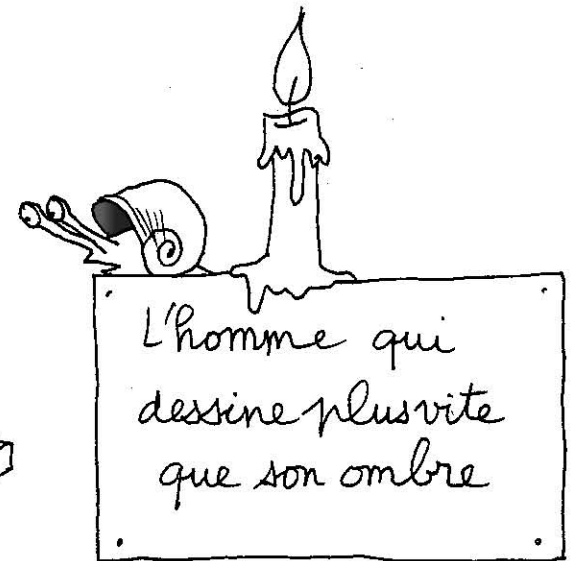
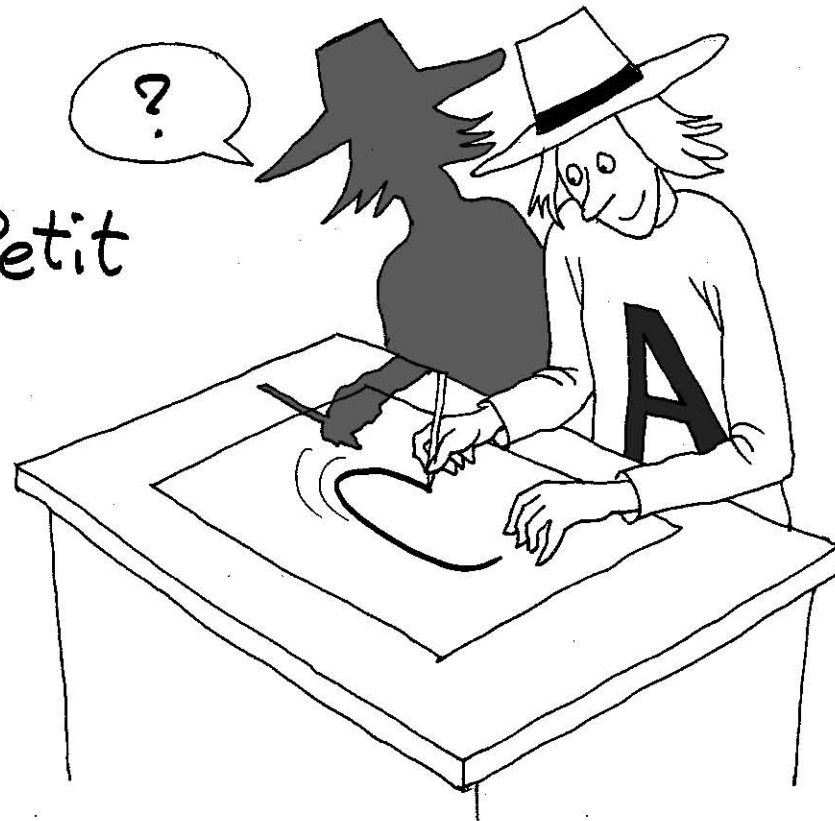


<http://www.savoir-sans-frontieres.com>

PLUS RAPIDE QUE LA LUMIÈRE

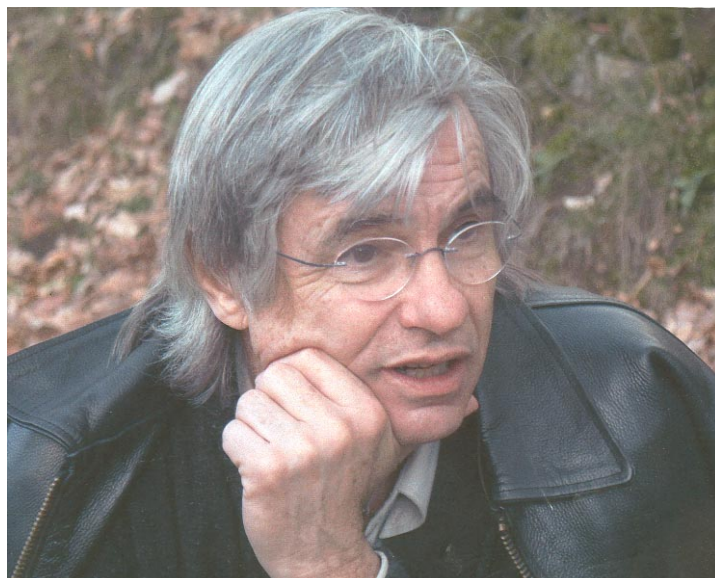
Jean-Pierre Petit

2008



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. Créée 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) :

Etablissement	Quichet	N° de Compte	Cle RIB
20041	01008	1822226V029	88

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

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

IBAN
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

and ➔ Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
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.

cher ami. Vous avez l'air tout
troublé. Que vous arrive-t-il?

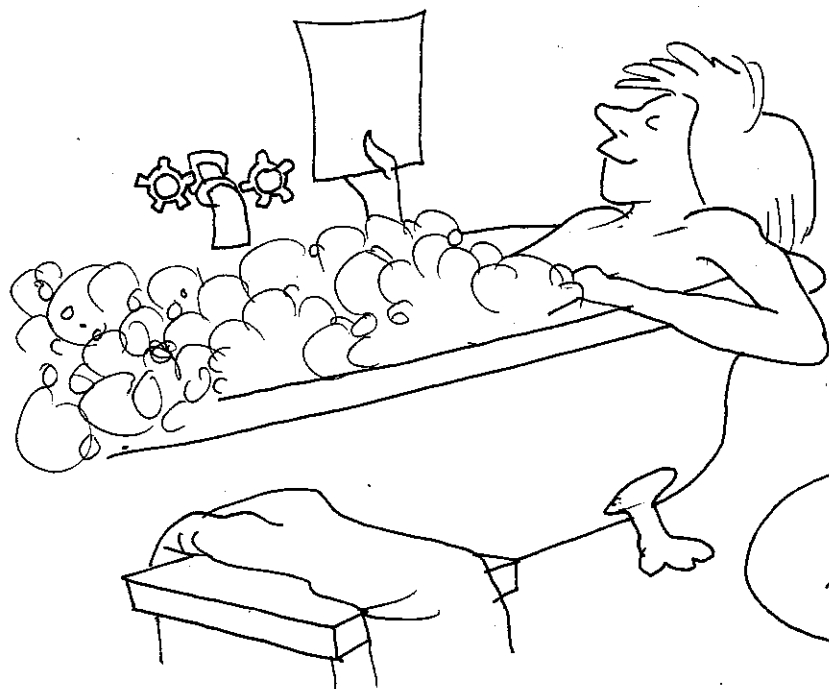


J'arrive d'un
colloque d'astrophysique
Ne m'en parlez pas!

le premier débat a porté sur l'expansion
cosmique. Ils ont voulu savoir où ce phénomène
se produisait. Est ce que la Terre se dilate? Non!
Cela se saurait! Et le système solaire? Pas non plus.
les galaxies seraient elles en expansion? Pas du tout!

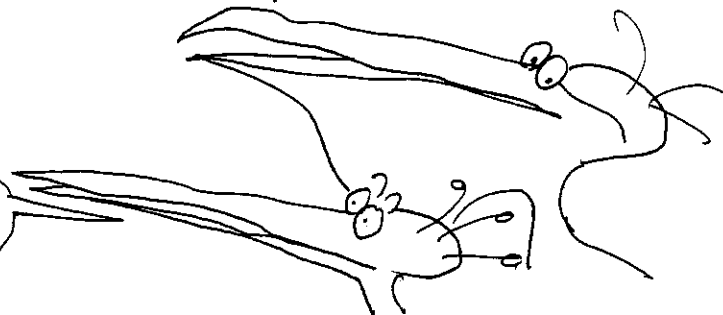


Je suppose que
l'Univers doit bien
se dilater quelque part!?
C'est insensé!



vous savez que l'observation confirme
chaque année un peu plus que la
structure de l'Univers est **LACUNAIRE**

lacunaire? que
voulez-vous dire par là?



après avoir découvert que les galaxies pouvaient se rassembler en **AMAS** comme l'amas de la Vierge ou l'amas Coma, rassemblant mille galaxies on a pensé que l'univers pourrait présenter une structure **HIÉRARCHIQUE**



et on s'est mis à rechercher des **SUPER-AMAS**, des "amas d'amas" etc...

et est-ce qu'on en a trouvé ?



Ce qui est amusant, dans le monde des sciences c'est le fait que des mots apparaissent, gonflent, puis éclatent comme des bulles. Il fut un temps où les astrophysiciens n'avaient que ce mot super-amas à la bouche. Eh puis soudain pfttt, il a disparu !

tout à fait !

Je suppose que c'est parce qu'on ne le a jamais trouvés

des astronomes ont découvert par contre un endroit où des galaxies s'étaient rassemblées selon une sorte de plaque, qu'ils ont appelée **THE GREAT WALL(*)**

ça veut dire que dans cette "plaque" il y avait plein de galaxies et que de part et d'autre c'est le vide ?

Au fil des années les observations se sont affinées. On sait aujourd'hui que les galaxies, la matière sont agencées autour de grandes bulles vides de 100 millions d'années lumière de diamètre

Eh bien, vous voyez, votre problème est résolu. L'expansion elle a lieu dans ces "bulles"

Hmmm... alors, les amas de galaxies, ces concentrations de matière, seraient en quelque sorte aux points de jonction de trois nappes, de ces... bulles. Mais sait-on comment se forme cette singulière structure?

Hélas, mon cher, on en a pas la moindre idée

mais enfin, je suppose qu'il doit bien y avoir un modèle, quelque chose. On fait des choses très bien, de nos jours, avec les ordinateurs, non ?

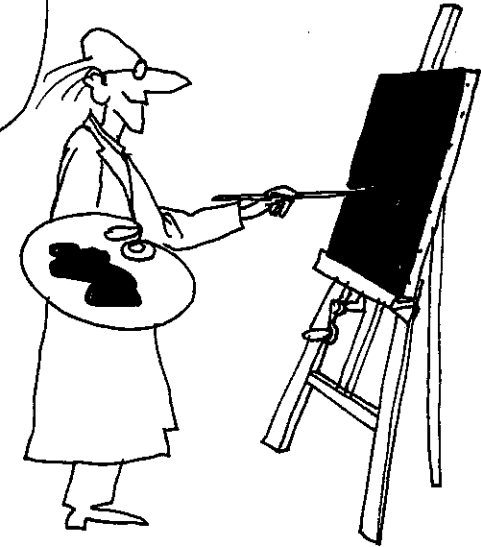
Il y a des types qui font des simulations avec de la **MATIÈRE SOMBRE FROIDE**, mais ça n'est guère convainquant

je ne vois rien

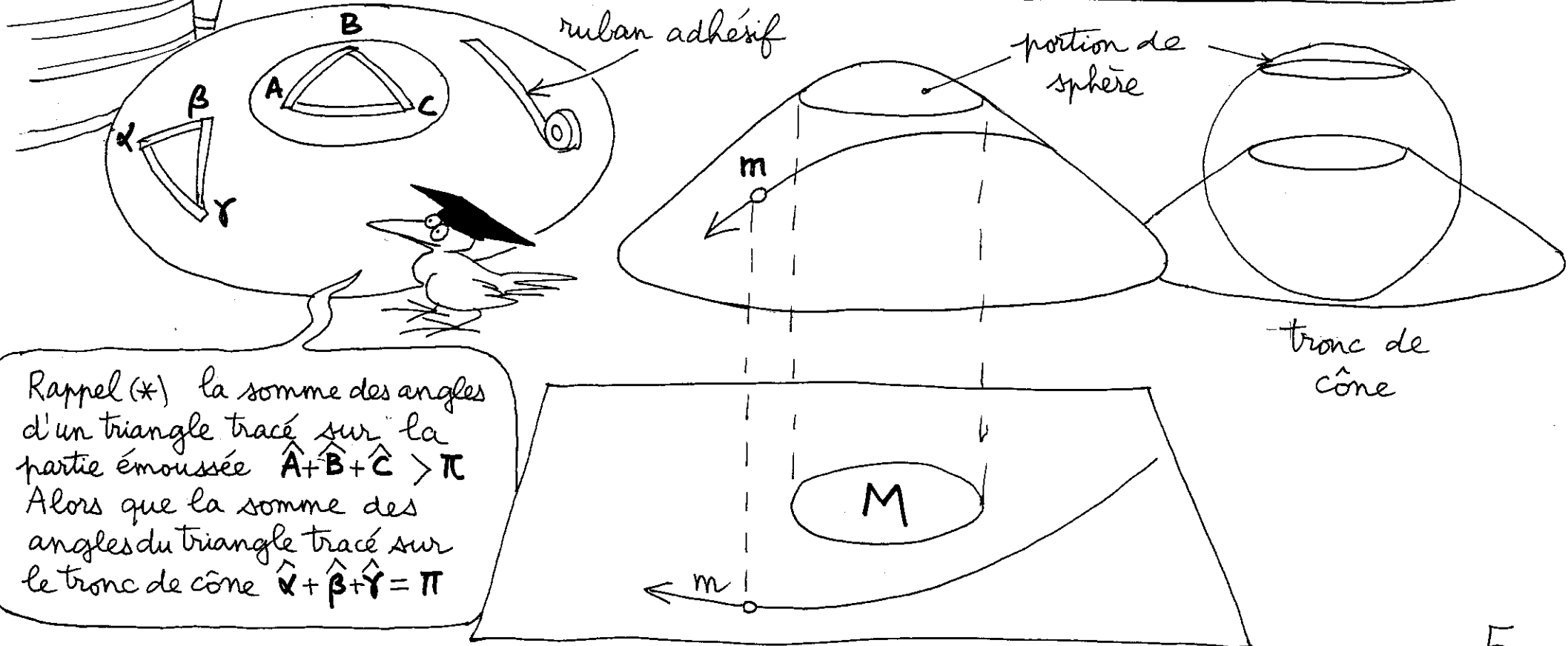
normal, c'est de la matière noire

monsieur Albert, dites-nous ce que vous pensez de tout cela. Cela fait bien vingt ans qu'on ne vous a pas entendu sur ces pages

Ah et so. Moi je suis resté à mon idée première : remplacer les forces par de la **GÉOMÉTRIE**



prenez un objet de masse M , une étoile, une planète, n'importe quoi. Soit une masse m qui circule à proximité. Sa trajectoire est infléchiée par la force attractive, newtonienne, que la masse M exerce sur elle. On peut remplacer cela, en 2 dimensions par un cône émoussé. Avec du ruban adhésif on peut inscrire sur cette surface une **GÉODÉSIQUE** qui, projetée sur un plan donnera la même trajectoire. La masse devient alors une portion de l'espace (calotte sphérique) qui possède une certaine **COURBURE**



(*) Voir LE GÉOMÉTRICON, LE TROU NOIR

puisque **MASSE = COURBURE**, on est bien d'accord, si l'Univers est **LACUNAIRE** ça veut dire qu'il est **PAVÉ** par des régions d'un espace 3d présentant une courbure, séparées par des régions **NON-COURBES** planes, euclidiennes. C'est bien ça ?

bien sûr, mais où veux-tu en venir ?

ce garçon n'arrête donc jamais...

