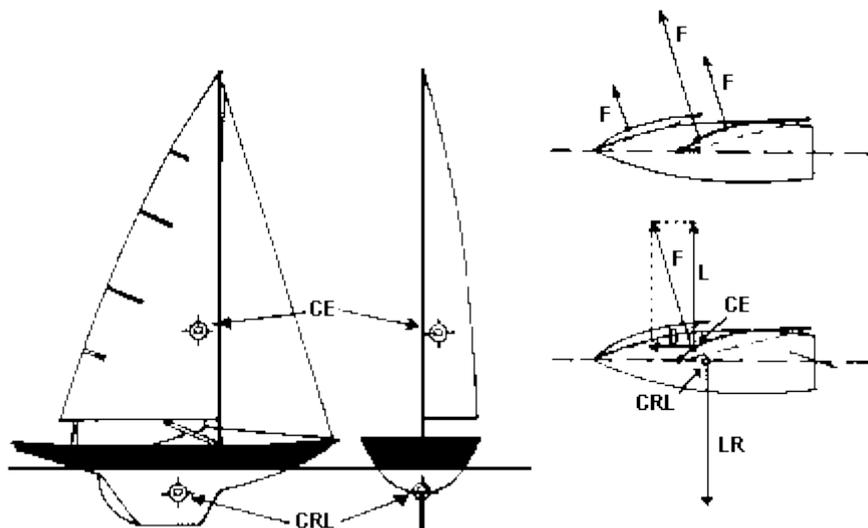
Le bateau se déplacera dès qu'une force extérieure **F** lui sera appliquée, mais celle-ci bouleversera ce bel équilibre.



EN MOUVEMENT

Lorsque le vent propulse le voilier, un système de forces est en fonction. La force de propulsion **D** des voiles est contrebalancée par la résistance à l'avancement **R** du bateau. La poussée latérale **L** des voiles est contrebalancée par la résistance de la quille **LR** (dérive). La combinaison de ces forces produit ce qu'on appelle un "couple de virage" qui à son tour est contrebalancé par le gouvernail. L'équilibre optimal est atteint lorsque le couple de virage est au minimum et que l'angle de barre est pratiquement nul.

Nous savons maintenant que les forces aérodynamiques agissent à angle droit de la surface de la voile, et qu'elles n'ont pas la même valeur partout. Ces forces se conjuguent et agissent en un seul point sur la voile, c'est le centre d'effort **CE**. De même, les forces hydrodynamiques peuvent être représentées par un seul point, le centre de résistance latérale **CRL**.



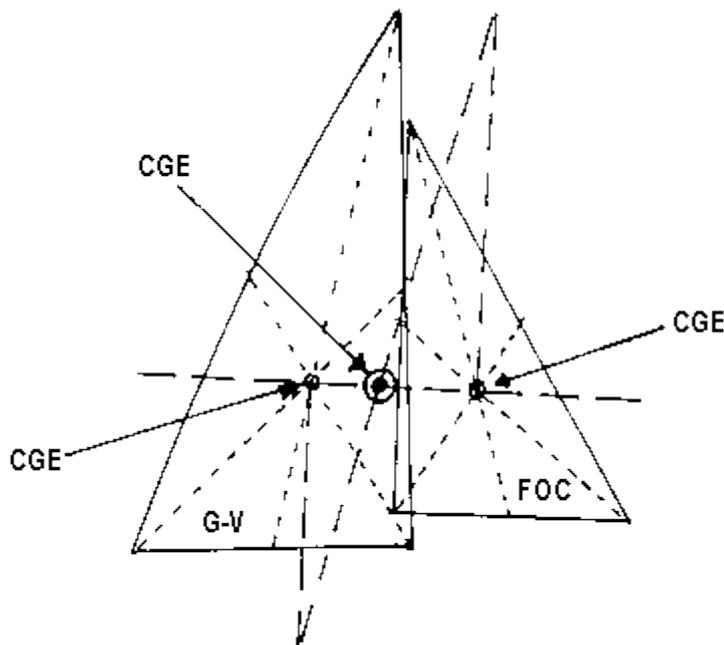
La grand-voile a son **CE** et le foc a son **CE**. Les deux se conjuguent pour donner le **CE** du plan de voilure (grand-voile et foc). C'est à partir de ce point que la force de propulsion **D** et la force latérale **L** agissent. La force **D** va faire accélérer le bateau jusqu'à ce que la résistance à l'avancement du bateau égale cette force et que la vitesse devienne alors constante.

