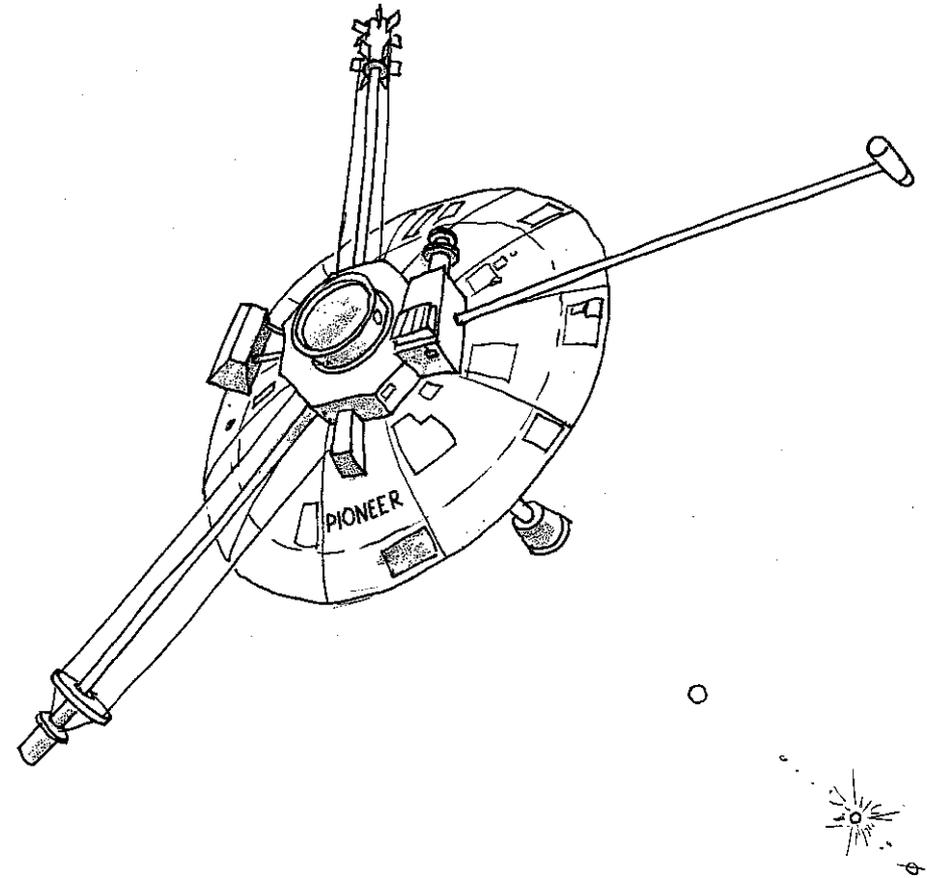
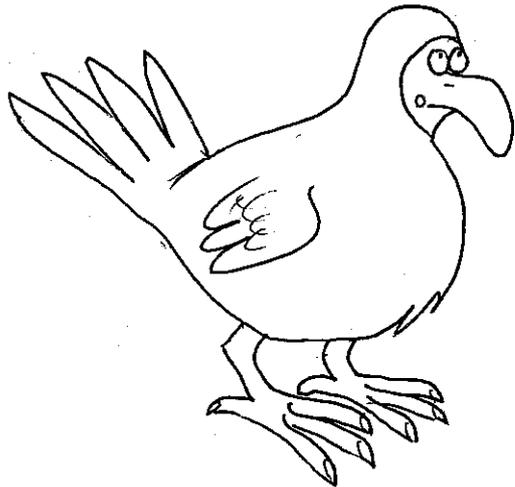


L'UNIVERS GÉMELLAIRE

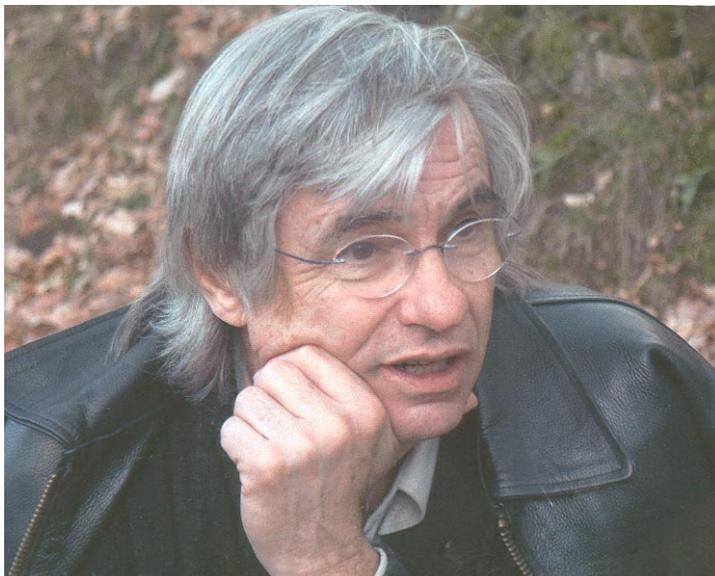
Jean-Pierre Petit

Autrement dit : c'est ça ou
trafiquer la loi de Newton...



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) :

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

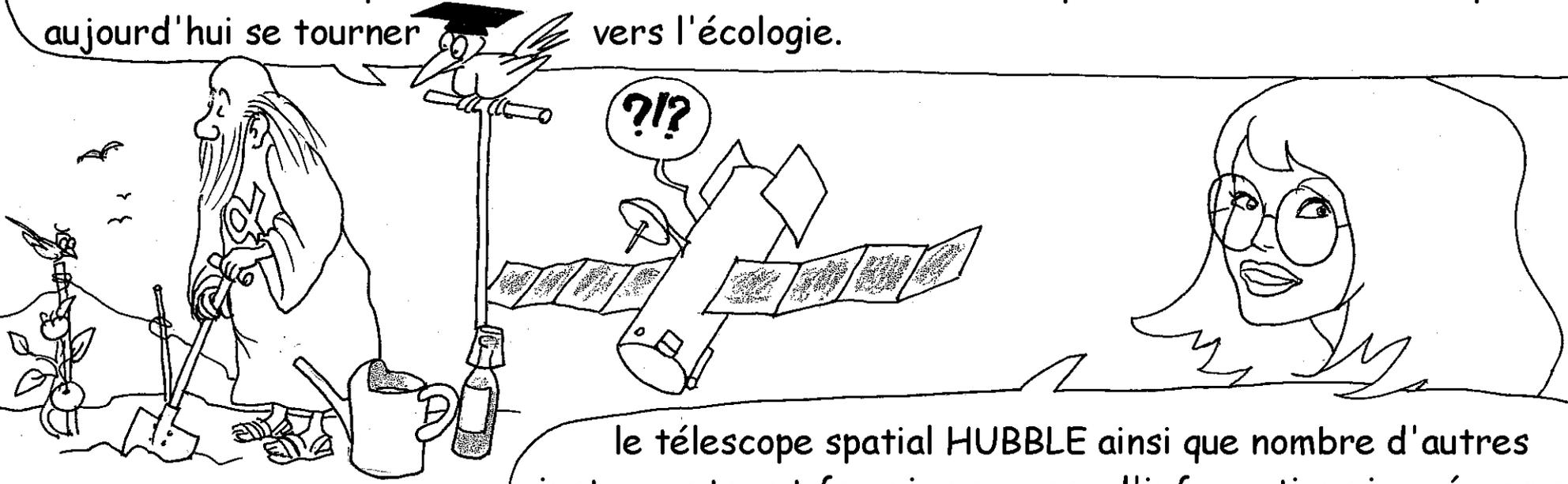
Les statuts de l'association (en français) sont accessibles sur son site. La comptabilité y est accessible en ligne, en temps réel. L'association ne prélève sur ces dons aucune somme, en dehors des frais de transfert bancaire, de manière que les sommes versées aux traducteurs soient nettes.

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.

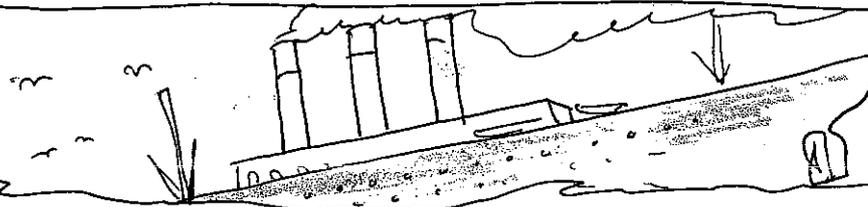
Nous mettons en ligne en moyenne une dizaine de nouvelles traductions par mois.

Vingt six années se sont écoulées depuis que l'auteur a écrit BIG BANG et vingt deux depuis la publication de MILLE MILLIARDS DE SOLEILS. Que dire des vingt sept années qui nous séparent de l'album LE TROU NOIR. Entre temps les choses ont énormément changé. Le bon Hubert lui-même, après avoir vanté le MODÈLE STANDARD pendant trois décennies préfère aujourd'hui se tourner vers l'écologie.

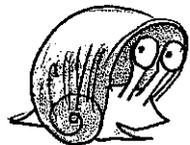


le télescope spatial HUBBLE ainsi que nombre d'autres instruments ont fourni une masse d'informations imprévues qui ont plongé les astrophysiciens dans la plus grande confusion. Le physicien Canadien Lee Smolin a publié un ouvrage "RIEN NE VA PLUS EN PHYSIQUE" (en France aux éditions Dunod en 2007 *) On pourrait écrire, de la même façon que :

RIEN NE VA PLUS EN ASTROPHYSIQUE

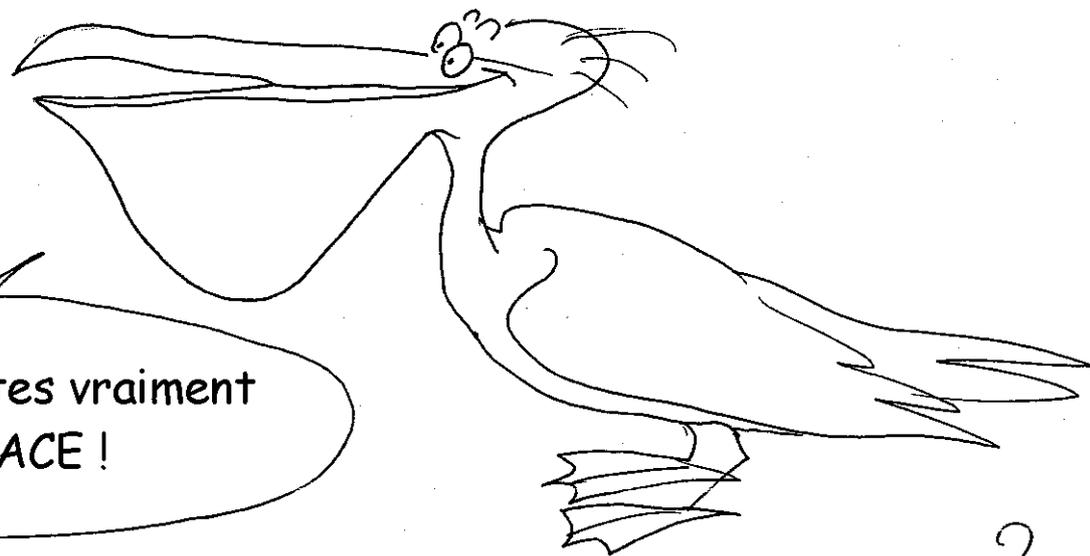


De toute manière l'histoire des sciences montre que notre vision du monde a toujours été en perpétuelle évolution. Pourquoi notre époque échapperait-elle à cette règle ? Périodiquement on constate un **CHANGEMENT DE PARADIGME**. La conception que nous avons des **CHOSSES** et des **PHÉNOMÈNES** se modifie profondément. Ainsi la **RELATIVITÉ RESTREINTE** et la **GÉOMÉTRIE DE L'UNIVERS**, les contradictions croissantes, qui se multiplient d'année en année en astrophysique, que les théoriciens tentent de négocier en inventant sans cesse de nouveaux mots, de nouveaux objets, comme la **MATIÈRE SOMBRE** ou **L'ÉNERGIE NOIRE** ne peuvent selon nous se résoudre qu'en introduisant une **NOUVELLE PERCEPTION DE LA GÉOMÉTRIE DU COSMOS** qui sera donc exposée dans le présent album.

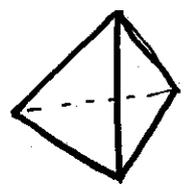


et, comme on dit :
"que les meilleurs gagnent"

Tirésias, vous êtes vraiment
une **TURBOLIMACE** !

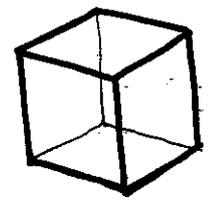


Platon (IV^e siècle avant JC) recensa quatre polyèdres réguliers (constitués de facettes identiques)



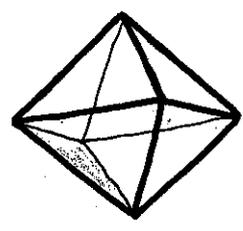
le tétraèdre :
4 triangles
équilatéraux

FEU



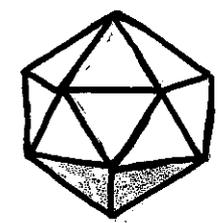
le cube :
six faces
carrées

TERRE



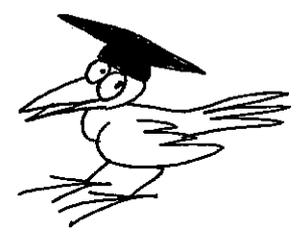
l'octaèdre :
huit triangles
équilatéraux

AIR

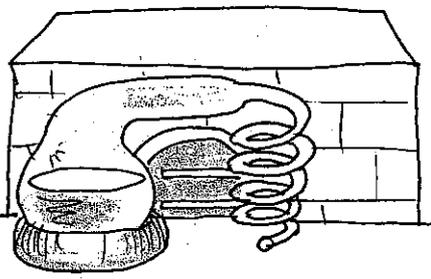


l'icosaèdre :
20 triangles
équilatéraux

EAU



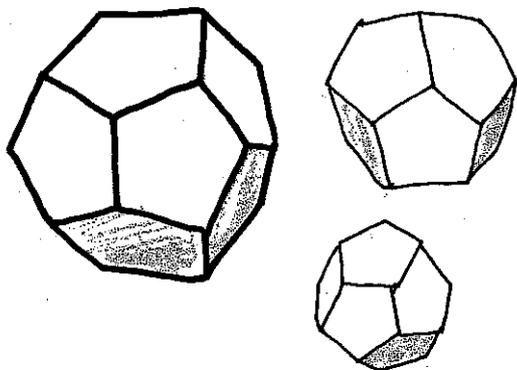
les alchimistes et ésotérismes de tous bords décidèrent de les relier aux QUATRE ÉLÉMENTS dont tout ce qui peuplait l'univers était censé être composé.