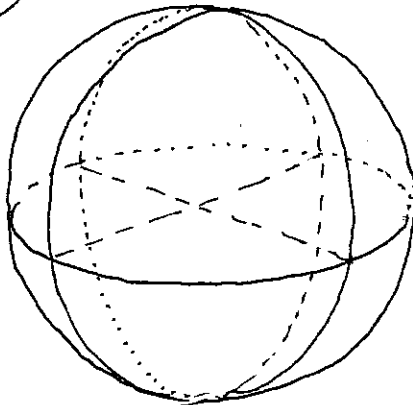
c'est... hum... tout à fait exact. Mais il serait bien difficile de joindre des portions d'espace courbés avec des portions d'espace 3d euclidiennes

oui, mais comme dans votre image de tout à l'heure on peut le faire en 2d

regardez. Je prends une balle de pingpong

je la coupe en huit

pourquoi en huit?!?



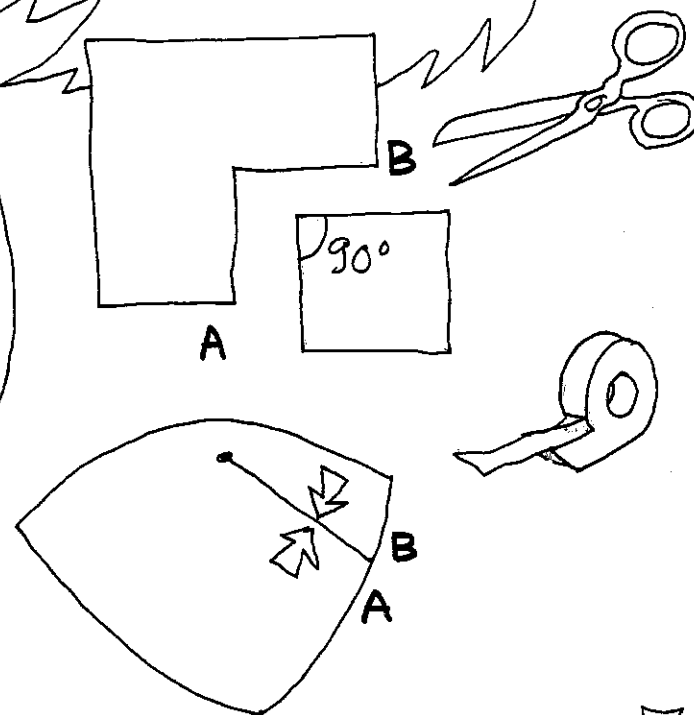
parce qu'un cube
a **HUIT** sommets

comprends pas...

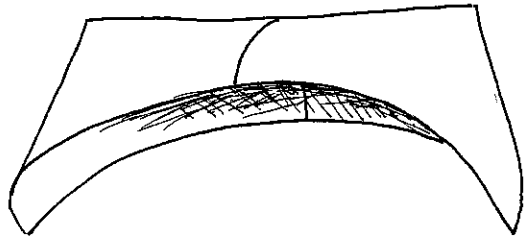
je commence à
comprendre ce que
notre savanturier
a dans la tête

Ce sont des questions de
COURBURE TOTALE qui ont été décrites dans
le **TOPOLOGICON**. Celle de la sphère est 4π . Donc
dans un huitième de sphère on trouve une courbure
repartie qui vaut $\frac{4\pi}{8} = \frac{\pi}{2}$. De même qu'avec un
POSICONE construit avec une découpe de $\frac{\pi}{2} = 90^\circ$
on obtient un **POINT DE COURBURE CONCENTRÉE**

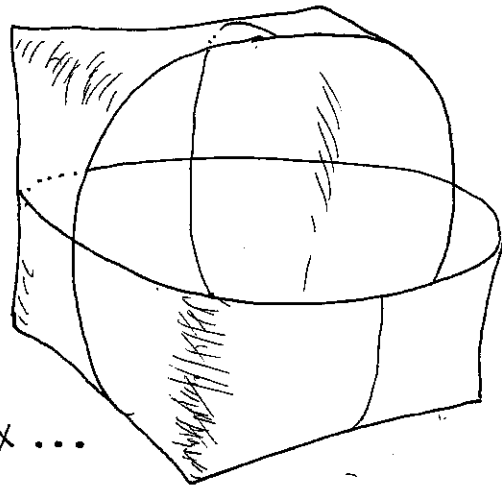
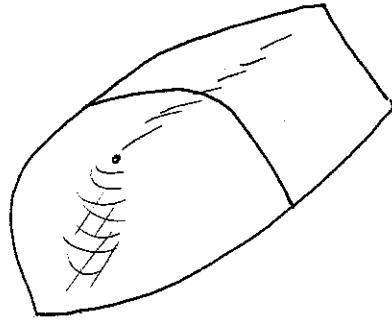
Relire aussi
LE GEOMÉTRICON



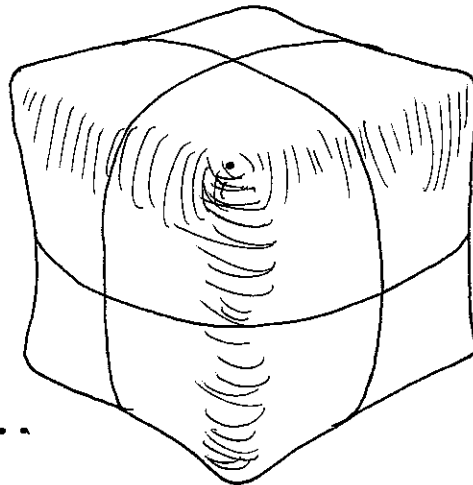
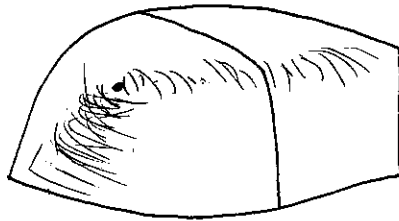
UN CUBE SANS ARÊTES



deux POSICIONES joints



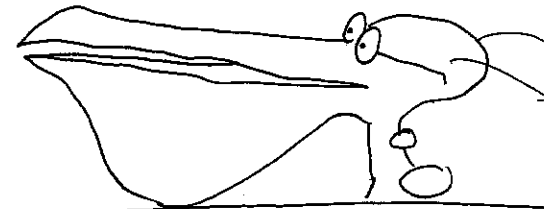
Six ...



Huit ...

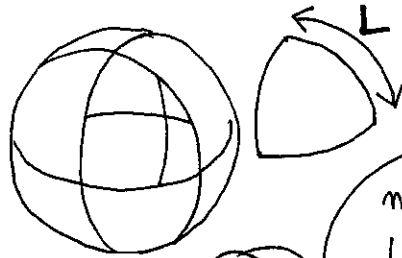
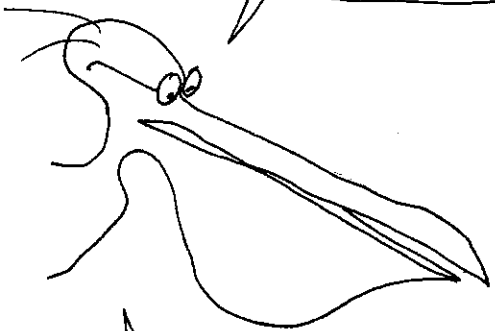


Anselme peut ainsi joindre
8 points coniques, points
contenant une courbure
concentrée valant $\pi/2$



mais où sont les arêtes!?!

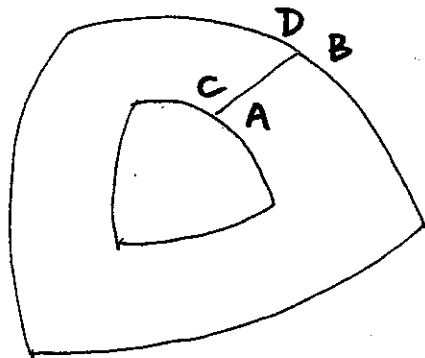
c'est très joli. Mais qu'est-ce qu'on fait des huitièmes de balle de ping-pong ?



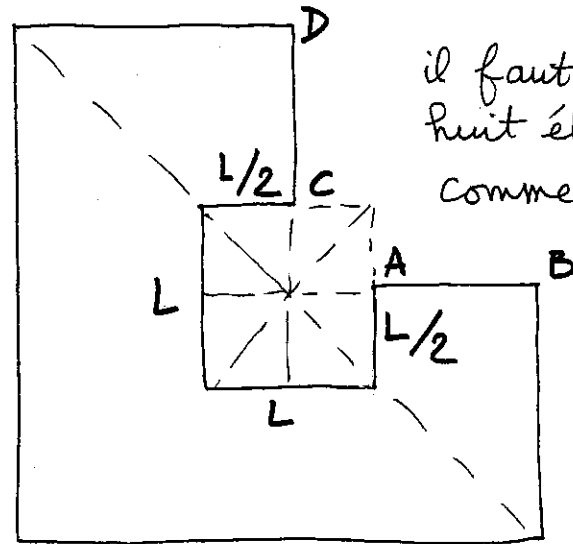
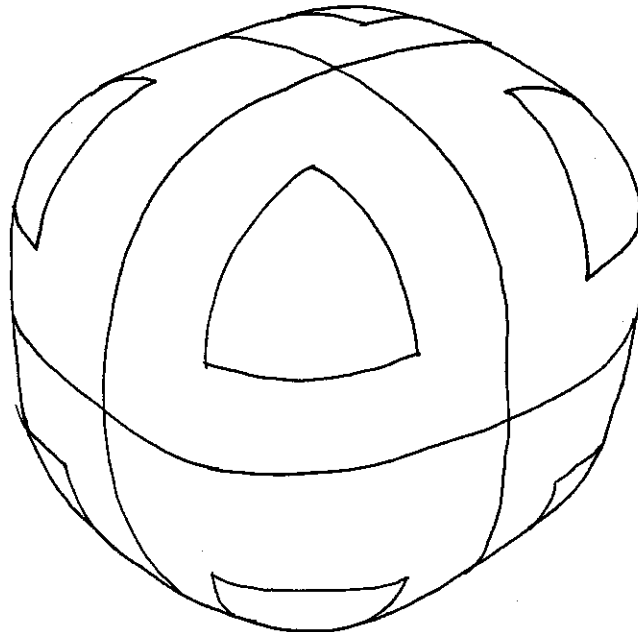
mais non, moi j'ai compris, tu vas voir



j'ai du couper un épisode



il ne reste plus qu'à adapter les coins sphéroïdaux



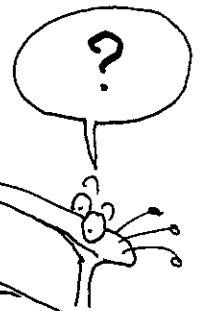
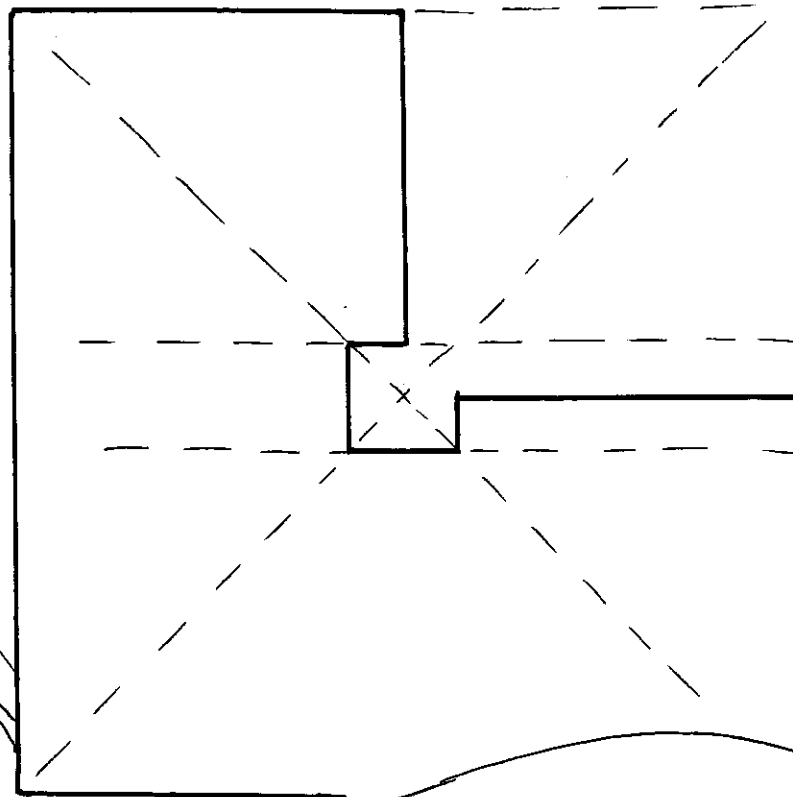
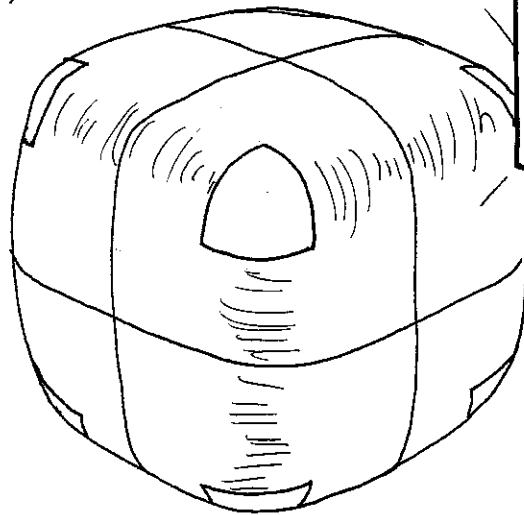
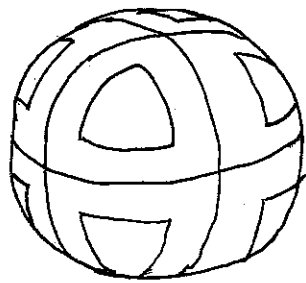
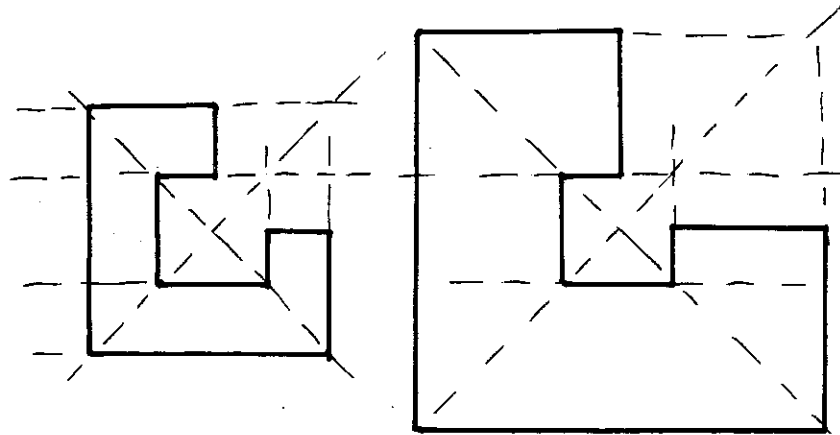
il faut préparer huit éléments comme ceci :



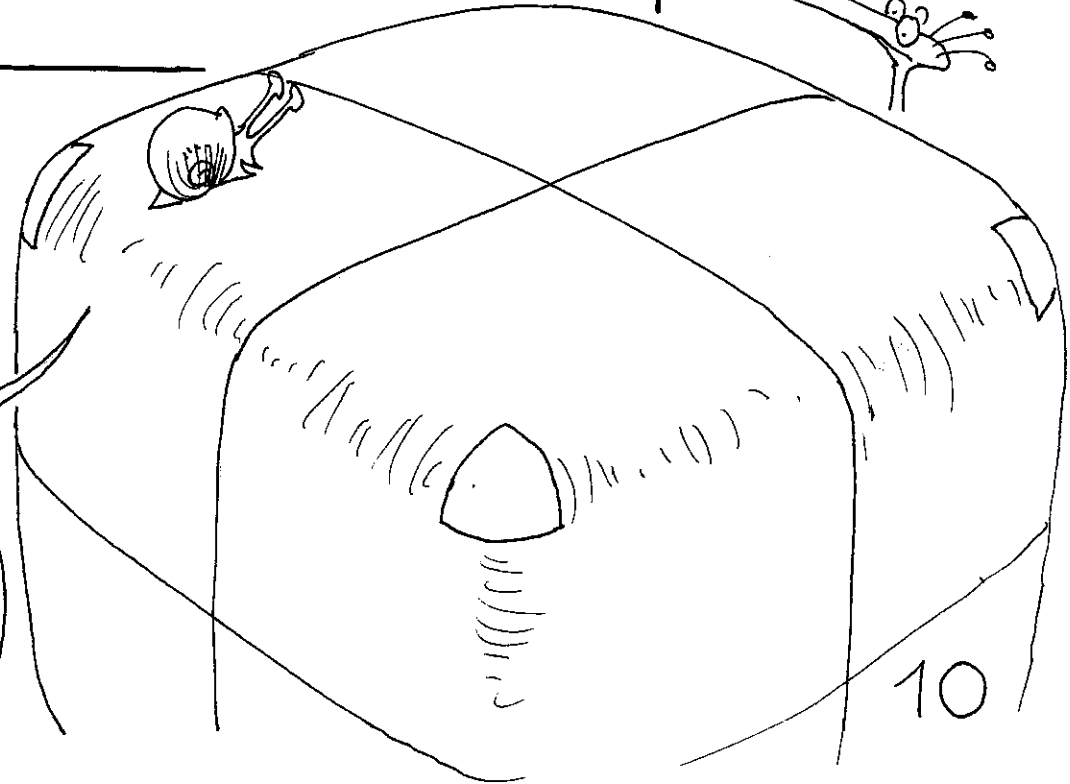
les plans tangents se raccordent !!!