La force **LR** est la résistance à la dérive, elle agit à partir du **CRL**. Dans des conditions stables, **L** et **LR** sont égaux. Si le **CE** est situé en avant du **CRL**, le bateau aura tendance à s'éloigner du vent, on dit alors que le bateau est "mou". Pour tenir un cap constant, la barre devra être tenue légèrement sous le vent. Si, au contraire le **CE** est à l'arrière du **CRL**, le bateau aura tendance à lofer (remonter le vent), on dira alors que le bateau est "ardent". Cette fois, pour garder un cap constant, il faudra tenir la barre légèrement au vent.

En principe, un voilier parfaitement balancé maintiendra une route bien droite, sans l'aide du gouvernail. Cet équilibre parfait est rare. En réalité, la majorité des voiliers sont dessinés et réglés pour être légèrement ardents. Du point de vue sécurité, il est avantageux que le bateau soit ardent: si pour une raison ou une autre, la barre est laissée à elle-même, ou qu'une bourrasque arrive, automatiquement, le bateau lofera et s'arrêtera. Dans les mêmes circonstances, un bateau mou abattra, empannera, et peut-être chavirera. **Tous les bateaux devraient être réglés pour être légèrement ardents.** À l'allure du près, un angle de barre de quelques degrés (2 ou 3) au vent est souhaitable. Plus que 2 ou 3 degrés, le gouvernail agit comme un frein et ralentit le bateau.

LOCALISATION DU CENTRE GÉOMÉTRIQUE D'EFFORT ET DU CENTRE DE RÉSISTANCE LATÉRALE

La position du **CGE** (voiles) et du **CGRL** (coque) peut-être calculée avec précision.



Les spécifications publiées par les architectes et les constructeurs montrent habituellement la position du **CGE** et du **CGRL**. Notez que lorsque le bateau est en marche, des forces dynamiques interviennent et les deux centres se déplacent vers l'avant du bateau. La chose importante à retenir, est qu'on peut diminuer ou augmenter "l'ardeur" d'un voilier en modifiant les positions du **CE** et du **CRL**.

RÉDUIRE L'ARDEUR D'UN VOILIER

- A quai, on peut avancer le mât ou diminuer sa quête.
- En route, on réduit la surface de la grand-voile, ou on établit un plus grand foc.

Ces changements vont faire avancer le **CE**. Choquer la grand-voile produira le même effet. Sur les bateaux à déplacement léger, déplacer l'équipage vers l'arrière réduira également l'ardeur du bateau.

Les corrections à apporter pour corriger un bateau "mou", sont le contraire de celles nécessaires pour un bateau "ardent."

DÉFORMATION DE LA CARÈNE À LA GÎTE

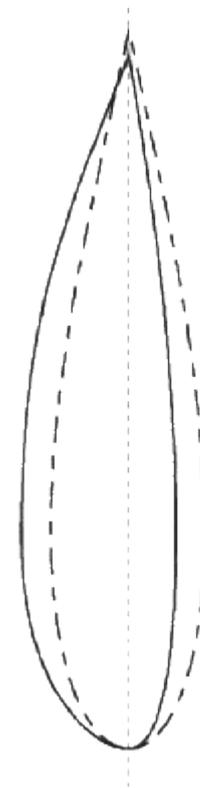
Lorsque l'on déplace dans l'eau un flotteur asymétrique, sa trajectoire n'est pas rectiligne mais suit une courbe dans la même direction que sa courbure. Qu'advient-il de la carène d'un voilier à la gîte ?

