

# Savoir sans Frontières

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

Les Aventures d'Anselme Lanturlu

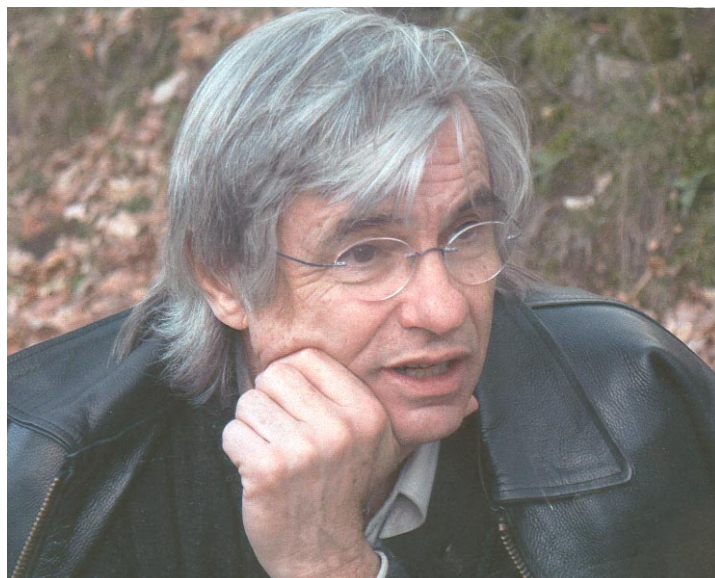
## Big Bang

Jean-Pierre Petit



# Savoir sans Frontières

Association Loi de 1901



**Jean-Pierre Petit, Président de l'Association**

Ancien Directeur de Recherche au Cnrs, astrophysicien, créateur d'un genre nouveau : la Bande Dessinée Scientifique. Créé en 2005 avec son ami Gilles d'Agostini l'association Savoir sans Frontières qui s'est donnée pour but de distribuer gratuitement le savoir, y compris le savoir scientifique et technique à travers le monde. L'association, qui fonctionne grâce à des dons, rétribue des traducteurs à hauteur de 150 euros ( en 2007 ) en prenant à sa charge les frais d'encaissement bancaire. De nombreux traducteurs accroissent chaque jour le nombre d'albums traduits ( en 2007 : 200 albums gratuitement téléchargeables, en 28 langues, dont le Laotien et le Rwandais ).

Le présent fichier pdf peut être librement dupliqué et reproduit, en tout ou en partie, utilisé par les enseignants dans leurs cours à conditions que ces opérations ne se prêtent pas à des activités lucratives. Il peut être mis dans les bibliothèques municipales, scolaires et universitaires, soit sous forme imprimée, soit dans des réseaux de type Intranet.

L'auteur a entrepris de compléter cette collection par des albums plus simples d'abord (niveau 12 ans). Egalement en cours d'élaboration : des albums « parlants » pour analphabètes et « bilingues » pour apprendre des langues à partir de sa langue d'origine.

L'association recherche sans cesse de nouveaux traducteurs vers des langues qui doivent être leur langue maternelle, possédant les compétences techniques qui les rendent aptes à produire de bonnes traductions des albums abordés.

**Pour contacter l'association, voir sur la homepage de son site**

**<http://www.savoir-sans-frontieres.com>**

**Coordonnées bancaires France ➔ Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :**

<b>Etablissement</b>	<b>Quichet</b>	<b>N° de Compte</b>	<b>Cle RIB</b>
20041	01008	1822226V029	88

**Domiciliation :** La banque postale  
Centre de Marseille  
13900 Marseille CEDEX 20  
France

**For other countries ➔ International Bank Account Number (IBAN) :**

<b>IBAN</b>
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

**and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :**

<b>BIC</b>
PSSTFRPPMAR


Les statuts de l'association ( en français ) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

L'association ne salarie aucun de ses membres, qui sont tous des bénévoles. Ceux-ci assument eux-mêmes les frais de fonctionnement, en particulier de gestion du site, qui ne sont pas supportés par l'association.

Ainsi, vous pourrez être assurés, dans cette sorte « d'œuvre humanitaire culturelle » que quelle que soit la somme que vous donniez, elle sera *intégralement* consacrée à rétribue les traducteurs.

Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.

# PROLOGUE

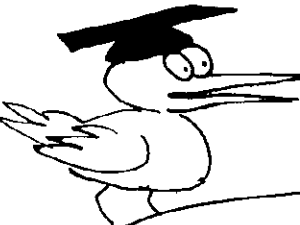


Tu sais, Sophie, souvent je me demande d'où viennent les choses, comment s'est fait l'Univers...


Est-ce que TOUT a toujours été ainsi ? la Terre, le ciel ?

Est-ce que le ciel a toujours été bleu ?


les étoiles ont-elles toujours brillé sur un fond de ciel noir ?



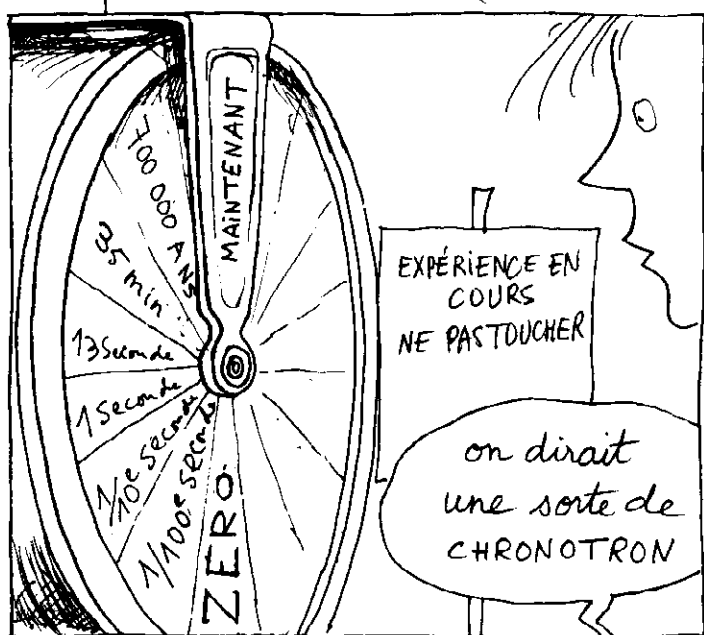
au TOUT COMMENCEMENT, notre Univers était tout petit et très chaud : un enfer minuscule et tout à pété ?



oui, mais c'est une très longue histoire, et pour la raconter il faut remonter il y a très, très longtemps.



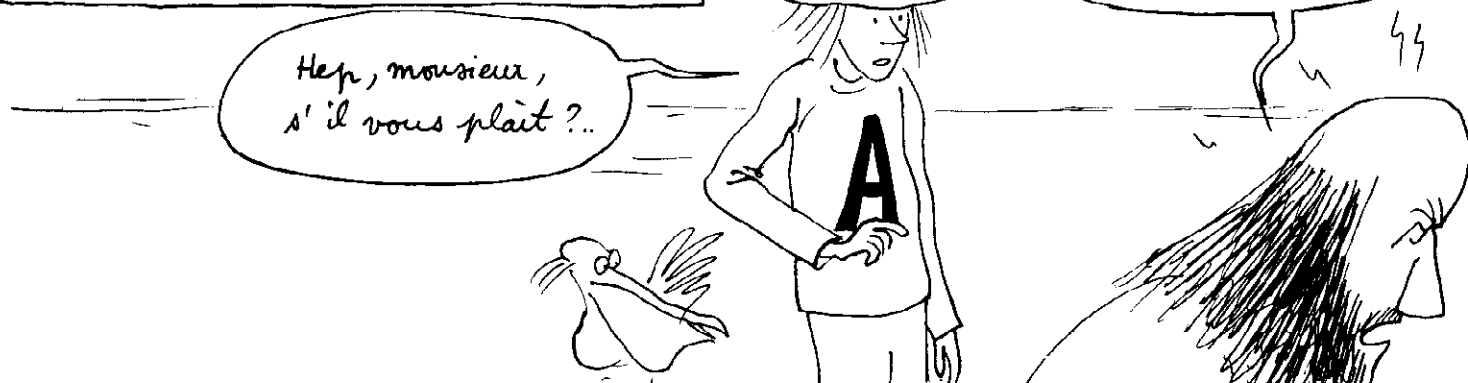
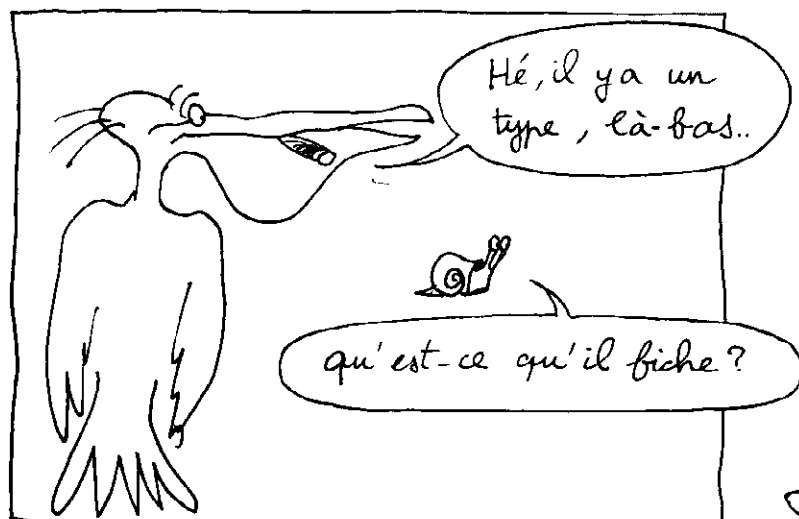
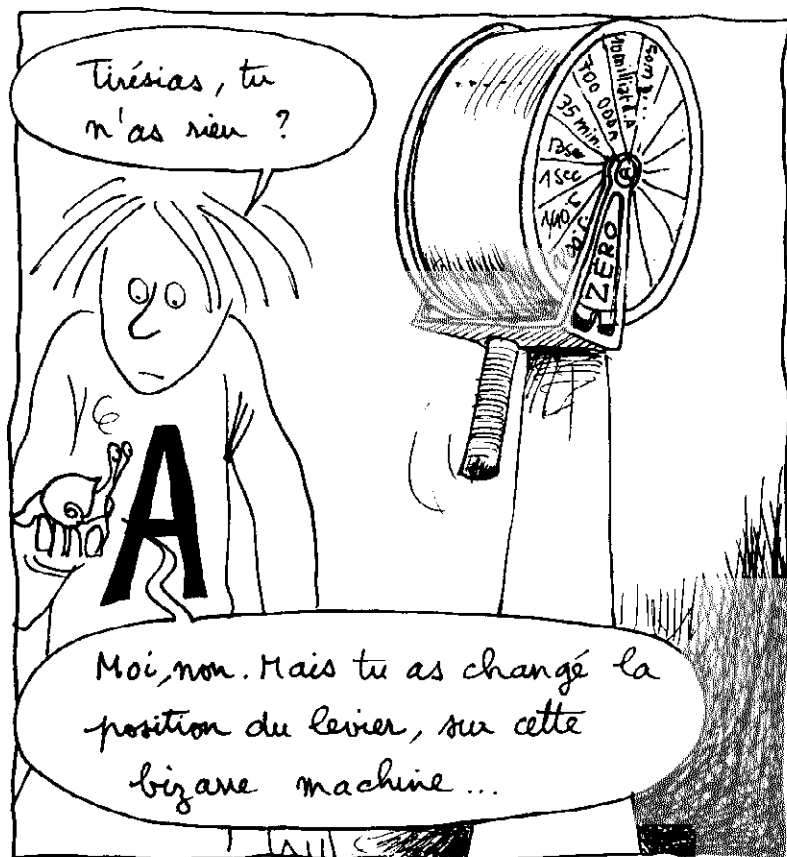
oh, venez voir !



SOUDAIN...



# LE COMMENCEMENT DE TOUT

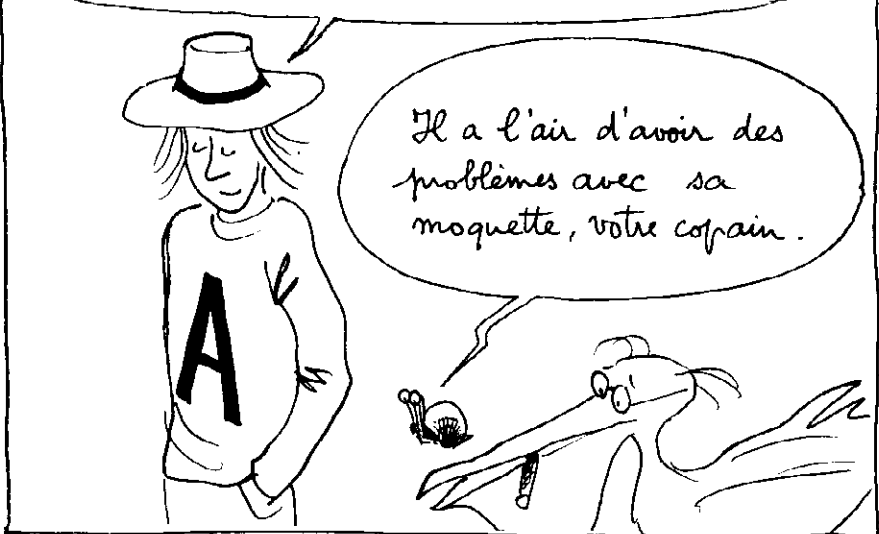


ça y est, c'est encore raté !



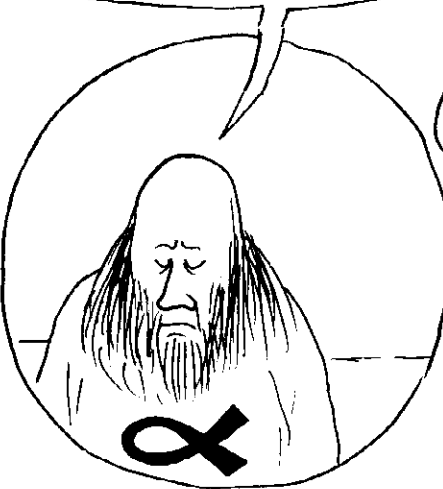
Je me suis fait avoir...

Si c'est de la moquette que vous essayez de poser, vous vous y prenez comme un vrai manche, ça c'est vrai !



Il a l'air d'avoir des problèmes avec sa moquette, votre copain.

quel désastre... des plis partout !..



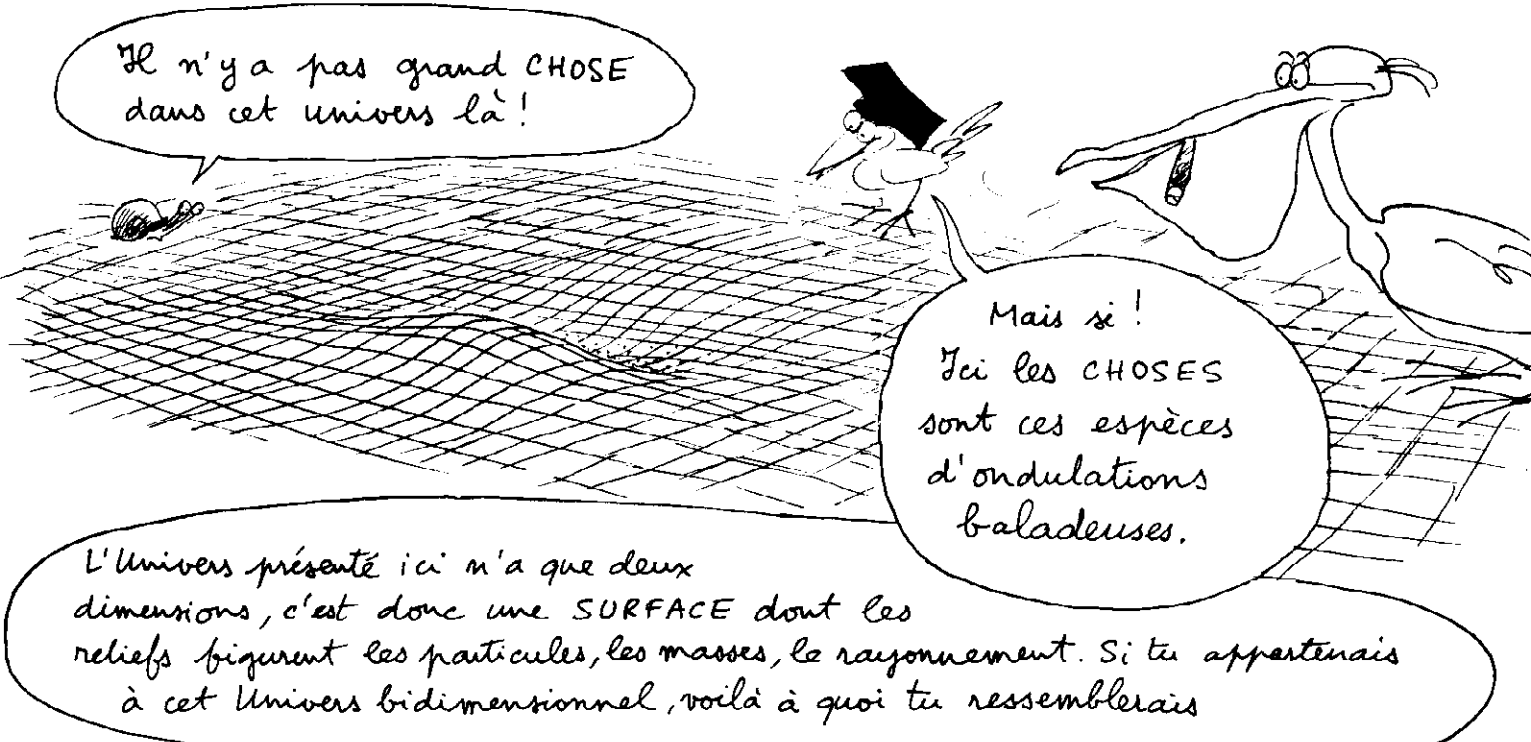
c'est normal qu'il y ait des plis. Vous avez voulu trop en mettre. La moquette est comprimée...

Tsss.... s'il n'y avait pas de compression il n'y aurait pas d'énergie : il n'y aurait que de l'espace...

Si encore c'était uniformément plissé ! Mais il y a des paquets de plis, qui se promènent anarchiquement, à une vitesse de trois cent mille kilomètres par seconde

c'est quantique... c'est diablement quantique...


c'est quoi?..



Il n'y a pas grand CHOSE dans cet univers là !

Mais si !  
Ici les CHOSSES sont ces espèces d'ondulations baladeuses.

L'univers présenté ici n'a que deux dimensions, c'est donc une SURFACE dont les reliefs figurent les particules, les masses, le rayonnement. Si tu appartenais à cet Univers bidimensionnel, voilà à quoi tu ressemblerais



c'est pas joli  
c'est pas joli du tout...

Dans notre monde tridimensionnel, les particules sont aussi des variations locales de la courbure

c'était mieux avant.

Avant...quoi ! ?

Enfin... j'appellerai ces plis baladeurs des PHOTONS.



Ah, nom de Dieu de nom de Dieu !  
voilà autre chose, maintenant...

quoi ?

mais regardez cela !  
il y en a partout !!!!

Non seulement ça floccule,  
mais ça turbule. du beau travail !

on dirait des petits tourbillons  
comme quand on fait comme cela  
dans un drap de lit

c'est curieux. Il y en a qui tournent  
dans un sens, et d'autres dans  
le sens inverse

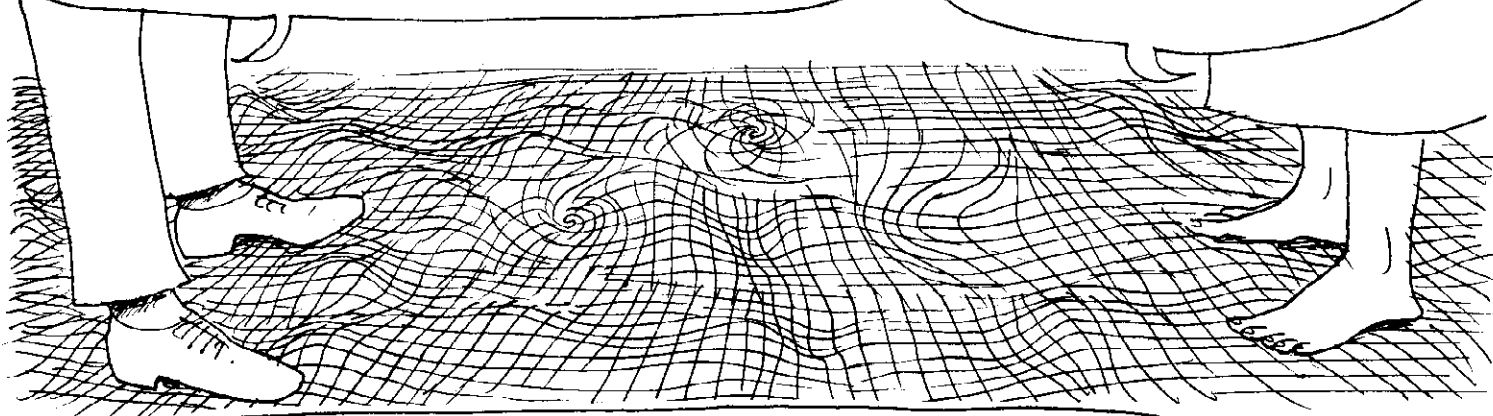
Comme vos photons, ils vont à 300 000 km/s

J'appellerai ces tourbillons baladeurs  
NEUTRINOS, quand ils tourneront comme  
ceci :

ET ANTINEUTRINOS quand ils tourneront  
en sens inverse :

c'est vachement agité. Sur votre moquette,  
pas un seul endroit plat, les plis sont  
littéralement les uns contre les autres (\*)

Cet Univers est très,  
très instable. Complètement  
raté !...