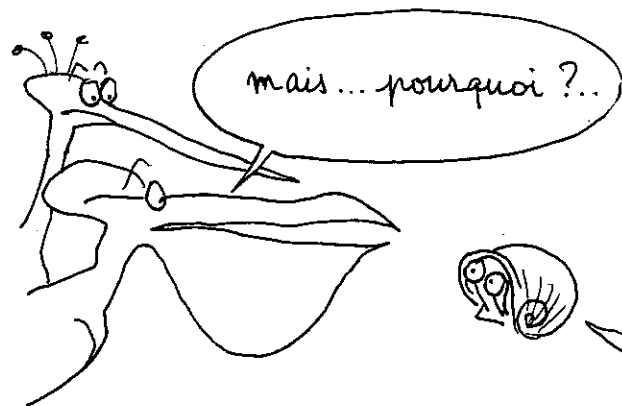
Hmm... un coup de chance

le fait que le carré central donne l'impression de se réduire n'est qu'une illusion d'optique

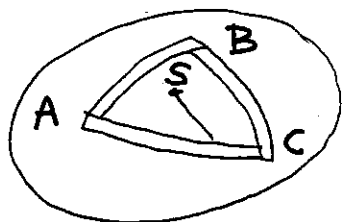
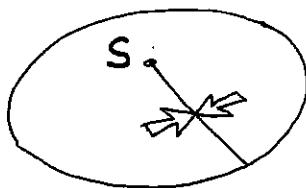
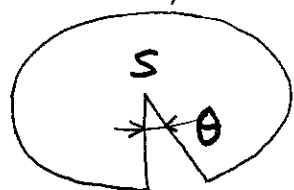


dites, les emplumés de service, on arrête les bêtises. Il y aurait continuité du plan tangent quelle que soit l'importance relative, en aire, des huit coins arrondis !

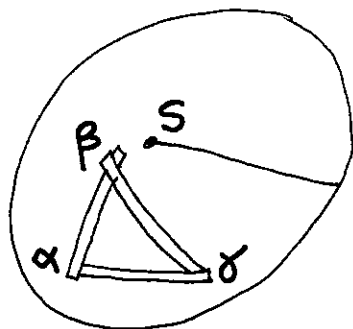




disque

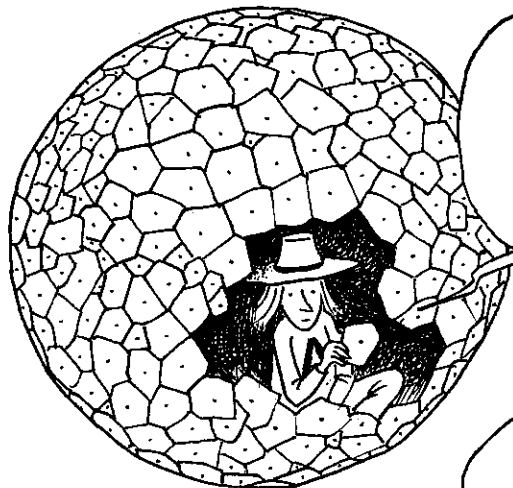


$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = \pi + \theta$$



$$\hat{\alpha} + \hat{\beta} + \hat{\gamma} = \pi$$

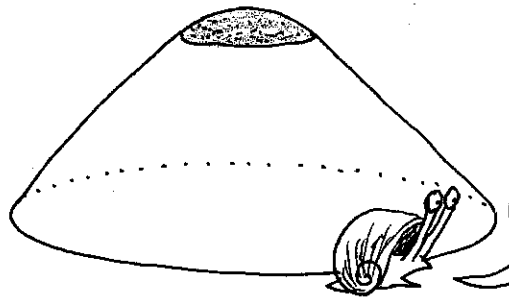
(*) allez relire les bandes dessinées où vous avez figuré pendant trente ans! (**LE TROU NOIR**, pages 8 et suivantes) - Vous créez un **POSICONE** en pratiquant une découpe d'un angle θ . Si vous tracez un triangle constitué par 3 géodésiques, il y aura deux cas de figure: Soit ce triangle contient le sommet **S** du cône alors la somme de ses angles vaudra $\pi + \theta$. Soit il ne le contient pas et la somme de ses angles aux sommets est alors **LA SOMME EUCLIDIENNE** qui vaut π . Si vous collez ensemble deux posicones correspondant à des découpes θ_1 et θ_2 la somme des angles d'un triangle contenant les deux sommets S_1 et S_2 sera la somme euclidienne π accrue de $\theta_1 + \theta_2$



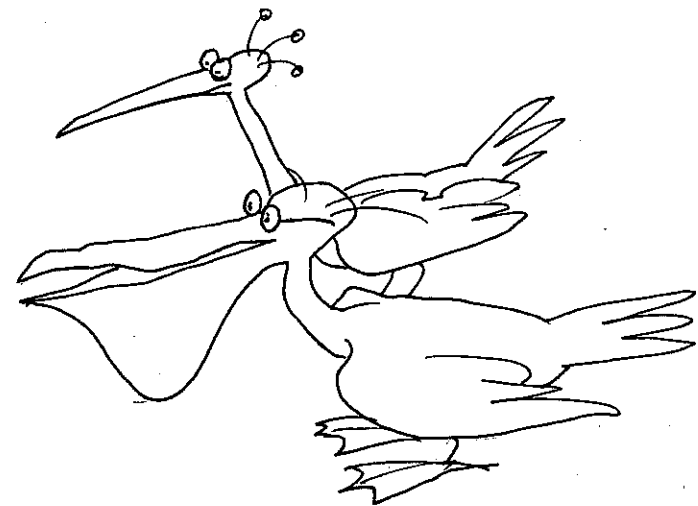
En assemblant le plus régulièrement possible un nombre N de microcônes d'angle θ , je constate que lorsque $N \times \theta = 720^\circ$ j'obtiens.... une sphère !

c'est normal puisque la **COURBURE TOTALE** de la sphère vaut 720°

maintenant, sors de là mon chéri



quand vous voulez mettre un machin courbe dans de l'eulidien il vous suffit de vérifier que les courbures sont compatibles. Par exemple, supposez que vous voulez fabriquer un cône émoussé

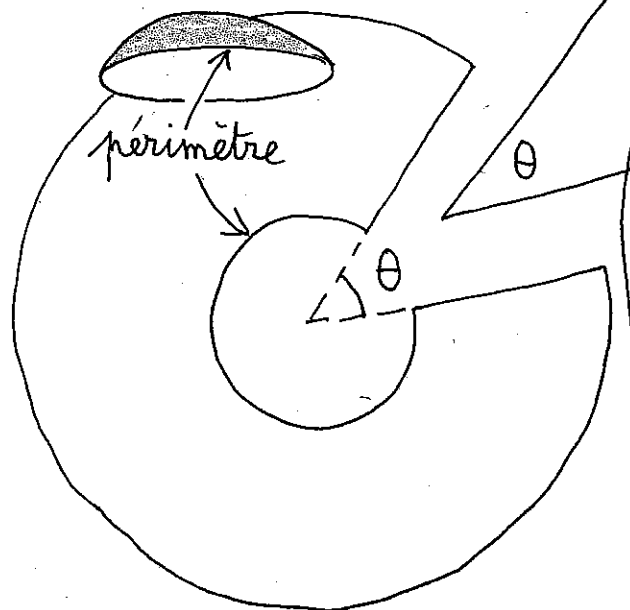


$$S = 4\pi R^2$$

$$720^\circ$$

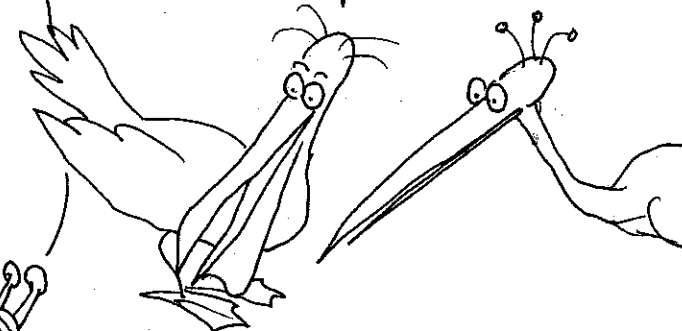
la quantité de courbure contenue dans la calotte sphérique est égale à

$$\theta = 720^\circ \times \frac{S}{4\pi R^2}$$



le flanc du cône émoussé est une partie d'un cône correspondant à une découpe de cet angle θ . Il suffit de découper le sommet de ce cône de telle façon que les périmètres s'ajustent et le tour est joué

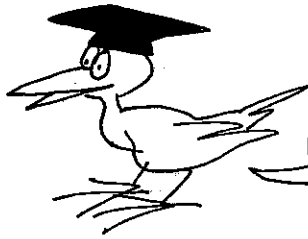
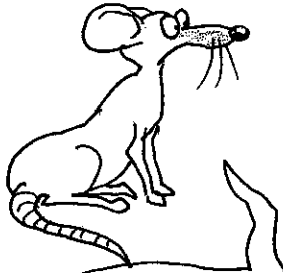
!?



et toc!

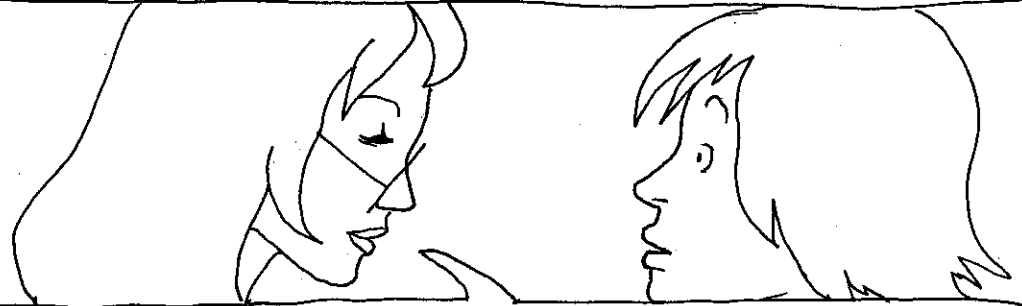
MATIÈRE, VIDE ...

Bon, si j'ai bien compris, dans l'Univers, la matière occupe des sortes d'îlots dans l'espace, avec beaucoup de vide autour, ou entre. Mais le **VIDE** c'est quoi ?



Pour un physicien, le vide parfait, rempli de **RIEN** ne peut exister. Il faudrait que l'univers entier soit au zéro absolu. Le vide parfait serait impossible à isoler, même avec une enceinte parfaitement étanche. Celle-ci rayonnerait et ce "vide" se peuplerait par les photons émis à la paroi (*).

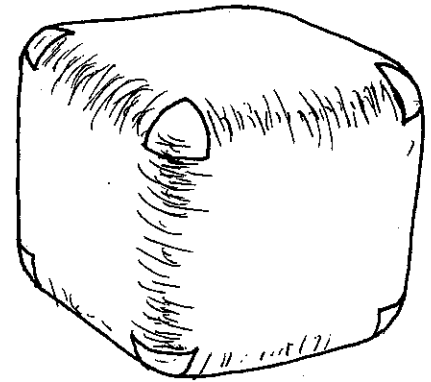
autrement dit, ces grands vides entre les galaxies ont été remplis par les photons émis par ... les étoiles ?



Il faut relire **BIG BANG**. L'observation a révélé en 1967 la présence dans tout l'univers de photons extrêmement nombreux (un milliard de fois plus nombreux que les particules de matière). Ils forment le **FOND DE RAYONNEMENT COSMOLOGIQUE A' 3°K**. A touche-touche ce sont ces photons qui constituent ce que nous appelons le "vide cosmique" et ce sont eux qui peuplent ces bulles de 100 millions d'années lumière de diamètre.