La courbure longitudinale des fonds est généralement moins accentuée que celles des cotés (plus le bateau sera large et son déplacement réduit, plus cette réalité sera évidente).

La ligne pointillée représente la carène bien à plat sur la surface de l'eau, sans aucune gîte. La ligne pleine montre la déformation de l'empreinte que laisse la carène sur la surface de l'eau lorsque le bateau gîte.

À la gîte, la déformation des lignes de flottaison de la carène du voilier présente une courbure accentuée sous le vent et réduite au vent. Il en résulte un couple de virage qui se manifeste par la tendance du voilier à lofer.

Si on ne veut pas être obligé de compenser cet effet par l'action du gouvernail et ainsi freiner le bateau, il ne reste comme solution que de créer un couple de virage de sens opposé en décalant vers l'avant le centre de voilure.



LE GOUVERNAIL

Le gouvernail remplit deux fonctions: l'une passive qui consiste à maintenir sur sa route le voilier en dépit des sollicitations extérieures, l'autre active consistant à modifier volontairement la direction du bateau. La limite entre ces deux fonctions est difficile à déterminer, le gouvernail étant dans certains cas capable de s'opposer seul aux sollicitations extérieures sans intervention active.

Le rendement du gouvernail dépend de quatre caractéristiques, l'allongement, la forme de son contour, et la forme de sa section.

On rencontre quatre types principaux de gouvernails:

- Safran derrière la quille et attaché à celle-ci.
- Safran indépendant, suspendu sous la carène et avec une compensation plus ou moins importante.
- Safran indépendant, fixé à l'extérieur du tableau avec ou sans compensation.
- Safran indépendant de la quille mais placé derrière un aileron (skeg).

SYNOPSIS

Nous retiendrons donc que les trois facteurs dont dépend l'équilibre et la bonne marche du bateau sont la **stabilité**, la **dérive**, et la **force de propulsion** générée par le plan de voilure.

L'emprise du skipper sur la stabilité et la dérive est relativement évidente puisqu'elle consiste essentiellement à bien répartir les poids et à maintenir la carène propre. Elle devient plus complexe dans le cas du plan de voilure car il ne suffit pas de disposer de bonnes voiles. Il doit veiller à éviter tout ce qui peut augmenter la traînée. Dans ce sens, le confort ou certaines protections viennent en conflit avec la performance.

Des cagnards autour du cockpit, une capote de descente (dodger, bimini), un aérien de radar, un régulateur d'allure, une annexe attachée sur le roof, sont des éléments certains de confort mais leur présence se paie obligatoirement par un accroissement du fardage et une perte de vitesse. La décision d'installer à bord tout nouveau matériel qui n'a pas été prévu dès le stade de la conception du voilier, devra être prise après mûre réflexion.

Abandonnons un instant la théorie pour aborder un aspect plus philosophique de la conception et de l'utilisation d'un voilier. Dès qu'on aborde le sujet de la performance, la majorité des skippers diront: "**Moi, je ne fais pas de compétition, la performance ne m'intéresse pas...**" C'est là une erreur qui peut avoir des

conséquences graves, car un voilier qui ne peut atteindre un maximum de performances est un voilier dangereux.

N'importe quel plaisancier peut se trouver un jour devant une situation demandant de son bateau une vitesse aussi élevée que possible, quelle que soit la direction du vent et l'état de la mer. L'accident d'un équipier, l'évolution brutale et imprévue d'une situation météorologique, une voie d'eau, une batterie à plat ou pire une panne de moteur, peuvent rendre dramatique une situation maîtrisable et seules alors, les performances du voilier permettront d'éviter le drame.

Les trois facteurs de performance que nous avons étudiés dépendent au départ de la conception architecturale du voilier, mais il revient uniquement au skipper qu'ils soient maintenus à leur valeur optimale. La chasse aux poids inutiles et la meilleure localisation des objets doivent être un souci permanent et l'objet d'une continuelle remise en cause...

Performance = Sécurité

Pierre Boucher N