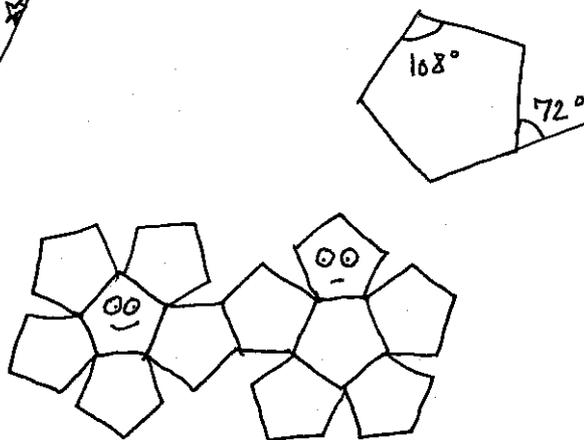
mais voilà que se produisit une catastrophe. On s'aperçut qu'il y avait un cinquième polyèdre !

LA QUINTESSENCE

DODÉCAÈDRE



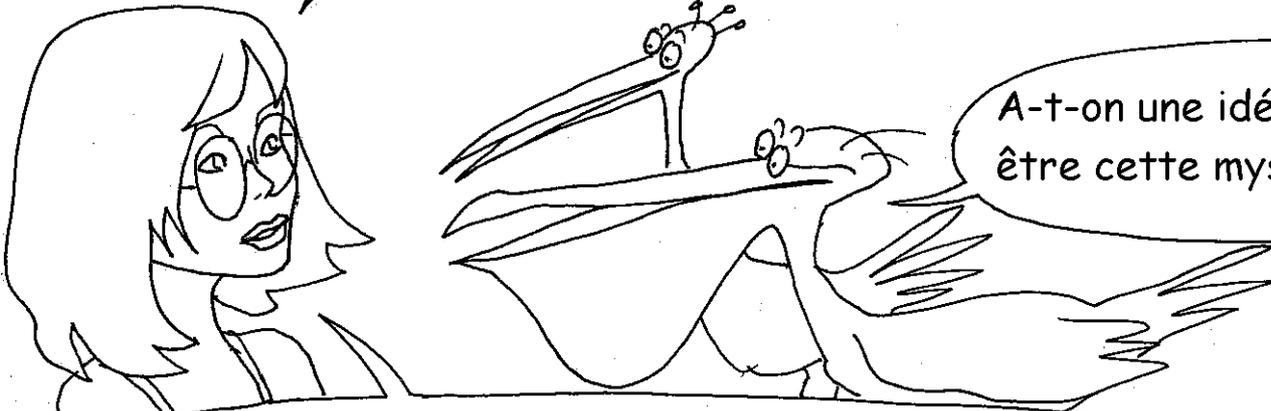
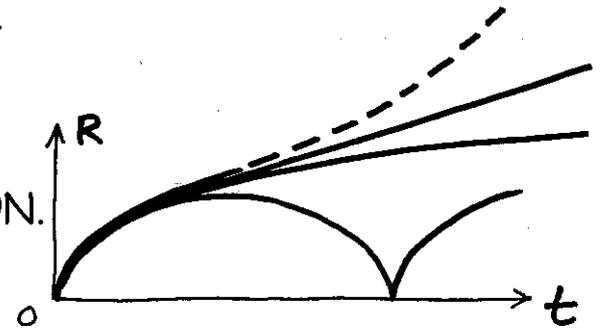
douze pentagones



La série des Polyèdres réguliers de Platon se continuait en fait par le DODÉCAÈDRE(*). EDRON veut dire "face" en Grec et DODEKA, "douze". Ce polyèdre a donc douze faces pentagonales. Les "scientifiques" de l'antiquité, puis du Moyen-Âge, qui avaient tout ramené à QUATRE ÉLÉMENTS fondamentaux: L'AIR, LA TERRE, LE FEU, L'EAU, se demandèrent à quelle nouvelle ESSENCE se référerait ce polyèdre. Ils la nommèrent la QUINTESSENCE, c'est à dire la CINQUIÈME ESSENCE.

(*) On démontre qu'il y en a exactement cinq. Mais voir l'annexe 1

Depuis 1917 tout le monde était convaincu que le futur du cosmos passait par un ralentissement plus ou moins prononcé de l'expansion cosmique. Or, il y a quelques années des mesures effectuées sur des supernovae très distantes ont mis en évidence une incompréhensible ACCÉLÉRATION. Les astrophysiciens invoquent un nouvel ingrédient remarquable : L'ÉNERGIE NOIRE (initialement baptisée... "quintessence" !!!)



A-t-on une idée sure ce que pourrait être cette mystérieuse énergie noire ?

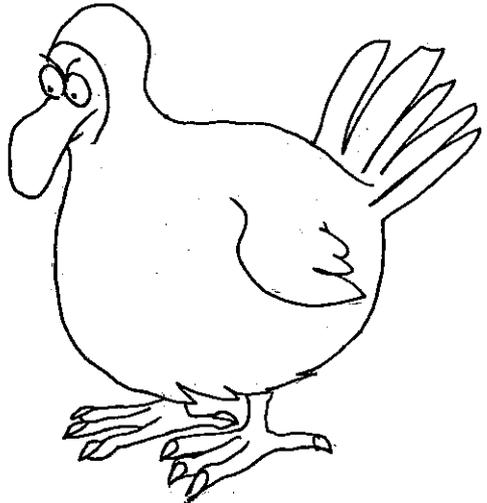
pas l'ombre d'une idée. Tout ce qu'on se borne à dire c'est que ce composant aurait un caractère RÉPULSIF

C'est du Molière, ce truc ! Il fut un temps où le mercure montait dans les baromètres parce que la Nature avait horreur du vide. Tout le monde sait que les somnifères agissent parce qu'ils ont une vertu dormitive. Cette énergie noire complète le bestiaire où on trouve déjà la mythique MATIÈRE SOMBRE

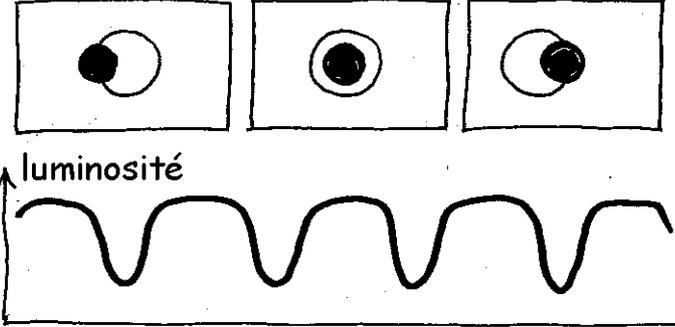


Tirésias, je vous arrête!

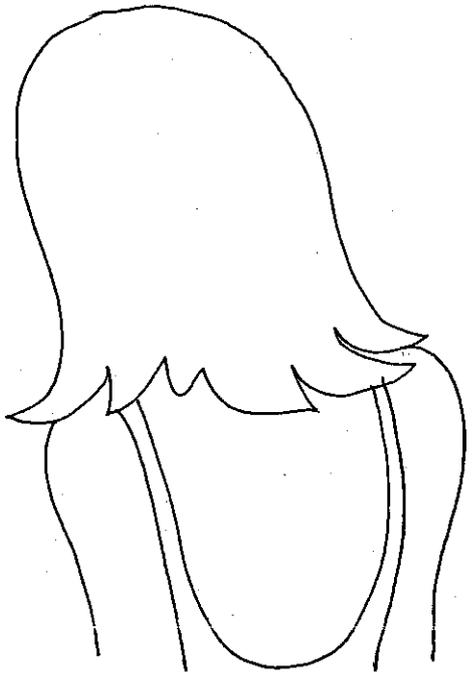
l'existence de la MATIÈRE SOMBRE est un fait avéré!



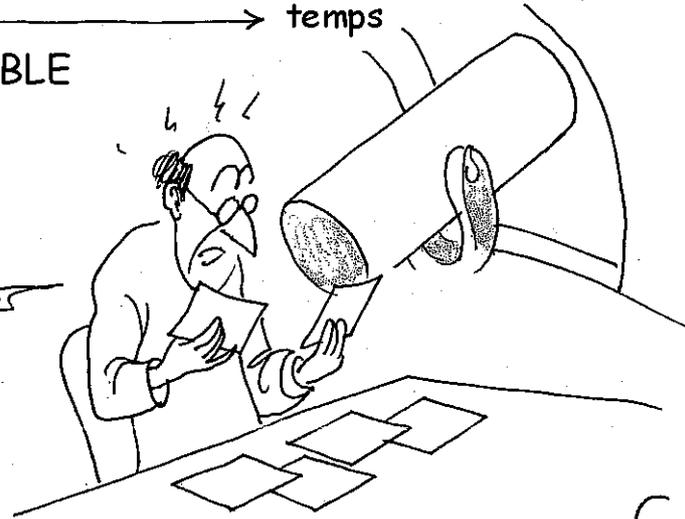
comment, un fait avéré?!? On n'a jamais été fichu de mettre ce truc en évidence. Pendant 20 ans on a pensé qu'il s'agissait de mini étoiles ou de gros Jupiter, des MACHOS(*). On les a traqué dans toutes les directions en espérant qu'en passant devant des étoiles ils créeraient des phénomènes d'occultation. Mais à chaque fois qu'une baisse de luminosité se produisait il s'est avéré qu'il ne s'agissait que de simples étoiles variables



ÉTOILE VARIABLE



et merde! Que des étoiles variables!!! J'ai perdu mon temps pendant 20 ans!
(**)

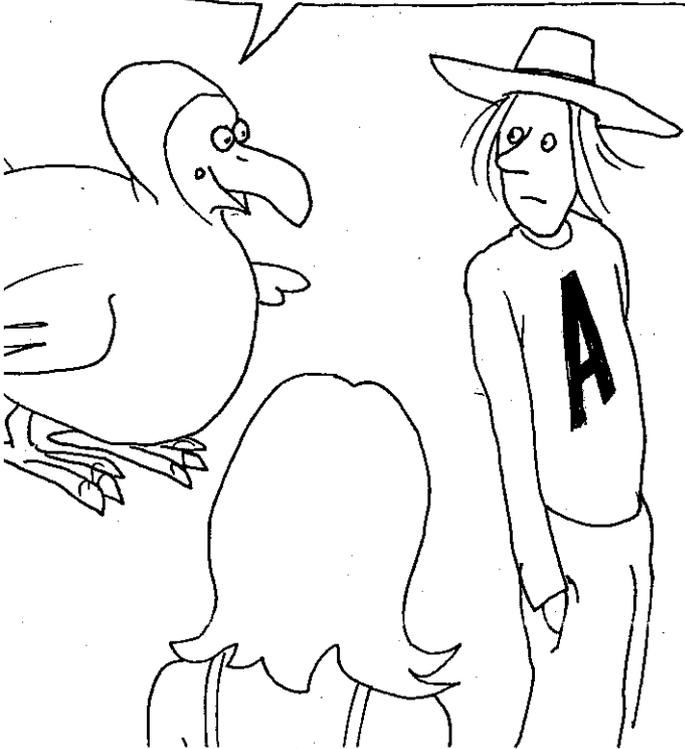
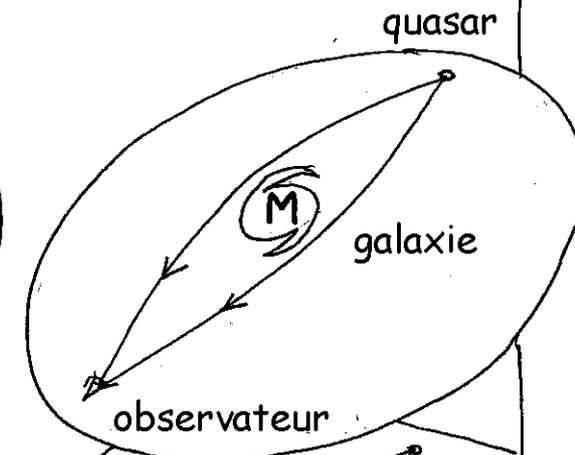


(**) authentique!

(*) Massive Compact Objects : Objets de petite taille dotés d'une masse.

L'EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE

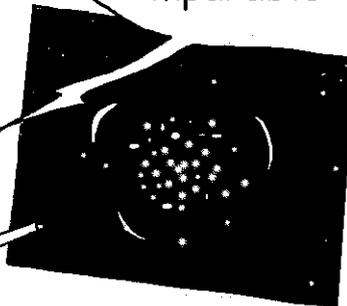
Depuis 1917 Einstein a proposé d'identifier **MASSE** et **COURBURE**. Ainsi les trajectoires des photons devinrent des **GÉODÉSIIQUES** de l'hypersurface, ce qui a permis de prévoir **L'EFFET DE LENTILLES GRAVITATIONNELLE** ainsi que l'existence de **MIRAGES GRAVITATIONNELS** dont l'existence fut confirmée au début des années quatre-vingt



chers collègues, l'affaire est réglée. Ces deux quasars, qui avaient exactement le même spectre, n'en font qu'un. Il s'agit d'un effet de **MIRAGE GRAVITATIONNEL**

Cette observation est, messieurs, cruciale. Elle démontre, sans contestation possible l'existence de la **MATIÈRE SOMBRE**. En effet, pour obtenir un tel effet de mirage il faut que la masse de cette galaxie soit le **DOUBLE** de celle que nous observons.

l'observation **OPTIQUE** est devenue quelque chose de secondaire, de dépassé. Et je vais vous en donner une seconde confirmation absolument imparable

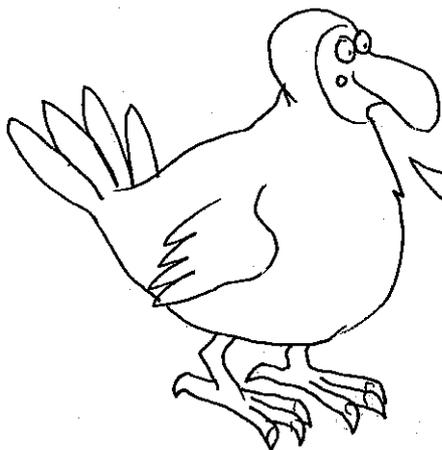


autour de ces galaxies constituant un **AMAS** vous voyez des images en forme d'**ARCS**. Ce sont celles de galaxies situées bien loin derrière cet amas.