(*) Correspondant à $h\nu = \frac{hc}{\lambda} = kT$ où T est la température absolue de la paroi.
 c est la vitesse de la lumière, h la constante de Planck et k la constante de Boltzmann

en somme l'image proposée par Anselme :
celle d'un cube aux coins arrondis constitués par
des huitièmes de sphère, constants, joints par
une surface extensible, un "vide" constitué de
"photons jointifs", n'est pas si mauvaise



mais les photons, ça bouge!
Je ne comprends pas cette image
d'un "tissu de photons jointifs"

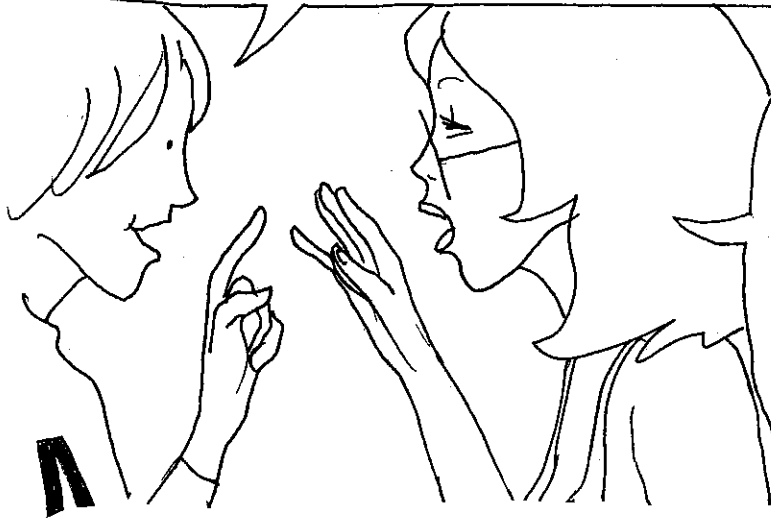
Tu as raison. Les vagues, elles aussi, bougent. Il faut plutôt imaginer une sorte de "**CLAPOT**"
sans cesse agité par des vagues dont la longueur d'onde serait de quelques millimètres (*)

donc, si ce "**CLAPOT**" se
dilata, cela signifie qu'il
apparaît de nouvelles "vagues"

(*) $\lambda = \frac{hc}{kT}$; $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$
 $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$
 $T = 3^\circ \text{K} \Rightarrow \lambda = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

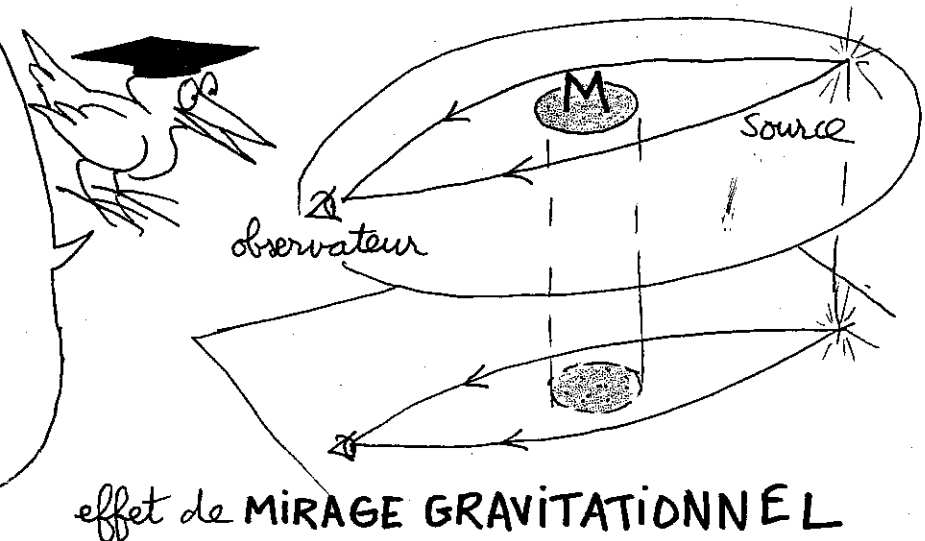
Non, ce sont les "vagues" qui se dilatent.
la longueur d'onde λ de ces photons "cosmologiques"
croît comme la dimension R de l'Univers

Sophie, le contenu en énergie de l'Univers est la somme de deux choses - L'énergie mc^2 des particules dotées d'une masse qui, si m et c sont des constantes, se conserve et, l'énergie $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ des photons cosmologiques. Si leur nombre se conserve et qu'alors leur longueur d'onde λ croît comme la **LA DIMENSION CARACTÉRISTIQUE R** de l'Univers cela signifie que leur énergie décroît. Donc **CE COSMOS PERD DE L'ÉNERGIE**



Ne t'imagines pas que tout soit simple et bien compris. Le **MODÈLE COSMOLOGIQUE** est un simple **OBJET GÉOMÉTRIQUE**, solution de l'**ÉQUATION D'EINSTEIN** qui est incapable de gérer l'existence des particules qui, elle, relève de la **MÉCANIQUE QUANTIQUE**. Or tu sais que le mariage n'est pas fait.

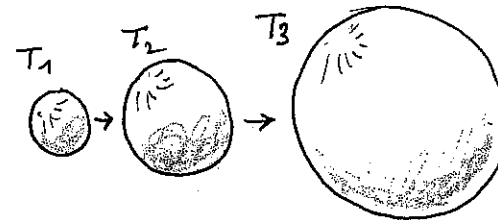
Autrement dit, on prend une **HYPERSURFACE 4d** et on y loge des particules en supposant que celles-ci suivent ses géodésiques.. Cette **HYPOTHÈSE** permet de faire des **PRÉDICTIONS** pour les photons, comme leur déviation par une masse par effet de **LENTILLE GRAVITATIONNELLE**, ce qui a pu être mis en évidence en 1915 à l'occasion d'une éclipse totale du Soleil par la Lune



MODÈLE COSMOLOGIQUE

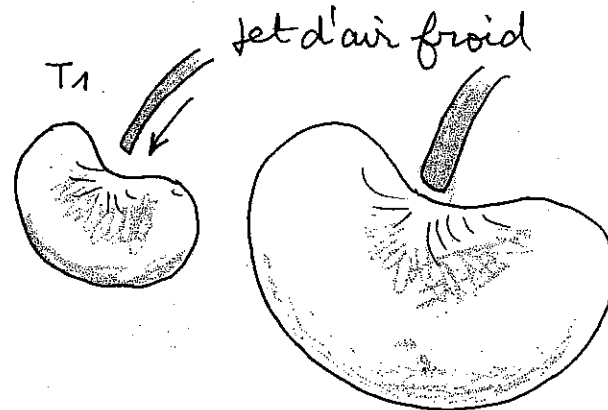
un **MODÈLE COSMOLOGIQUE** c'est une solution d'une équation de champ comme l'équation d'EINSTEIN $S \Leftarrow XT$ qui doit se lire "dans le sens de la flèche".
 T représente le **CONTENU EN ÉNERGIE-MATIÈRE** de l'univers qui **DÉTERMINE LA GÉOMÉTRIE** d'une **HYPERSURFACE** à quatre dimension, qui sera **L'ESPACE-TEMPS**. Montrons comment la distribution de l'énergie dans un objet peut déterminer sa géométrie. Considérons une enceinte ayant la forme d'une sphère à la température ordinaire. Arrangeons-nous pour la chauffer de manière non-uniforme, par exemple en la plaçant dans une ambiance gazeuse de plus en plus chaude, mais en refroidissant une partie avec un jet d'air froid. L'objet va se dilater et sa forme, sa géométrie dépendra de la valeur de la température en tout point de cette enceinte métallique.

la Direction

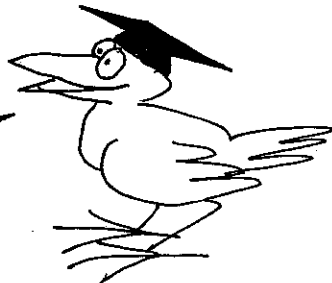


une sphère creuse, de métal, placée dans une ambiance gazeuse de température croissante se dilatera

en conservant sa **SYMÉTRIE SPHÉRIQUE**. Mais si par exemple on contrarie localement sa dilatation avec un jet d'air froid elle prendra l'allure d'une cacahuète :



on pourra parler de **CHAMP DE TEMPÉRATURE**



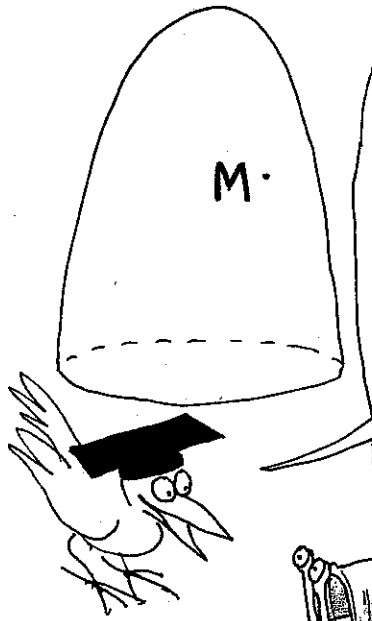
Amdelme a construit un modèle géométrique $2d$ d'un univers inhomogène, avec des régions qui ne se dilatent pas, entourées d'immenses vides en expansion. C'est un des aspects-clés du Cosmos tel que nous le connaissons aujourd'hui. Avant, les cosmologistes se représentaient l'univers comme une sorte de gaz, uniforme, dont les "molécules" étaient les galaxies (*). Ce modèle a vécu. Or personne, actuellement, n'est capable de construire une solution de l'équation d'Einstein qui n'ait pas la symétrie de la sphère S^3 . On tente donc de décrire un monde foncièrement inhomogène, lacsaine en invoquant des solutions parfaitement "lisses", homogènes.

Ceci étant, quand on extrait d'une équation de champ comme celle d'Einstein, sous la forme d'une hypersurface à quatre dimensions, que fait-on ? Il reste à la **CARTOGRAPHIER**, à plaquer sur elle un système de coordonnées (x, y, z, t) , les trois premières se référant à la position d'un point de cette hypersurface et la 4^e étant censée figurer le **TEMPS**. Et c'est là que le **GÉOMÈTRE** passe le relais au **PHYSICIEN**.

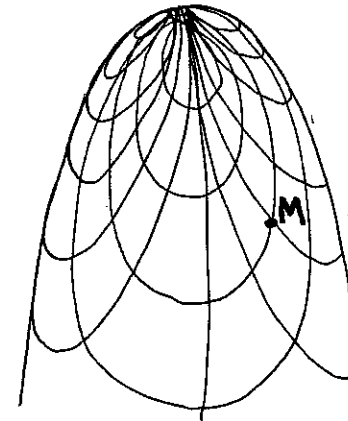
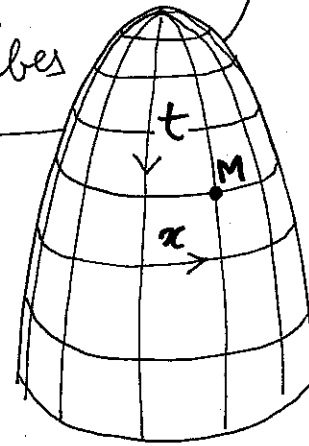
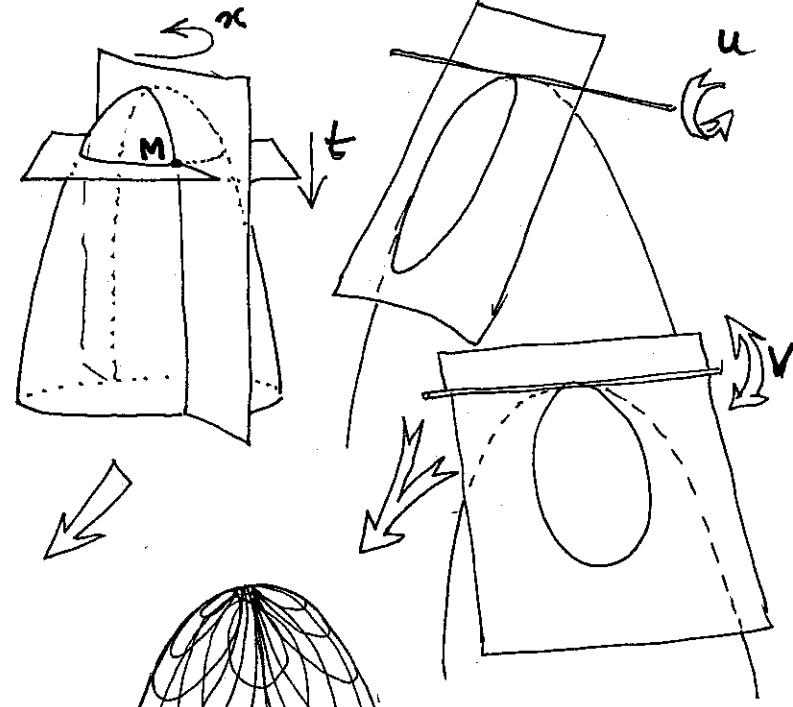


(*) Un "univers rempli de "poussière", parce que les vitesses d'agitation des galaxies étaient petites devant c

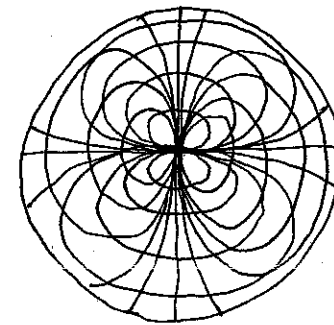
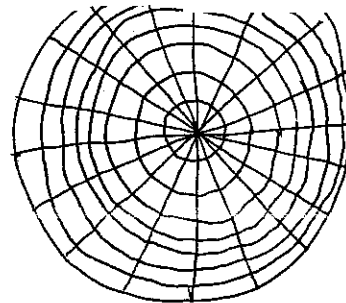
CARTOGRAPHIER



considérons une surface en forme de paraboloïde, de "motte de beurre". On peut repérer la position d'un point M à l'aide de deux nombres, qu'on appellera **COORDONNÉES**. Mais pour une même surface il existe une infinité de choix de **SYSTÈMES DE COORDONNÉES** possibles. On peut par exemple couper celle-ci par deux familles de plans, les sections constituant deux familles de courbes



VU SELON L'AXE :



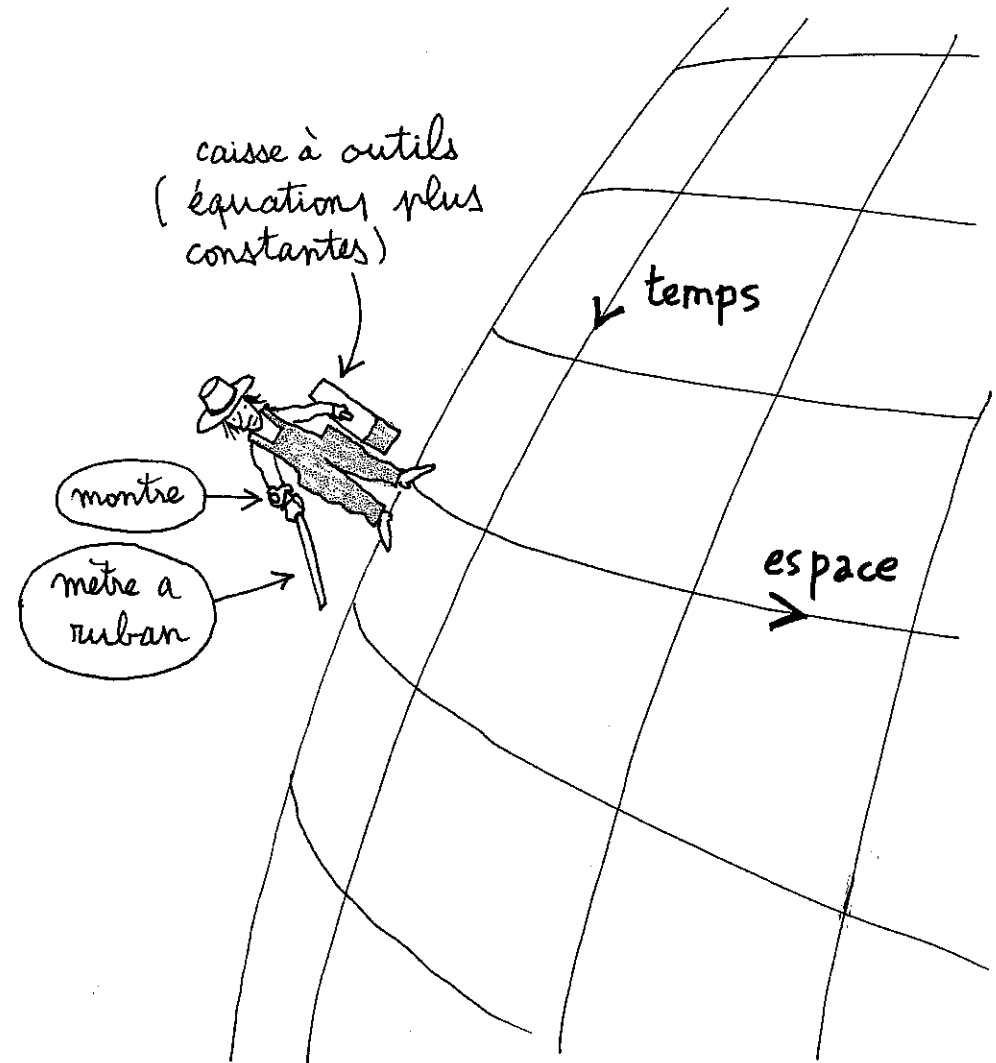
si cette motte de beurre est censée figurer l'image d'un espace-temps 2d alors il doit quand même exister un choix particulier de coordonnées qui définissent sans ambiguïté **L'ESPACE et LE TEMPS ?**

DESSINE MOI UN MOUTON (*)

Un des changements paradigmatiques majeurs de ce début de siècle a été de considérer que nous vivions non dans un **ESPACE 3d** mais dans une **HYPERSURFACE 4d**. A la même époque des équations ont complété celles qu'on possédait déjà, comme les équations de Maxwell, de l'électromagnétisme. Des **PHÉNOMÈNES NOUVEAUX** ont apporté un nouveau lot d'**OBSERVABLES**, comme la charge électrique. Le **PHYSICIEN** s'est doté d'une "caisse à outils" constituée par un jeu d'équations interdépendantes où figuraient des "Constantes".