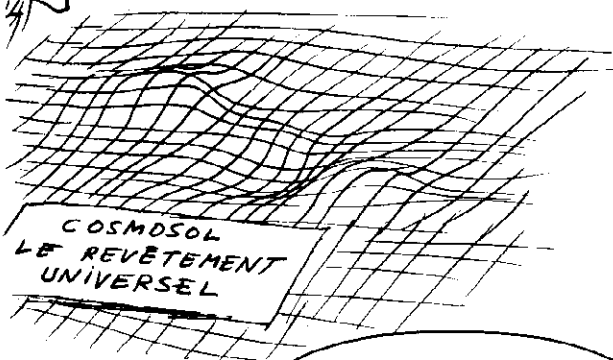


S'il y avait encore un peu d'ordre dans tout cela !  
Mais c'est la chienlit. Tout est distribué au hasard !

J'ai honte des jeux de hasard !

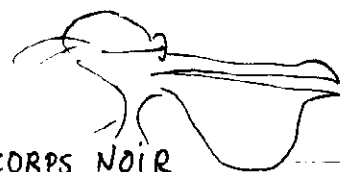
Le hasard, mon ami,  
c'est le diable !

Ah...



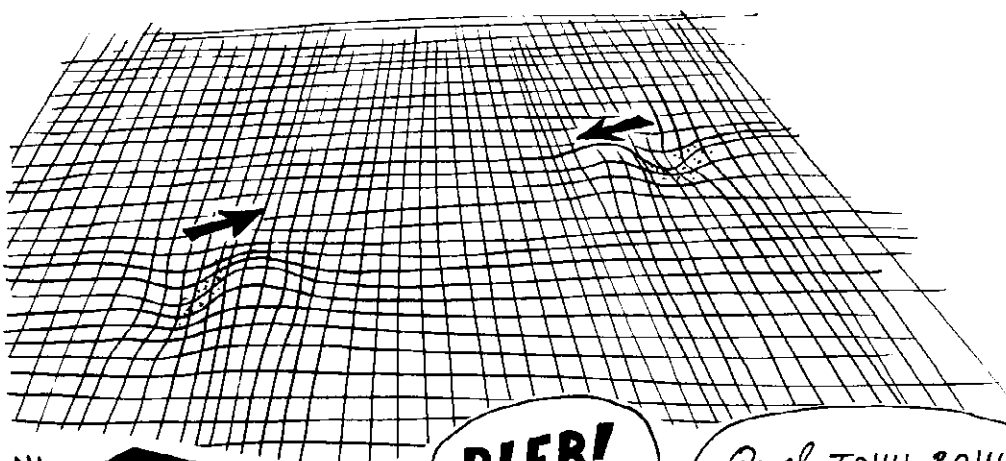
Je ne joue même  
pas aux dés...

Oh, regardez ! il se passe  
quelque chose par là-bas..



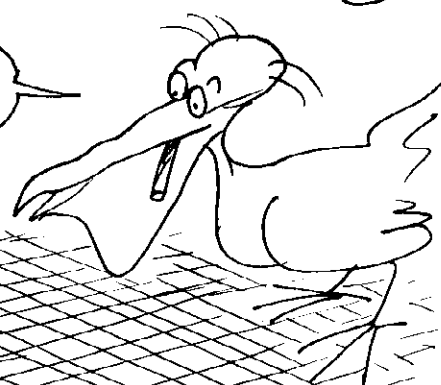
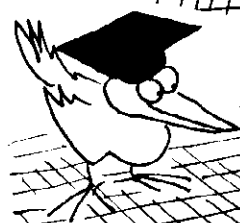
(\*) Propriété de ce qu'on appelle le RAYONNEMENT DU CORPS NOIR  
(le diable sait pourquoi.....)

Voilà deux plis baladeurs qui vont à la rencontre l'un de l'autre. Ils vont se rentrer dedans.

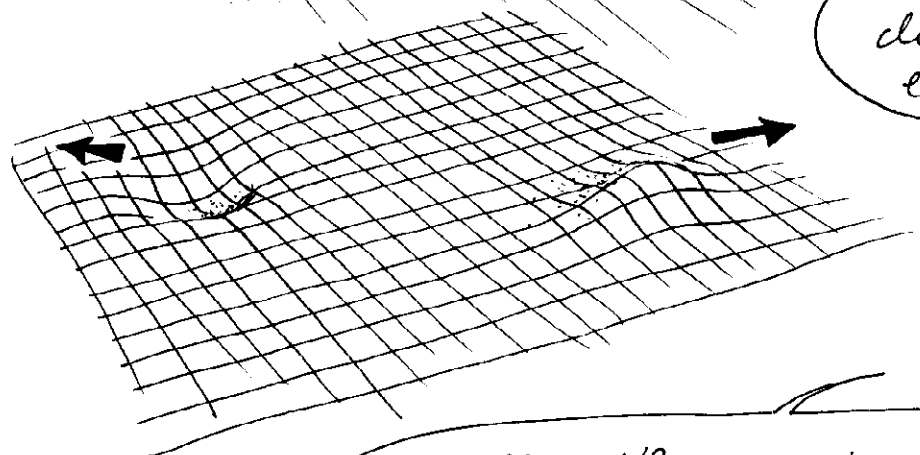


**BLEB!**

Quel TOHU-BOHU mes amis !

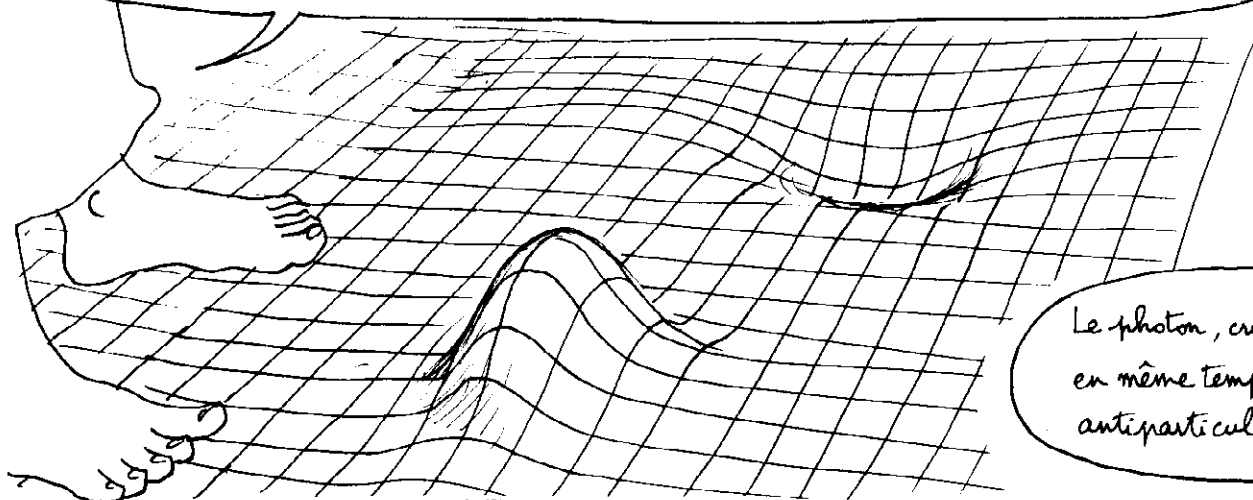


maintenant, cela fait des cloques. l'une vers le haut et l'autre vers le bas.



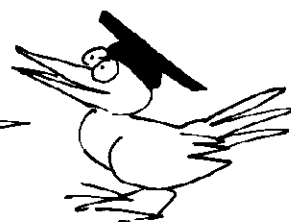
Elles s'éloignent l'une de l'autre à une vitesse qui est proche de 300 000 km/seconde

Bon. J'appellerai les bosses MATIÈRE, et les creux ANTIMATIÈRE. Il y a de la COURBURE, donc de la MASSE.

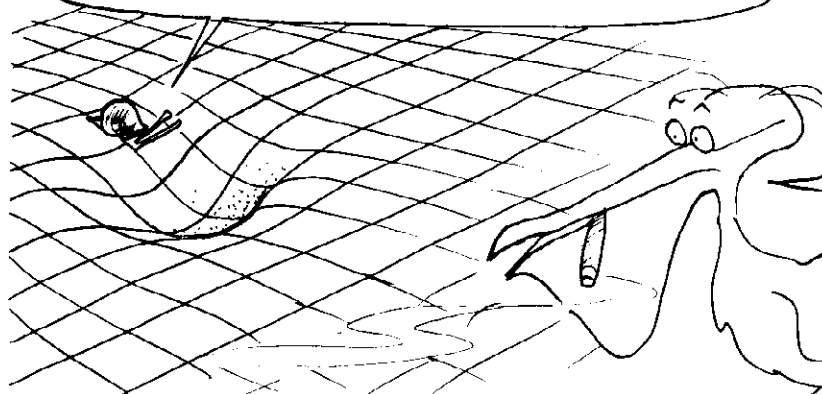


Le photon, creux et bosse tout en même temps, est sa propre antiparticule.

MATIÈRE et ANTIMATIÈRE, nées des collisions entre photons, apparaissent à des vitesses relativistes.

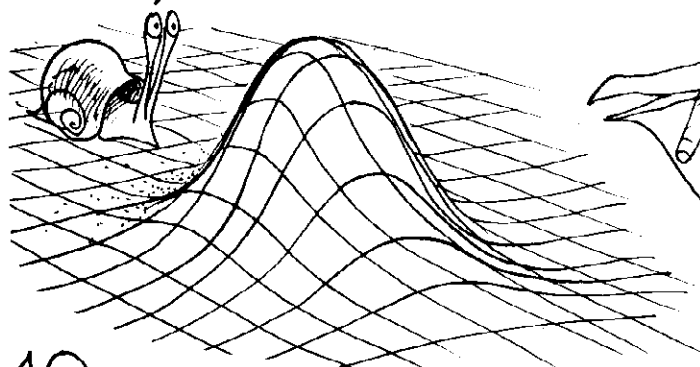


Bosse, creux, tout cela est arbitraire

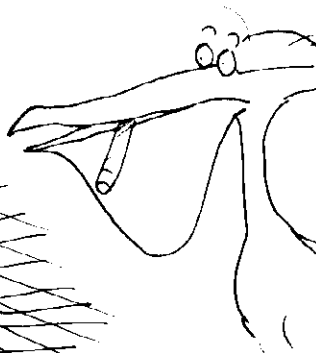


Quel est le sens de cette profonde réflexion, mon cher Tirésias ? Il y a des choses qui apparaissent en creux, et d'autres en bosses. Cela me paraît évident...

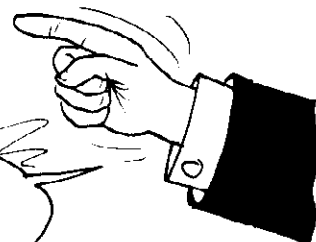
C'est parce que nous sommes de ce côté-ci de la moquette. Si nous étions sur l'autre, les bosses deviendraient des creux et les creux des bosses.



Mais... je ne vois qu'un seul côté !!!



Tirésias !!!



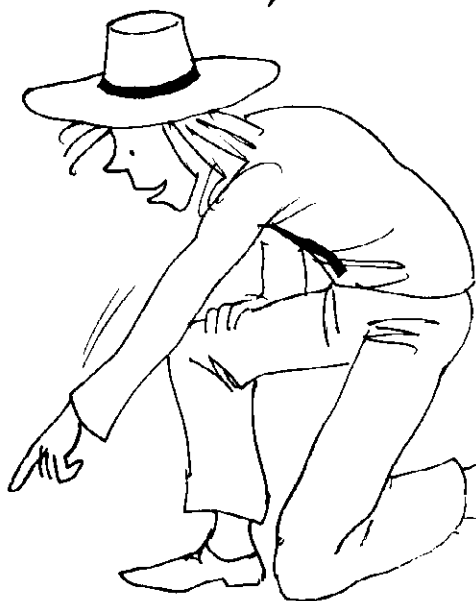
Il n'y a plus moyen  
de rigoler un peu ...



Encore  
un épistémoflic (\*)

?...?

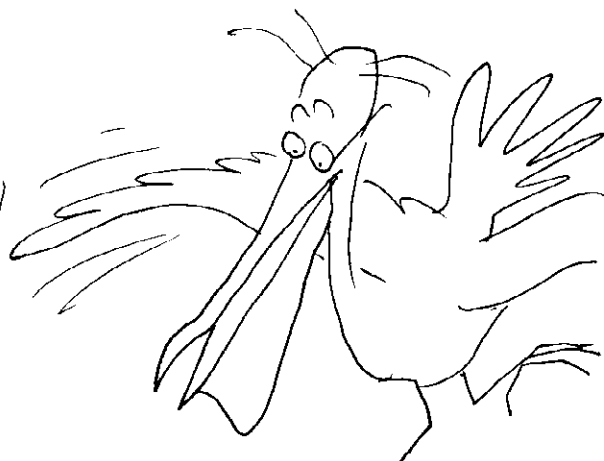
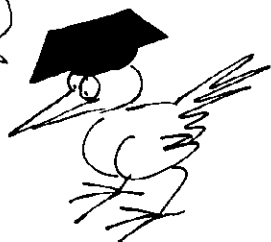
Attendez ! Là ... quand une bosse et un creux se rencontrent assez  
lentement, cela redonne deux plis baladeurs. c'est l'opération inverse



Hum... simple ANNIHILATION  
d'une particule de matière et  
de son antiparticule .  
Cela redonne deux photons

C'est le TOHU-BOHU

Hmm...



(\*) de Épistémé : la science et Flic : Flic

les créations et décréations de particules, à partir de paires de photons, se succèdent à un rythme effréné. Dans ce monde chaotique, ce monde du changement, pas de structures. Seulement un fourmillement serré de photons, de neutrinos, d'anti-neutrinos, et de nombreuses particules et antiparticules, fugaces et variées. C'est le TOHU-BOHU (\*)

moi ça me fait  
penser aux SEXONS

c'est quoi les SEXONS?

ce sont des particules qui passent  
leur temps à se reproduire

Apparemment, il y a des plis baladeurs de  
largeurs très diverses, de même qu'il y a des  
bosses étroites et hautes ou larges et plates.

(\*) Voir LA BIBLE

J'appellerai LONGUEUR D'ONDE  $\lambda$   
cette envergure des plis  
baladeurs, les PHOTONS.

Supposons que je crée une  
oscillation baladeuse en  
secouant cette corde.

Je la secoue d'abord doucement  
J'y mets peu d'énergie et  
la longueur d'onde  $\lambda$   
est grande.

Si je secoue maintenant plus  
sèchement la corde, si je lui communique  
plus d'ÉNERGIE, la longueur d'onde  $\lambda$   
sera nettement plus courte.

mi!

De sorte que plus  
une onde véhicule d'énergie  
et plus sa longueur  
d'onde est petite.

Je dirai que l'ÉNERGIE véhiculée  
par un PHOTON, un grain de LUMIÈRE,  
sera INVERSEMENT PROPORTIONNELLE à sa  
LONGUEUR D'ONDE  $\lambda$ :  $E$  varie comme  $\frac{1}{\lambda}$ .

Comme ça, ça ira...

# PLUS ON EST PETIT ET PLUS ON EST LOURD

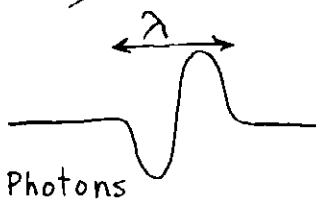
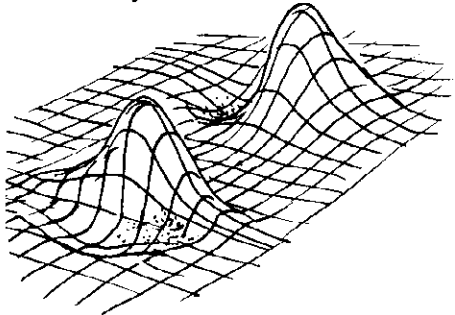


D'accord pour ces plis baladeurs, que vous appelez les PHOTONS. Mais qu'est-ce qui différencie les creux ou les bosses étroites et hauts des creux ou bosses larges et plats ?

Je vais appeler cette largeur des creux et des bosses la LONGUEUR D'ONDE DE COMPTON  $\lambda_c$  ; la MASSE  $m$  lui sera INVERSEMENT PROPORTIONNELLE. Soit  $m$  variant comme  $1/\lambda_c$ .

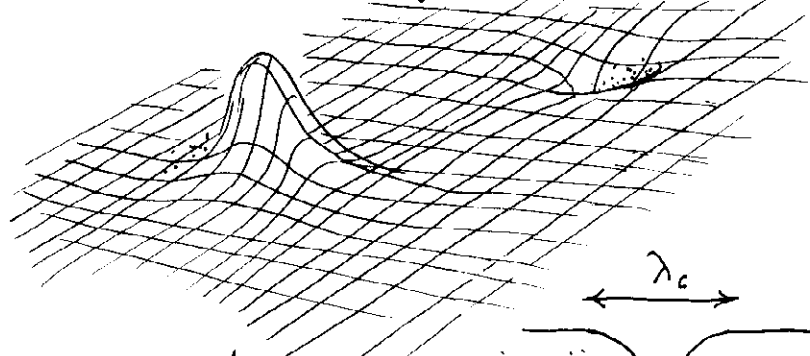
Des photons très énergétiques, de courte longueur d'onde, donneront naissance à des particules (et antiparticules) de masse  $m$  élevée, étroite et haute.