Nous entrons donc, messieurs, dans un nouvel âge de l'astronomie. Nous pouvons mettre en évidence, grâce aux **EFFETS GRAVITATIONNELS** ce que peut-être nous ne serons jamais en mesure d'observer à l'aide de moyens optiques et cela quelle que soit la longueur d'onde considérée: lumière visible, ultraviolet, infrarouge ou même rayons X

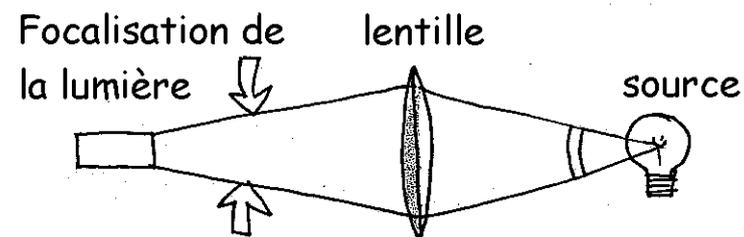
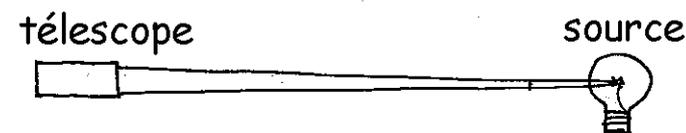
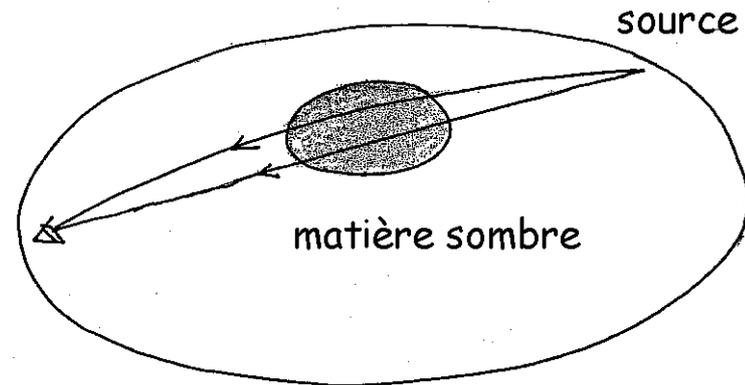
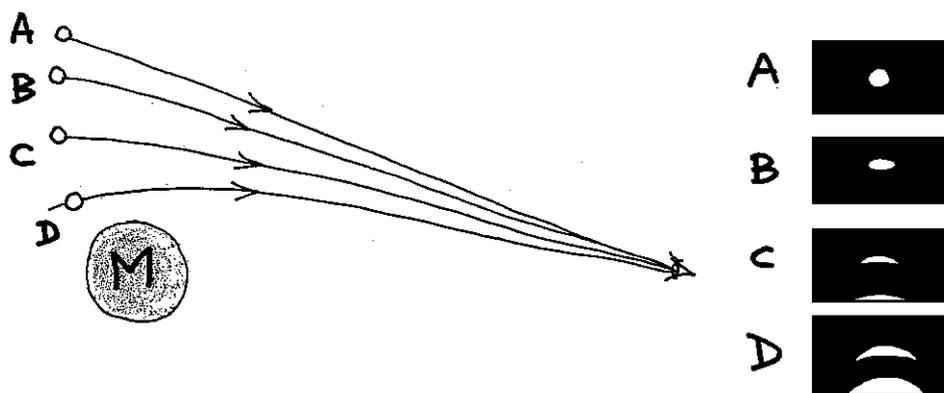


MICRO-LENSING

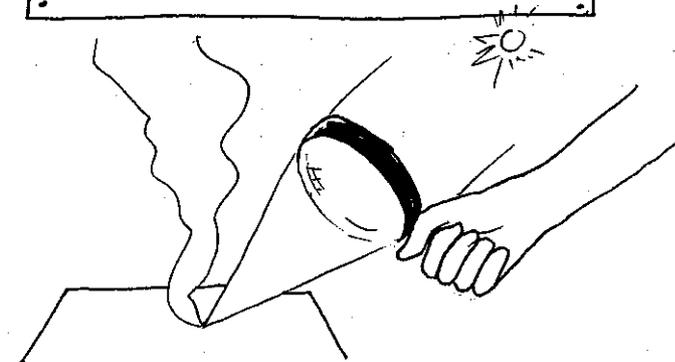


Ce sont les mauvaises langues qui disent que l'astrophysique est en crise. Nos outils ont simplement évolué. Ainsi, si la lumière peut traverser (*) une concentration de matière sombre elle subira un effet de lentille gravitationnelle qui va renforcer la luminosité de la source comme le ferait une lentille optique.

Mais il y a plus intéressant. L'effet de lentille gravitationnelle déforme l'image des galaxies. Ainsi des galaxies sphéroïdales pourraient apparaître elliptiques.



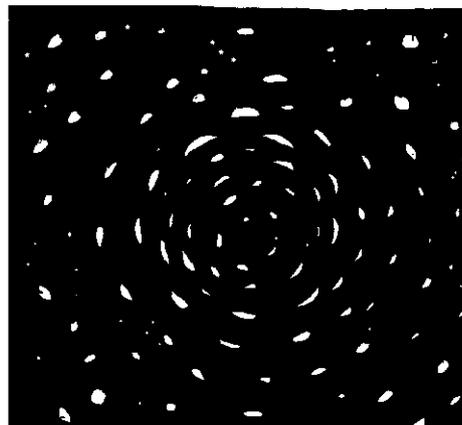
La lentille permet de concentrer la lumière



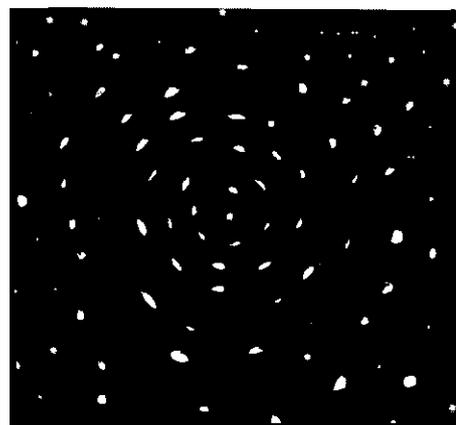
(*) VISIBLEMENT la lumière, qui est une onde électromagnétique, interagit très peu avec cette matière sombre, si tant est que celle-ci existe, puisqu'elle n'émet aucun rayonnement et se comporte comme un milieu totalement transparent. Reste cet effet de lentille gravitationnelle.



A

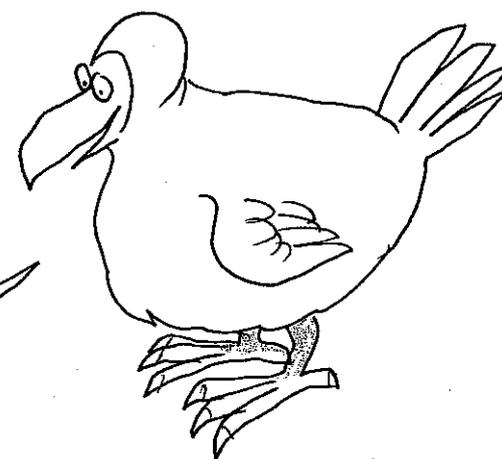


B



C

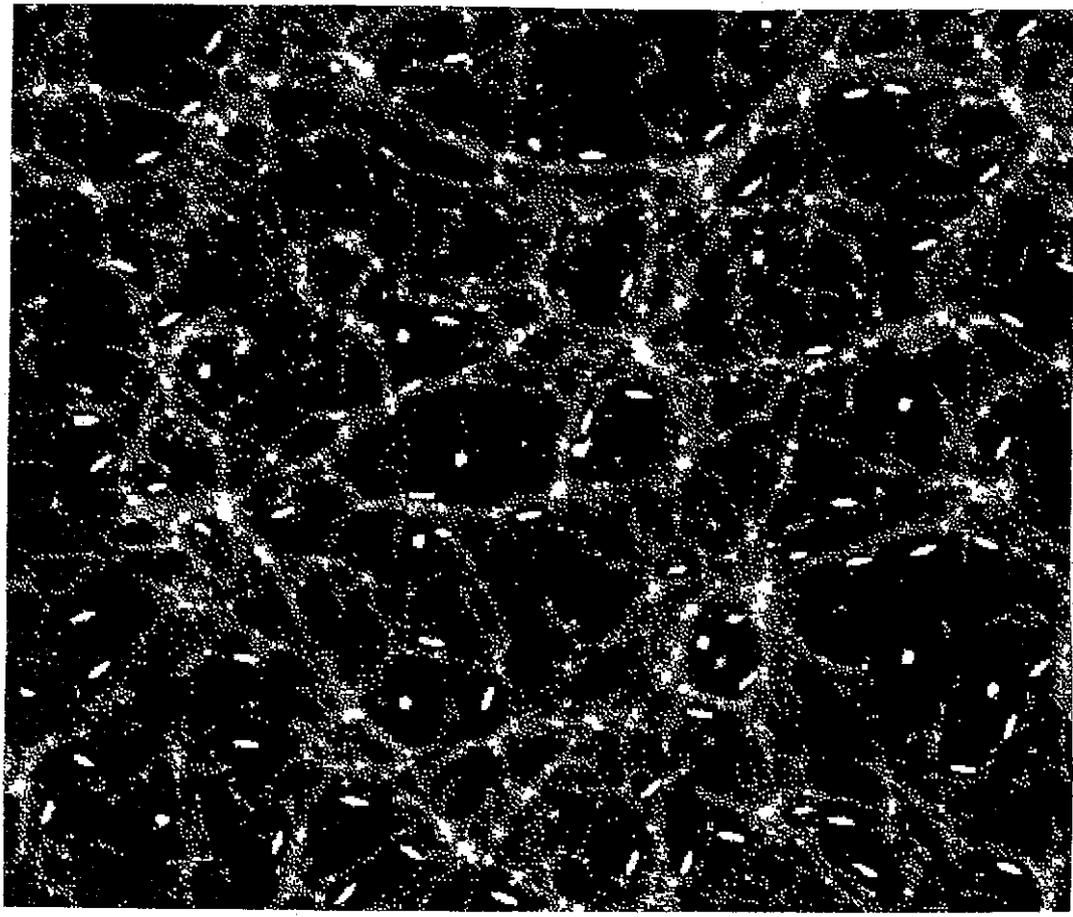
Imaginons que nous regardions une partie du ciel tapissé par de lointaines galaxies. En A un fond de ciel uniforme. En B un objet invisible distord ces images des galaxies par l'effet de lentille gravitationnelle. Certaines s'étirent en prenant l'aspect d'ARCS. En C l'effet est moins prononcé, mais reste visible à l'oeil nu. L'examen de cette distorsion des images des galaxies de l'arrière-plan permet d'évaluer la quantité de matière (sombre) qui produit cet effet. Dans le cas des AMAS DE GALAXIES cette masse est couramment 100 fois supérieure à celle que l'on mesure en faisant le compte des objets de l'amas qui sont visibles, et dont on situe la distance grâce à leur redshift. Mais ce que l'oeil humain peut deviner est sans commune mesure avec la capacité d'analyse, de traitement d'une image si on la confie à un ordinateur. Celui-ci est alors à même, à partir de la moindre déformation (statistique) des images des galaxies de l'arrière-plan de CARTOGRAPHIER cette matière sombre dans les trois dimensions(*)



Vous voulez dire que grâce à cette méthode on peut cartographier ce qu'on ne VOIT pas ?

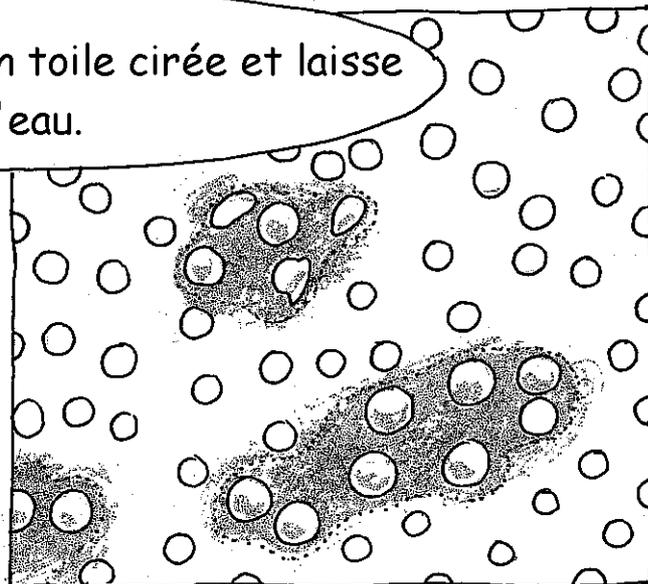
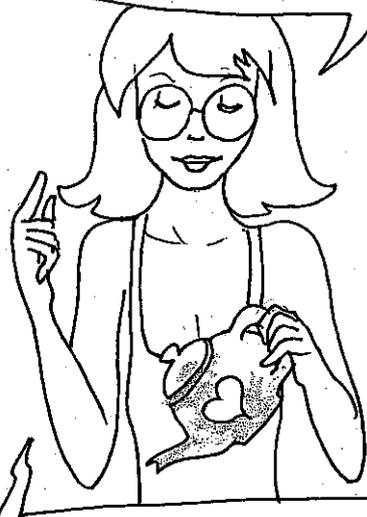
(*) Ces techniques ont commencé à être utilisées au début des années deux mille.

LA NOUVELLE ASTRONOMIE

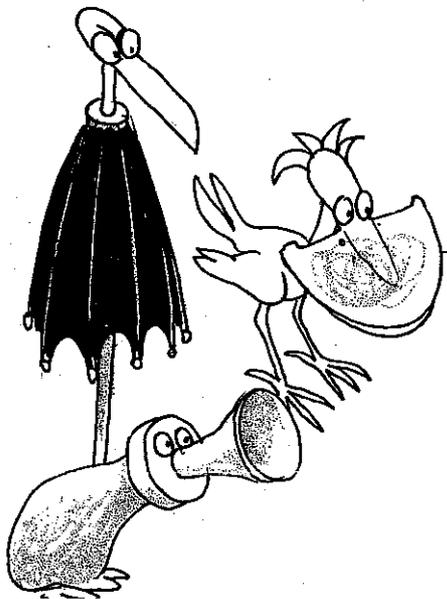


La première carte de la MATIÈRE SOMBRE
publiée en 2000

Prends une nappe en toile cirée et laisse tomber dessus de l'eau.



Suppose que cette nappe soit couverte de points blancs sur un fond coloré.