G : constante de la gravitation
c : vitesse de la lumière
m : masses élémentaires (nucléons, électrons)
h : Constante de Planck
e : charge électrique élémentaire
 μ_0 : "perméabilité magnétique du vide"
 α : Constante de structure fine (géométrie des atomes)

On découvrit qu'il y avait les mêmes atomes partout dans l'univers, que celui-ci évoluait, avait un passé et un futur et que nous habitions dans une portion minuscule d'espace-temps.



(*) Une phrase que les lecteurs du **PETIT PRINCE**, traduits en de nombreuses langues, comprennent parfaitement

On découvrit que le **RAYONNEMENT** et la **MATIÈRE** n'étaient que deux manifestations d'une même entité, l'**ENERGIE-MATIÈRE**, selon la célèbre loi d'équivalence $E = mc^2$ et on s'empessa de le vérifier expérimentalement à travers de très belles expériences effectuées en plein air -

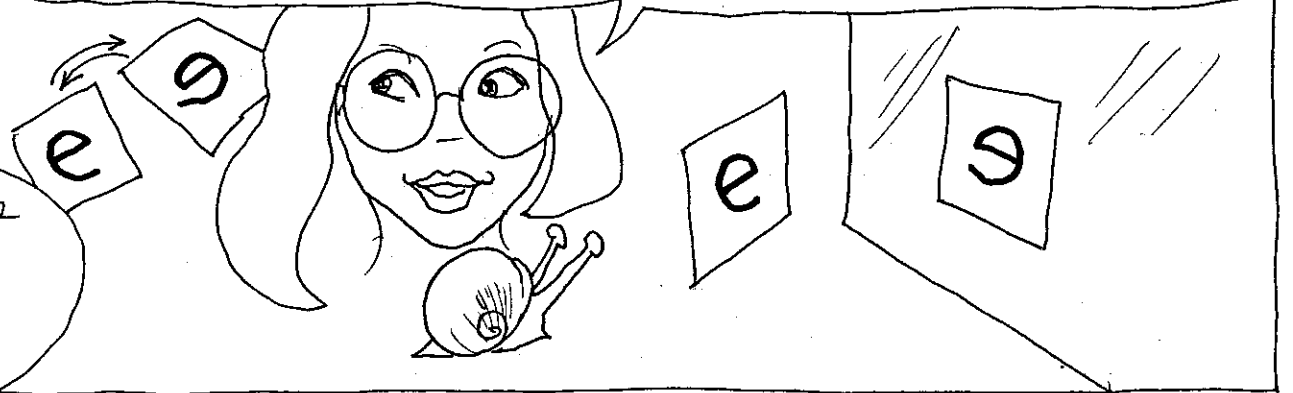
Il restait à étudier **LOCALEMENT**, les propriétés de notre hypersurface-habitat.



imaginons que nous vivions sur une surface dont la courbure varie peu d'un point à l'autre. Nous pouvons faire glisser sur celle-ci une décalcomanie : **e**

mais on découvrirait aussi qu'on ne modifie pas la taille de la décalcomanie en la **RETOURNANT**, puisqu'en la retournant de nouveau on la retrouve à l'identique (invariance "en miroir")

on s'apercevrait alors que la décalcomanie est **INVARIANTE** si on la fait tourner ou si on la déplace (un peu, pas trop) (*)



(*) On dira que cet espace est localement invariant par les **GROUPES** des **ROTATIONS** et des **TRANSLATIONS** 20



mon cher Tirésias, savez-vous que votre coquille n'est pas identique à son image en miroir ? Etes-vous un escargot "droit" ou "gauche" ?

on a dit que dans ces bandes dessinées on ne faisait pas de politique !

d'ailleurs, est-ce que ces deux populations existent dans la nature ?

Cette symétrie évoque la découverte de la **DUALITÉ MATIÈRE-ANTIMATIÈRE** (*) qui inverse en particulier la charge électrique :

$$\Theta = -e$$

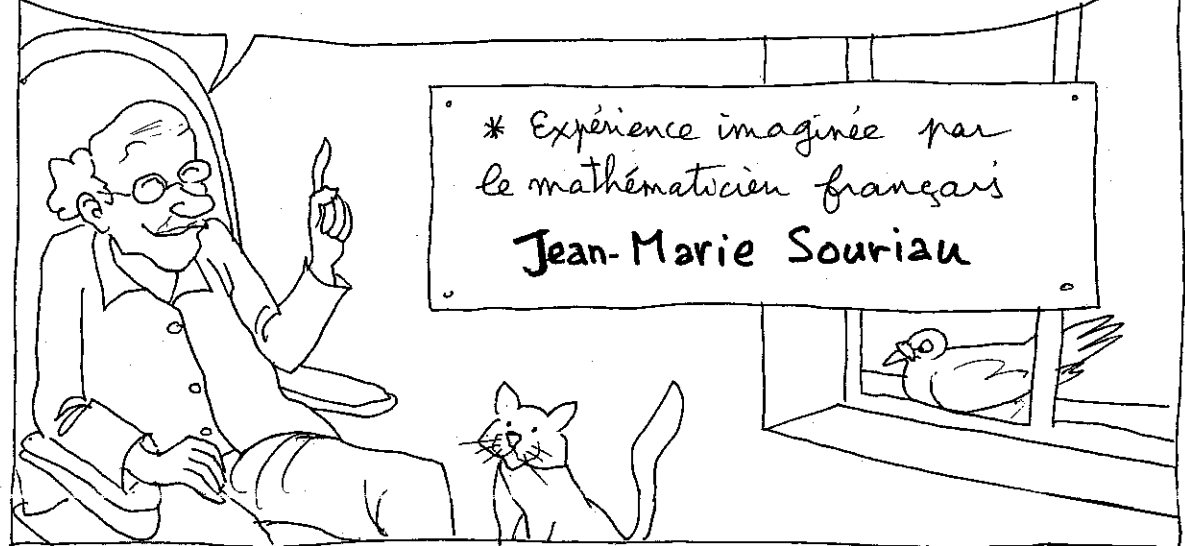
Le fait que la taille du caractère soit inchangée illustre le fait que la masse d'une particule d'antimatière est la même que celle de la particule dont elle constitue le symétrique :

$$m = m$$



Toutes les particules : neutron, mésons, quark, etc.. possèdent leur antiparticules, sauf le **PHOTON** qui est sa propre antiparticule

venons-en à notre espace-temps Je vous suggère de faire une expérience très simple. changez de pièce dans votre appartement, fermez les rideaux et attendez (*)

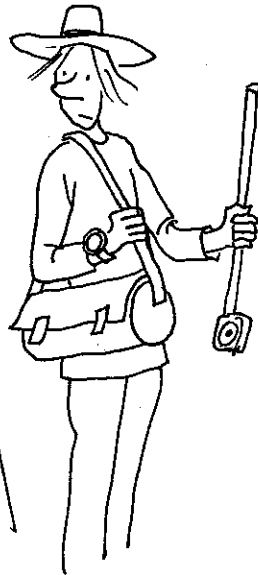
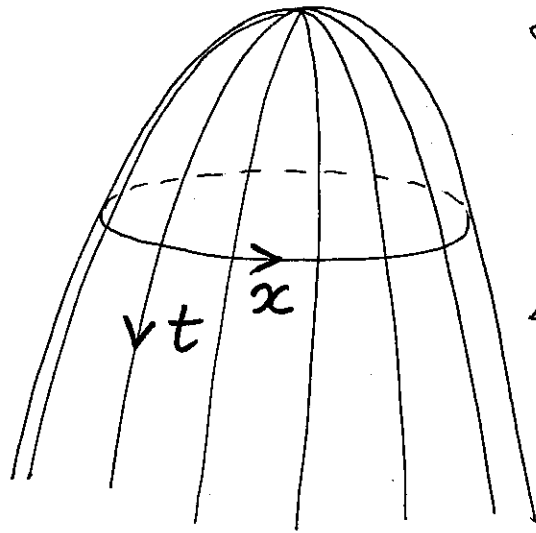


* Expérience imaginée par le mathématicien français
Jean-Marie Souriau

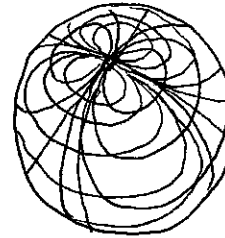
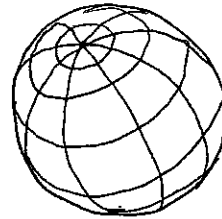


(*) Cette propriété "d'invariance" par les rotations lorentziennes résume à elle seule tous les aspects si déconcertants de la théorie de la **RELATIVITÉ RESTREINTE**

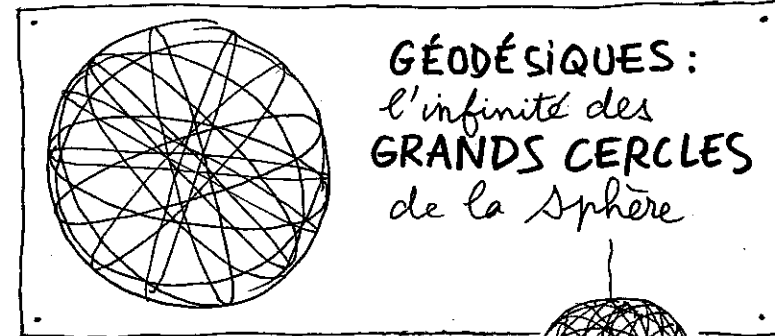
BIG BANG



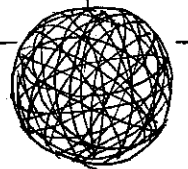
Dans l'hypersurface constituant la solution de l'équation d'EINSTEIN il existe des courbes particulières qui restent les mêmes quel que soit le système des coordonnées choisi, ce sont ses **GÉODÉSIQUES**. De même l'infinité des géodésiques qui s'inscrivent sur une sphère est indépendante du système des coordonnées qui servent à les repérer sur la surface.



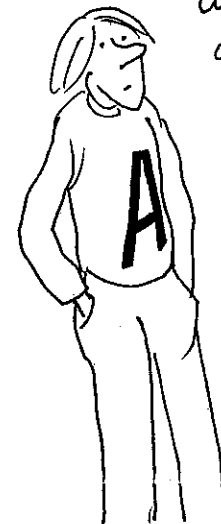
Ensembles de Coordonnées



GÉODÉSIQUES:
l'infinité des **GRANDS CERCLES**
de la Sphère

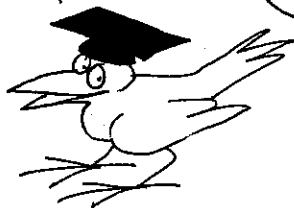
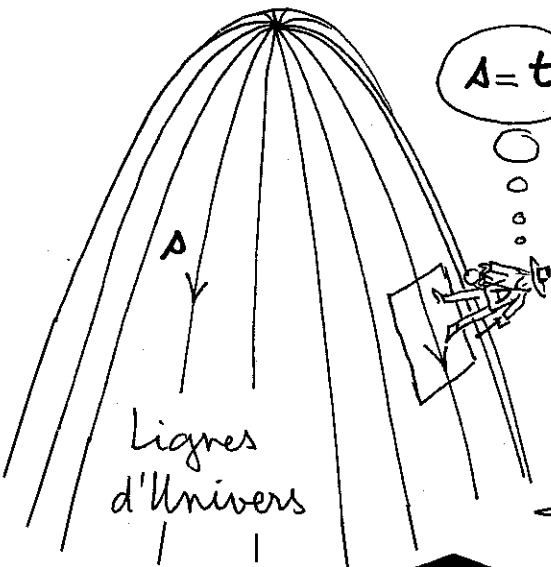


lustré constitué par
des géodésiques

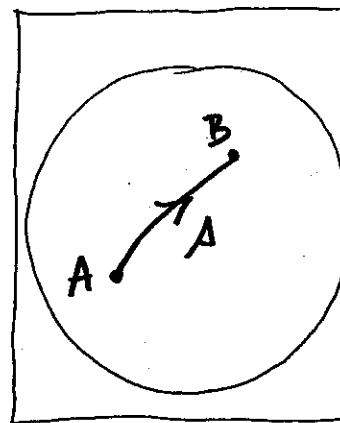
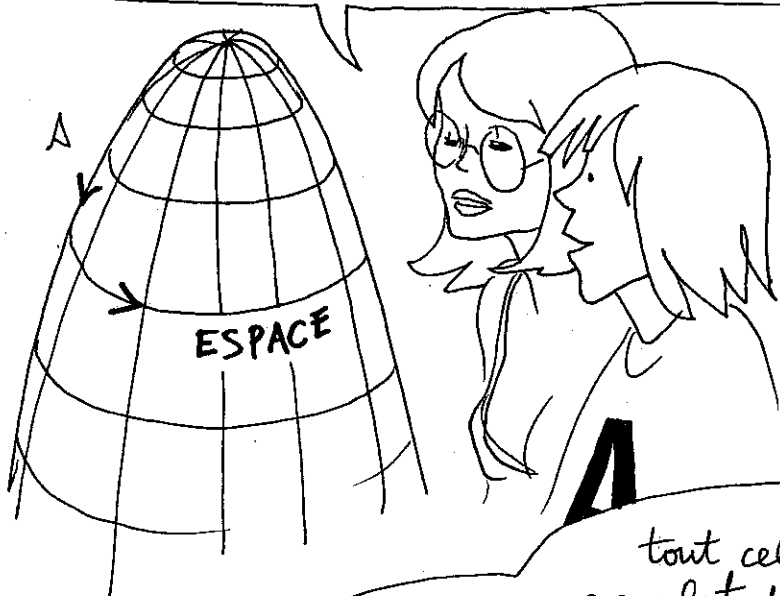


$A = t$

Dans l'hypersurface on sélectionna une famille de géodésiques, convergeant vers un point. On décida d'identifier l'abscisse curviligne s , mesurée le long de ces courbes, rebaptisées **LIGNES D'UNIVERS** serait identifiée à un **TEMPS COSMIQUE t**

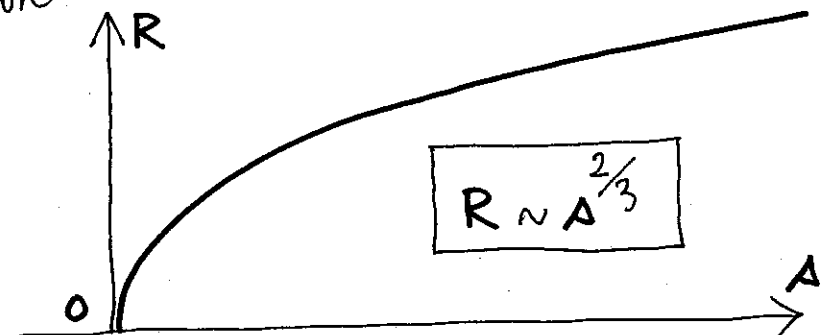


Perpendiculairement à ces lignes se trouvait, constituées par des points situés à la même **ÉPOQUE Δ** , une hypersurface à trois dimensions qu'on identifia à l'espace de la **PHYSIQUE**. Image 2d ci-contre



la grandeur Δ a un **CARACTÈRE INTRINSÈQUE**
Sur n'importe quel trajet AB tracé sur la sphère la distance parcourue est Δ

le modèle Cosmologique dit aussi **MODÈLE STANDARD** est une solution



tout cela avec le jeu complet d'équations peuplées des grandeurs G, c, m, e, α, M_0 , considérées comme des **CONSTANTES ABSOLUES**. L'identification de Δ au temps marchait alors assez bien. Cette idée donna alors naissance au modèle du **BIG BANG**

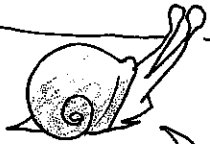


et alors?