$\lambda$  faible

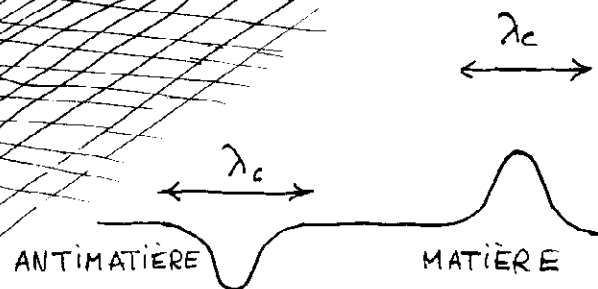


Photons

$\lambda_c$  faible : longueur d'onde de Compton petite

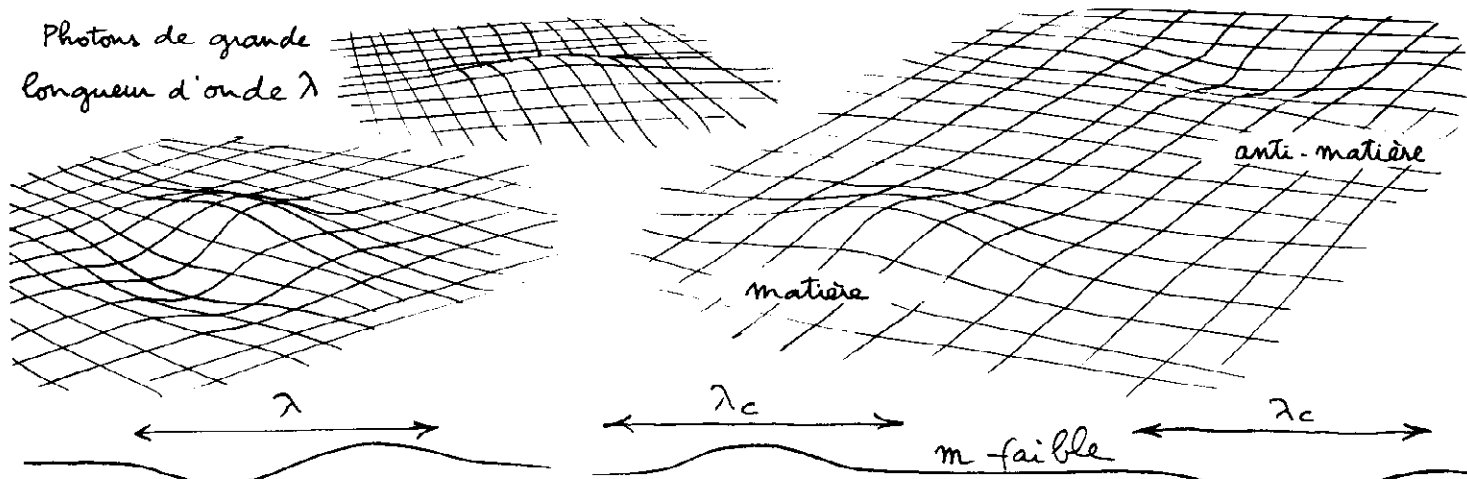


masse  $m$  grande





Photons de grande  
longueur d'onde  $\lambda$

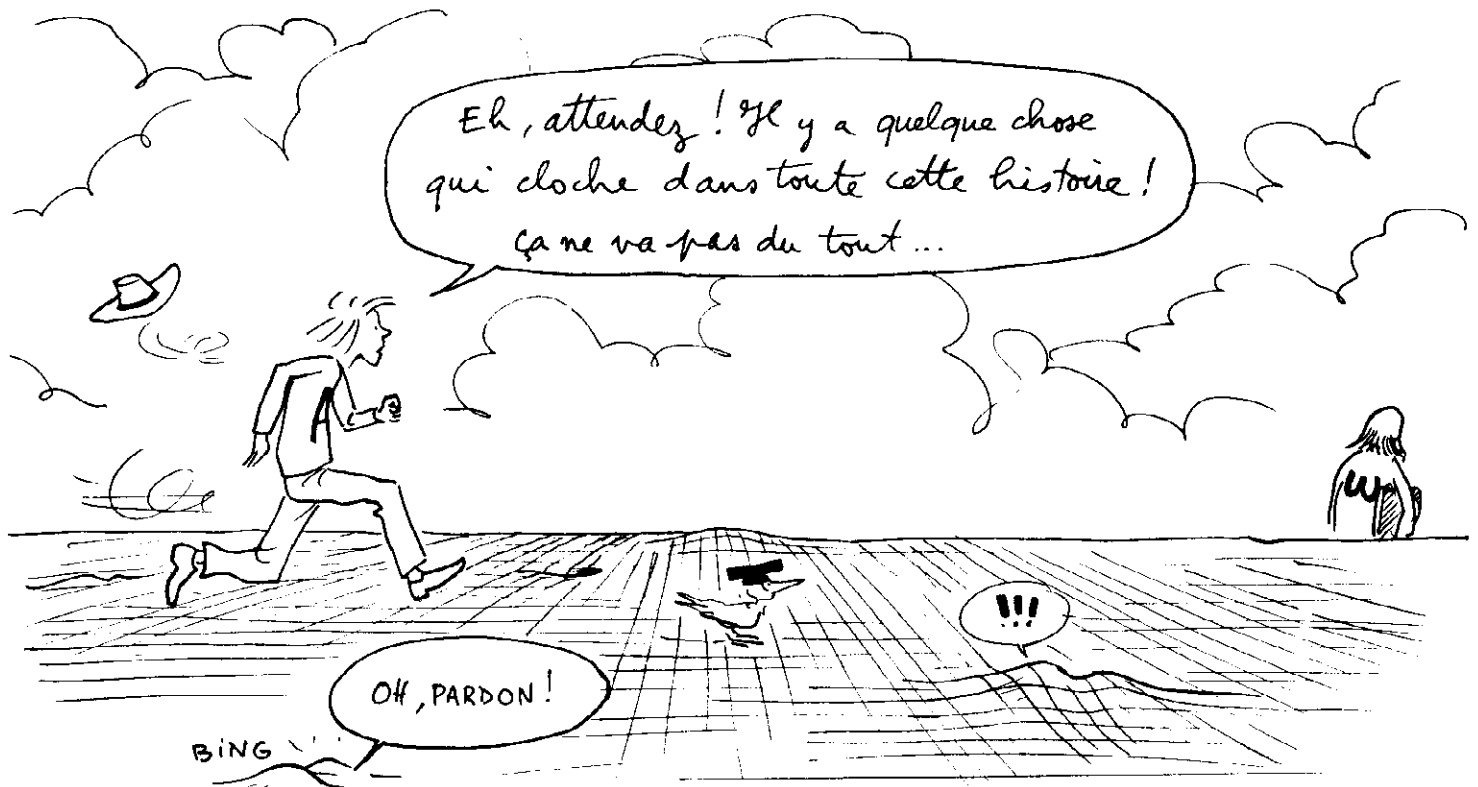


Photons de grande longueur d'onde  $\rightarrow$  particules de grande longueur d'onde de Compton  
Inversement, des photons relativement peu énergétiques donneront naissance à  
un couple particule-antiparticule de grande longueur d'onde  
c'est-à-dire de faible masse:  $\lambda_c$  grand,  $m$  faible.

En fait, c'est même beaucoup plus simple.  
À ce que je vois  $\lambda = \lambda_c^{(*)}$ , c'est-à-dire que  
les particules (et antiparticules) sont de  
même "taille" que les photons qui les créent.

Ce qui fait que lorsqu'on connaît  
la MASSE d'une particule quelconque,  
on connaît immédiatement la longueur  
d'onde du rayonnement qui l'a créée.

(\*) On se rappellera que  $E(\text{énergie}) = m(\text{masse})$ . VOIR TOUT EST RELATIF.



Ah, elle est belle, la  
genèse d'aujourd'hui!

qu'est-ce que tu  
fabriques?

Je fabrique un ATOME d'HYDROGÈNE  
plus conforme à la réalité. Avec un  
gros électron et un minuscule PROTON  
constituant son NOYAU.

Nom de dieu de nom de dieu! quel chaos... enfin...  
Mes enfants, vous allez m'aider à mettre un  
peu d'ordre dans ce fatras.

# LA TEMPÉRATURE DE RAYONNEMENT T

$T_R$

Fouchtre...

Tous ces photons ont des longueurs d'onde variées, des énergies variées. Mais, sur cette population je vais définir une longueur d'onde moyenne une énergie photonique moyenne.

La TEMPÉRATURE DE RAYONNEMENT  $T_R$  sera la mesure de cette énergie moyenne des photons.

quel désastre....

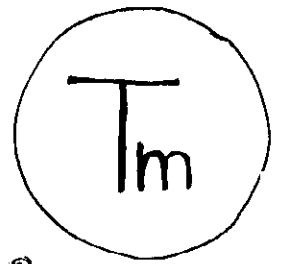
## ÉTAT D'ÉQUILIBRE

Alors, un mélange peut avoir plusieurs températures ?!!?

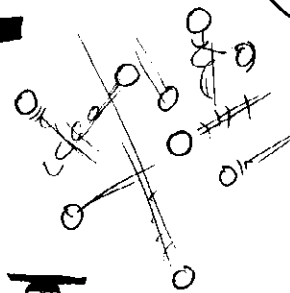
BING!

Oui, mais on verra cela à la page 46. En attendant, les particules échangent de l'énergie, entre elles, ou avec les photons, à travers les collisions. Le mécanisme tend à uniformiser les températures, À LES RENDRE ÉGALES, à mettre le système en état d'ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE.

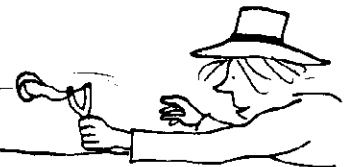
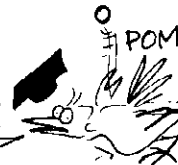
# LA TEMPÉRATURE DE LA MATIÈRE



Toutes ces particules MATÉRIELLES ont des masses  $m$  et des vitesses  $V$  variées. L'ÉNERGIE CINÉTIQUE d'une particule matérielle est  $\frac{1}{2}MV^2$ . Mais, sur cette population, je peux définir une énergie d'agitation (THERMIQUE) moyenne.



Et la TEMPÉRATURE DE LA MATIÈRE  $T_m$  sera la mesure de cette ÉNERGIE MOYENNE D'AGITATION THERMIQUE



## THERMODYNAMIQUE

Si une particule a trop d'énergie, si elle est trop rapide, trop "chaude", une collision avec une autre particule la ralentira. Et vice versa si elle est trop lente. Si ce phénomène de couplage énergétique des espèces par collision est suffisamment intense, non seulement les températures seront égales, mais elles le resteront que tu détendes ou que tu comprimes ce mélange.

Hé là...

accélère!

pas si vite!

alors on traîne...

Quelle agitation! les particules et antiparticules naissent et meurent, par paires, à un rythme d'enfer

Quelles sont les conditions de création d'une paire particule-antiparticule?

# LA TEMPÉRATURE DE SEUIL

Pour créer une PAIRE particule-antiparticule, de masse commune  $m$ , il faut une énergie  $2mc^2$ , qui est fournie par une paire de photons ayant une énergie supérieure ou égale

Si l'énergie moyenne des photons est inférieure à cette énergie seuil  $mc^2$ , c'est-à-dire si la température de rayonnement  $T_R$  est trop basse (au-dessous d'une valeur seuil) ces particules matérielles ne pourront plus être créées.

Ouais...

# DE L'ÉVOLUTION DES ESPÈCES

La SURVIE d'une espèce est toujours problématique. Elle peut être assurée par un rythme de production élevé

Ce qui implique que la température de rayonnement  $T_R$  soit supérieure à la température de seuil liée à l'espèce.

Si la température  $T_R$  est plus basse, plusieurs causes de disparition sont envisageables.

la plus redoutable est l'annihilation avec l'antiparticule

PLOP

Enfin les particules ont leur propre DURÉE DE VIE<sup>(\*)</sup>. Passé ce temps, elles se décomposent spontanément en d'autres particules et en rayonnement.

(\*)... leur réserve de CHRONOL  
VOIR TOUT EST RELATIF.

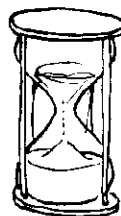


tiens des sexons!



Viennent ensuite des mauvaises rencontres en tous genres

Le Cosmos est un coupe-gorge



Le problème, c'est de durer...





quelle température fait-il ?

Prends un photon  
et mesure sa longueur  
d'onde  $\lambda$  !

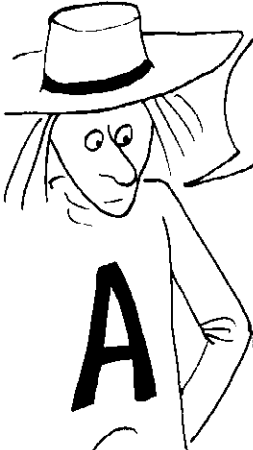
Bouffe de bouffe, vingt mille milliards de degrés ( $2 \cdot 10^{13}$  K)

Il semble y avoir à peu près autant de  
photons, de neutrinos, de protons, de neutrons  
d'électrons, (et leurs antiparticules).

À une température aussi élevée, tout le  
monde est RELATIVISTE. Même les particules  
matérielles vont à des vitesses proches de  
la vitesse de la lumière  $c$ .

Dans TOUT EST RELATIF, on avait vu que lorsque la  
vitesse d'une particule tend vers la vitesse de la lumière,  
son TEMPS PROPRE se fige comme une sauce.






Au fait, ça pose un sacré problème... Si tout le monde se trimballe à la vitesse de la lumière, alors le TEMPS (\*) ne s'écoule plus ?!!? Il n'y a personne pour le vivre...

**A** Personne ne va assez lentement pour avoir un temps s'écoulant de manière significative



oh!..


Un monde totalement ACHRONIQUE serait dénué de SENS.



Le temps est peut-être un luxe que seuls certains univers peuvent s'offrir?

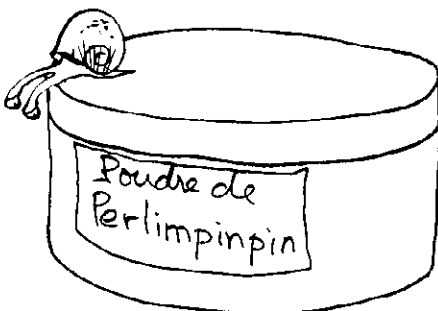


c'est diabolique!



Bof, avec tout ce que j'ai déjà vu et entendu... L'ESPACE, le TEMPS, L'UNIVERS, tout cela n'est que de la poudre aux yeux


le constituant universel de toute chose?



(\*) un temps cosmique qui pourrait être une moyenne des TEMPS PROPRES

# LES PARTICULES ÉLÉMENTAIRES

Tenez, au lieu de rester les bras ballants, aidez-moi à mettre un peu d'ordre dans ce fouillis de PARTICULES ÉLÉMENTAIRES.



Celles-ci ont des longueurs d'onde de Compton  $\lambda_c$  très petites

Ces particules de très forte masse sont des HYPERONS (\*)

Puis viennent les HADRONS. le PROTON et le NEUTRON (de même que l'antiproton et l'antineutron) en font partie. Ils sont susceptibles de s'agencer en NOYAUX. Pour créer ces particules, il faut une température de rayonnement supérieure à  $10^{13}$  K, soit dix mille milliards de degrés.

c'est leur température de seuil

La longueur d'onde de Compton des Protons et des neutrons vaut  $1,35 \cdot 10^{-12}$  cm. Un millième de milliardième de cm.

DÉFENSE DE METTRE  
SON NEZ DANS UN NEUTRON

(\*) Hypothétiques, dans l'état des connaissances actuelles

HADRON, ça vient de HADROS,  
qui veut dire balaise, en grec.

Tirésias, vous  
savez le grec ?

Il y a évidemment autant  
d'ANTI HADRONS que de HADRONS

Enfin, voici les LEPTONS(\*)

LEPTON

ANTILEPTON

Pour les créer, une température de rayonnement  
de 6 milliards de degrés (température de SEUIL) suffit.

Le plus connu des LEPTONS est l'électron, et son jumeau l'anti-  
électron, ou POSITRON. On remarquera que la température de seuil,  
de création des électrons, est 1850 fois inférieure à la température  
de seuil correspondant au proton et au neutron.

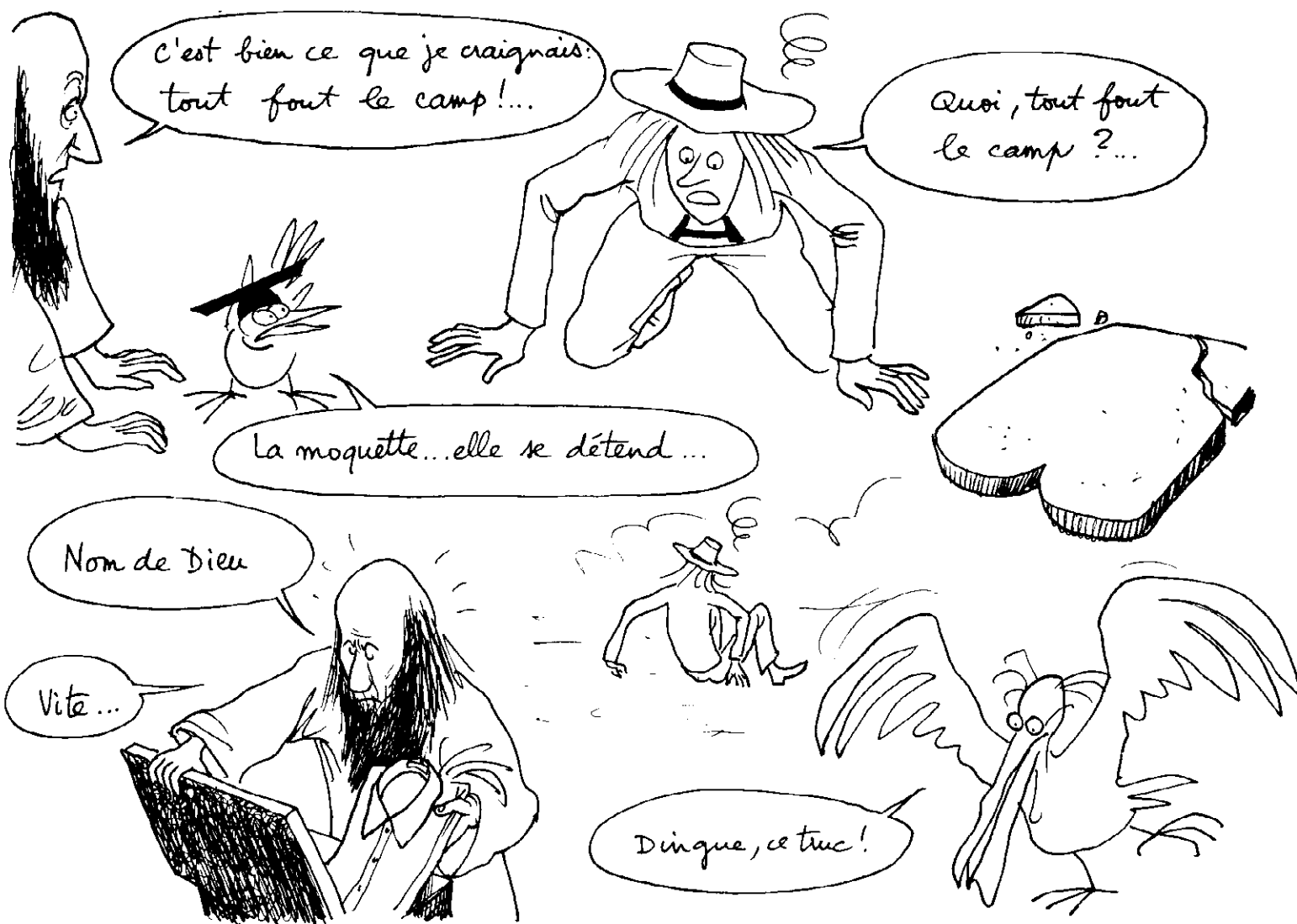
C'est normal puisqu'il faut  
1850 fois moins d'énergie  
pour créer l'électron que le proton.

(\*) du grec LEPTOS, mince

# TOUT FOUT LE CAMP



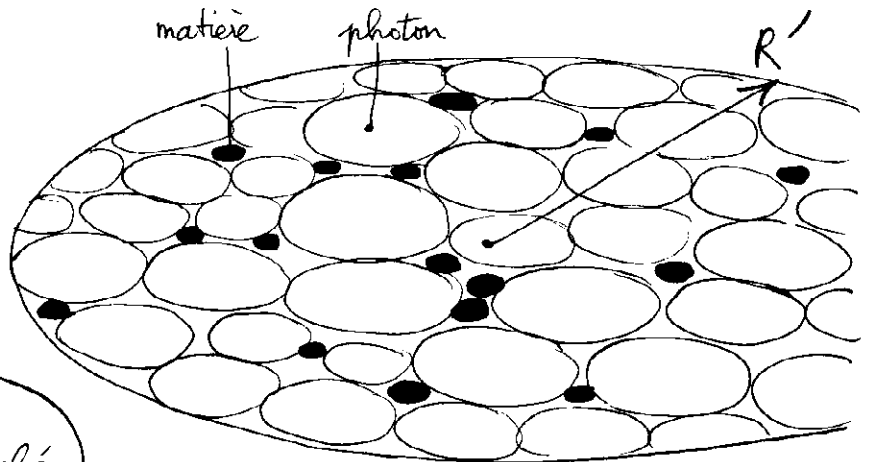
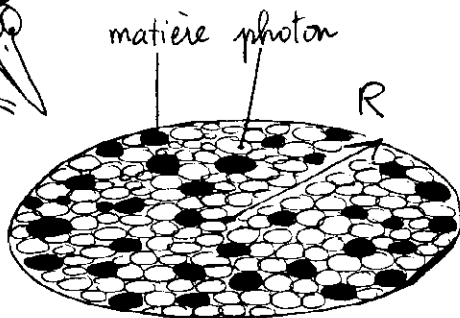
La situation était terriblement chronogène ( le temps ne demandait qu'à apparaître ) le chronotron se remet en marche et ce fut le premier ÉVÉNEMENT, le premier INSTANT.





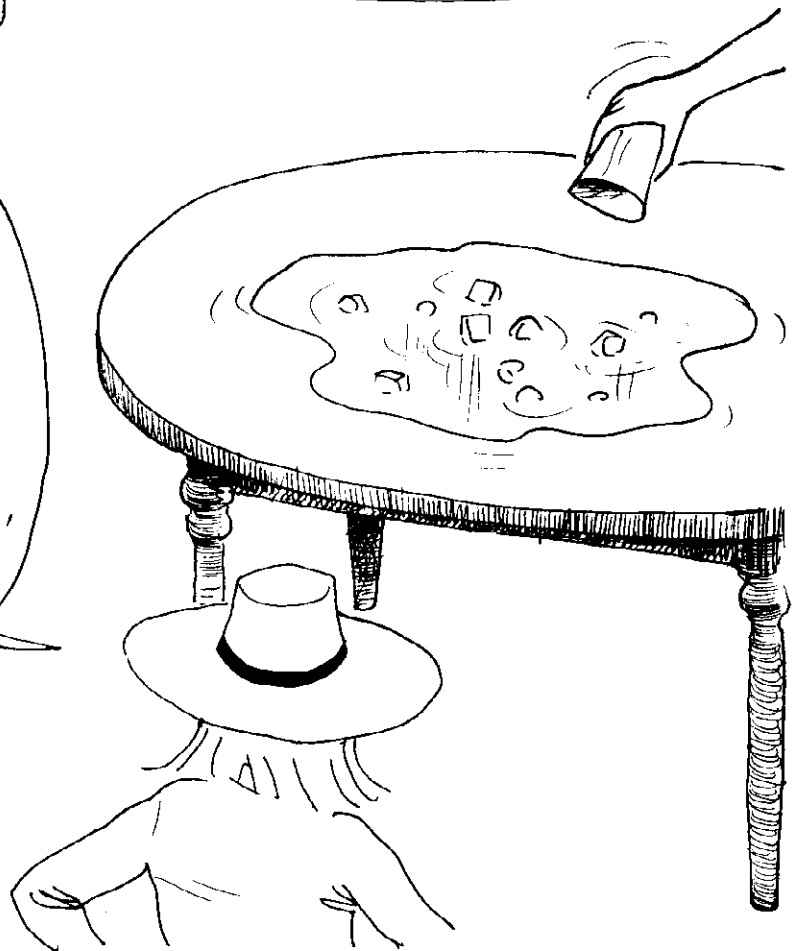
# LA CONSERVATION DE LA MASSE

Regardez ce qui se passe : ce sont les photons qui se dilatent. Les particules matérielles, elles, ne se dilatent pas.