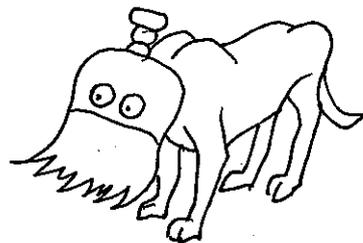
En analysant les distorsions des taches blanches, par l'effet de loupe, un ordinateur serait capable de reconstituer la forme des flaques d'eau qui créent le phénomène et sans voir ces étendues liquides.

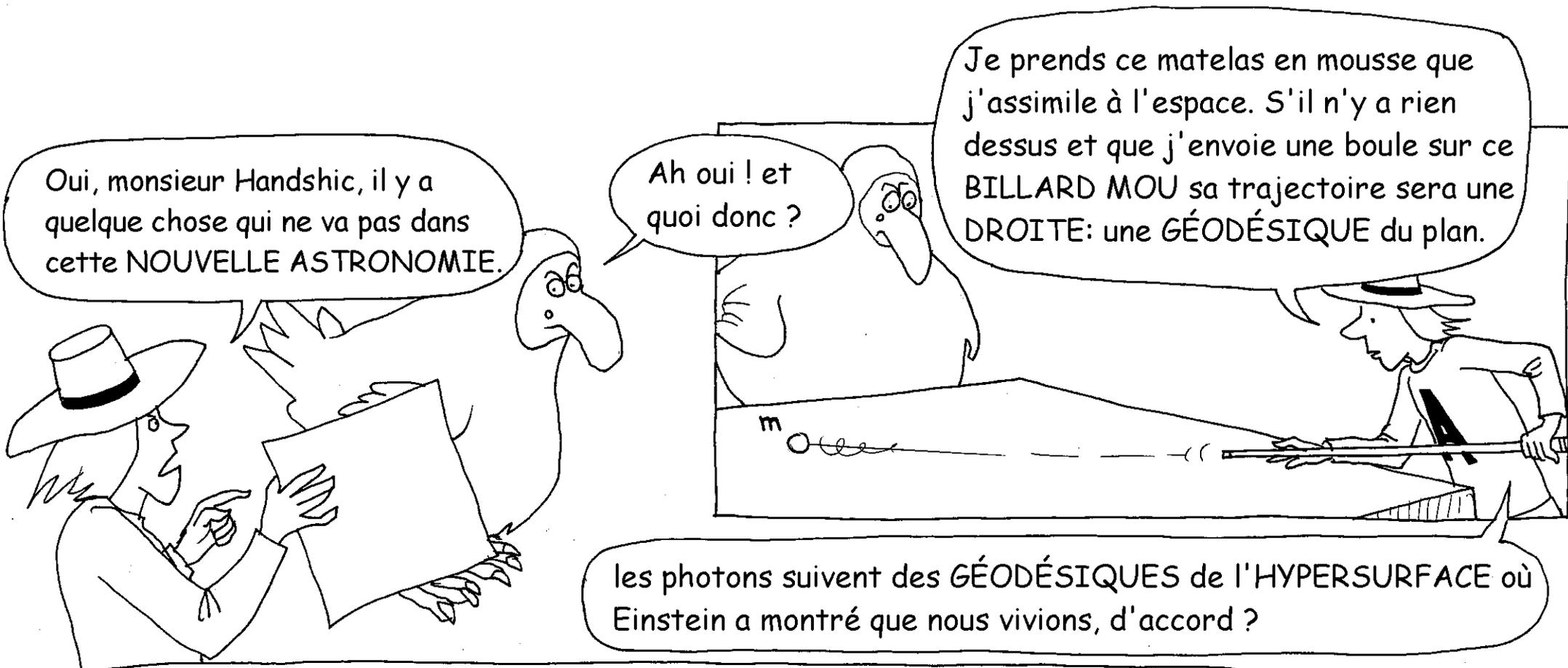


et voilà,
c'est fini !



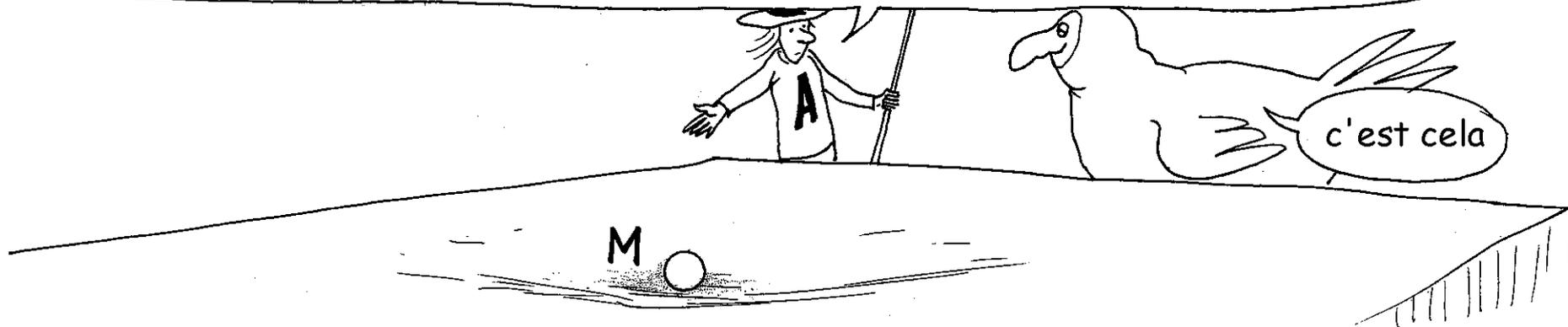
Attendez, monsieur le
dodo, il y a un HIC



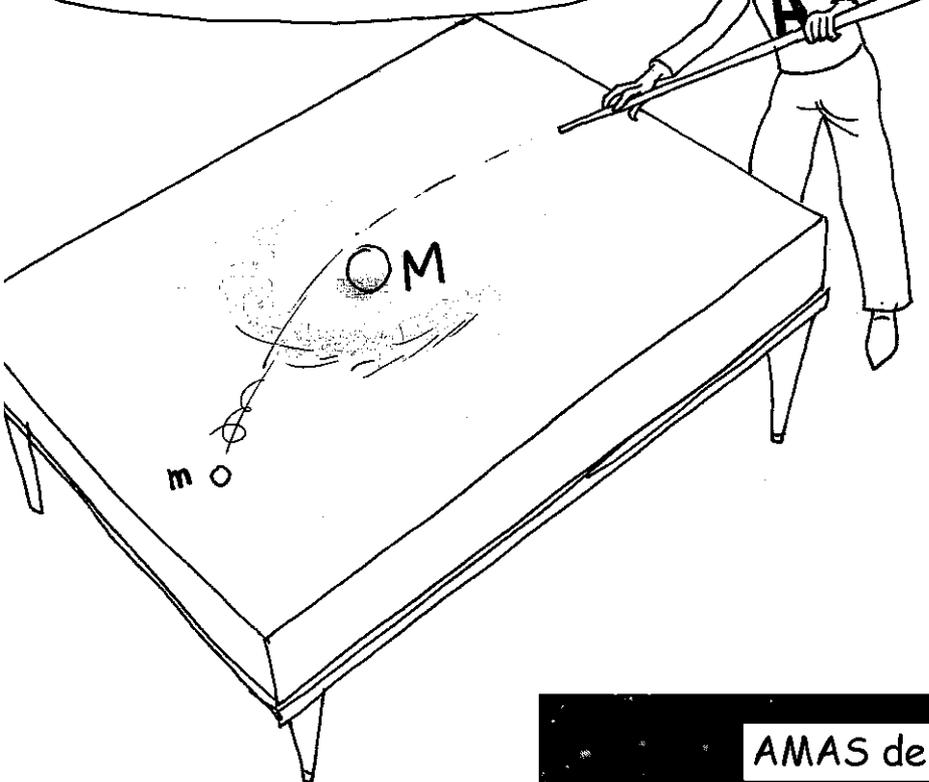


les photons suivent des GÉODÉSIQUES de l'HYPERSURFACE où Einstein a montré que nous vivons, d'accord ?

Si je pose une masse M sur ce billard mou, cela va creuser sa surface, créer une sorte de cuvette. Dites-moi si j'ai bien compris l'idée générale.

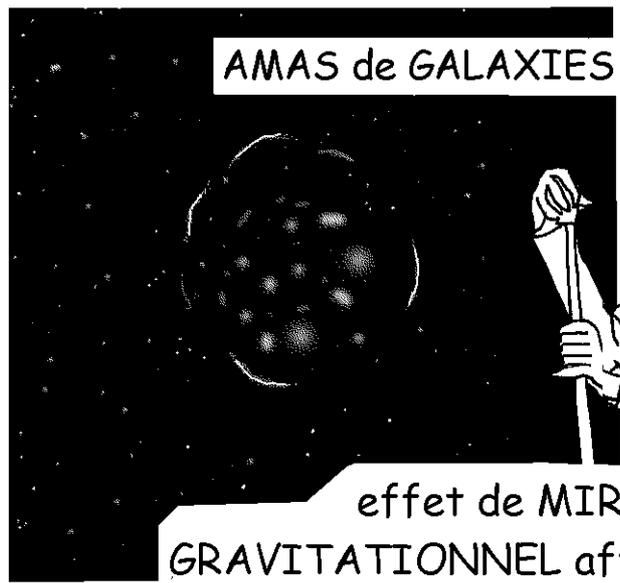


la cuvette dévie la trajectoire de ma boule de billard.



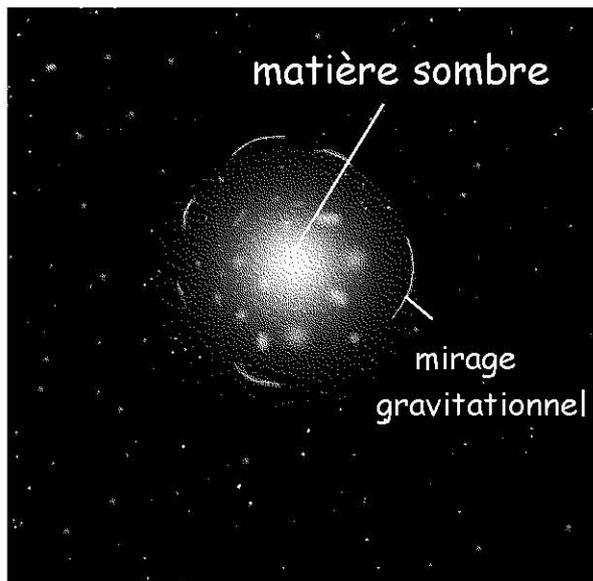
tout à fait! Vérifié en 1919 lors d'une éclipse totale de Soleil.

vous fondez votre PREUVE DE L'EXISTENCE DE LA MATIÈRE SOMBRE sur le fait que les effets de lentilles gravitationnelle constatés au voisinage de certains amas de galaxies sont CENT FOIS PLUS IMPORTANTS que ceux qui seraient dûs à la masse visible, en sommant celle de toutes les galaxies présentes dans cet amas.



effet de MIRAGE GRAVITATIONNEL affectant les images des galaxies situées dans l'arrière-plan de l'amas

Exact, et alors ?

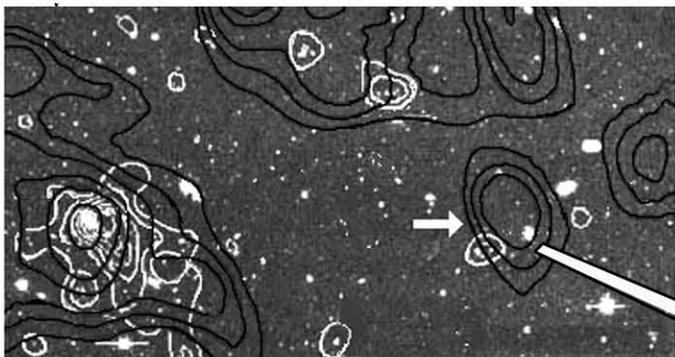


à partir de cela vous en déduisez que la masse M_{dm} de DARK MATTER, de MATIÈRE SOMBRE qui se trouve dans l'amas est 100 fois supérieure à la masse visible M_v

tout à fait. Mais quel est votre problème ?

Dès 1999 Meillier et Fort ont localisé des CONCENTRATIONS DE MATIÈRE SOMBRE dont la masse M_{dm} équivalait à celle de mille galaxies. Mais le problème est qu'au niveau optique il n'y avait rien de notable dans ce coin-là (*)

ils ont traqué de la matière ordinaire dans toutes les fréquences possibles: dans l'Infrarouge, l'Ultraviolet. Mais ça n'a donné aucun résultat.



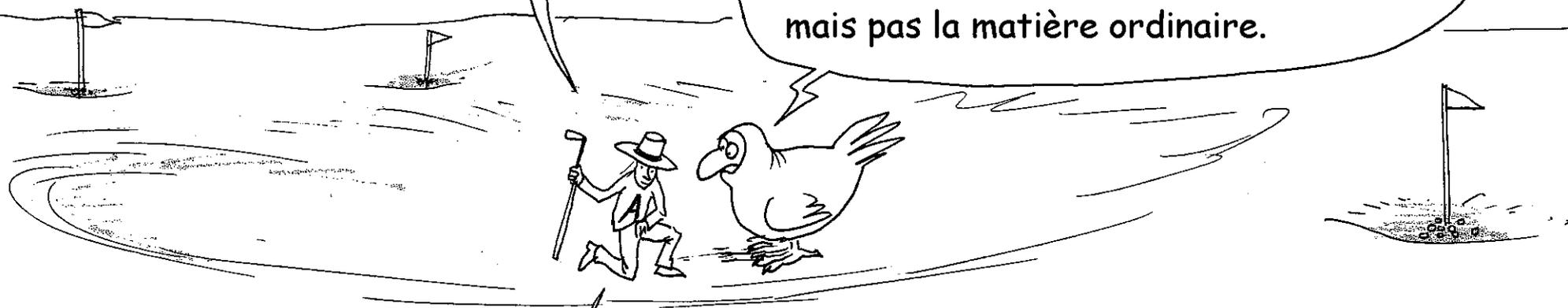
c'est un AMAS OBSCUR, constitué uniquement de matière sombre

(*) A quelque distance de l'amas Abell 1442 la flèche blanche indique la région concernée

Monsieur Handshic, je sais que votre morphologie ne vous permet guère de pratiquer le golf. Mais nous sommes bien d'accord que cette matière sombre, dont la masse équivaut à celle de mille galaxies représente une vaste et profonde "cuvette", à l'intérieur de laquelle on ne trouve ni galaxies, ni gaz, RIEN, C'es comme si on jouait au golf dans un terrain où se trouverait une vaste dépression à l'intérieur de laquelle aucune balle de golf n'aurait jamais atterri.