(*) On appelle aussi ce choix celui de **COORDONNÉES GAUSSIENNES**

Ce **Modèle Standard** eut ses heures de gloire, ses chantages, ses grands prêtres. On avait même calculé que le devenir lointain de l'univers dépendait de son actuelle densité, selon que celle-ci serait inférieure, égale ou supérieure à une valeur critique égale à 10^{-29} gr/cm^3 (*) la découverte qu'au contraire l'univers accélérerait sur le tard sonna le glas de ce modèle (voir **L'UNIVERS GÉMELLAIRE**)



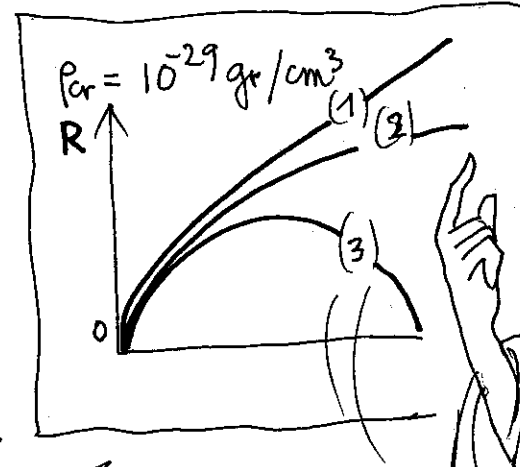
alors les hommes se sont tournés vers le passé ?

La **MÉCANIQUE QUANTIQUE** se déclarait incapable de décrire des phénomènes se déroulant pendant des temps inférieurs au

$$\text{temps de Planck } t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 10^{-43} \text{ sec}$$

ou sur des distances inférieures à

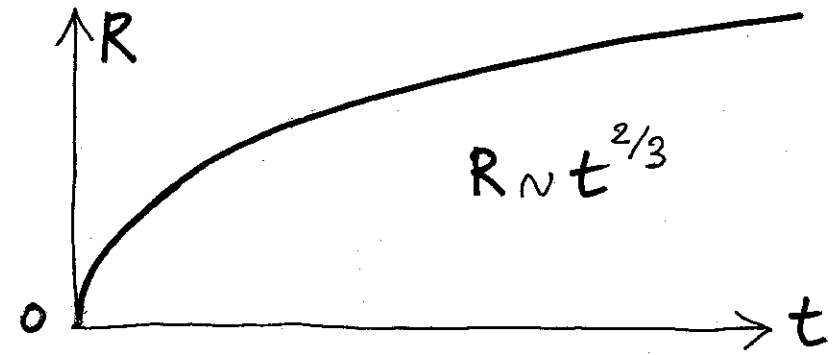
$$\text{la longueur de Planck } L_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 10^{-33} \text{ cm}$$



(*) Voir les dernières pages du **GÉOMETRICON** (1980)

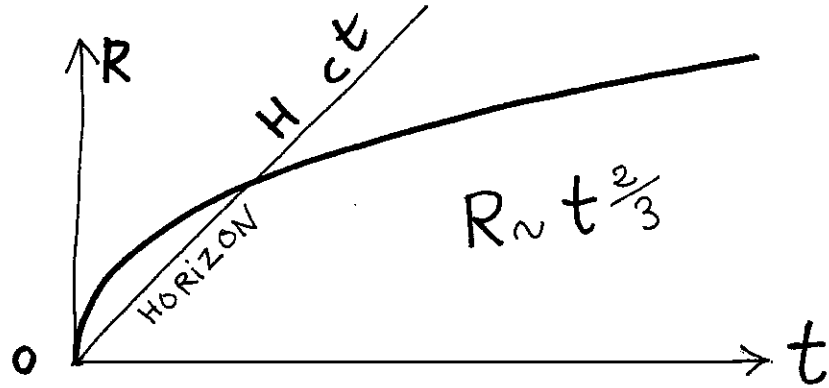
LE MUR DE PLANCK

Personne ne doutant que ce qui fonctionnait dans le présent put garder sa validité dans le plus lointain passé, on spécula gravement sur l'état possible de l'Univers quand t était inférieur au temps de Planck et cela sans se rendre compte une seule seconde que ceci reposait fondamentalement sur l'hypothèse que G , h et c soient des **CONSTANTES ABSOLUES** non affectées par l'évolution cosmique



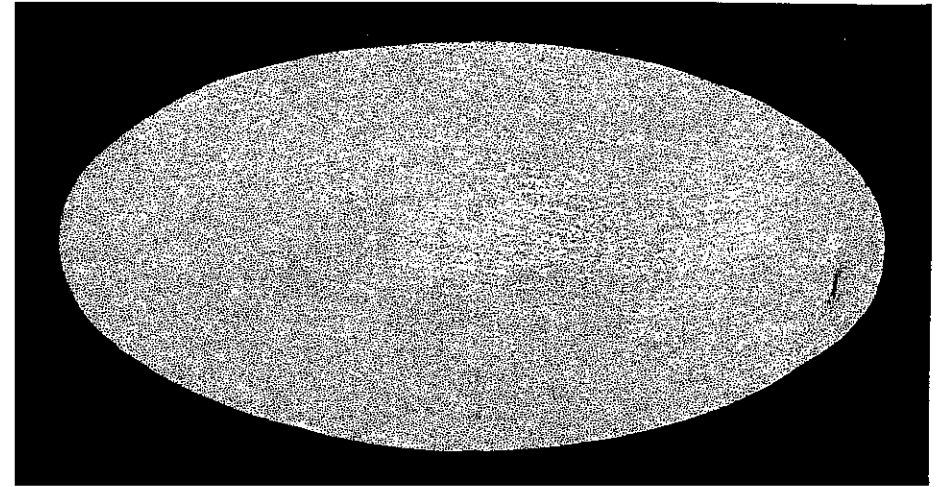
attendez, attendez ! Je peux vous citer des tas d'articles publiés par les gens les plus sérieux, qui ont montré que si on touchait à l'une de ces constantes si on supposait la moindre variation au fil de l'évolution cela entraînerait des contradictions insoutenables vis à vis des observations !

CiRCULEZ ! Y A RiEN A VOiR



En 1992 le satellite COBE, effectuant les premières mesures précises sur le rayonnement primordial, le CMB(*) qui fournit une image de l'univers dans ses premiers instants a montré que celui-ci était homogène à un cent millième près

En exclusivité: L'univers primitif



tel qu'il est réellement !

Je ne comprends pas. Dans les revues et sur Internet on nous montre des tas d'inhomogénéités avec de très belles couleurs

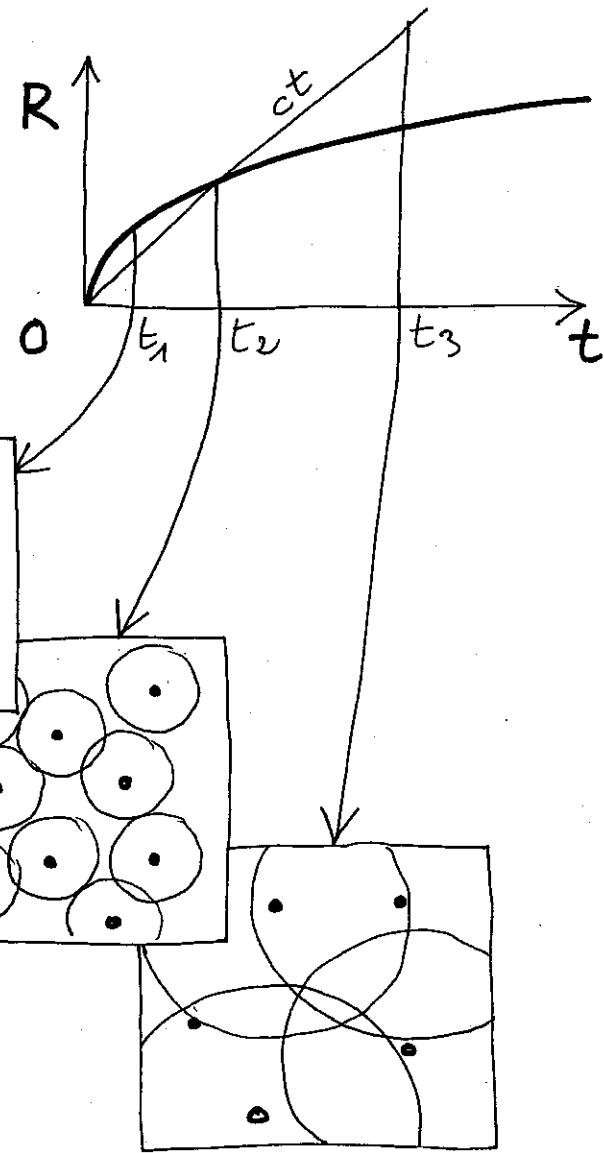
c'est parce qu'ils montent le contraste par ordinateur. Sinon la véritable photo correspond à l'image qui est à côté

(*) Cosmic Microwave Background

cette fantastique homogénéité est un paradoxe incontournable. Si la vitesse de la lumière est constante, alors une onde électromagnétique (*) émise depuis l'instant zéro se propagera selon une bulle de rayon ct , qu'on appelle **HORIZON COSMOLOGIQUE**. Or, voir la courbe de la page précédente, la distance entre les particules croît comme R . Donc à cette époque les particules s'éloignent à une vitesse supérieure à c . Elles s'ignorent donc totalement.. C'est un univers autistique. Comment expliquer dans ces conditions qu'un univers dont les particules n'ont jamais interagi les unes avec les autres présente un tel degré d'homogénéité?

(*) cheminant à la vitesse c la Direction

Il y aurait bien une solution: que la vitesse de la lumière ait été plus importante dans le passé (**)



(**) Idée développée pour la première fois par l'auteur en 1988

"An interpretation of cosmological model with variable light velocity" Modern Phys. Lett. A Vol 3 n°16 nov 1988 p.1527.

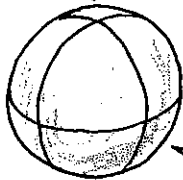
BRISURE DE SYMÉTRIE



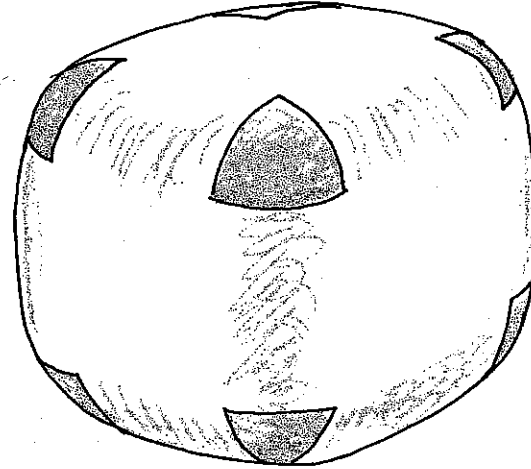
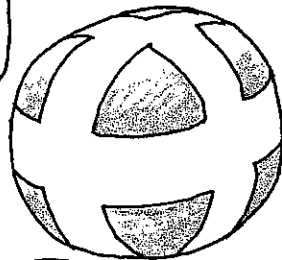
Si on veut trouver l'indice de quelque chose je pense qu'il faudrait reprendre l'image d'Anselme et remonter dans le temps. Il y aura nécessairement un moment où les huit coins arrondis du cube se rejoindront pour former une sphère.

BRISURE DE
SYMÉTRIE

Sphère



Crac!

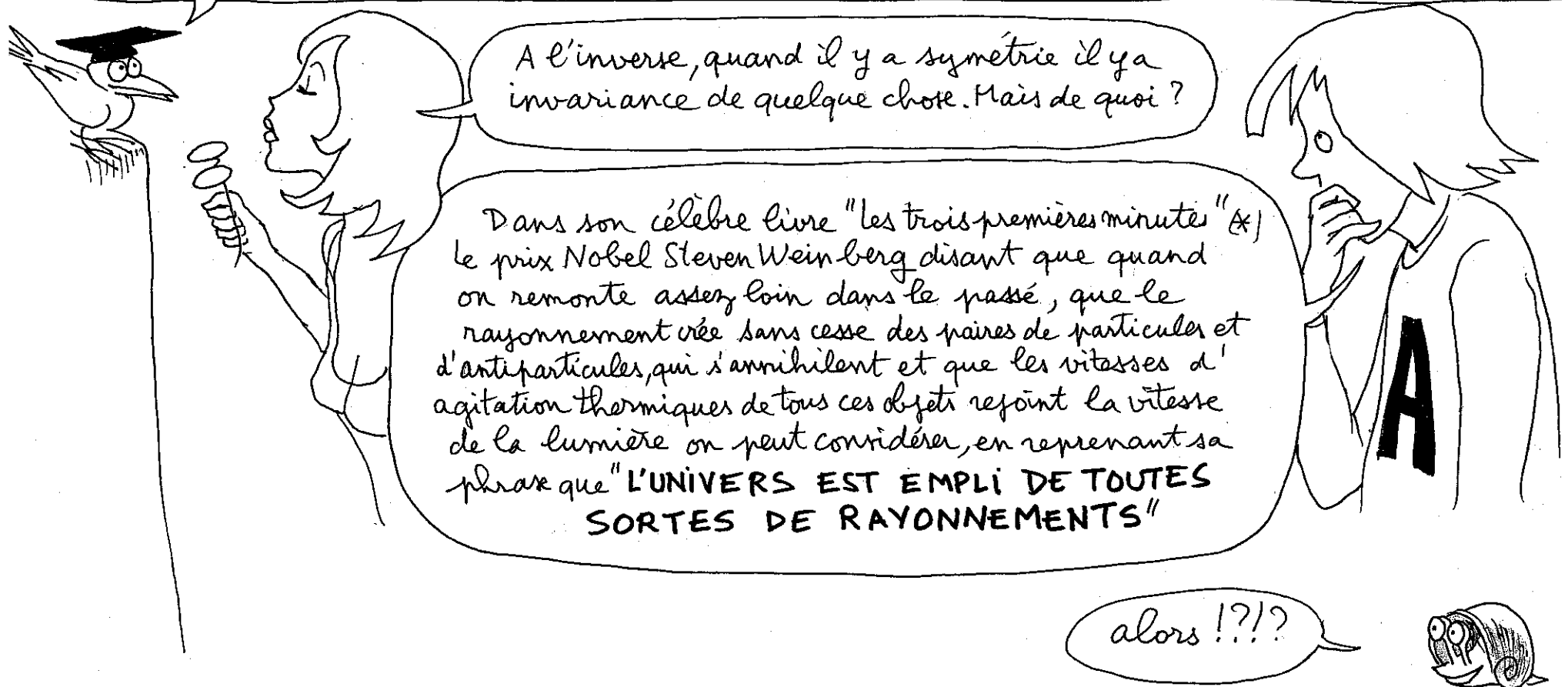


cube dont les
huit sommets sont
des portions de
sphère, non extensibles

Un objet ayant la symétrie du cube possède un certain nombre de plans de symétrie et d'axes de symétrie, de rotations discrètes de $\frac{\pi}{2}$, π , $\frac{3\pi}{2}$. Une sphère a un degré de symétrie incommensurablement plus élevé (*) puisque tout plan passant par son centre est un plan de symétrie et que la sphère reste invariante par une rotation d'un angle quelconque autour de n'importe quel axe passant également par son centre.