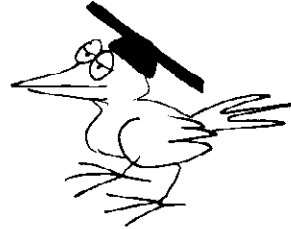
La matière, c'est de l'espace gelé.

Cela fait penser à ce qui se passe quand on renverse sur une table un verre rempli d'eau et de glaçons. La masse d'eau s'étend, se dilate. Les glaçons suivent cette expansion, mais gardent leur dimension.

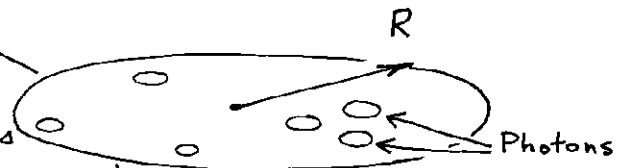


Comme la dimension des particules matérielles est liée à leur masse, j'en déduis que LA MASSE SE CONSERVE

Inversement, l'ensemble des photons (qui se dilatent) perd de l'ÉNERGIE



Si  $R$  est le rayon de l'Univers, comme la longueur d'onde  $\lambda$  des photons suit l'expansion ( $\lambda$  varie comme  $R$ ), j'en déduis que la température de rayonnement, qui varie comme  $1/\lambda$ , décroît comme  $1/R$ .



Tout se passe comme si l'univers créait son propre espace, son COSMOTOPE (\*) en sécrétant.... le vide...

Matière et lumière ne sont que deux formes différentes d'une même entité : L'ÉNERGIE-MATIÈRE. Les photons gardent leur vitesse de 300 000 km/s mais perdent leur énergie.

(\*) de Cosmos : COSMOS et topos : LIEU (l'endroit où se trouve l'Univers.)

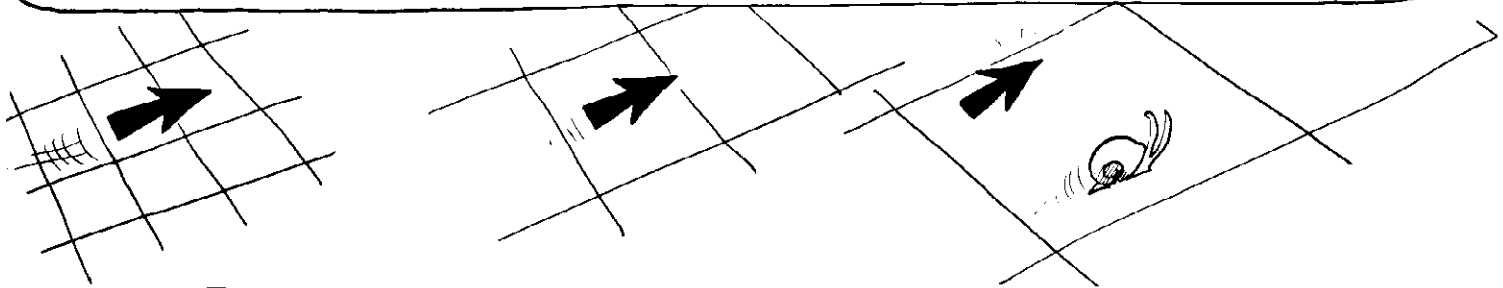


Voilà une image qui décrit bien l'étirement du photon et la perte d'énergie qui en découle.



mais comment la matière se comporte-t-elle dans cette expansion?

L'Univers sécrète l'espace comme une coquille. Plus le temps passe et plus les particules ont de chemin à parcourir. Quand la taille de l'Univers double, alors la vitesse d'agitation des particules matérielles diminue de moitié. Leur énergie cinétique est donc divisée par 4 : la vitesse d'agitation varie comme l'inverse du rayon  $R$  de l'Univers, alors que la température  $T_m$  de la matière variera en  $1/R^2$ .



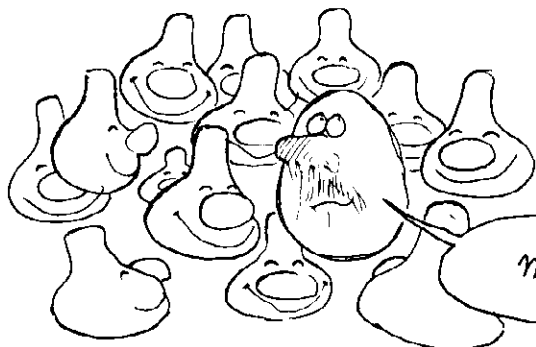
Mais... on a vu tout à l'heure que la température de rayonnement  $T_r$  variait comme  $\frac{1}{R}$ . La matière a donc tendance à se refroidir plus vite?



Ouh...  
je fatigue.



Effectivement. Mais les collisions photons-matière la réchauffent. Très fréquentes, elles maintiennent l'état d'équilibre thermodynamique ( $T_R = T_m$ ), pendant un certain temps.



merci, mes amis

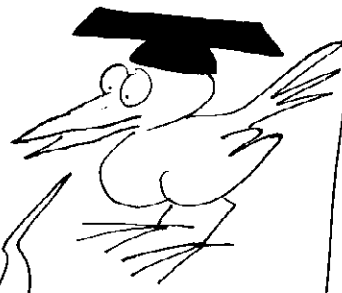
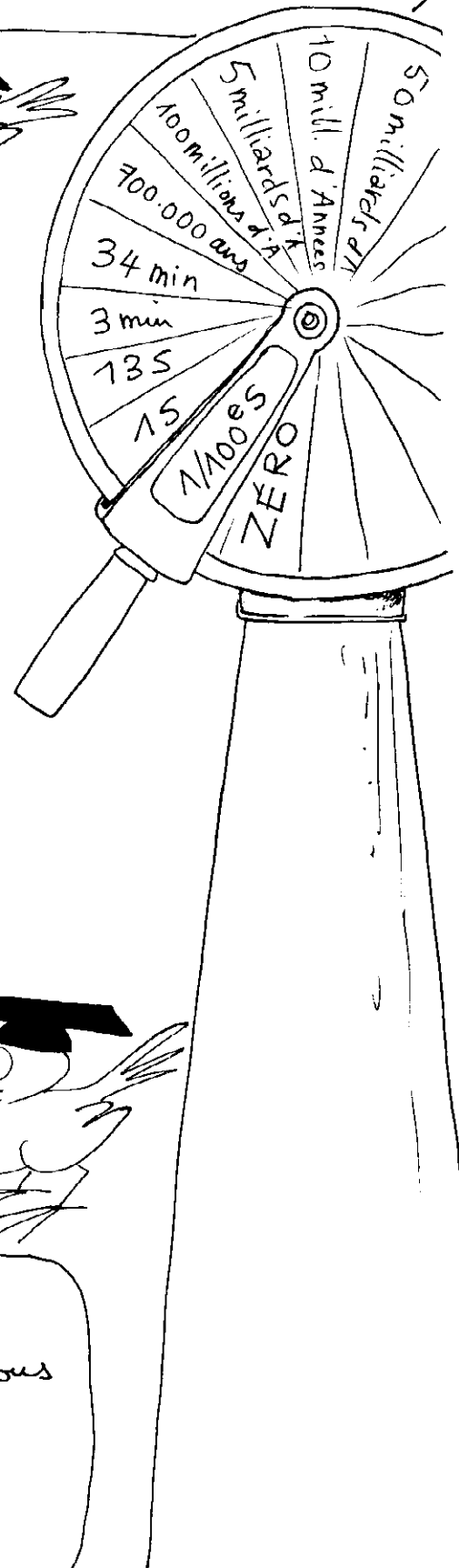
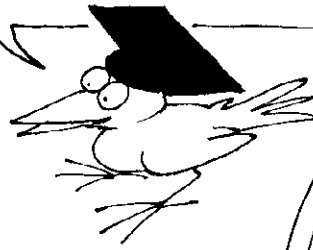
un centième de seconde

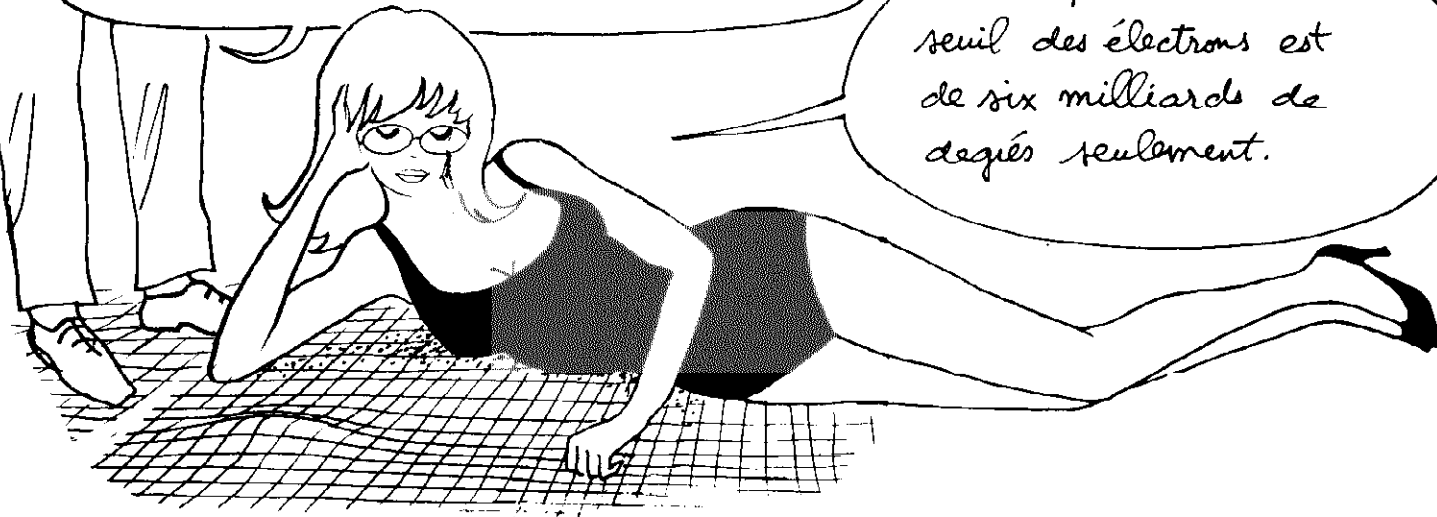


les protons, les neutrons, les antiprotons et les antineutrons ne vont plus qu'à dixième de la vitesse de la lumière  $c$



La température ( $T_R = T_m$ ) est tombée à cent milliards de degrés, c'est-à-dire bien au-dessous de leur température de seuil, qui est de dix mille milliards de degrés. Ils se sont annihilés deux à deux à un rythme effréné et il n'en reste plus qu'une sur un MILLIARD.





Sophie, la plupart des protons, neutrons, antiprotons et antineutrons ont disparu. Mais pourquoi reste-t-il toujours autant d'électrons et de positrons (anti électrons) ?

La température de seuil des électrons est de six milliards de degrés seulement.

six milliards de degrés seulement... tu entends ?

on dirait que ça fraîchit

Il y a un truc bizarre: la température est de cent milliards de degrés. les protons, neutrons, antiprotons et antineutrons vont au dixième de la vitesse de la lumière. Mais les électrons sont encore relativistes.

oui, pourquoi ?

Le milieu est toujours en état d'ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE : le couplage de toutes les espèces, et du rayonnement, est toujours intense. Les énergies cinétiques des particules matérielles sont, en moyenne, égales :  $\frac{1}{2} M_{\text{proton}} (V_{\text{proton}})^2 = \frac{1}{2} M_{\text{électron}} (V_{\text{électron}})^2$ .



Attends... comme la masse de l'électron est 1850 fois plus petite que celle du proton alors, nécessairement, pour compenser, à une température donnée, la vitesse d'agitation de l'électron est beaucoup plus élevée.

En fait, comme l'énergie-seuil de création d'une particule de masse  $m$  est tout simplement  $mc^2$ , dès que le milieu se refroidit au point que la vitesse d'agitation  $V$  devient sensiblement plus petite que  $c$ , les créations de ces particules cessent et la dépopulation se fait.

Autrement dit : dès qu'une population de particules matérielles cesse d'être relativiste, elle est décimée.

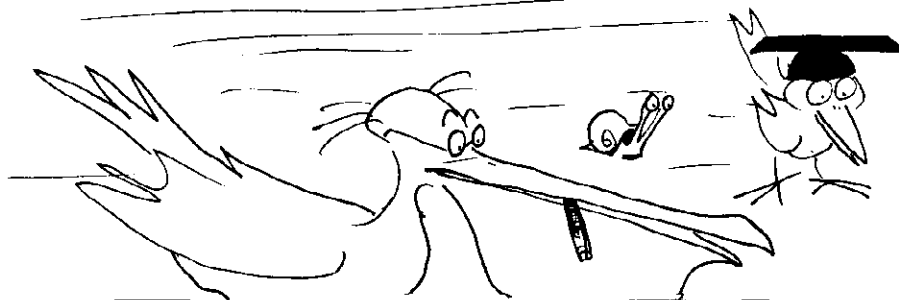




Pour un peu, il ne serait RIEN resté ...  
que des photons. Une chance, quoi ...

Il ya peut-être  
d'autres Univers qui  
ratent, dans l'ailleurs

Un des plus grands mystères de la  
cosmologie est de ne pas pouvoir expliquer  
pourquoi matière et antimatière ne se sont  
pas annihilés mutuellement ...



A ce stade de l'histoire, c'est toujours pareil : il  
y a un moment où on escamote le problème  
de l'ANTIMATIÈRE. Pfffft! ... disparaît, l'antimatière ...

Tirésias, je vous rappelle nos  
conventions. Seulement les FAITS!  
Pas de spéculations échevelées! (\*)

J'en ai marre des  
épistémoflics

Pssst!!

(\*) Un album sera spécialement consacré aux spéculations échevelées.  
"LE CARNAVAL DE LA SCIENCE" : Anthologie des idées à venir.

# L'ÈRE RADIATIVE

Il n'y a maintenant plus grand'chose dans cet univers, à part de la lumière.

Des particules, y en a plus des MASSES.

L'ÉNERGIE-MATIÈRE, qui était en parts égales

sous forme de matière, antimatière, photons et neutrinos se retrouve maintenant presque exclusivement sous forme de photons et de neutrinos, c'est-à-dire de rayonnement. Par ailleurs chaque fois que la taille  $R$  de l'Univers double, la densité de matière diminue. Simple dilution.

Sur la moquette, quand  $R$  double la densité est divisée par  $2 \times 2 = 4$ . Dans notre univers tridimensionnel, en fait, cette densité est divisée par  $2 \times 2 \times 2 = 8$ .

La densité de matière varie comme l'inverse du cube de la "taille", du "rayon"  $R$  de l'Univers.

Mais, pour nous, les photons, c'est plus dramatique. L'expansion nous "vide" petit à petit de toute notre énergie. La quantité d'énergie-matière que nous véhiculons décroît comme l'inverse du rayon  $R$  de l'Univers.

Ce qui fait que la densité d'énergie-matière qui est sous forme de photons varie comme l'inverse de la puissance quatrième de  $R$ .

Tant que la matière reste couplée aux photons, ceux-ci la réchauffent en continu. Et ceci jusqu'à ce que leur température (commune:  $T_R = T_M$ ) tombe à 3000 K, c'est-à-dire pendant 700 000 ans



# LA NUCLÉOSYNTHESE

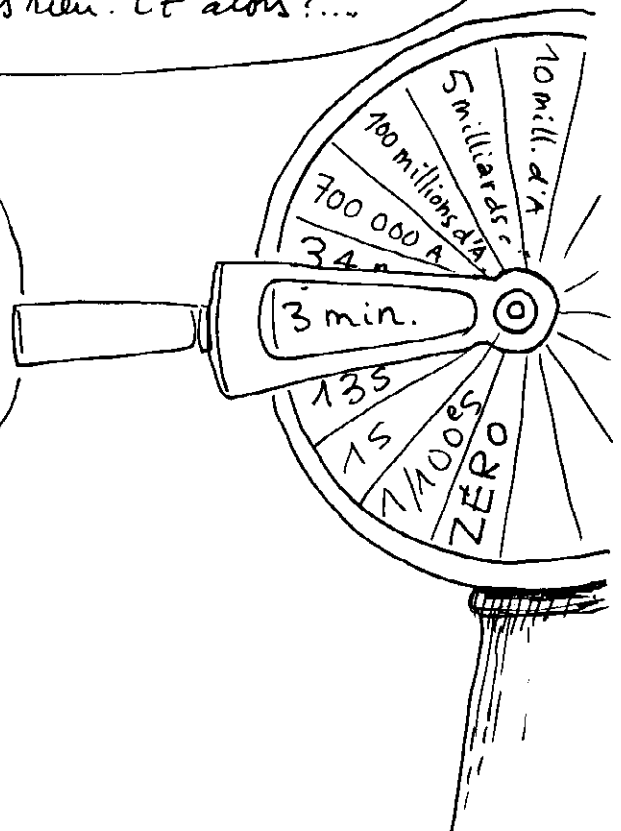


trois minutes

Bon... par rapport à l'état décrit page 31, au premier centième de seconde, la taille de l'Univers  $R$  a été multipliée par cent et la température ( $T_R = T_M$ ) est tombée à un milliard de degrés. Il ne reste presque plus rien. Et alors?...



Voilà deux bosses. Si j'essayais de les pousser, de les faire glisser l'une vers l'autre?



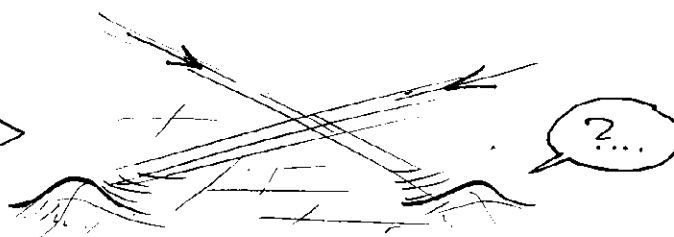


Puis elles s'attirent pour ne former qu'un seul objet.

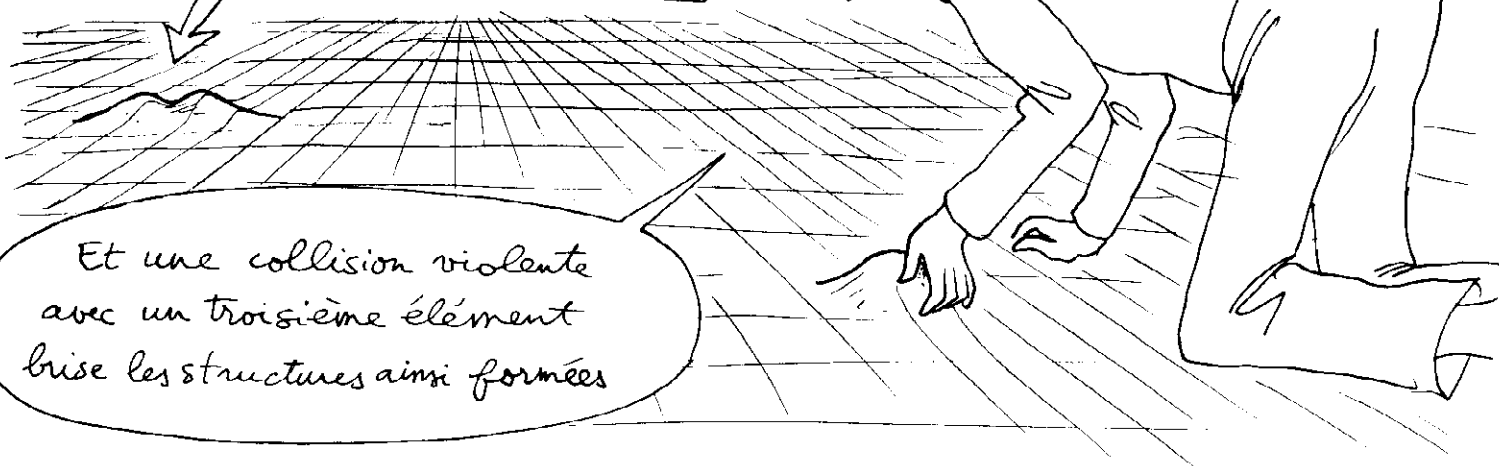
Quand deux bosses entrent en collision, trois cas se présentent: si elles vont lentement, elles rebondissent l'une contre l'autre.