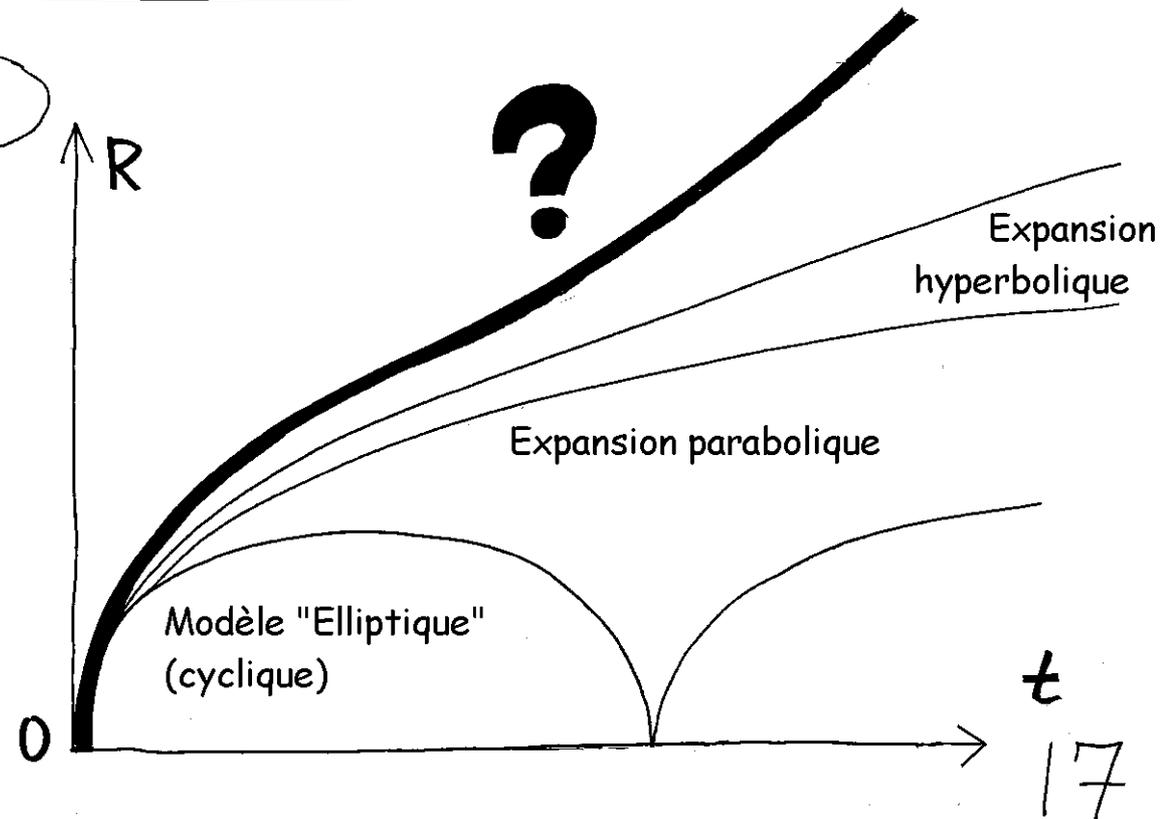
c'est sans doute parce que cette espèce de matière sombre-là n'attire que ... la matière sombre et bien sûr les photons, mais pas la matière ordinaire.

Houlà! Votre histoire commence à se compliquer sérieusement, vous ne trouvez pas ?



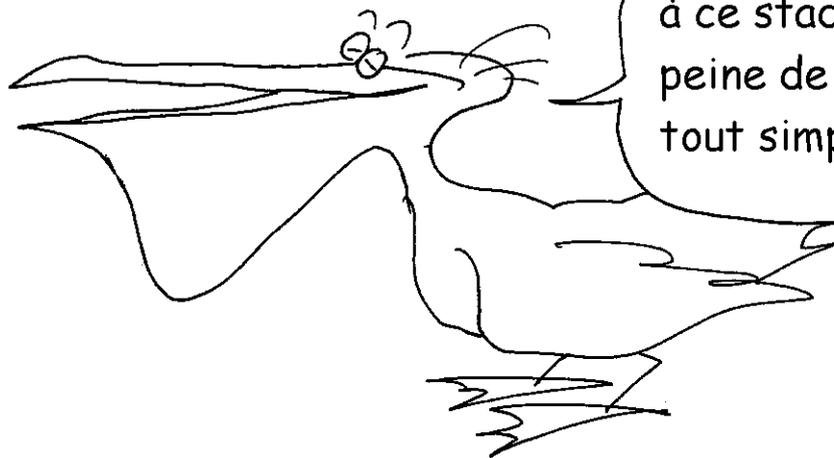
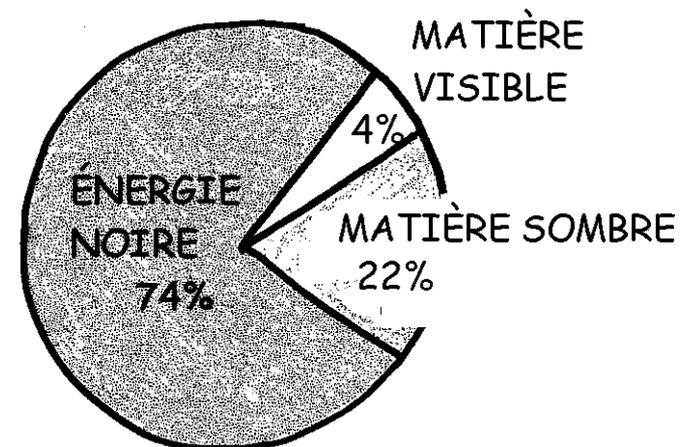
L'ACCÉLÉRATION COSMIQUE

Comme si les choses n'allaient pas déjà assez mal comme ça, des observations du début des années deux mille portant sur des supernovae extrêmement distantes confirmèrent que l'expansion cosmique, au lieu de se ralentir, comme on l'avait cru pendant trois quarts de siècle, allait au contraire en s'accéléralant, plus le temps passait. Quelle pouvait être la force mystérieuse responsable d'un tel phénomène ? On n'en savait strictement RIEN. On inventa donc un nouvel ingrédient, à rajouter à la mixture cosmique qui ressemblait de plus en plus à la soupe au canard des Marx Brothers. On lui donna un nom: l'ÉNERGIE NOIRE, en la dotant d'un POUVOIR RÉPULSIF.



Pour faire cadrer le MODÈLE COSMOLOGIQUE avec cette nouvelle données d'observation les astrophysiciens en sont arrivés à la conclusion que l'Univers était composé de

74% d'ÉNERGIE NOIRE
22% de MATIÈRE SOMBRE
4% de MATIÈRE VISIBLE



à ce stade on peut se demander si cela vaut encore la peine de faire des observations et si on ne pourrait pas tout simplement négliger ces misérables 4% observables.

Attendez, vous oubliez la théorie des cordes. Grâce à elle, un jour, tout finira par s'éclaircir et on vous sortira une THÉORIE DE TOUT

en attendant c'est une THÉORIE DE RIEN...



LA PHYSIQUE ET L'ASTROPHYSIQUE S'ENFONCENT DANS UNE CRISE SANS PRÉCÉDENT DANS L'HISTOIRE

Je crois qu'il est intéressant de citer le discours d'introduction prononcé par le président d'une université il y a plus de 20 ans:

"Bien que la théorie des cordes n'ait à ce jour produit aucune interprétation d'un phénomène, n'ait proposé la moindre expérience, ni fourni un modèle de quoi que ce soit, on notera, étant donné la masse croissante des articles qui sont publiés chaque année dans tous les pays l'extrême vitalité de cette nouvelle discipline" (*)



Un fossé, qui s'élargit d'année en année s'est créé entre les progrès spectaculaires des instruments d'observation et de mesure et la capacité des chercheurs à traiter et à modéliser ces données. Celle-ci est en pleine déliquescence. Autant l'époque est celle d'un boom technologique impressionnant autant le domaine fondamental semble en complète chute libre.

(*) En 2007 le nombre d'articles publiées a dépassé le chiffre astronomique de cent mille publications. Et le nombre de thèses de doctorat est à l'avenant.

La LOI DE PETER SMALL se confirme de jour en jour, qui dit que le produit de la capacité imaginative et créatrice d'un chercheur par la puissance de l'ordinateur dont il dispose est une constante.

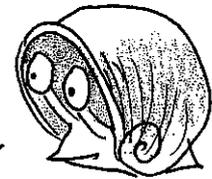


le maître mot de l'époque est la SIMULATION NUMÉRIQUE. Un astrophysicien théoricien qui aura passé sa vie à tenter, sans succès, de percer le mystère de la DYNAMIQUE DES GALAXIES est un chercheur (ou une chercheuse) qui aura mille fois lancé un calcul dont la base théorique se limite à la LOI DE NEWTON en changeant à chaque fois les paramètres et en espérant que, cette fois, le miracle se produira.

μερδε !

Ah, les bras spiraux de ma galaxie se sont encore évaporés au bout d'un tour.

l'ordinateur le plus puissant du monde ne peut toujours pas remplacer un paquet de neurones bien câblés.



Alors qu'on a modélisé les atomes et le fonctionnement des étoiles(*) on ne dispose d'aucun modèle théorique susceptible de décrire une galaxie. Non modernes "théoriciens" sont loin de posséder les connaissances et les outils de pensée de figures comme Eddington(**) et Chandrasekhar(***)

$$\begin{cases} \frac{\partial f}{\partial t} + v \cdot \frac{\partial f}{\partial r} - \frac{\partial \psi}{\partial r} = 0 \\ \Delta \psi = 4\pi G \rho \end{cases}$$

?

les connaissances en géométrie et en physique mathématique de l'astrophysicien moyen sont tout simplement ... inexistantes

(**) Calcula la température et la pression au coeur des étoiles (1923)
 (***) Calcula la limite qui porte son nom, caractérisant les naines blanches.
 Prix Nobel 1983, cinquante ans après (le record absolu)

(*) En 1931 cette maîtrise du calcul théorique avait permis à l'Américain d'origine Suisse FRITZ ZWICKY de prédire le phénomène des Supernovae et d'exposer son scénario lors d'une célèbre conférence donnée au CALTECH, et ce bien avant que celles-ci ne soient observées et étudiées.

En revanche, un système carriériste d'une redoutable efficacité a pu s'instaurer grâce à l'INTERNET et des bases de données comme SPIRE, qui comptabilisent les citations et les téléchargements d'articles scientifiques, ce qui permet à des GROUPES ORGANISÉS de s'entre-valoriser de manière totalement artificielle en se citant mutuellement. Comme par ailleurs ces mêmes groupes se sont emparé des systèmes de contrôle des revues scientifiques en bénéficiant de l'anonymat du REFEREE(*), ou ont créé leurs propres revues, le système s'est complètement verrouillé dans le champ d'IDÉES DOMINANTES en excluant du coup l'émergence de toute idée, de tout modèle réellement novateur. C'est ce qui a permis l'émergence de véritables IMPOSTURES SCIENTIFIQUES comme la THÉORIE DES CORDES (qui n'existe même pas sous forme de théorie explicite)

QUELQUES PERLES DE "L'UNIVERS ÉLÉGANT" de Brian Greene

4e de couverture: Une révolution scientifique. De l'infiniment grand à l'infiniment petit. L'unification de toutes les théories de la physique

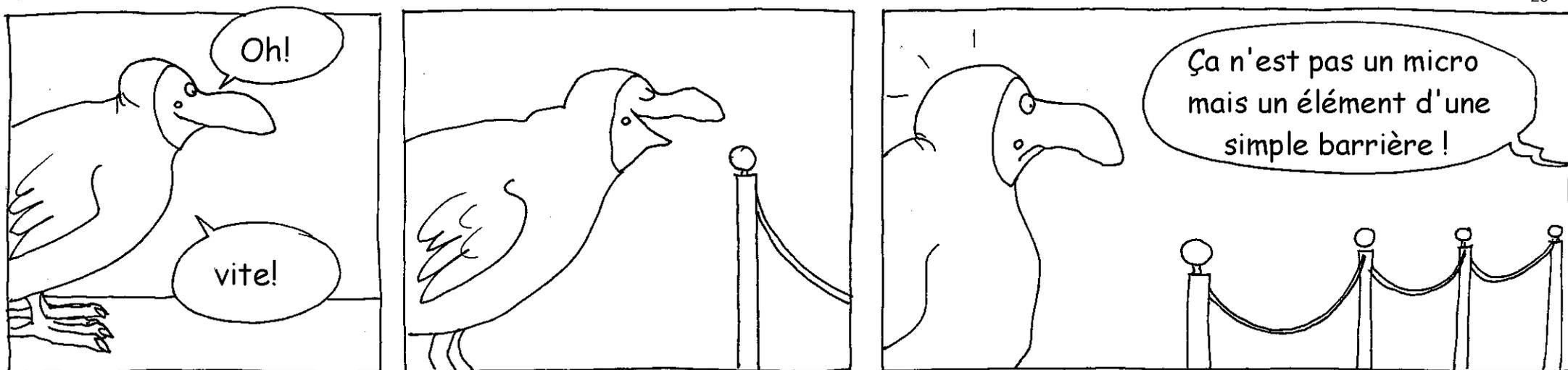
p.189: Nous verrons que la théorie des cordes, bien qu'elle soit la plus prédictive que les physiciens aient jamais étudié, ceux-ci ne sont pas en mesure de faire des prédictions suffisamment précises pour pouvoir être confrontées aux données expérimentales

p.252: Il est tout à fait envisageable que plus d'une génération de physiciens consacre sa vie à l'étude du développement de la théorie des cordes sans le moindre écho expérimental

p.300: Edward Witten (père des "cordes Cosmiques" et de la mythique "Théorie M") est considéré comme le digne successeur d'Einstein dans le rôle du plus grand physicien vivant. Certains vont même plus loin et disent qu'il est le plus grand physicien de tous les temps (...)