(*) la symétrie $O(2)$

Mais le cube à coins émoussés n'était là que pour fixer les idées, donnant l'image d'un univers contenant huit "amas de matière" et agencé comme un polyèdre régulier. Toujours en deux dimensions on pourrait imaginer une sphère qui se fragmenterait en un très grand nombre de fragments rigides, reliés par des éléments de surface euclidiens et extensibles. Elle perdrait ainsi totalement sa symétrie initiale et se produirait ce qu'on appelle une **BRISURE DE SYMÉTRIE**. Or en physique théorique un tel événement est synonyme de changements majeurs, par exemple sur la façon dont s'opérerait l'expansion de l'Univers



A l'inverse, quand il y a symétrie il y a invariance de quelque chose. Mais de quoi ?

Dans son célèbre livre "les trois premières minutes" (*) le prix Nobel Steven Weinberg disant que quand on remonte assez loin dans le passé, que le raisonnement crée sans cesse des paires de particules et d'antiparticules, qui s'annihilent et que les vitesses d'agitation thermiques de tous ces objets rejoint la vitesse de la lumière on peut considérer, en reprenant sa phrase que "**L'UNIVERS EST EMPLI DE TOUTES SORTES DE RAYONNEMENTS**"

alors !?!?

(*) Dont l'auteur se servit pour écrire **BIG BANG** en 1982

En suivant cette idée, quand des particules matérielles (*) tangenteraient la vitesse de la lumière elle se comporterait alors comme du **RAYONNEMENT**, donc ...

elles deviendraient comme le "gaz de photons": **COMPRESSIBLES**

Attendez, pas si vite! La longueur d'onde λ_ϕ des photons varie comme R . Si ce que vous dites est vrai, alors la **LONGUEUR D'ONDE DE COMPTON** qui donne la "taille" des particules

$$\lambda_c = \frac{h}{mc}$$

varierait de la même façon! Et pour cela il faudrait qu'une des constantes, par exemple c , varie à son tour !!!

pourquoi **UNE** constante, pourquoi pas **TOUTES** les constantes à la fois, pendant qu'on y est?

ça devient passionnant!

(*) l'antimatière possède une masse m et une énergie mc^2 positives



bon, il y a toujours un moment où il faut se jeter à l'eau !
Je vais donc permettre à **TOUTES LES CONSTANTES** de la physique de varier, conjointement, en optant pour les quatre hypothèses suivantes :

- Toutes les équations de la physique devront rester sates faites
- Toutes les longueurs caractéristiques varieront comme R
- Tous les temps caractéristiques varieront comme t
- Toutes les énergies, sous toutes les formes possibles pront conservées



En **RELATIVITÉ GÉNÉRALE** on trouve une longueur caractéristique qui est le **RAYON DE SCHWARZSCHILD** R_s

$$L_s = \frac{2Gm}{c^2} \text{ donc va pour } \frac{Gm}{c} \sim R (*)$$

G est la "Constante de la Gravitation"

(*) le signe $\sim$ signifie "variant comme"

Toujours au rayon de la Relativité Générale
la célèbre équation d'Einstein s'écrit :

$$S = - \frac{8\pi G}{c^2} T$$

où la fraction représente la **CONSTANTE D'EINSTEIN** (*). Pour des raisons mathématiques elle doit être invariante, ce qui me donne :

$$G \sim c^2$$

Je combine et j'obtiens ma première loi :

$$m \sim R$$

cela me donne au passage
une constante de la gravitation
qui varie comme

$$G \sim \frac{1}{R}$$

maintenant je rajoute dans ma
marmite le fait que les particules
soient compressibles, c'est à dire

$$\lambda_c = \frac{h}{mc} \sim R$$

la masse m croît avec la dimension
caractéristique R de l'univers. Ma
foi, pourquoi pas ? Combinons avec
mon hypothèse de conservation
de l'énergie $mc^2 = \text{CONSTANTE}$

$$c \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$$

tiens, un modèle à
vitesse de la lumière
variable ! Continuons

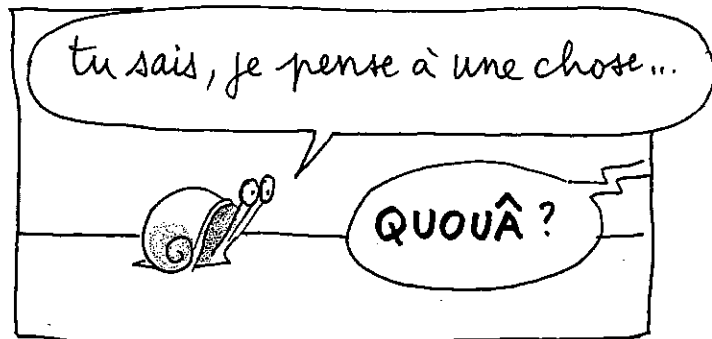
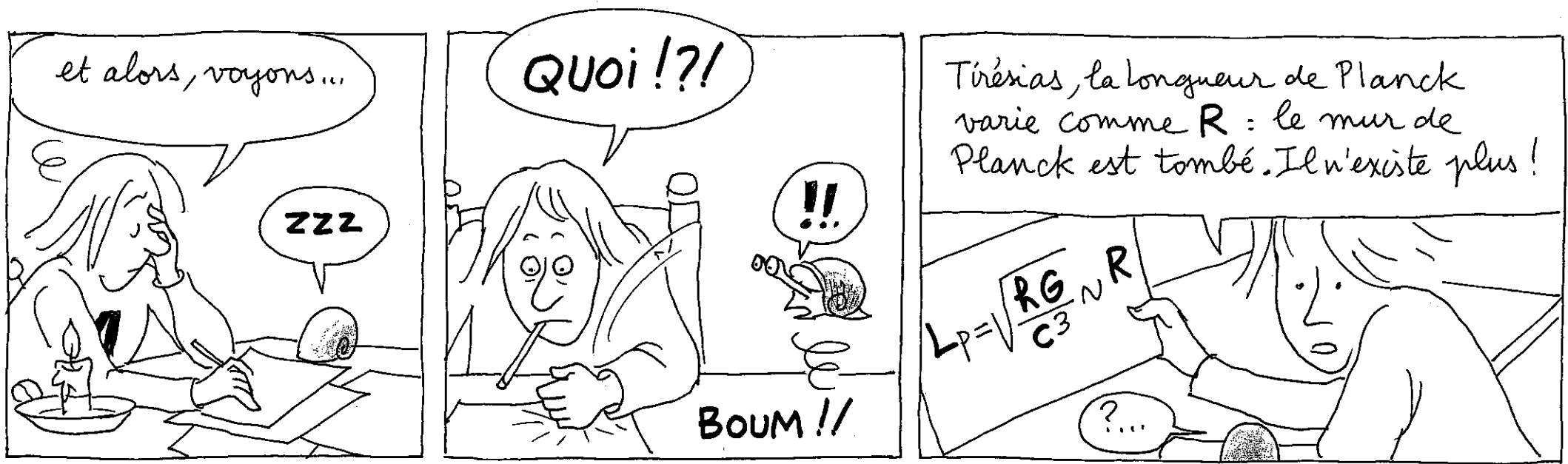
ZZZ...

j'obtiens une constante de
Planck qui évolue selon

$$h \sim R^{3/2}$$

ZZZ

(*) écrite dans des ouvrages récents $\chi = - \frac{8\pi G}{c^4}$ mais cette différence
relève de la façon dont on écrit les c^4 termes du tenseur T



LE LENDEMAIN MATIN

bon, tout cela est bel et bien, mais je dirais tout simplement : à quoi ça sert ? Anselme a tout simplement découvert que les équations de la physique, sans exception (*), étaient invariantes parce qu'on appelle une **TRANSFORMATION DE JAUGE**

or, rappelez-vous une chose = les instruments de mesure et d'observation sont construits à partir de ces mêmes équations

conclusion = avec ce système il est par essence impossible de concevoir une expérience ou un instrument d'observation qui permettent de mettre en évidence la moindre **VARIATION**, puisque les instruments de mesure ou d'observation "dérivent parallèlement" aux quantités qu'ils sont censés mesurer

alors, tout ce que j'ai fait est inutile ?

(*) pour l'invariance des équations de Maxwell, Schrödinger, etc... voir l'annexe

c'est un joli exercice de mathématiques. Mais quel intérêt si vous ne pouvez rien mesurer du tout ? C'est comme s'efforcer de mettre en évidence l'élévation de température d'une pièce en mesurant la dilatation d'une table en fer en utilisant une règle faite du même métal



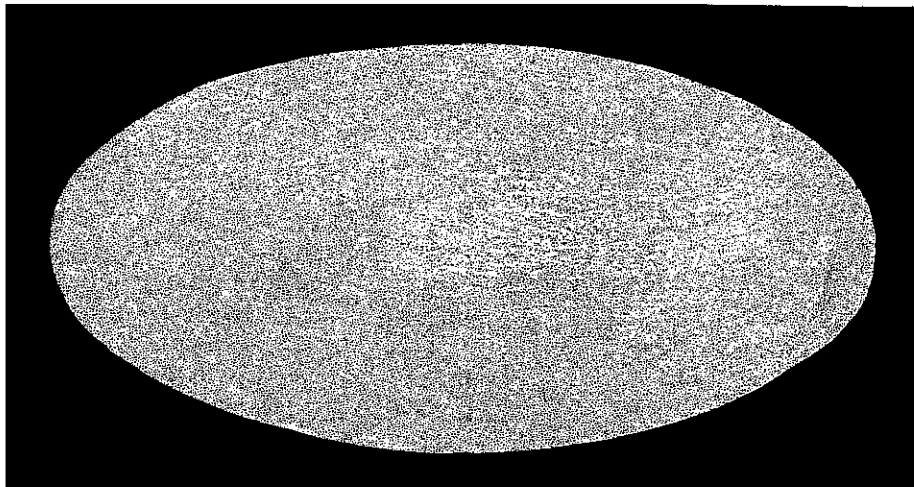
Hi, Hi !

attends, attends, il y a quelque chose qu'on **OBSERVE** et que ce modèle pourrait être à même d'expliquer

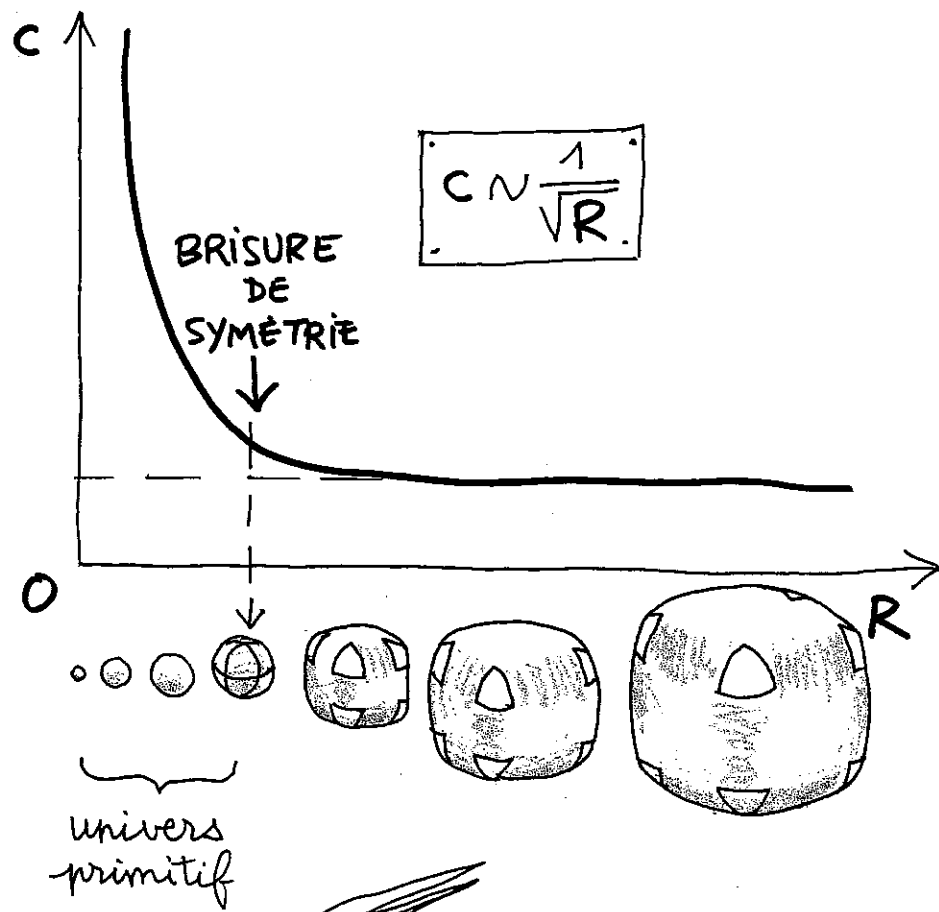


ah bon, et c'est quoi ?

ça !



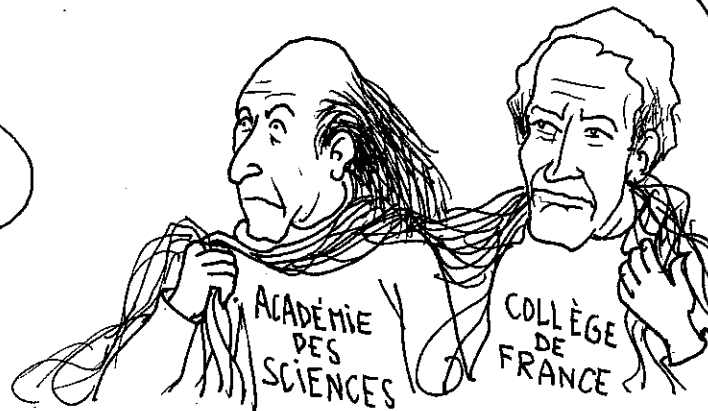
L'univers primitif



$$\begin{aligned}
 c &\sim \frac{1}{\sqrt{R}} & G &\sim \frac{1}{R} & h &\sim R^{3/2} \\
 m &\sim R & e &\sim \sqrt{R} & \epsilon_0 &= \text{ct} \\
 \alpha &= \text{ct} & \mu_0 &\sim R & (*) & \\
 & & & & & (\text{voir annexe})
 \end{aligned}$$

dans le modèle d'Anselme(*) la vitesse de la lumière est variable quand l'univers était dans son état primitif, avant la **BRISURE DE SYMÉTRIE**. Alors l'**HORIZON COSMOLOGIQUE** n'est plus **ct**, avec **c** constant, mais se calcule à l'aide d'une **INTÉGRALE** (voir l'annexe) on trouve alors que cet horizon... varie comme **R**, ce qui justifie l'**HOMOGÉNÉITÉ** de l'univers à toutes ces époques reculées

fichtre



ne laissez pas traîner comme ça vos **SUPERCORDES**, on va se prendre les pieds dedans !