Quand les bosses sont très rapides, elles se croisent si vite qu'elles n'ont pas le temps d'interagir



Elles ne peuvent donc s'unir que dans une plage bien définie de vitesse d'agitation, de température



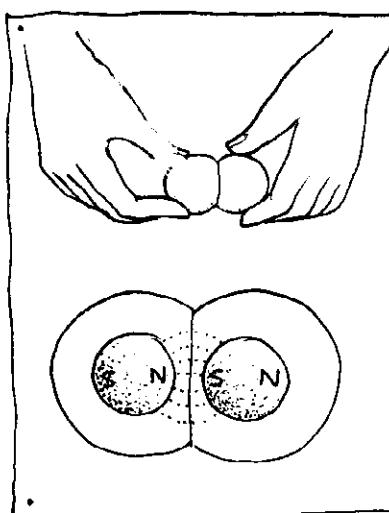




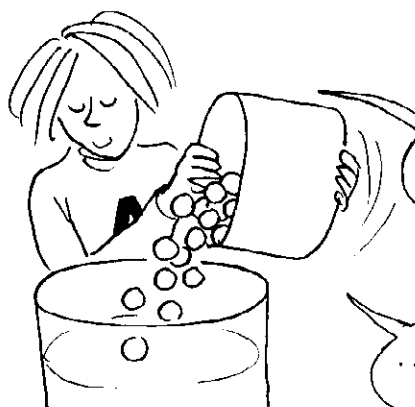
Ces réactions de FUSION donnent les premiers NOYAUX D'ATOMES. Cette MORPHOGENÈSE va faire apparaître les premières FORMES, les premières STRUCTURES de l'Univers.

C'est très amusant, cette affaire-là. Il faut une force attractive et une force répulsive. A grande distance, la force répulsive l'emporte, et à courte distance c'est l'inverse.

Je vais prendre des aimants, que je vais loger dans des sphères de mousse



La mousse s'écrase facilement; si je presse deux sphères l'une contre l'autre, elles restent alors collées l'une à l'autre



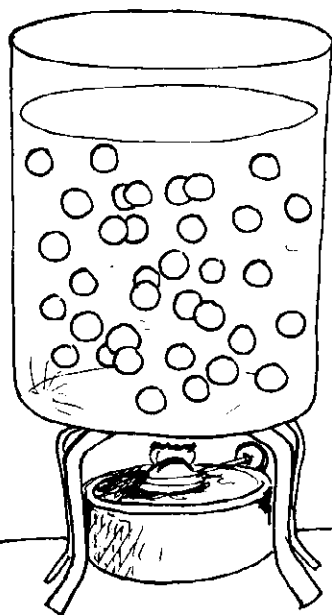
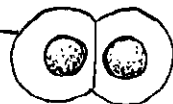
Je vais mettre ces boules dans un grand récipient rempli d'eau...

...pour leur permettre de se mouvoir.

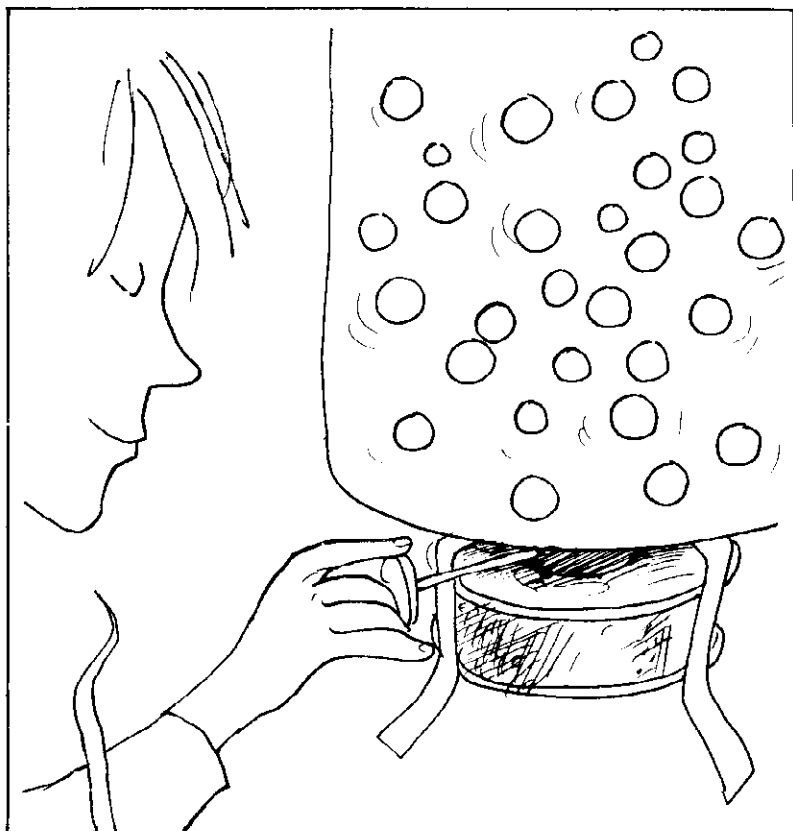
Deux forces interviennent. L'une attractive : les aimants, l'autre répulsive : la mousse quand elle est comprimée. Dès que les boules se touchent, celle-ci intervient. La portée de la force magnétique est ici telle qu'il faut que la mousse soit suffisamment comprimée pour qu'elle entre en jeu. Il existe une position, une configuration où ces forces s'équilibrent.



La mousse donne aux boules une densité pratiquement égale à celle de l'eau. Maintenant je crée un mouvement d'agitation en chauffant.

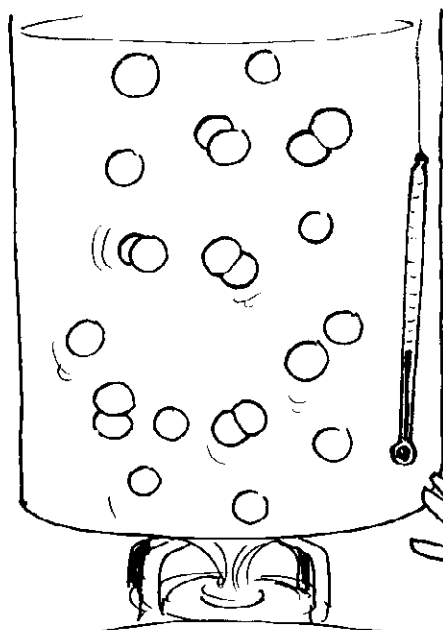


Quand le chauffage est faible, les boules rebondissent doucement les unes contre les autres, et il ne se passe rien du tout. Quand elles se percutent de front, il n'y a pas assez d'énergie pour comprimer la mousse, et permettre à la force magnétique, qui se manifeste à courte distance, d'agir.



Bon, je vais pousser le chauffage.

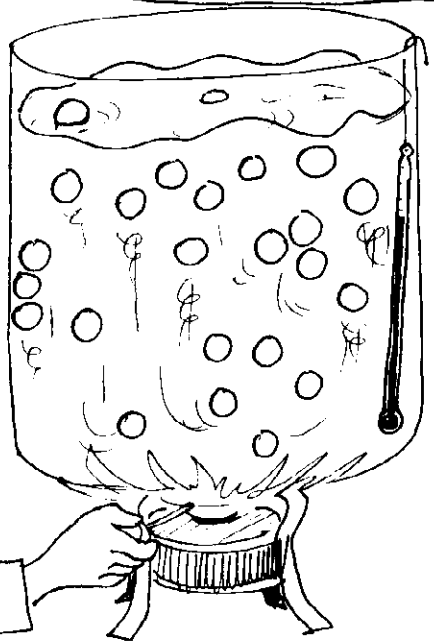




Là, ça marche ! c'est la bonne température (supérieure à la température de SEUIL). le degré d'agitation est suffisant



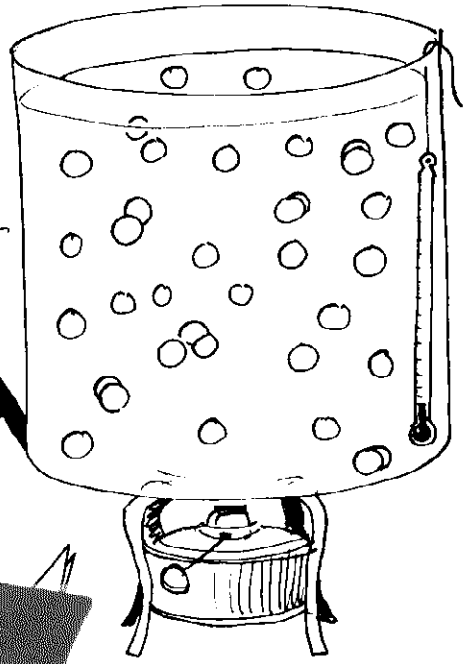
Effectivement, les boules s'assemblent deux à deux.



quand je chauffe trop, ces STRUCTURES sont brisées par l'agitation thermique

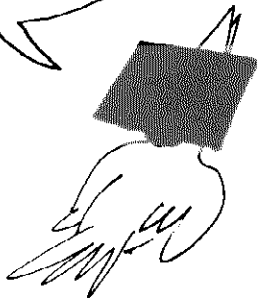
Et si tu refroidissais ?

Anselme laisse l'eau se refroidir. la TURBULENCE baisse. À un certain moment, quelques boules s'accouplent. Mais, la température continuant de baisser, cette NUCLÉOSYNTHE s'arrête.



Plus rien à faire, maintenant. c'est trop froid. les boules ne sont plus assez agitées pour pouvoir se souder entre elles.

on est au-dessous du SEUIL



La même chose se passe quand la température de l'Univers descend au dessous du milliard de degrés. C'est-à-dire au bout de quelques MINUTES. Alors des structures à deux, trois, ou quatre "boules" se forment :

⊕ PROTON

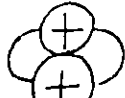
○ NEUTRON



1 PROTON



1 PROTON

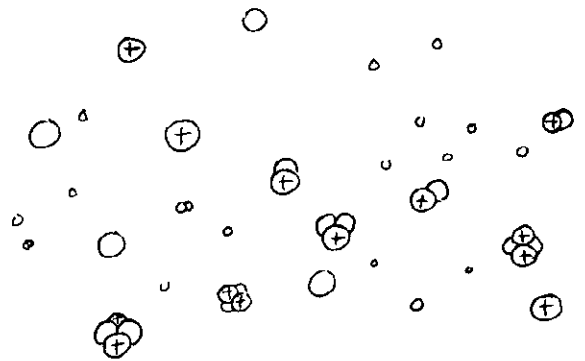


2 PROTONS

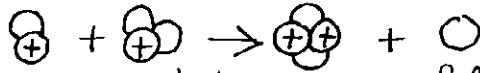
DEUTÉRIUM

TRITIUM

HÉLIUM



Mais le DEUTÉRIUM et le TRITIUM aussitôt formés, vont se combiner suivant la RÉACTION NUCLÉAIRE :

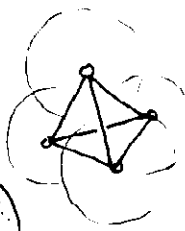
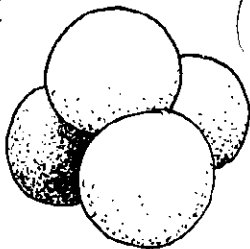


deutérium + tritium donne hélium plus neutron

A ce stade, l'Univers est une BOMBE À HYDROGÈNE.



Alors, tout va se transformer en hélium ?



Le noyau d'hélium est très symétrique, compact et solide. Si la température se maintenait, toute la matière serait convertie en hélium. Mais au bout de 34 minutes, la température tombe à 300 millions de degrés et cette nucléosynthèse va s'arrêter les nucléons n'ont plus

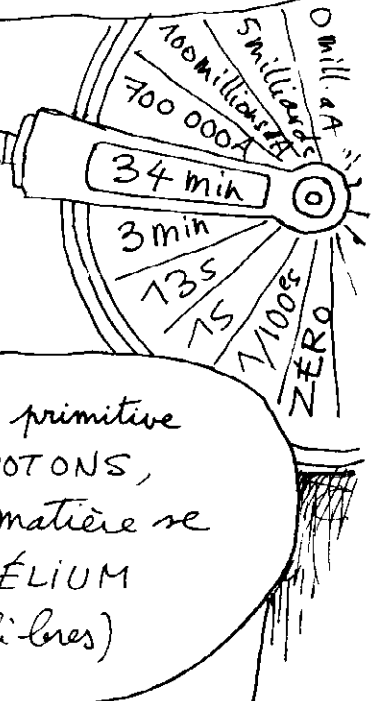
assez de vitesse pour vaincre la répulsion électrostatique (+ repousse +). Tout sera joué

Les derniers neutrons libres se sont désintégrés. Ils sont naturellement instables et se transforment, en 109 secondes, en un couple PROTON-ÉLECTRON



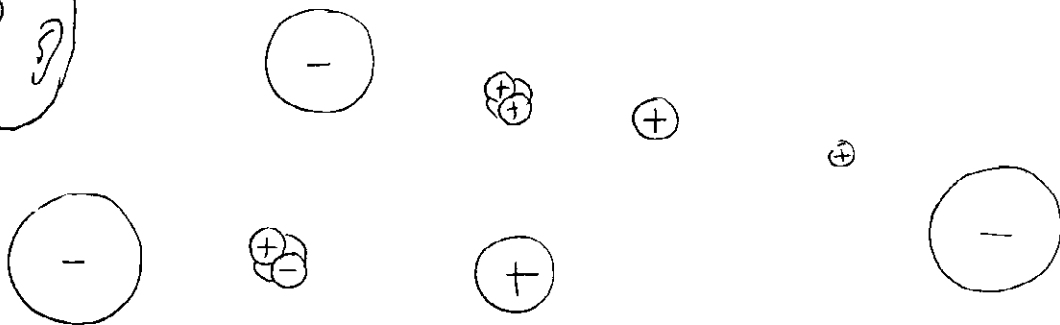
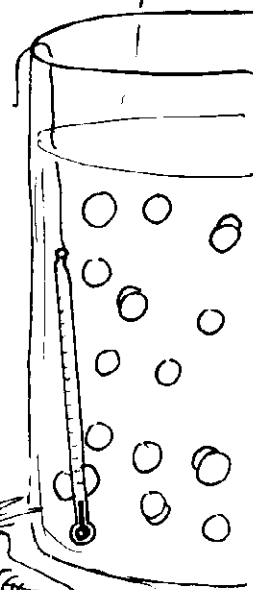
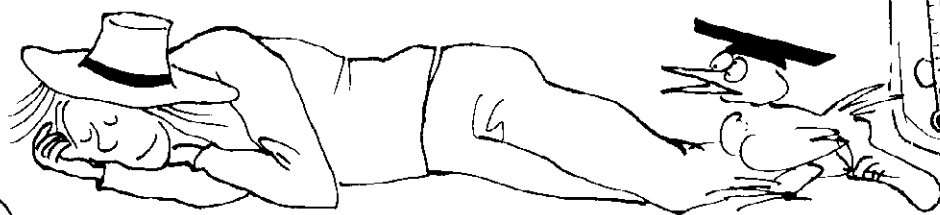
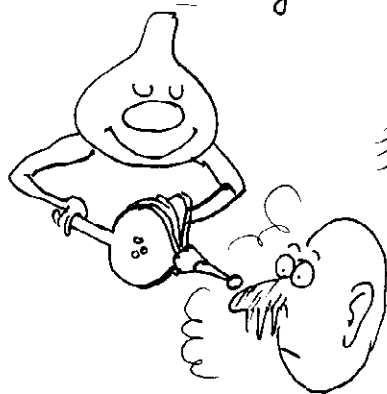
Depuis le début, 34 minutes se sont écoulées

et alors?



À l'issue de cette phase, on a une soupe primitive constituée de PHOTONS, de NEUTRINOS, de PROTONS, d'ÉLECTRONS et de NOYAUX D'HÉLIUM. La matière se répartit, en poids, comme ceci : 25% d'HÉLIUM Contre 75% d'HYDROGÈNE (Protons libres)

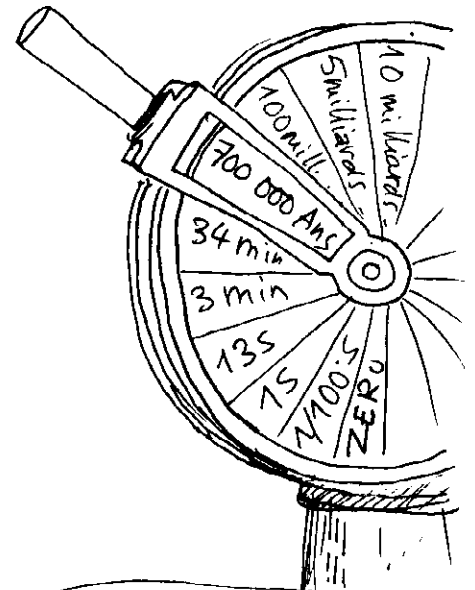
Pendant **700 000 ans** il ne se passe RIEN du tout. L'Univers continue de se détendre, et les photons avec lui. Le gaz de photons continue de fournir de la chaleur à la matière, pour que les deux températures  $T_r$  et  $T_m$  restent égales (équilibre thermodynamique)



Et la température descend à **3000 Kelvins**

# L'UNIVERS TRANSPARENT

Un autre mécanisme MORPHOGENÉTIQUE entre en jeu. Les forces électriques tendent à lier les électrons aux noyaux pour former des atomes. L'agitation thermique a suffisamment baissé pour que ces structures ne soient plus brisées, aussitôt formées, dans les collisions avec un autre atome ou avec d'autres composants du mélange.



Petit à petit, tous les électrons LIBRES sont capturés par les noyaux

ces atomes bizarres... avec leurs gros électrons. moi je ne m'y fais pas!

Et l'univers devient TRANSPARENT

Qu'est-ce que tu veux dire par transparent. Avant, il était opaque ?/!

Avant, les photons interagissaient constamment avec la matière.

Aucun photon n'arrivait à se frayer un chemin dans ce milieu.

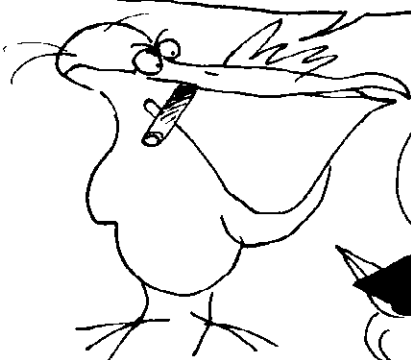
Pffff!

# ET LE DÉCOUPLAGE

Maintenant c'est fini, les photons peuvent traverser tout l'Univers sans s'apercevoir que la matière existe: il y a DÉCOUPLAGE. Pour deux raisons. Primo il y a plus de place. Secundo les photons interagissent moins avec la matière neutre (Atomes).



Mais, voyons, les télescopes nous envoient des images qui, en quelque sorte nous parviennent "en direct du passé..."



Oui, mais même avec un télescope fantastiquement puissant, on ne pourra jamais observer un phénomène survenu à une époque où l'Univers avait moins de 700 000 ans



Le passé, le passé très ancien de l'Univers restera nécessairement flou, nébuleux.

Oui, impossible de psychanalyser l'Univers.



La matière et les photons ayant cessé d'interagir, d'échanger de l'énergie L'ÉQUILIBRE THERMODYNAMIQUE EST ROMPU, et la température de la matière  $T_m$  se met à chuter plus vite (comme l'inverse du carré du Rayon de l'Univers), que la température  $T_R$  des photons, la température de rayonnement, qui décroît seulement comme l'inverse de ce rayon  $R$ .

Salut!


maintenant,  
c'est chacun pour soi.

Hé! qu'est-ce qui se  
passe? On disait que la  
nuit tombe. Et il fait  
sacrément froid,  
tout d'un coup...

L'Univers connaît maintenant une sorte de crépuscule. Il continue de se refroidir. Le ciel passe du violet au rouge sombre, puis la nuit tombe comme une chape froide. Il y a toujours un milliard de photons originaux pour chaque atome d'hélium ou d'hydrogène. Mais ces photons, distendus par l'expansion, sont devenus exsangues.

Le BIG BANG, c'est fini. les numéros furent éblouissants. Pour un peu, il ne serait rien resté (une particule sur un milliard!). Il fait noir comme dans un tunnel





Fouchtre, quel  
froid de bête !