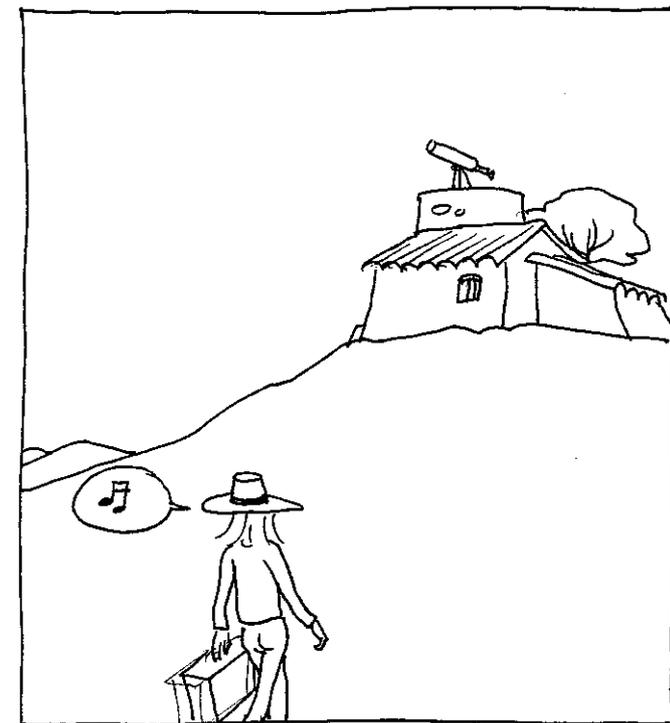


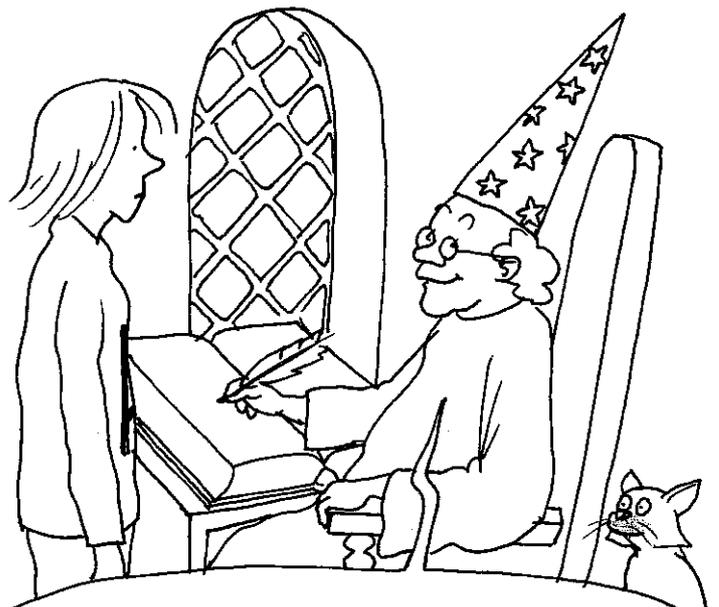
(*) Un expert choisi par le bureau de la revue, chargé d'évaluer l'article soumis



Enfin la science d'aujourd'hui est hypermédiatisée. Des réputations imméritées se construisent, ou des scientifiques médiocres bénéficient d'une aura simplement liée à leur talent de vulgarisateur.

revenons à cette histoire d'accélération du Cosmos et à cette énergie noire répulsive. À quoi cela peut-il correspondre ?



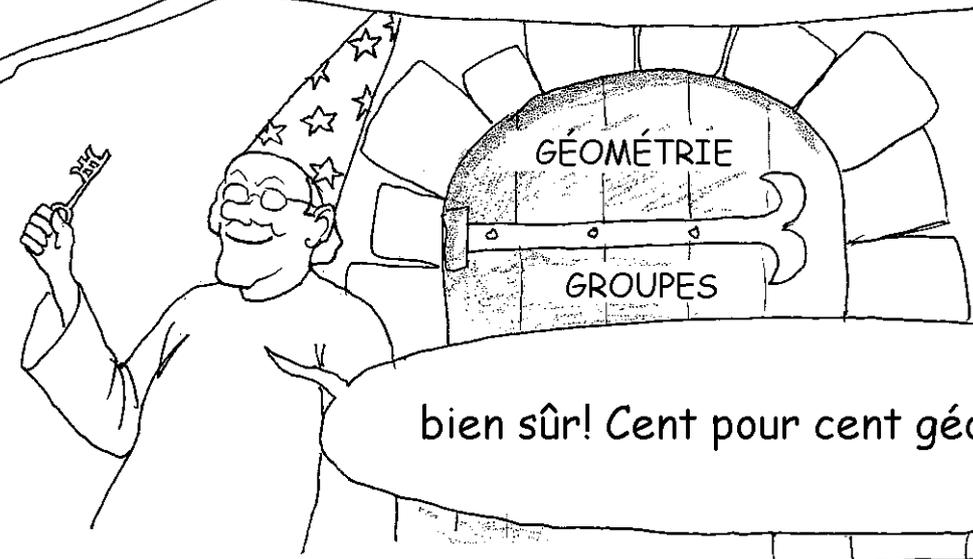
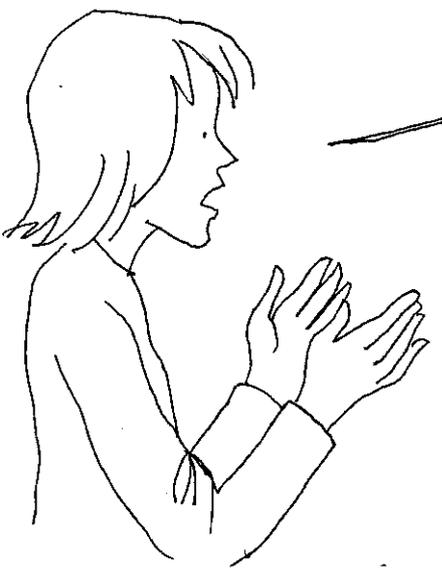


ah, te revoilà(*)
qu'est-ce qui t'amène cette fois ?



tu veux savoir ce qu'est la MATIÈRE ainsi que tous les attributs
qui s'y rapportent. Mais ne sais-tu pas que
TOUT EST GÉOMÉTRIE !

est-ce qu'une particule de masse m serait un
... être géométrique ?!?



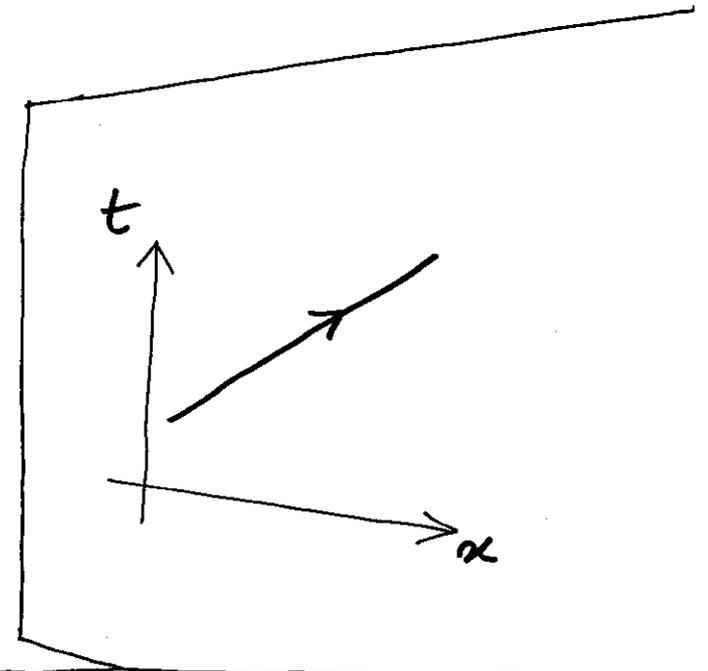
bien sûr! Cent pour cent géométrique

(*) Référence à la bande dessinée sur les GROUPES :

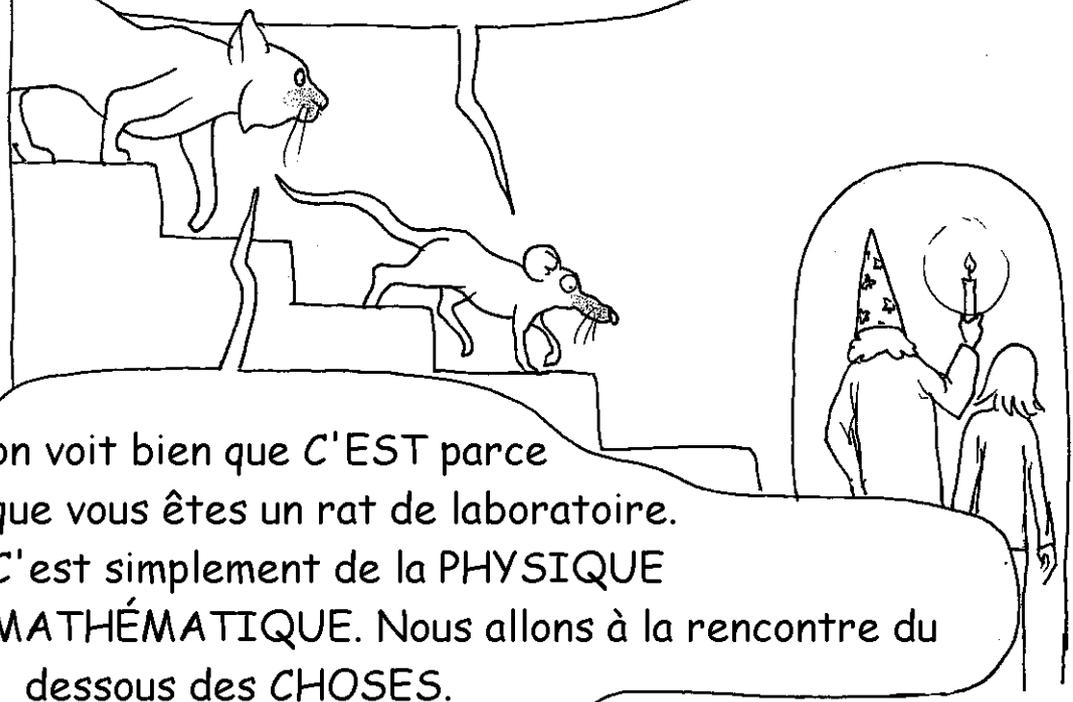
DIS-MOI COMMENT TU TE MEUS JE TE DIRAI QUOI TU ES

prenons une particule matérielle et traitons-la comme un POINT MATÉRIEL RELATIVISTE c'est à dire obéissant aux règles élémentaires de la RELATIVITÉ RESTREINTE. Considérons son MOUVEMENT dans l'ESPACE-TEMPS

là, tu donnes une représentation très rustique de ce mouvement dans un espace-temps à deux dimensions (x,t). Or tu sais que ce mouvement pour cadrer avec la Relativité Restreinte doit s'inscrire dans un espace de Minkowski (Annexe 2). Mais laissons de côté ce détail et concentrons notre intérêt sur l'orientation de ce mouvement (la flèche)

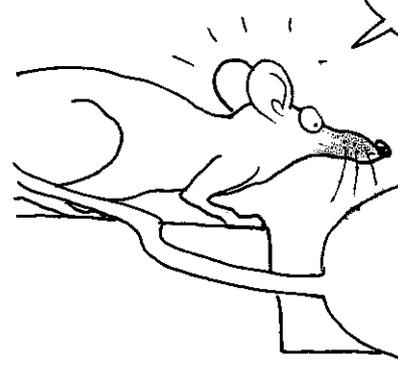


j'ai l'impression de descendre dans les catacombes de l'Univers



on voit bien que C'EST parce que vous êtes un rat de laboratoire. C'est simplement de la PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. Nous allons à la rencontre du dessous des CHOSES.

Je me demande si j'ai bien fait de venir



qu'est-ce que vous préférez ? Aller voir un psychanalyste ?

est-ce que tu as déjà vu ou tenu entre tes doigts une particule de masse m ? Dis le moi.



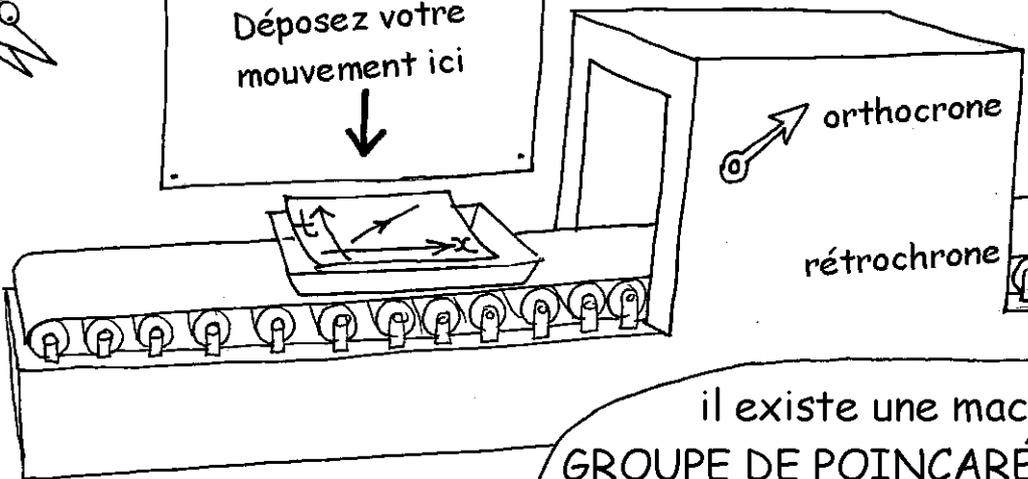
Eh bien, pas vraiment. On croit tenir les choses et puis on ne sait plus très bien ce qu'on tient, finalement.

VOUS QUI ENTREZ DANS CES LIEUX ABANDONNEZ TOUTE CERTITUDE

Pour les lecteurs qui disposent d'un (petit) bagage mathématique toutes ces choses sont expliquées dans l'annexe 4. Pour les autres nous nous contenterons d'images

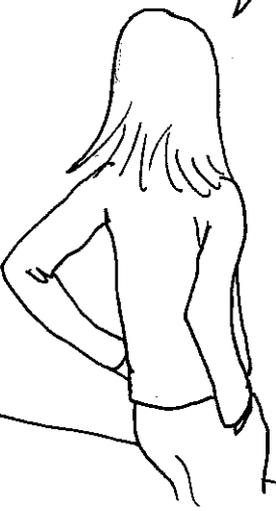
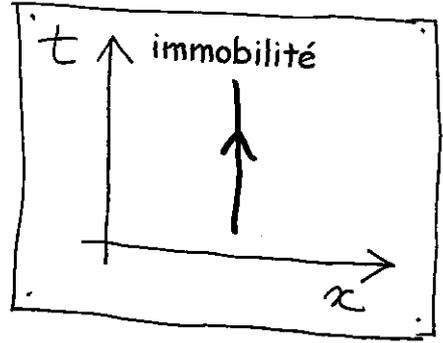
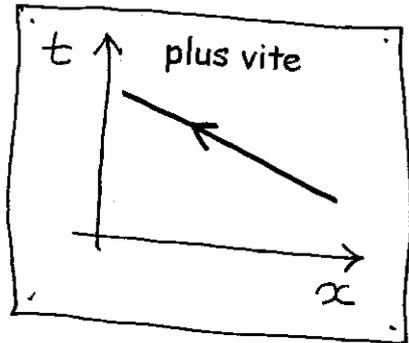
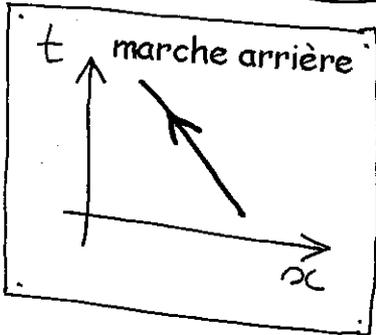
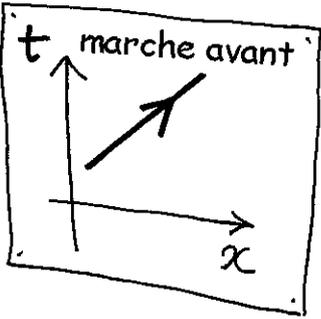


Déposez votre mouvement ici
↓



il existe une machinerie mathématique, dite GROUPE DE POINCARÉ(*) qui, à tout MOUVEMENT fait correspondre un autre MOUVEMENT. Ici le machin est réglé sur "ORTHOCHRONE" ce qui fait qu'à tout mouvement "passé -> futur" correspondra un autre mouvement "passé -> futur"

jusqu'ici ça va



(*) Tous ses secrets révélés dans l'Annexe 2

Qu'est-ce que c'est que ce bizarre levier à deux positions: "orthochrone" et "rétrochrone" ?