(*) publié par l'auteur dans des revues scientifiques de haut niveau avec "comité de lecture" en 1988-89, 1995, 2001 dans l'indifférence la plus complète...



FiN

ANNEXE

Commençons par calculer l'HORIZON COSMOLOGIQUE

Quand la vitesse de la lumière ne varie pas cet horizon est simplement $H = c t$

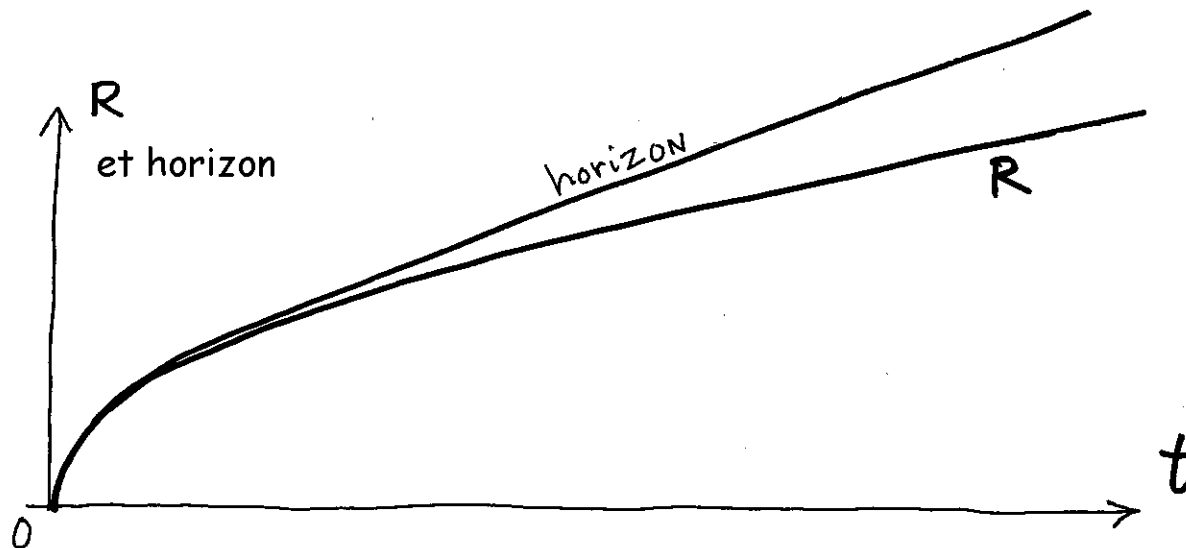
Dans le jeune univers cette vitesse varie $c \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$

L'horizon s'exprime alors à l'aide d'une intégrale : $H = \int_0^{t(\text{present})} c(t) dt \sim \int_0^{t(\text{present})} \frac{dt}{\sqrt{R}}$

mais $t \sim R^{3/2} \Rightarrow dt \sim \sqrt{R} dR \Rightarrow \text{horizon} \sim \int_0^{R(\text{present})} dR = R$

horizon $\sim R$

Pour résumer, schématiquement



RELATION FONDAMENTALE D'INVARIANCE DE JAUGE

Toutes les équations de la physique sont invariantes par cette transformation de jauge dans lesquelles on traite non seulement les grandeurs d'espace et de position comme des variables, mais aussi les "constantes" qui figurent dans ces équations. En rendant ces équations adimensionnelles on fait apparaître des relations de jauge. Prenons l'exemple des équations de Maxwell :

$$\boxed{\nabla \times \mathbf{B} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t}} \quad \boxed{\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}} \quad \boxed{\nabla \cdot \mathbf{B} = 0} \quad \boxed{\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_e}{\epsilon_0}}$$

Appliquons cette méthode de mise sous forme adimensionnelle " généralisée " :

$$\mathbf{B} = \mathbf{B} \beta ; \quad \mathbf{E} = \mathbf{E} \epsilon ; \quad c = c \xi ; \quad t = t \tau ; \quad \frac{\partial}{\partial t} = \frac{1}{\tau} \frac{\partial}{\partial \tau}$$

$$\nabla = \begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_1} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial}{\partial x_2} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial}{\partial x_3} = \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi_3} \end{cases} \quad \text{write } \delta \begin{cases} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_3} \end{cases} \quad \left| \quad \begin{aligned} \frac{\mathbf{B}}{R} \delta \times \beta &= -\frac{\mathbf{E}}{c^2 \tau} \frac{\partial \epsilon}{\xi^2 \partial \tau} \\ \frac{\mathbf{E}}{R} \delta \times \epsilon &= -\frac{\mathbf{B}}{\tau} \frac{\partial \beta}{\partial \tau} \end{aligned} \right.$$

en combinant ces deux relations on obtient :

$$\Rightarrow \boxed{R = c \tau}$$

qui s'accorde avec les relations obtenues plus haut.

Ecrivons que le **Rayon de Bohr** varie comme le facteur d'échelle **R**

$$R_b = \frac{\hbar^2}{m_e e^2} \sim R ; m_e \sim m \sim R ; e \sim \frac{\hbar}{R} ; \hbar \sim R^{3/2} \rightarrow \boxed{e \sim \sqrt{R}}$$

La constante de structure fine α détermine la géométrie des atomes. Choisissons d'en faire une constante absolue

$$\alpha = \frac{e}{\epsilon_0 \hbar c} = \text{cst} \Rightarrow \boxed{\epsilon_0 = \text{Constant}}$$

$$\epsilon_0 \text{ et } \mu_0 \text{ sont liés par la relation } c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \text{ d'où } \boxed{\mu_0 \sim R}$$

On a fait l'hypothèse que toutes les formes d'énergies étaient conservées. Une pression est une densité d'énergie par unité de volume, d'où

$$E_{\text{magnet}} = R^3 \frac{B^2}{2\mu_0} = \text{cst} \Rightarrow \boxed{B \sim \frac{1}{R}}$$

$$E_{\text{electr}} = R^3 \epsilon_0 E^2 = \text{cst} \Rightarrow \boxed{E \sim \frac{1}{R^{3/2}}}$$

$$\Rightarrow \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{R}}$$

en accord avec ce que nous avons obtenu avec les équations de Maxwell : $\frac{E}{B} \sim \frac{R}{t} \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$

Comment varient les vitesses **vitesses V** ?

L'énergie cinétique est : $\frac{1}{2} m V^2$ Si elle se conserve :

$$V \sim \frac{1}{\sqrt{R}} \sim C$$

Passons à la **masse volumique** $\rho = n m$

Si on suppose qu'il y a conservation des espèces, on a : $n R^3 = \text{cst}$

$$\rho \sim \frac{1}{R^3}$$

Examinons comment se comporte la distance de Jeans, longueur caractéristique associée au phénomène de l'instabilité gravitationnelle :

$$L_J = \frac{V}{\sqrt{4\pi G \rho m}} \quad \text{Il vient : } L_J \sim R$$

De la même façon on trouvera que le temps de Jeans obéit à : $t_J = \frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho}} \sim t$

Quel que soit le domaine de la physique auquel on applique cette méthode, on retombe sur nos hypothèses fondamentales. On trouvera par exemple que les sections efficaces de collision varient comme R^2 On trouvera par exemple que la distance de Debye varie comme R et ainsi de suite...

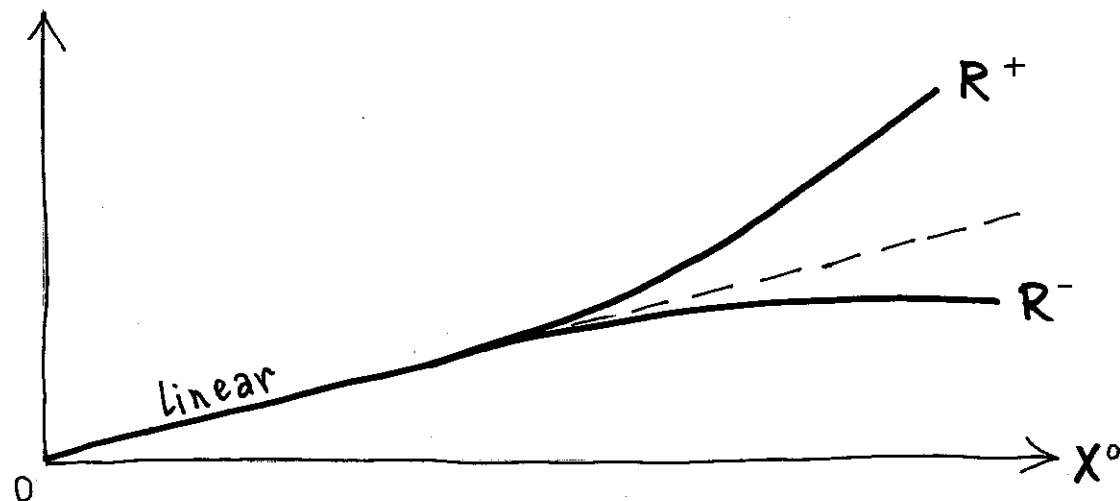
Pour achever ce travail nous devons maintenant envisager comment peut s'effectuer le lien avec notre modèle cosmologique bimétrique, décrit dans l'album :

L'UNIVERS GEMELLAIRE

Ce modèle fait apparaître deux facteurs d'échelle R^+ et R^- . En mettant en oeuvre (on ne sait pas faire autrement en cosmologie) les hypothèses d'isotropie et d'homogénéités dans les deux populations de masses nous avons cherché des " solutions conjointes " sous forme de métrique de Robertson-Walker, qui nous ont conduit au système des deux équations différentielles couplées ci-après :

$$\begin{cases} R^{+''} = \frac{1}{R^{+2}} \left[\frac{R^{+3}}{R^{-3}} - 1 \right] \\ R^{-''} = \frac{1}{R^{-2}} \left[\frac{R^{-3}}{R^{+3}} - 1 \right] \end{cases}$$

Le démarrage de cette expansion avec $R^+ = R^-$ est linéaire. Cette solution étant instable, l'une des deux population voit son expansion s'accélérer. C'est la nôtre et on a vu que ce modèle rendait compte de cet



Effet " d'énergie noire " , répulsive

LORENTZ INVARIANCE

Dans l'univers primitif la loi d'évolution est linéaire : $R^+ = R^- \sim x^0$

Les métriques de Robertson-Walker, dans l'hypothèse où l'indice de courbure est nul ($k = 0$) ont la forme commune :

$$d\Delta^2 = dx^{02} - R^2 [du^2 + u^2 d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2]$$

En coordonnées cartésiennes :

$$d\Delta^2 = dx^{02} - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

Cet espace est localement invariant sous l'action du groupe de Lorentz.

Pour faire apparaître le lien avec le modèle à vitesse de la lumière variable nous écrirons :

$$x^0 \sim R ; dx^0 \sim dR \sim t^{-\frac{1}{3}} dt \sim \frac{dt}{\sqrt{R}} \sim c(t) dt$$

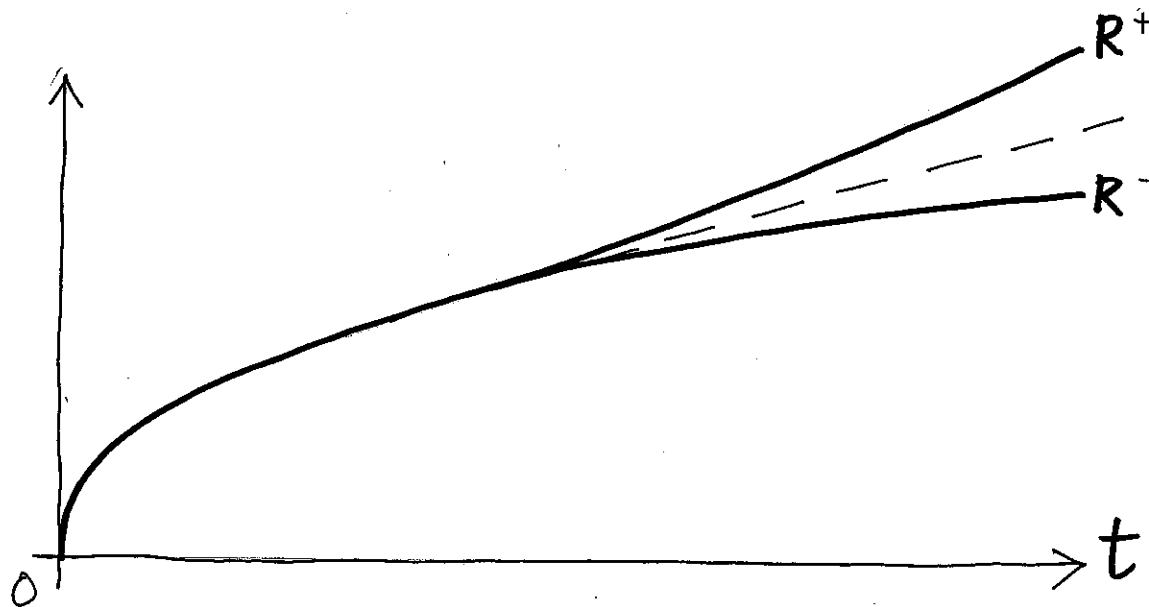
Soit la relation générale, permettant de passer de la variable chronologique x^0 au temps : $dx^0 = c(t) dt$

Avant la brisure de symétrie nous avons : $dx^0 \sim t^{-\frac{1}{3}} dt \Rightarrow x^0 \sim t^{\frac{2}{3}}$

Après cette brisure de symétrie, quand c se comporte comme une constante absolue, ceci devient : $x^0 = ct$

ÉVOLUTION

Ceci nous permet de tracer l'évolution de la paire cosmique en fonction du temps, tel que nous venons de le définir

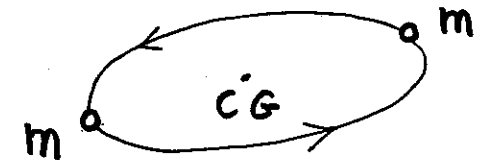


LE PARADOXE DE ZÉNON

Avons-nous maîtrisé la définition de cet objet insaisissable que nous nommons " temps " ?

Cela serait présomptueux de notre part. Tout au plus avons-nous négocié le paradoxe de l'homogénéité de l'univers primitif avec quelque chose qui semble a priori moins coûteux en hypothèses que la théorie de **L'INFLATION**

Mais l'expérience de pensée qui suit nous montrera que nous ne sommes sans doute pas au bout de nos peines. Considérons une sorte d'horloge élémentaire constituée par deux masses orbitant autour de leur centre de gravité commun. Nous allons calculer, en supposant que cette "horloge", toute aussi " compressible " que le reste de l'univers primitif, parvient à traverser les turbulences cosmiques sans encombre, combien de tours elle a effectué depuis " l'instant zéro " :



Sa période de rotation est : $\tau = \frac{2\pi r^{3/2}}{Gm}$ $Gm = Cst$ $r \sim R$ $\tau \sim t \sim R^{3/2}$

Et voilà le résultat obtenu :
$$N = \int_0^{R_0} \frac{dR}{R^{3/2}} = \left[\frac{1}{\sqrt{R}} \right]_0^{R_0} = \text{infini} !$$

Franchement, j'admire les gens qui réfléchissent gravement sur " l'instant zéro " et vont jusqu'à se demander "comment c'était avant"