La longueur d'onde des  
photons est de  $0,15 \text{ nm}$ ,  
ce qui correspond à une  
température de rayonnement  
 $T_R = -173^\circ\text{C}$

les atomes, eux, se  
promènent à  $150 \text{ m/s}$ ,  
ce qui donne une  
température de matière  
de  $-267^\circ\text{C}$

Bon, je crois que j'ai à peu près compris  
comment fonctionne l'Univers

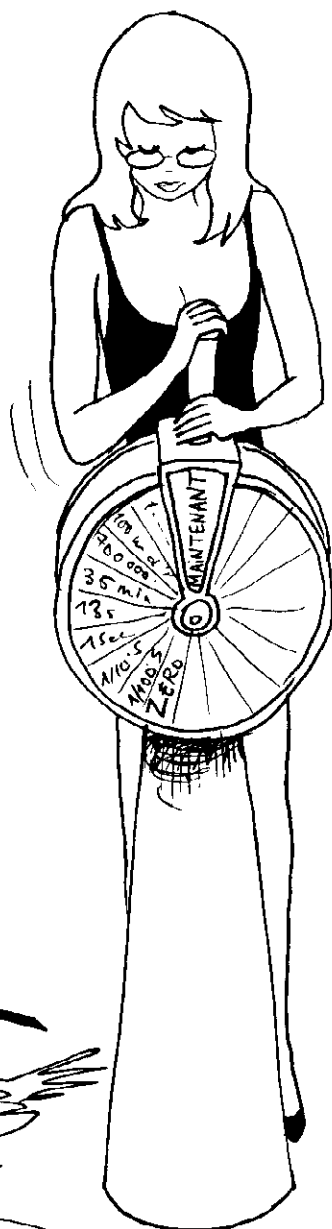
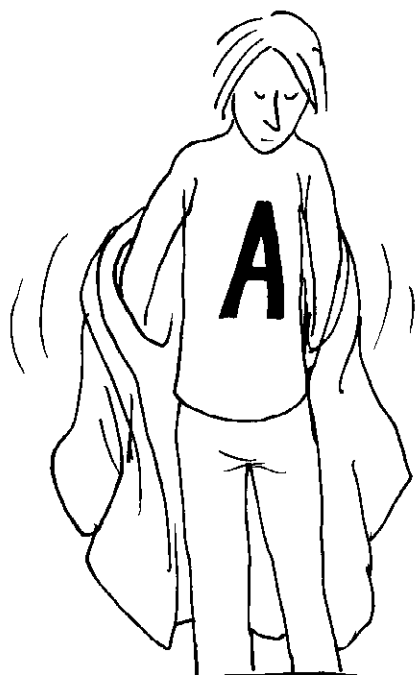
mais il reste une  
question importante :  
à quoi ça sert ?

oui, Anselme a raison  
à quoi cela rime-t-il ?

Était-ce  
bien utile ?



Pour répondre à la question de Léon,  
quittons cet univers de moquette et  
replaçons-nous dans le présent.

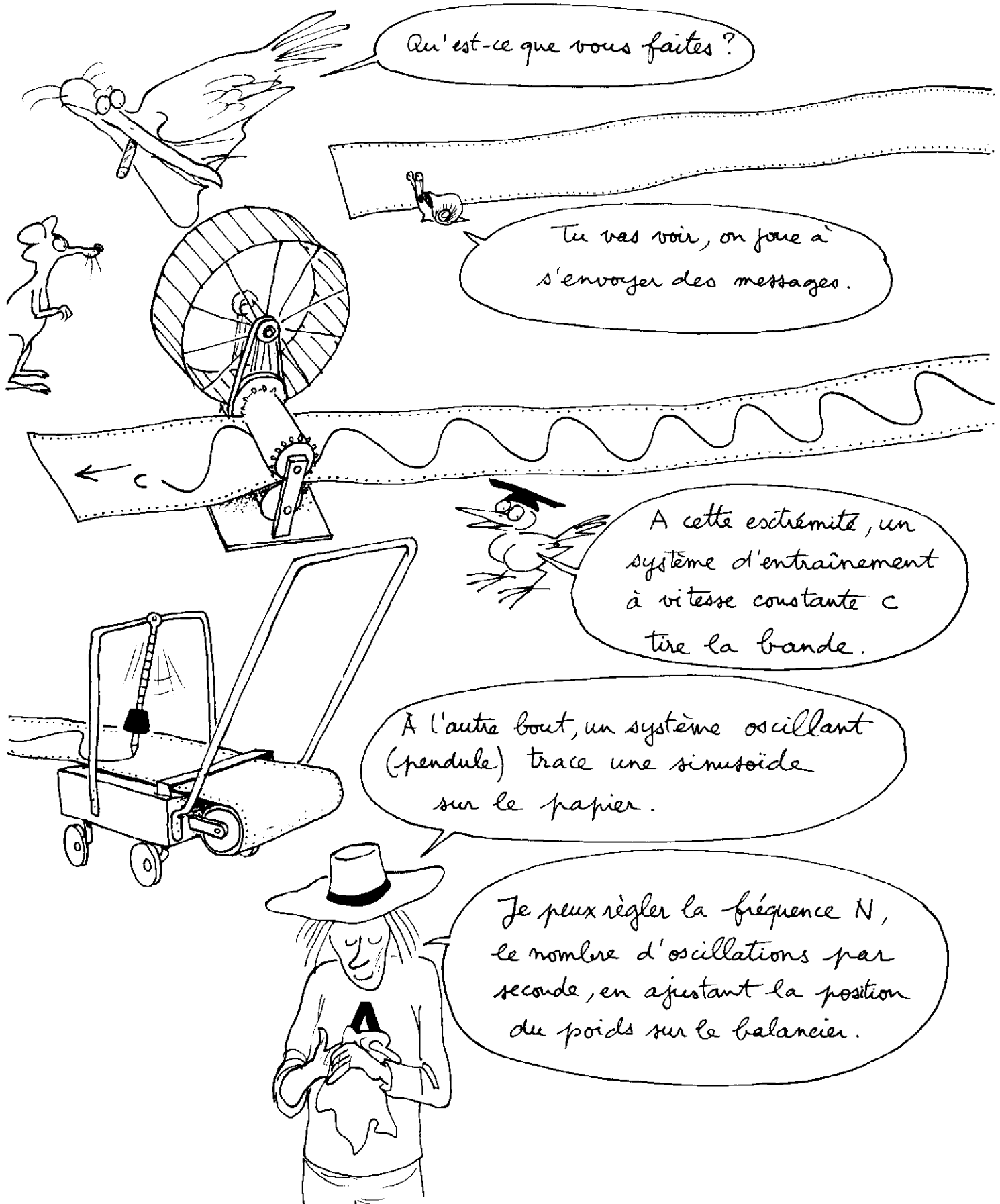


Et tout ce qui suit ?  
la formation des galaxies,  
des étoiles ?...  
on laisse tomber ?...

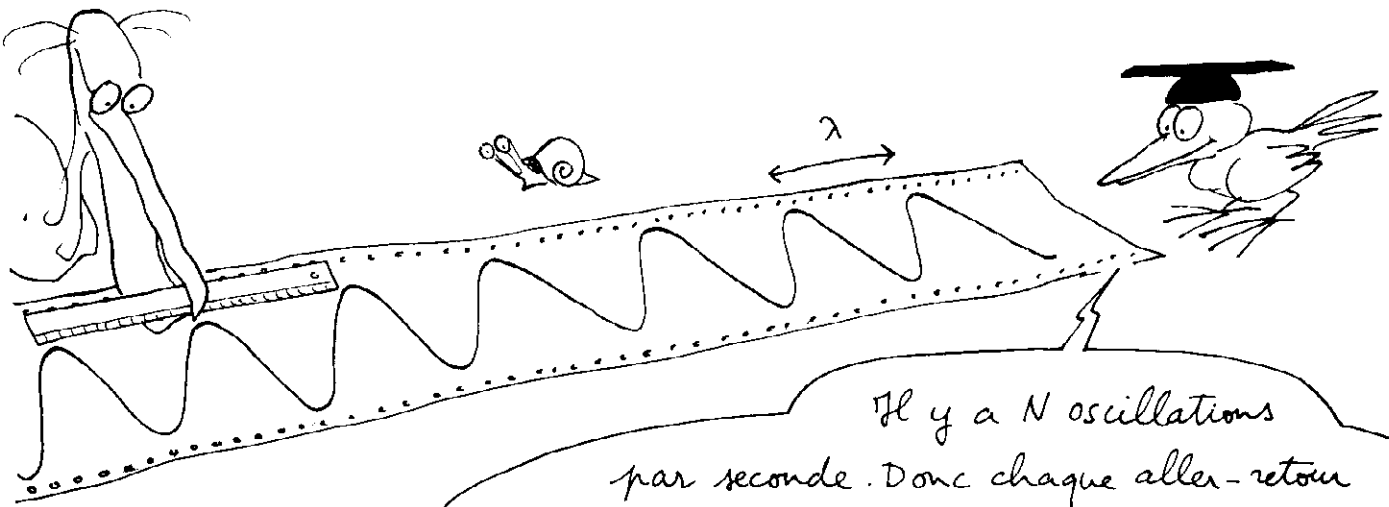


Non, tout cela sera raconté  
dans MILLE SOLEILS

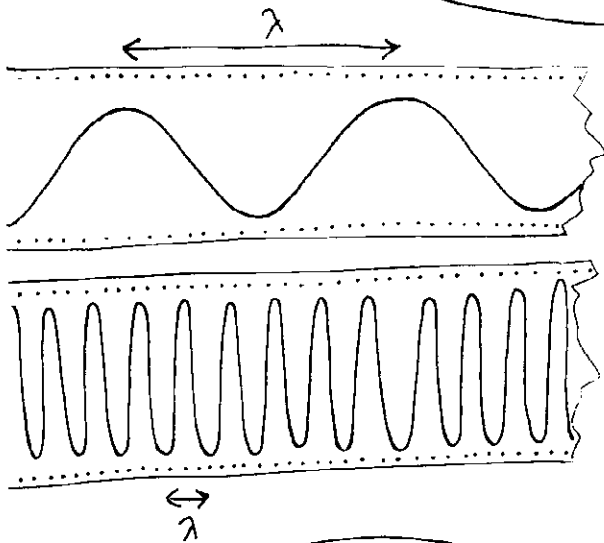
# L'EFFET DOPPLER



Ah, d'accord. Et moi je peux mesurer la longueur d'onde à la réception



Il y a  $N$  oscillations par seconde. Donc chaque aller-retour du pendule se fait en un  $N^{\text{ème}}$  de seconde : c'est la PÉRIODE de l'onde. Pendant ce temps, la bande avance de  $\lambda = \frac{C}{N}$  (longueur d'onde)



Basse fréquence, grande période, grande longueur d'onde.  
Haute fréquence, courte période, faible longueur d'onde.

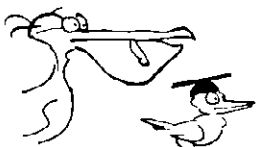
ça permet de communiquer

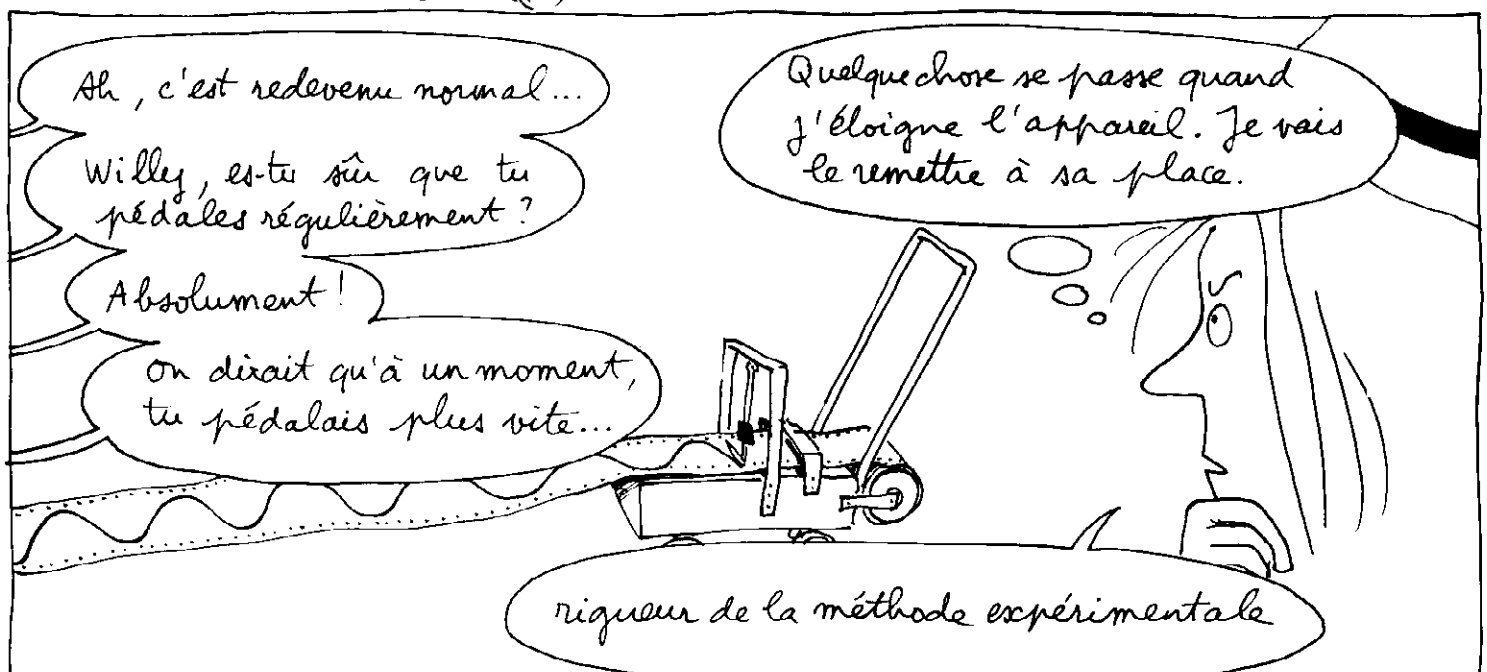
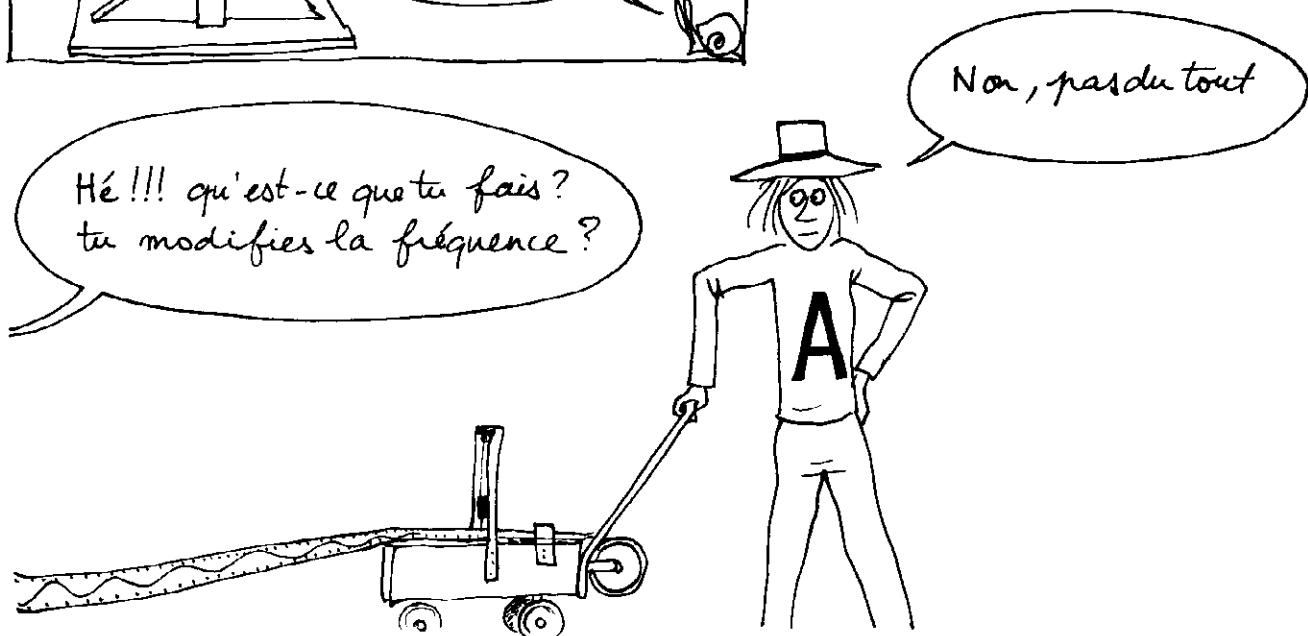
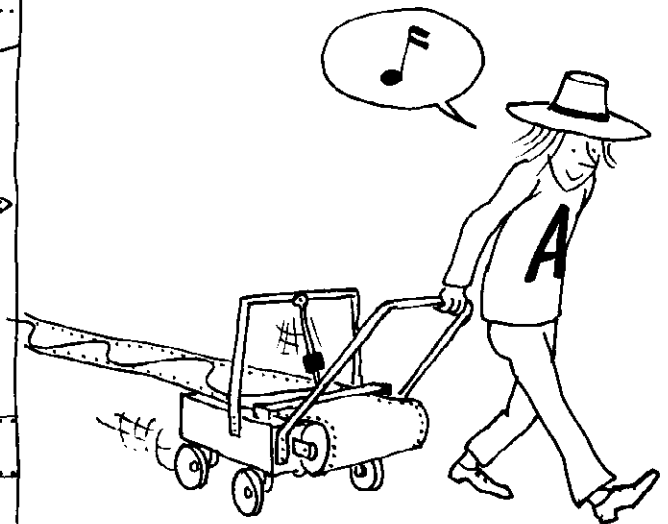
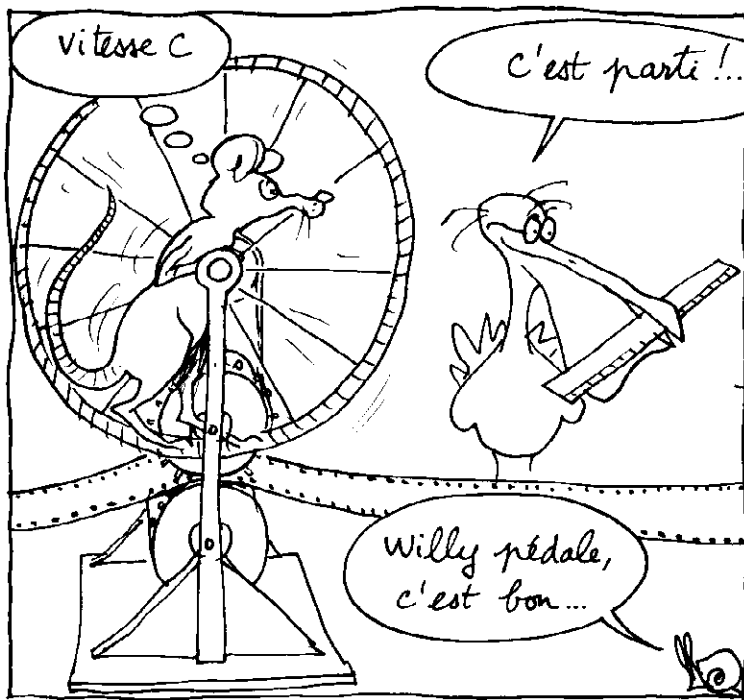
c'est important la communication



Prêts ?

Bon. Je vais faire un essai de transmission à plus grande distance



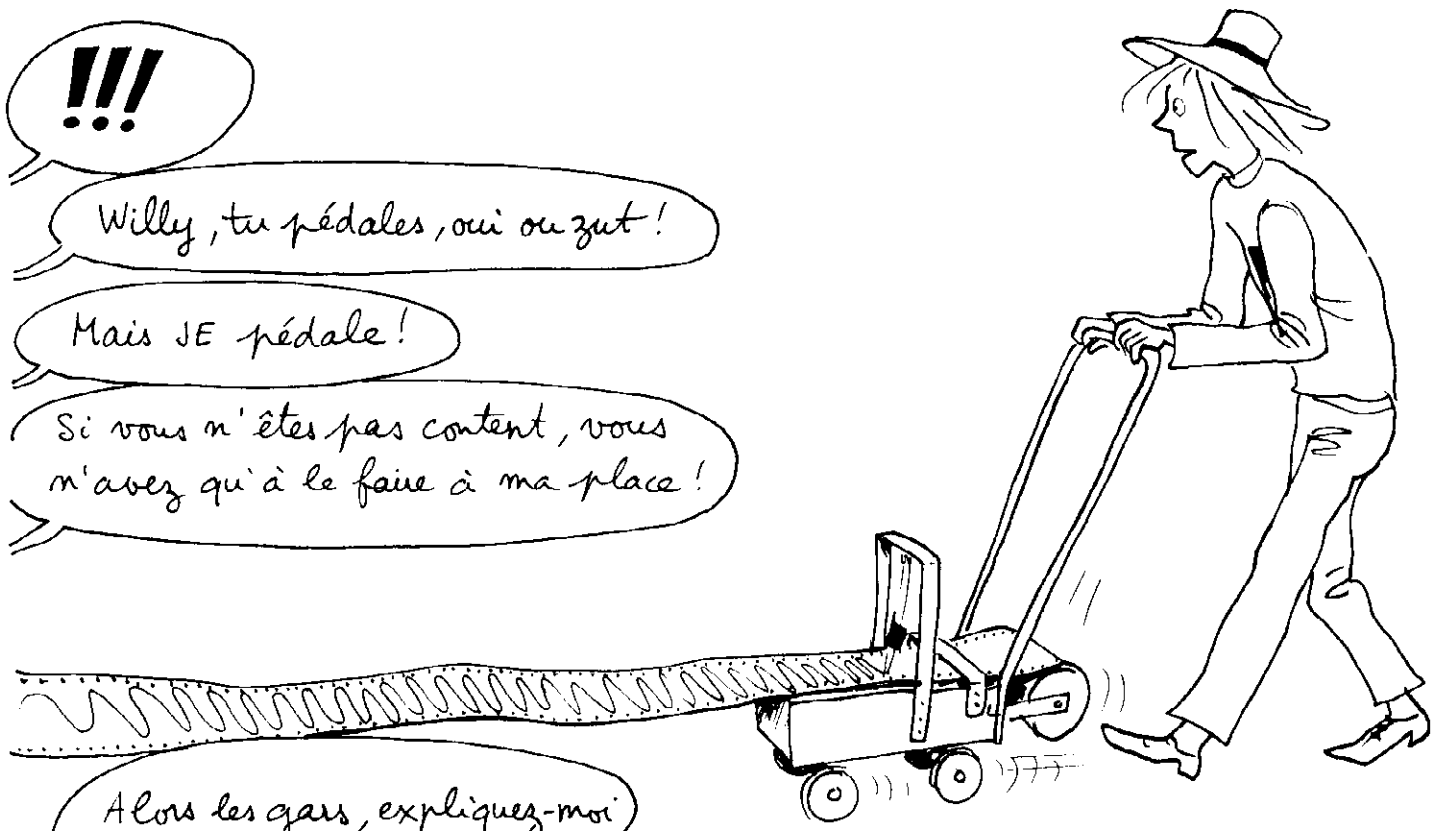


!!!