ça, c'est la clé de la boîte de Pandore

Si tu te donnes un MOUVEMENT dans l'espace-temps, orthochrone, c'est à dire ORIENTÉ dans le sens passé-futur, la moitié des éléments du groupe de Poincaré va le transformer en un autre mouvement de même orientation temporelle, mais l'autre moitié du group le transformera en mouvement "futur passé"

diable! existerait-il des particule qui remonteraient le temps ?

le groupe nous l'indique

le groupe et l'espace sont étroitement liés. Ils se confèrent mutuellement leur existence

oui, mais est-ce que le groupe C'EST la réalité ?

ça ne répond pas à ma question: des particules cheminant à REBROUSSE-TEMPS peuvent-elles exister ?

tu étais venu parce que tu te posais des questions sur la MATIÈRE, ce me semble. Alors faisons une expérience. Je considère le mouvement passé-futur d'une particule de masse m

tu mets la machine en marche, mais cette fois tu règles le levier sur "rétrochrone"

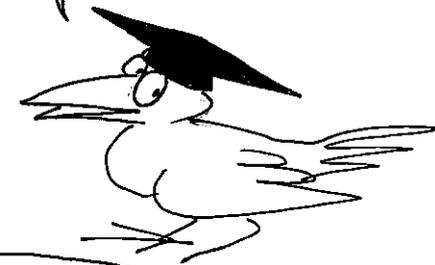
autrement dit je fais agir des éléments rétrochrones du groupe de Poincaré

suspense: le résultat de cette opération sur la page suivante

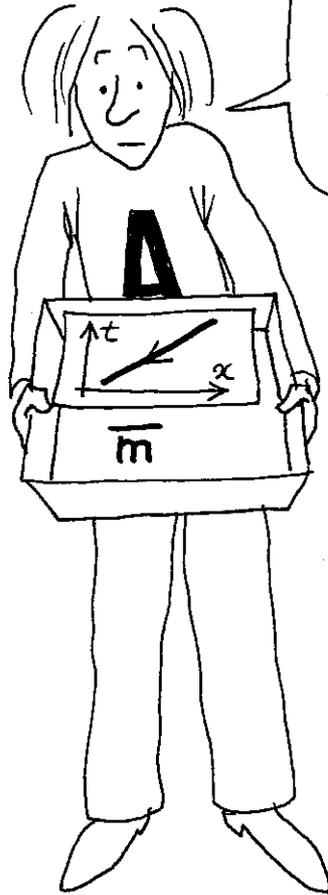
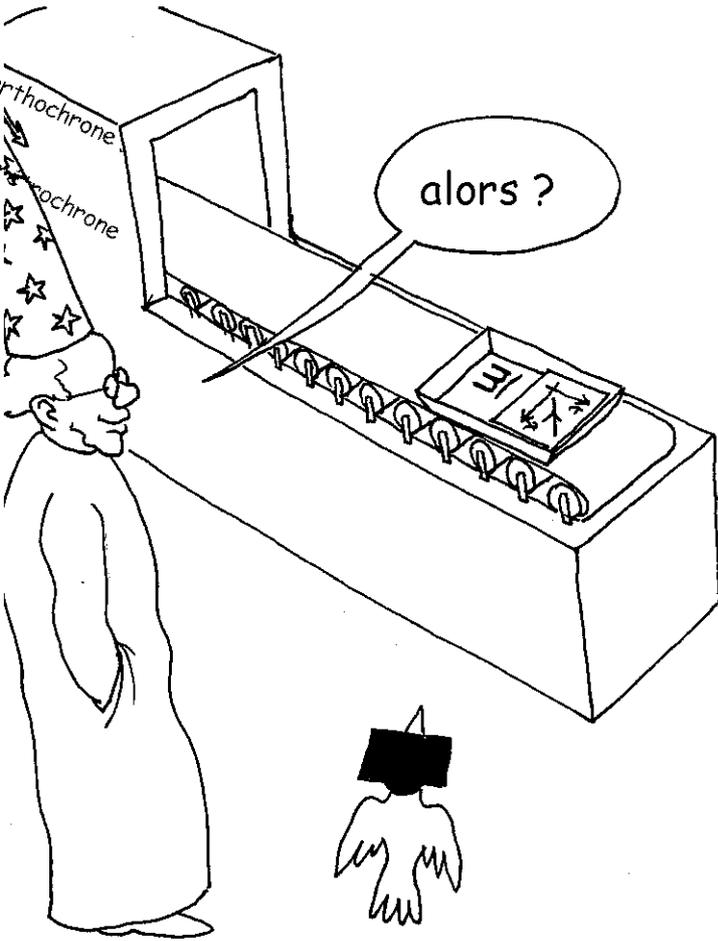
ouh là là. ça ne me plaît pas du tout, ce coup-là !

si vous avez peur à ce point, allez chez les gens des supercordes. Là, vous ne risquerez pas d'être déstabilisé par quelque découverte imprévue

MOUVEMENT
↓



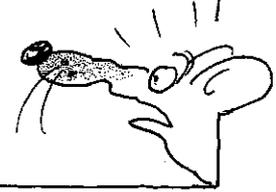
MASSÉS ET ÉNERGIES NÉGATIVES

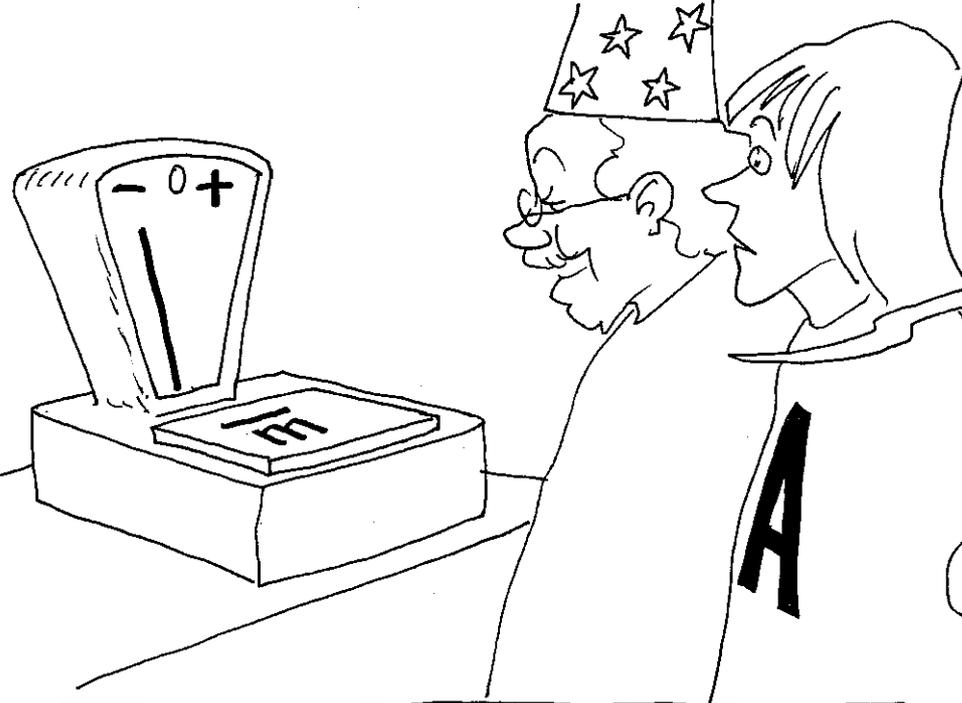


j'obtiens un mouvement du POINT MATÉRIEL RELATIVISTE qui s'effectue maintenant dans le sens FUTUR-PASSÉ. Ma particule REMONTE BIEN LE TEMPS, mais sa MASSE est devenue \bar{m}



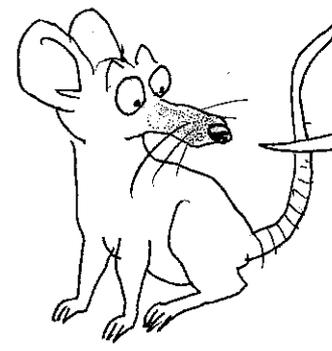
qu'est-ce que c'est que cette balance-là ?!?





Eh bien nous y voilà. Les particules dont on dit "qu'elles remontent le temps" ont simplement des **MASSES NÉGATIVES** et des énergies $\bar{E} = \bar{m}c^2$ **NÉGATIVES**.

je vous avais dit que ça ne sentait pas bon, ce truc. Si deux particules d'énergies opposées se rencontrent ça donne $E + \bar{E} = 0$ c'est à dire du ... **RIEN(*)**



arrêtez du flipper bêtement. On est dans du conceptuel, sur une simple feuille de papier

attendez, que se passe-t-il avec les photons, qui ont une masse nulle ?



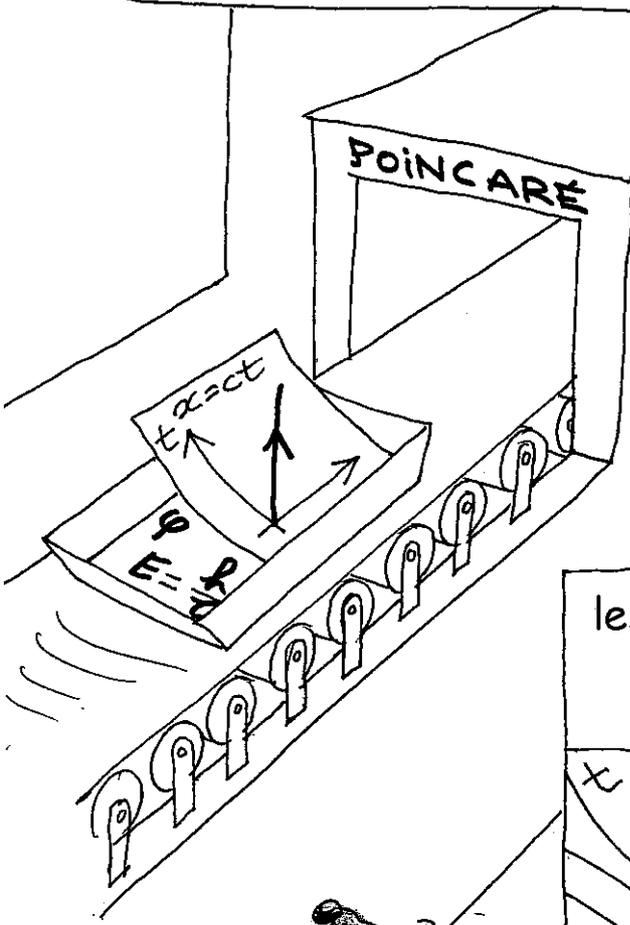
fais l'expérience. Fait agir le groupe de **POINCARÉ**

(*) Et non pas des photons comme dans la soit-disant ANNIHILATION MATIÈRE-ANTIMATIÈRE où l'énergie est conservée et qu'on devrait plutôt qualifier de DÉMATÉRIALISATION

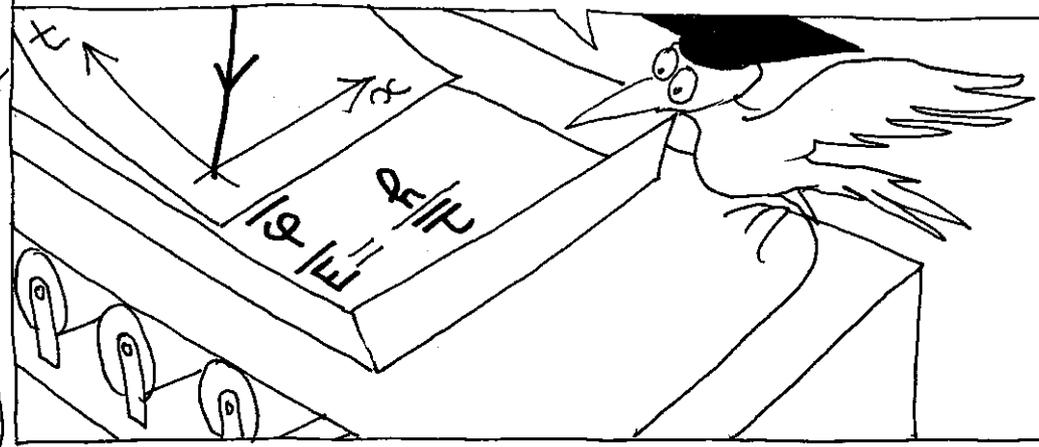
En avant pour le photon ϕ dont l'énergie est $E = h\nu = \frac{h}{\tau}$ où τ est la période de l'onde associée

avec toujours le commutateur sur "RÉTROCHRONE" pour transformer un mouvement "passé-futur" en mouvement "futur-passé"

ça a l'air tout simple



les photons qui cheminent "à rebrousse-temps" ont des énergies négatives $\bar{E} = \frac{h}{\bar{\tau}} < 0$ puisque $\bar{\tau} < 0$



tes yeux et tes instruments de mesure ne sont pas équipés pour capter les photons à énergie négative qui sont émis et captés par les particules dotées d'une masse \bar{m} négative

alors nous ne pouvons ni voir, ni observer ces masses négatives

tout à fait

et vis à vis de la gravitation ?

tu appliques:

$$F = \frac{G m m'}{d^2}$$

m et m s'attirent mutuellement selon **NEWTON**

\bar{m} et \bar{m} s'attirent mutuellement selon **NEWTON**

m et \bar{m} se repoussent mutuellement selon **ANTI-NEWTON**

si j'arrivais à conserver une masse négative dans une boîte alors, repoussée par la Terre elle ferait s'envoler cette boîte

elle passerait au travers et effectivement s'envolerait

elle ... s'annihilerait avec les particules de masse positive qui constituent la boîte, non ?

même pas! réfléchis...