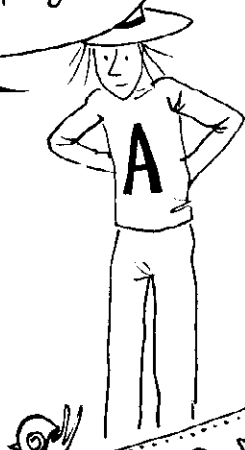
Willy, tu pédales, oui ou zut !

Mais JE pédale !

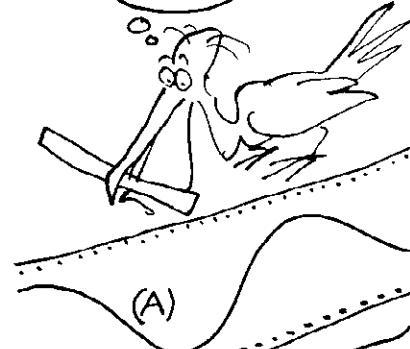
Si vous n'êtes pas content, vous n'avez qu'à le faire à ma place !



Alors les gars, expliquez-moi votre cas

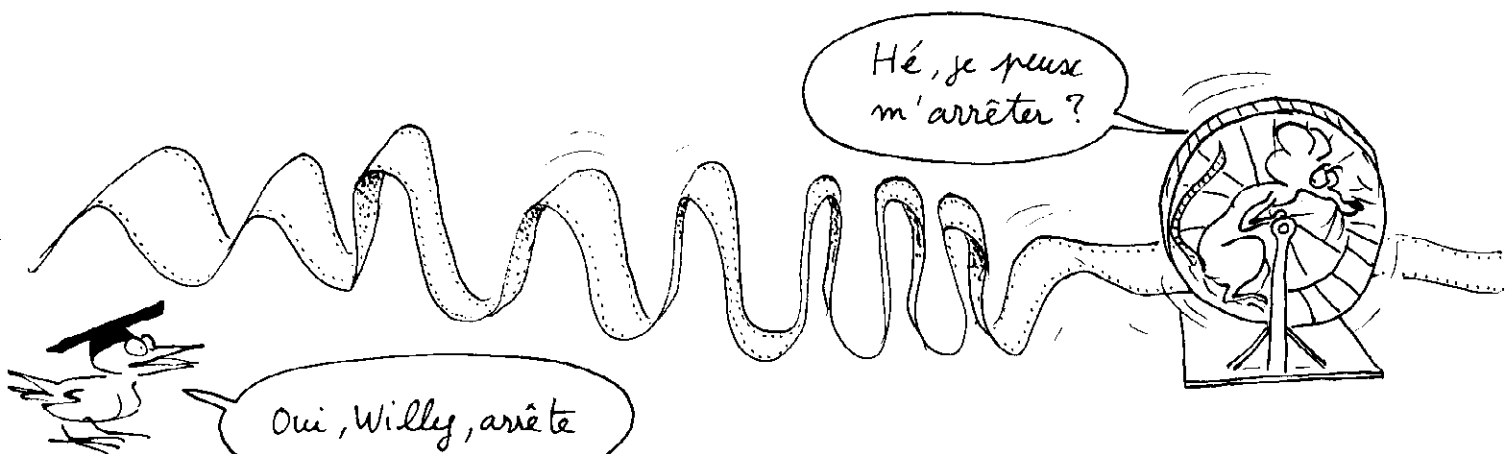


?



C'est redevenu normal. Mais tout à l'heure il y a eu un accroissement de la longueur d'onde (A), c'est-à-dire une baisse apparente de la fréquence, à la réception. Puis, après un intervalle normal (B), on a eu un accroissement de la fréquence, à la réception, c'est-à-dire un raccourcissement de la longueur d'onde  $\lambda$ .





Oui, Willy, arrête

Willy dit qu'il a tout le temps  
pédalé régulièrement

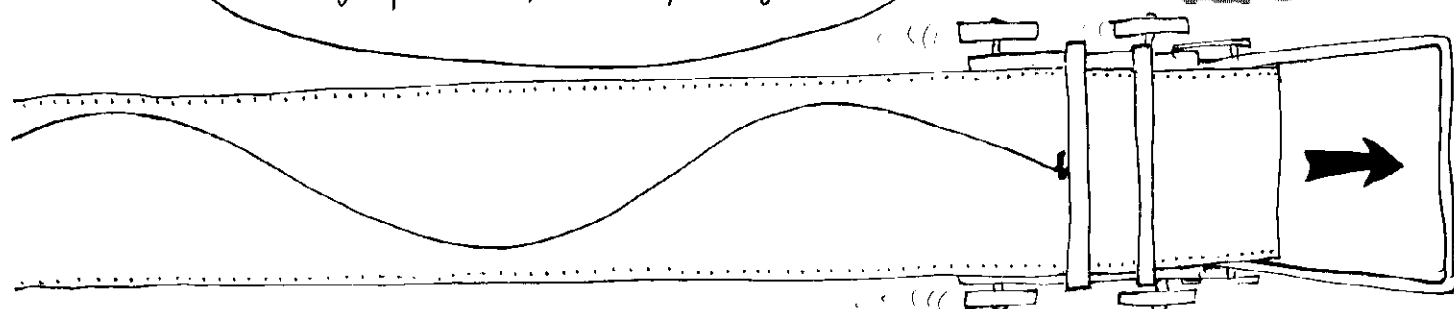
C'est peut-être le papier  
qui s'est dilaté ou  
contracté?

Non, Anselme, c'est  
l'effet Doppler - Fizeau

le ... quoi ???

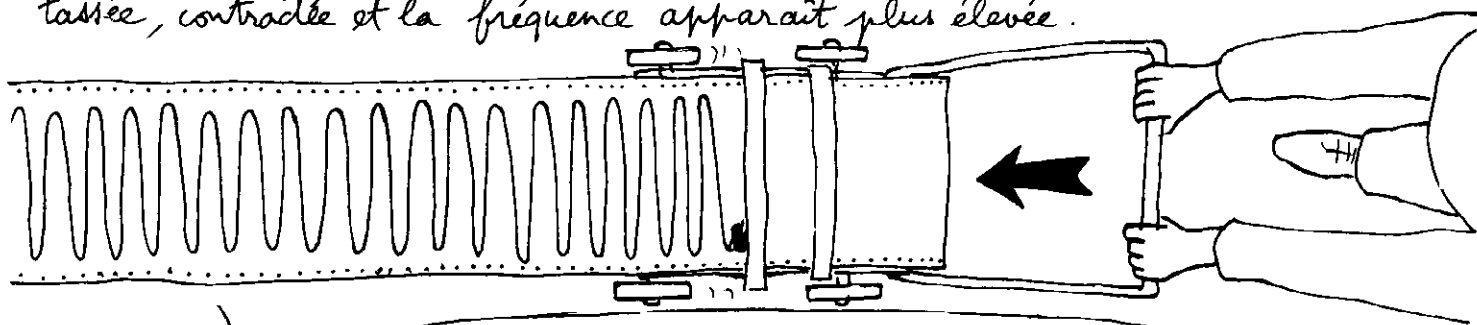
Quand tu bouges le chariot, cela  
change la fréquence apparente.

Quand le chariot s'éloigne,  
la sinusoïde est étirée et  
la fréquence apparaît plus faible.

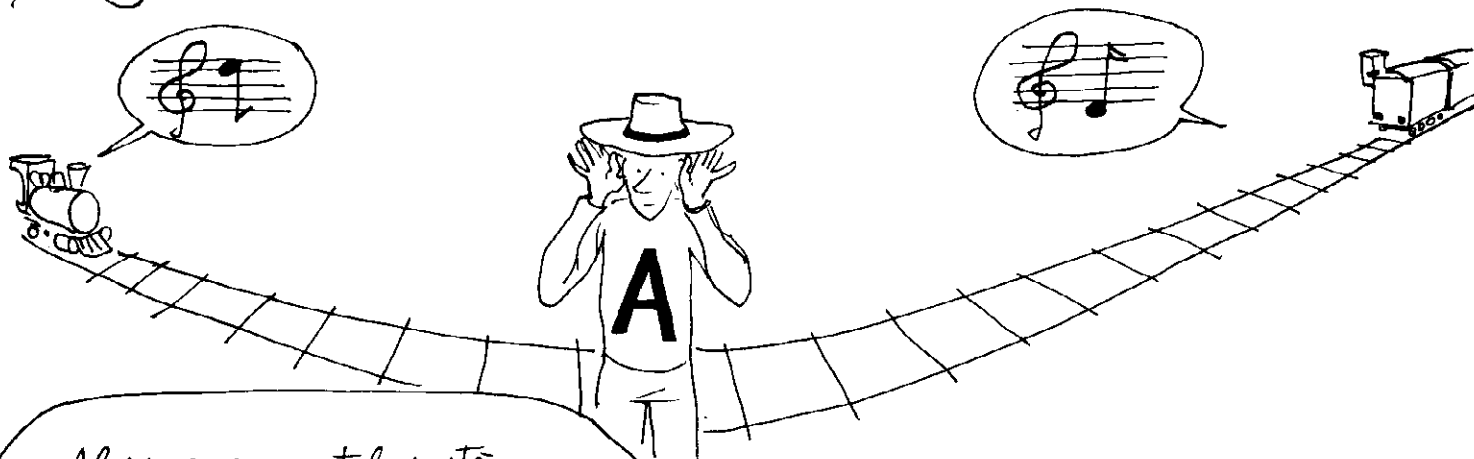




Quand le chariot se rapproche, avance sur la bande, la sinusoïde est tassée, contractée et la fréquence apparaît plus élevée.



C'est exactement ce qui se passe quand tu entends le sifflet d'un train qui passe à ta hauteur. Quand il se rapproche le son est plus élevé. Quand il s'éloigne le son est plus grave.



Alors, avec un tel système, quand je connais a priori la longueur d'onde du signal qui serait émis par une source immobile, je peux calculer la vitesse de rapprochement ou d'éloignement (récession) de la source.

Et ce qui est valable pour le son l'est également pour la lumière - les objets qui s'éloignent paraissent plus rouges, et ceux qui s'approchent, plus bleus.

Bon, reprenons nos expériences de transmission à distance

Willy, en place

Il a changé la fréquence !?

Où alors il s'éloigne..

Ça recommence comme  
tout à l'heure

Oui, c'est ça !  
Il doit encore s'éloigner

Mais non, bougres d'andouilles,  
je ne m'éloigne pas puisque  
je suis LA !...

Et l'oscillateur  
est resté là-bas

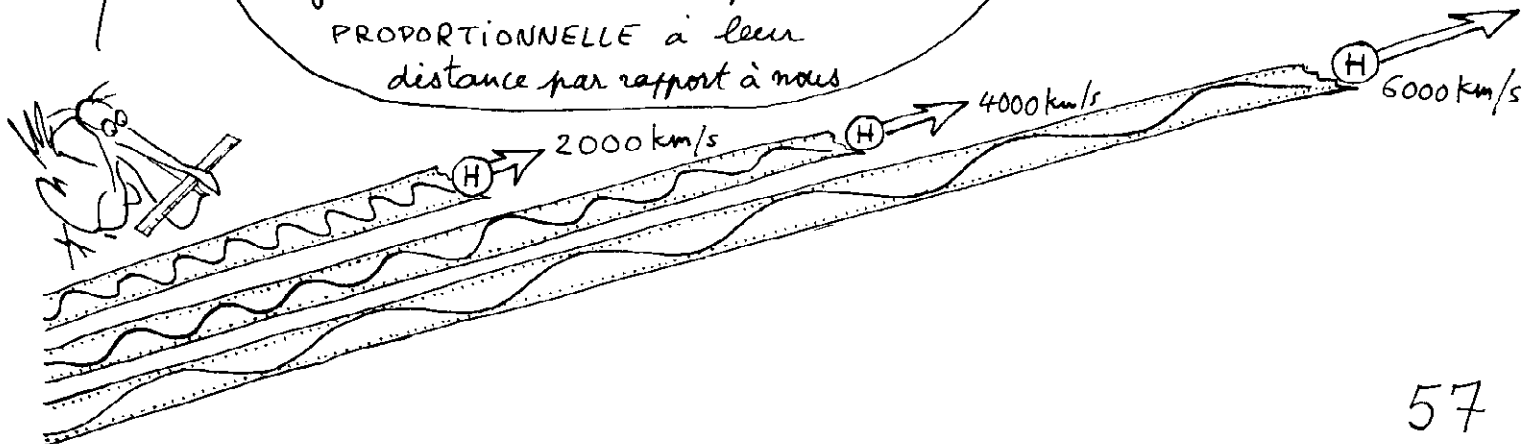
# LA FUITE DES GALAXIES



Eh oui, c'est de cette façon qu'en 1930, Edwin Hubble découvrit l'EXPANSION DE L'UNIVERS, en constatant que les galaxies lointaines nous fuient : en raison de de l'effet DOPPLER-FIZEAU, elles sont de plus en plus rouges à mesure qu'elles s'éloignent

Ces atomes d'hydrogène émettent en principe dans une longueur d'onde de 21 cm. L'effet Doppler m'indique des vitesses de fuite de 2000, 4000, 6000 km/s

Hubble put évaluer la distance nous séparant de ces galaxies, en se fondant sur leur luminosité apparente Et il en déduisit que cette vitesse de fuite était tout simplement PROPORTIONNELLE à leur distance par rapport à nous



Attendez, qu'est-ce que cela veut dire ?  
les objets accélèrent quand ils  
s'éloignent de nous ?

Pas exactement. La moquette se  
dilate de tous les côtés. Imagine un  
point A qui, au temps  $t = 0$ , est à  
un mètre de toi. Au bout d'une  
seconde, il est à 1m20. Sa vitesse de  
fuite est donc de 20cm/s.

Dans le même laps de temps, un  
point B, situé initialement à 2m  
de toi, se retrouvera à 2m40 (en B')  
et sa vitesse PAR RAPPORT A TOI  
est de 40 cm par seconde

L'effet DOPPLER indique  
les VITESSES RELATIVES.

Il n'y a pas de variation de  
longueur d'onde quand l'émetteur  
et le récepteur vont à la même  
vitesse sur des routes parallèles.

Alors, tout notre Univers est en expansion ?

Attendez, moi j'ai une autre idée. Supposons que le temps... s'accélère.

Mais cela... ne veut rien dire !?!

Les oscillations des atomes, comme par exemple des atomes d'hydrogène, sont comme le "pouls" de l'Univers. Imagine un Univers dont le pouls s'accélère. Plus on vieillit, plus ce "pouls" bat vite. Les images du passé nous parviennent comme un film au ralenti. Et l'effet Doppler n'est qu'une illusion.

Bien sûr, Tirésias, on peut tout imaginer, et ce que tu dis revient à dire que les lois de la physique évoluent dans le temps, ce qu'a envisagé Fred Hoyle

## LE FOND DU CIEL EST FROID

Mais il existe un autre argument en faveur de l'expansion, et de son corollaire, le BIG BANG

mi!

Tout à l'heure, on avait vu que seul un photon sur un milliard avait pu se transformer en matière

et en antimatière !

Il devrait donc rester une grande quantité de ces photons primitifs, environ 500 par centimètre cube. ( et autant de neutrinos, plus problématiques à détecter ).

leur longueur d'onde devrait être de cinq millimètres ce qui correspondrait à une température de rayonnement  $T_R$  de trois degrés absolus ( $-270^{\circ}\text{C}$ )

Ces photons, de très faible énergie, Penzias et Wilson les ont détecté en 1964. Ils sont la vraie cendre du BIG BANG une preuve tangible de cette grande danse cosmique

mi!!!

Hé là...

# L'HORIZON COSMOLOGIQUE

Sophie, selon la  
Loi DE HUBBLE, la vitesse de fuite des  
objets croît avec la distance ...

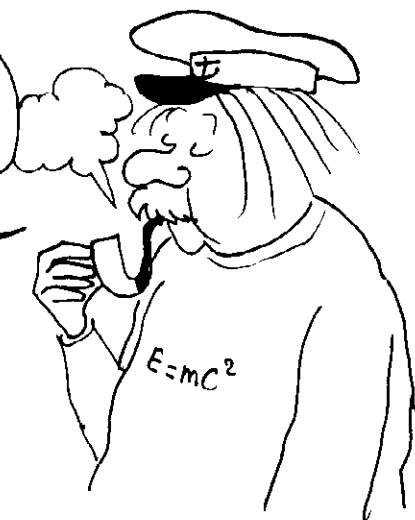
Donc, logiquement, il doit  
exister des objets qui s'éloignent  
de nous à des vitesses égales ou même  
supérieures à la vitesse de la lumière !?

Alors, on ne peut  
plus recevoir  
cette lumière ?!

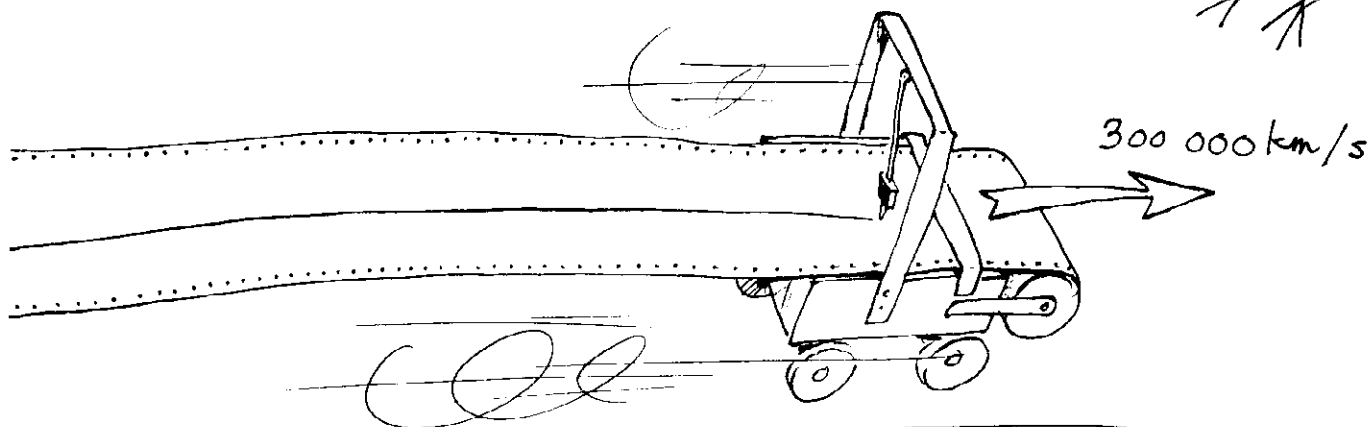
Pourquoi ? si un avion  
s'éloigne de moi à une  
vitesse supersonique, je peux  
quand même entendre le bruit  
qu'il produit, non ?

Mes agneaux, ce  
n'est pas comme cela  
qu'il faut voir  
les choses

le fait de se déplacer a une incidence sur le TEMPS (\*)  
 Un objet qui se déplace à une vitesse s'approchant  
 de 300 000 km/s, de la vitesse de la lumière, se trouve,  
 par rapport à nous, observateurs, dans une "bulle de temps"  
 différente. Nous percevons son message comme  
 une sorte de film au ralenti.



Et si cet objet se meut par rapport à nous à la  
 vitesse de la lumière, le dérapage temporel  
 devient total. Son temps semble se  
 figer comme une sauce



À cause de ce glissement, de ce dérapage  
 des temps l'un par rapport à l'autre, la  
 fréquence des ondes, à la réception, baisse.  
 Et ce phénomène, d'essence relativiste, vient  
 se superposer, s'ajouter à l'effet DOPPLER  
 Quand la vitesse de fuite de l'émetteur, par  
 rapport à nous, atteint  $c$ , la fréquence  
 des ondes reçues tombe à zéro. Plus d'énergie  
 Plus d'ondes, plus de messages !



Des vagues à fréquence nulle,  
 c'est plus des vagues !

(\*) Voir TOUT EST RELATIF, du même auteur, éditions BELIN



Pour les objets qui nous entourent, une vitesse relative égale à 300.000 km/s est atteinte sur une sphère appelée HORIZON. Ce n'est pas la frontière DES CHOSES QUI EXISTENT mais la frontière des CHOSES QUE NOUS POUVONS CONNAÎTRE. L'Univers accessible peut n'être qu'une portion d'un univers plus vaste cet horizon est à une dizaine de milliards d'années-lumière. La portée du plus puissant télescope terrestre actuel, le PALOMAR est d'un milliard d'années-lumière. La Direction

Mais que signifiait, tout à l'heure, ce rayon R de l'Univers ?

L'histoire commençait quand l'Univers était âgé d'un centième de seconde. Imagine qu'à ce moment là, on ait tracé un cercle, ou mieux une sphère, de rayon R et qu'on suive l'expansion de cette sphère de référence au cours du temps. C'est tout...

Ce que faisant, on ne présume pas du fait que l'espace puisse être fini ou infini(\*)

Elle a des yeux ravissants

Hé, vous deux !

Cette bande dessinée n'est pas finie !

HiHiHi

On a encore besoin de vous

(\*) Voir à ce sujet. LE GÉOMÉTRICON, même auteur, éditions Belin.

# LES MODÈLES DE FRIEDMANN

Sophie, qu'est-ce qui provoque l'expansion de l'Univers ?

Ce sont les forces de **PRESSION**. Tout se passe comme si l'Univers avait **EXPLOSE** comme une bombe

Et rien ne s'oppose à cette expansion ?

Les forces de gravité tendent à faire se condenser l'Univers sur lui-même, à le faire **IMPLOSER**

Est-ce qu'on ne peut pas concevoir un univers où ces forces, de pression et gravitationnelles, s'équilibreraient ?

On peut montrer que l'équilibre est impossible. Au moindre écart par rapport à l'équilibre, cet univers "statique" explose ou implose

EXPLOSION

IMPLOSION

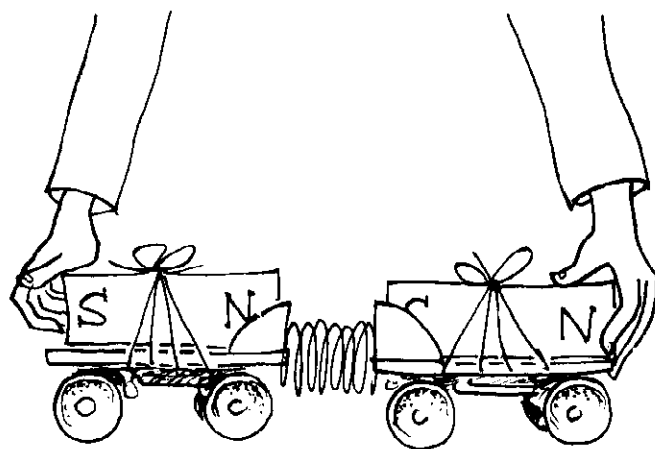
mais alors, dites moi,  
notre Univers aurait  
pu ... implorer au  
lieu d'exploser?

En un sens  
c'est une  
chance...

qui vous dit, alors, que  
le temps, lui, ne serait pas  
parti en ... marche arrière..

Tsss!...

qu'est-ce que  
tu fabriques?



Anselme a attaché deux aimants sur  
des patins à roulettes. Ils s'attirent.  
Mais un ressort comprimé tend à  
écarter les patins l'un de l'autre.

tu vois, les aimants  
représentent les forces  
de gravitation, attractives,  
cohésives. Le ressort figure  
les forces de pression.

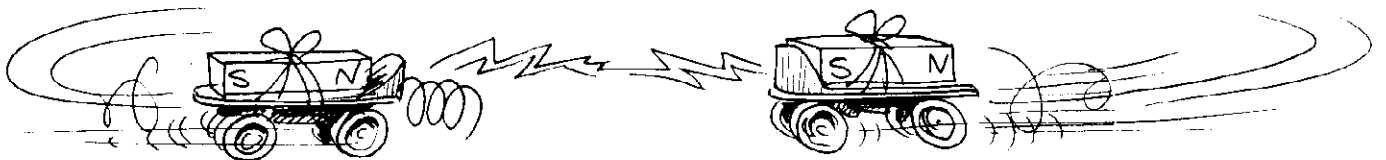




Si les frottements sont inexistantes, les patins finiront par acquérir une VITESSE CONSTANTE.



Soit l'impulsion donnée par le ressort est trop faible, ou les aimants trop forts. les patins vont alors revenir, "tomber" l'un vers l'autre, à vitesse croissante.



Ceci évoque deux types d'Univers possibles :

Premier Scénario : L'expansion se poursuit indéfiniment  
Quand les dernières étoiles seront éteintes, ce sera la nuit, le froid absolu, la MORT THERMIQUE.



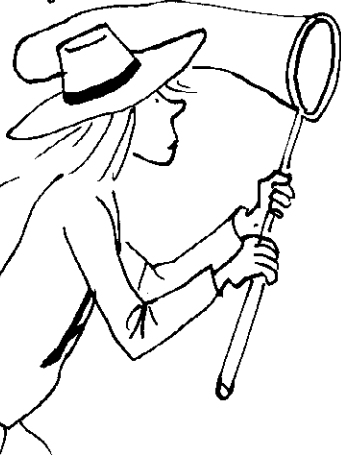
Second scénario : les forces de gravité finissent par l'emporter. Après une situation d'extension maximale, l'Univers "retombe sur lui-même". Toutes les structures, galaxies, étoiles, sont pulvérisées. Les atomes eux-mêmes sont brisés. Et le BIG BANG est vécu comme à rebours, jusqu'à un nouveau rebond de l'Univers, une nouvelle phase d'expansion.

c'est le mathématicien russe FRIEDMANN qui, en 1930, inventa les premiers modèles d'Univers non statiques.



Si j'avais su que l'Univers était instationnaire, j'aurais trouvé avant Friedmann (\*)

Monsieur Albert, qui, au prix d'acrobaties mathématiques absolument impossibles, avait bricolé en 1917 son modèle stationnaire, en fut fort dépité. Friedmann lui volait sa victoire. Il bouda alors la relativité générale pendant de longues années.



Selon les modèles de Friedmann, l'Univers est en expansion indéfinie si la densité (actuelle) de matière est inférieure à  $5 \times 10^{-30}$  grammes par centimètre cube. Cet univers aurait par ailleurs un volume, une extension spatiale infinie.

(\*) Authentique remarque d'EINSTEIN.

# ~~LA~~ <sup>les</sup> GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERS

L'Univers est, pour nous, une hypersurface à quatre dimensions, où se mélangent l'espace et le temps.

Les idées évoquées dans les pages précédentes correspondent chacune à une présentation différente de cette ENTITÉ-UNIVERS qu'est L'ESPACE-TEMPS.

l'Univers.....  
quelle FORME  
a-t-il ?

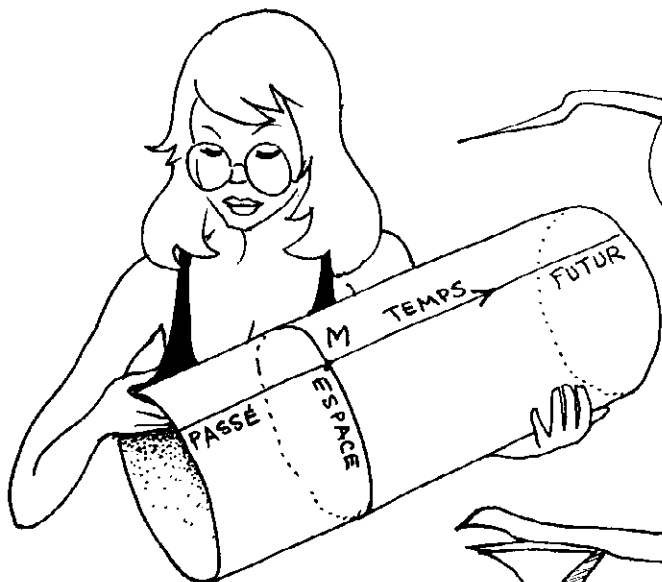
misère...

on rappelle que le nombre de dimensions d'un espace est le nombre de quantités qu'il faut se donner pour y définir la position d'un point.

Rendez vous ① mardi à onze heures à l'angle de la ② Sixième avenue et de la ③ cinquième rue au ④ troisième étage : quatre quantités

Par le dessin, on ne peut représenter que des espaces à DEUX dimensions, des SURFACES. Nous allons donc étudier des espace-temps à 2 dimensions, l'une étant la position et l'autre, le temps



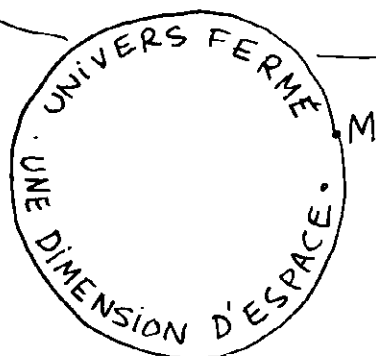


Ainsi le premier modèle d'univers fermé, le modèle statique d'Einstein peut-il se représenter selon un cylindre

Attendez, si je comprends bien, ce cylindre, nous sommes... dedans ?

non, dessus !

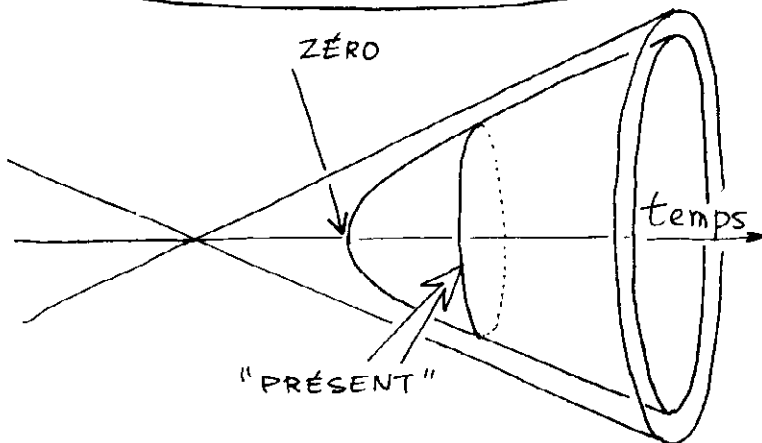
À un instant donné, un objet est ce point M sur la surface, et l'ensemble de l'univers se réduit à ce cercle

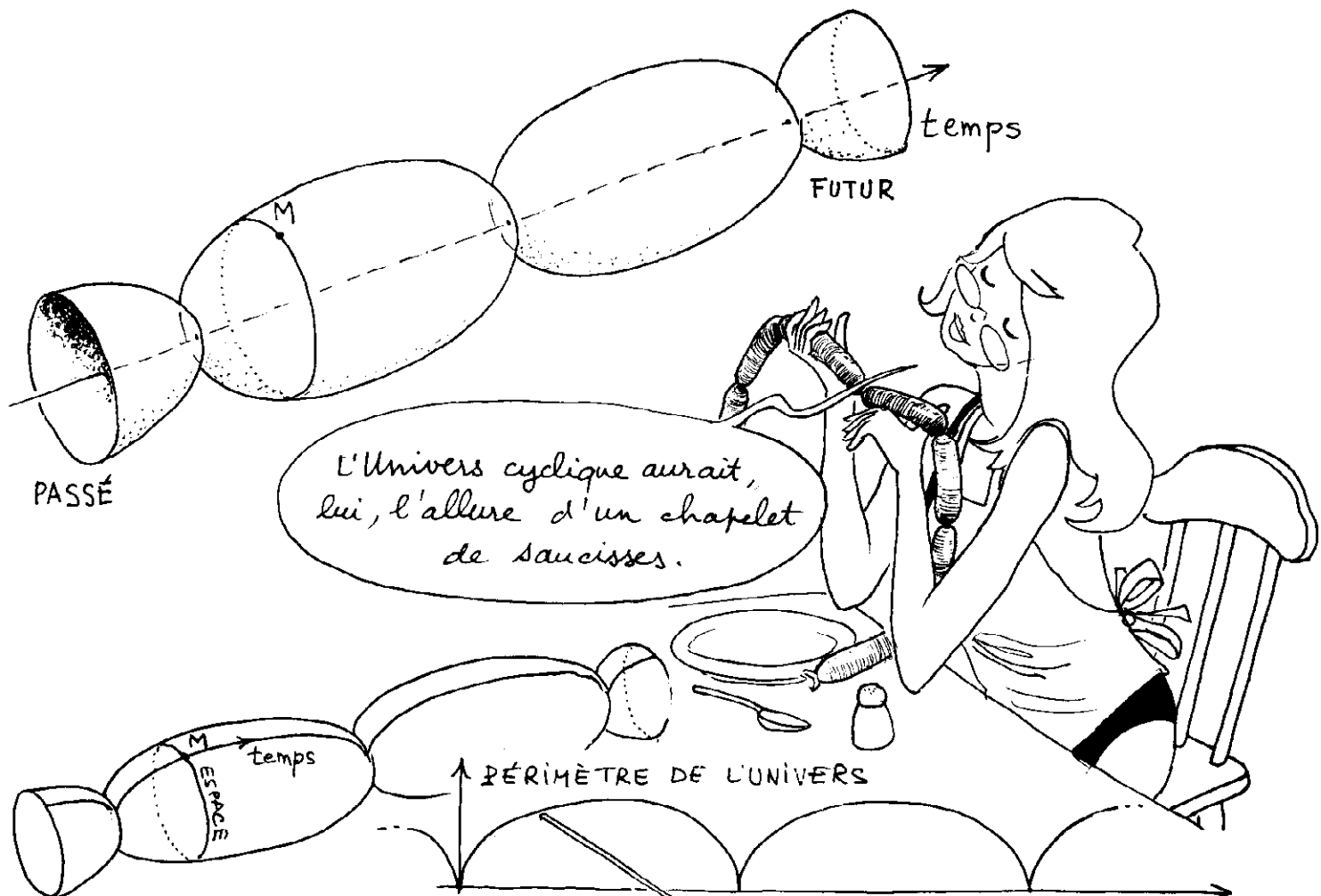


lorsque l'objet est immobile il décrit une génératrice du cylindre, au cours du temps

Il est facile de représenter la dilatation de cet univers fermé en fonction du temps, ce qui donne un modèle d'univers instationnaire.

Voici par exemple l'image à 2 dimensions d'un espace-temps en expansion indéfinie





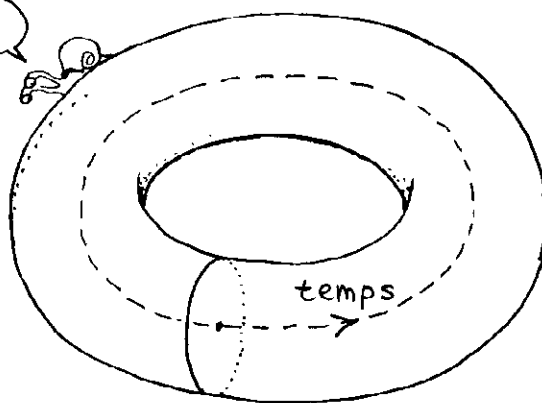
Mais, au fait, pourquoi le temps serait-il nécessairement "OUVERT", c'est-à-dire infini à la fois vers le futur et vers le passé?





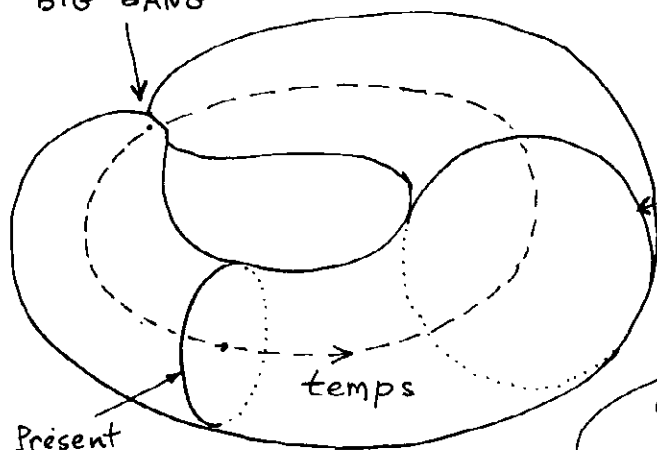
Aucun problème...  
si on refermait sur lui-même  
le modèle d'Einstein, on  
obtiendrait... un TORE

Encore!..



Dans cet ESPACE-TEMPS totalement fermé, les mêmes  
événements se reproduisent identiquement au bout d'un  
temps  $T$  qui est la PÉRIODE de cet étrange univers.

SINGULARITÉ  
BIG BANG



Présent

on peut aussi boucler sur  
lui-même un univers cyclique.

ÉTAT D'EXPANSION  
MAXIMALE

ça devient un chapelet de saucisses, fermé  
sur lui-même, avec une seule saucisse!

oh, regardez Léon !!!

Hé a craqué  
c'était prévisible...



# ÉPILOGUE

Voilà ce qu'on sait sur  
le début de l'Univers



Enfin... ce qu'on  
CROIT SAVOIR. Ça a changé  
de si nombreuses fois  
depuis 5000 ans!

" Mais cet effort consenti pour  
comprendre l'Univers est l'une  
des rares choses qui élèvent la  
vie humaine au-dessus de la farce  
en lui conférant un peu de  
dignité dans la tragédie "





Steven Weinberg

La suite du BIG BANG (formation des  
galaxies, des étoiles, etc...)  
dans MILLE SOLEILS

# FIN

# LE COSMODRAME



TEMPS	TEMPÉRATURE	DENSITÉ	PHÉNOMÈNES
AVANT ...	$T \geq 10^{12}$ degrés		?
$\frac{1}{1000}$ e seconde	300 milliards de degrés		SOUPE INDIFFÉRENCIÉE DE PHOTONS, DE NEUTRINOS, D'ANTI-NEUTRINOS (LE PHOTON EST SA PROPRE ANTIPARTICULE.), DE PROTONS, D'ANTI-PROTONS, DE NEUTRONS, D'ANTI-NEUTRONS D'ÉLECTRONS ET D'ANTI-ÉLECTRONS (POSITRONS)
$\frac{1}{100}$ e seconde	100 milliards de degrés	4 milliards de g/cm <sup>3</sup>	HÉCATOMBE DE HADRONS (PROTONS, ANTI-PROTONS, NEUTRONS, ANTI-NEUTRONS.) - IL EN RESTERA UN SUR UN MILLIARD. LE RESTE S'EST ANNIHILÉ AVEC LES ANTI-HADRONS PRÉSENTS, POUR REDONNER DES PHOTONS.
$\frac{1}{10}$ e seconde	30 milliards de degrés		RIEN À SIGNALER. TROP CHAUD POUR QUE DES NOYAUX D'ATOMES SE FORMENT.
1 seconde	10 milliards de degrés	380 000 g/cm <sup>3</sup>	LES NEUTRINOS "VIVENT LEUR VIE". ILS CESSENT D'INTERAGIR AVEC LA MATIÈRE.
13 secondes	3 milliards de degrés		HÉCATOMBE ÉLECTRONS-ANTIÉLECTRONS. IL EN RESTERA, LÀ-AUSSI, UN SUR UN MILLIARD
3 minutes	1 milliard de degrés		NUCLÉOSYNTÈSE: FORMATION DES NOYAUX D'HÉLIUM. DISPARITION DES NEUTRONS LIBRES (DURÉE DE VIE: 109 secondes)
35 minutes	300 millions de degrés	1 g/cm <sup>3</sup>	LA NUCLÉOSYNTÈSE EST ACHÉVÉE: 25% D'HÉLIUM, 75% D'HYDROGÈNE.
400 000 ANS	3000 degrés		APRÈS ANNIHILATION DE PRESQUE TOUTE LA MATIÈRE ET ANTI-MATIÈRE, L'UNIVERS VIT UNE "ÈRE RADIATIVE", OÙ L'ÉNERGIE-MATIÈRE SE TROUVE PRINCIPALEMENT SOUS FORME DE RAYONNEMENT. QUAND LA TEMPÉRATURE DESCEND À 3000°, LES ATOMES NEUTRES SE FORMENT, ET LES PHOTONS CESSENT D'INTERAGIR AVEC LA MATIÈRE: UNIVERS "TRANSPARENT"
100 millions d'années	TR = -173° C TM = -267° C		N'ÉTANT PLUS RÉCHAUFFÉS PAR LES PHOTONS, LES ATOMES NEUTRES D'HYDROGÈNE ET D'HÉLIUM ONT VU LEUR TEMPÉRATURE CHUTER EN FLÈCHE. FORMATION DES GALAXIES, PREMIÈRES ÉTOILES
5 milliards d'années			FORMATION DE LA TERRE
10 milliards d'années	TR = -270° C (3 degrés kelvin)	10 <sup>-30</sup> g/cm <sup>3</sup>	DÉVELOPPEMENT DE LA VIE.
AUJOURD'HUI			INVENTION DE LA BOMBE ATOMIQUE...