LE PASSE MURAILLE

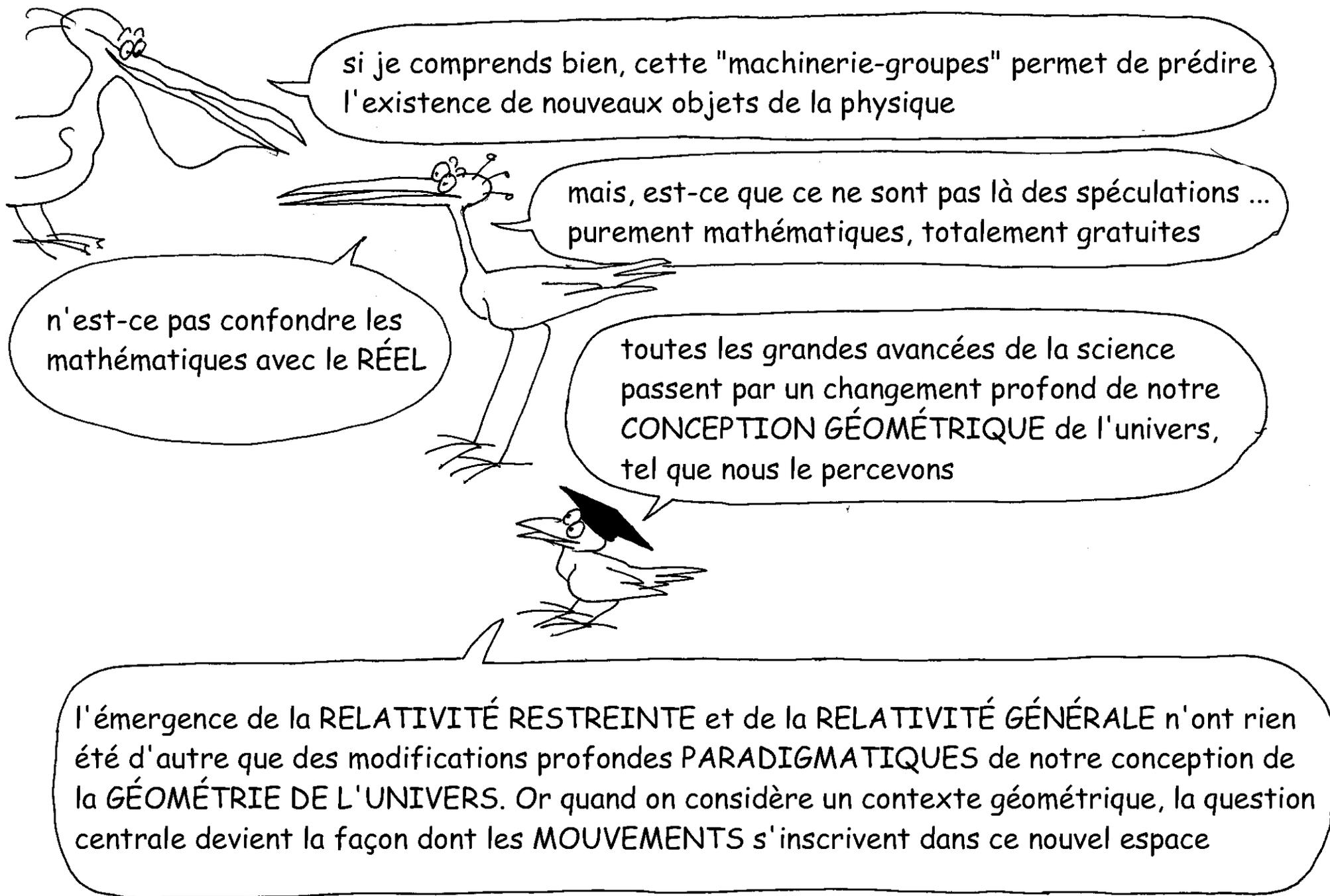
La matière, aux densités ordinaires est faite de minuscules atomes, séparés par beaucoup de vide. Et tout cela ne tient ensemble que grâce à des FORCES ÉLECTROMAGNÉTIQUES ces mêmes forces qui empêchent votre postérieur de passer au travers de la chaise sur laquelle vous êtes assis pendant que vous lisez ce livre; et cela, bien que celui-ci, comme votre séant soit faite également de minuscules atomes, séparés par beaucoup de vide. Si on supprimait d'un coup ces forces électromagnétiques, qui se négocient par le jeu d'échanges de photons(*), dotés d'une énergie positive, vous passeriez immédiatement au travers de votre siège, puis du plancher et vous tomberiez en chute libre vers le centre de la Terre, n'étant plus sensible qu'à la FORCE DE GRAVITÉ.

Les masses négatives peuvent se lier entre elles, interagir grâce à une force électro-magnétique se traduisant par des échanges de photons(*) D'ÉNERGIE NÉGATIVE.

Un ensemble de masses négatives ne peut interagir avec notre propre matière qu'à travers la FORCE DE GRAVITÉ. Comme ces deux types de matières se repoussent, toute structure constitué par des masses négative subirait de la part de la Terre un effet ANTIGRAVITATIONNEL. Par ailleurs cette structure serait capable de traverser n'importe quelle barrière de matière. Elle serait invisible à nos yeux, indétectable par nos instruments de mesure et d'observation. La réciproque serait également vraie - les passagers d'une nef constitués de masses négatives pourraient traverser la Terre sans la voir.

La Direction

(*) qu'on qualifie de VIRTUELS dans la THÉORIE QUANTIQUE DES CHAMPS



La relativité restreinte a fondu l'espace et le temps en un même objet: une HYPERSURFACE 4d, UN ESPACE-TEMPS où les mouvements s'inscrivaient désormais selon des GÉODÉSIQUES de celle-ci. La Relativité Générale a rajouté la COURBURE. La THÉORIE DES GROUPES recense les différents types de MOUVEMENTS qui peuvent être inscrits sur une hypersurface donnée et la PHYSIQUE MATHÉMATIQUE identifie ces mouvements à des objets de cet univers, selon le principe:

DIS-MOI QUEL EST TON MOUVEMENT
JE TE DIRAI QUOI TU ES

Ainsi, dans un contexte géométrique donné, quand on identifie un nouveau type de mouvement possible, grâce à L'OUTIL-GROUPE cela suggère l'existence de nouveaux OBJETS, dérivant de ces mouvements

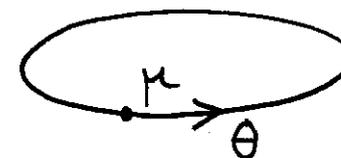
mais, de grâce, donnez-moi un exemple concret, sinon ces discours ressembleront à ceux des gens des SUPERCORDES

BLA BLA...

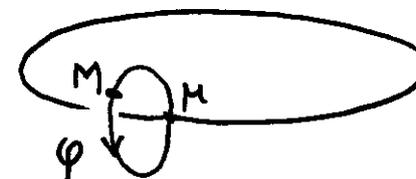
À la différence que ceux-là n'ont ni contexte géométrique, ni groupe, ni mouvements, ni objets. En résumé ils ne savent même pas de QUOI ils parlent.

UNE CINQUIÈME DIMENSION

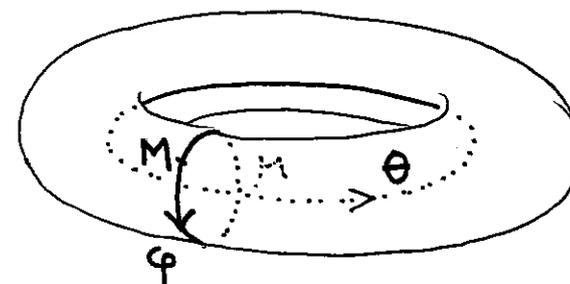
En ajoutant une dimension supplémentaire on enrichit le contexte géométrique. Prenons un univers unidimensionnel FERMÉ représenté par un simple cercle



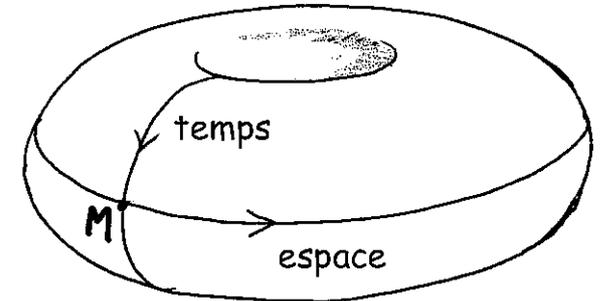
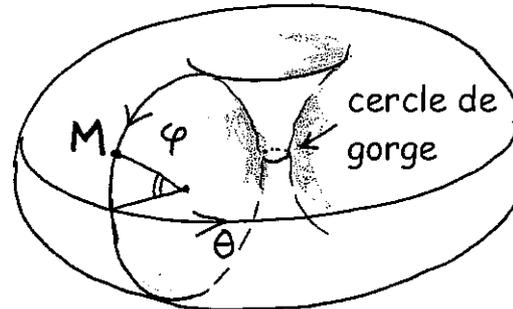
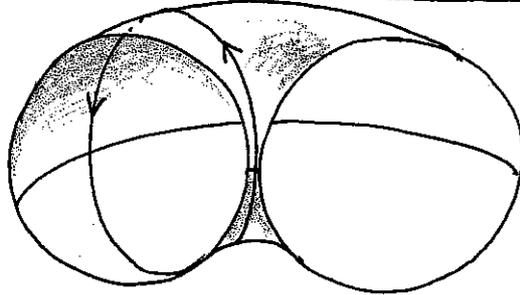
en tout point de ce cercle, rajoutons une dimension supplémentaire, également fermée On l'appellera FIBRE



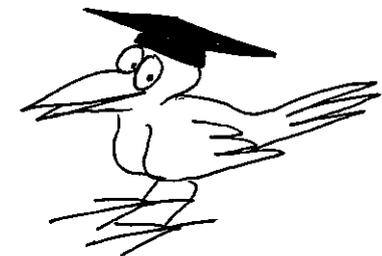
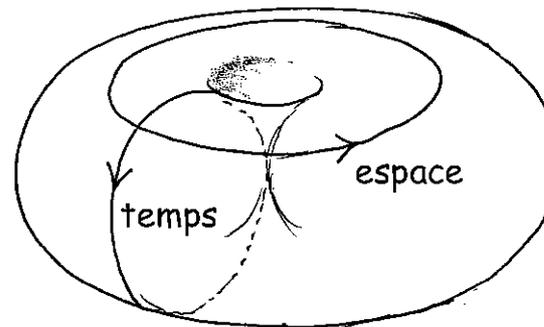
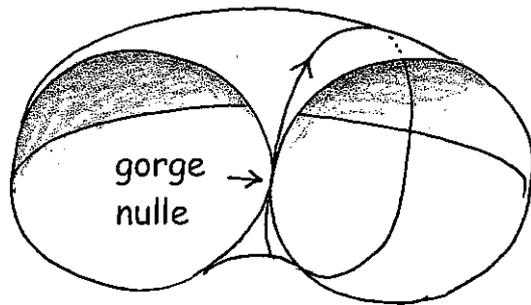
l'objet obtenu, à deux dimensions devient un TORE T2



Que savons-nous de la TOPOLOGIE (*) de l'espace où nous vivons ?
 Nous ne savons même pas s'il est infini ou refermé sur lui-même. On
 peut imaginer par exemple un espace temps 2d qui ait la topologie
 d'un TORE T2



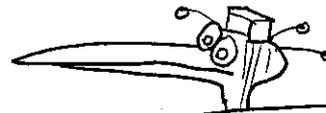
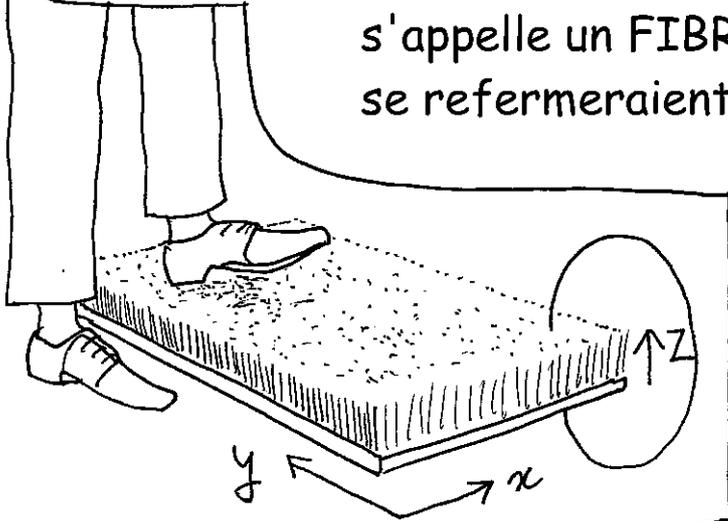
en chaque point d'un cercle, représentant le temps (φ) on fixe un autre cercle (θ) censé figurer
 un espace fermé(*). Le cercle de gorge est censé représenter un BIG BANG et un BIG CRUNCH
 réunis, sans "singularité initiale". Au cas où on tient absolument à avoir une singularité on peut
 considérer un TORE À GORGE NULLE



(*) on peut indifféremment fixer un "cercle temps" en chaque point d'un "cercle espace"

En chaque point de mon espace-temps 2d je peux monter un nouveau cercle et réaliser un TORE T3. On passe ainsi d'un espace 2d à un espace 3d, en opérant une FIBRATION(*). Une image d'une telle transformation d'un espace 2d en espace 3d est le paillason. En chaque point (x,y) d'un objet plan on monte une FIBRE z . L'objet 3d obtenu s'appelle un FIBRÉ(*). Il faut imaginer un monde où les fibres du paillason se refermeraient sur elles-mêmes (ce qui rendrait ce paillason inutilisable).

Bref, nous pouvons imaginer que notre espace à quatre dimensions, une de temps et trois d'espace soit un TORE T4. Nous pouvons rééditer l'opération et faire "pousser une nouvelle fibre en chaque point", qui se referme sur elle-même. Nous obtiendrons un TORE T5. Et c'est dans ce nouvel espace à 5 dimensions que s'inscriront les MOUVEMENTS de nos POINTS MATÉRIELS RELATIVISTES.



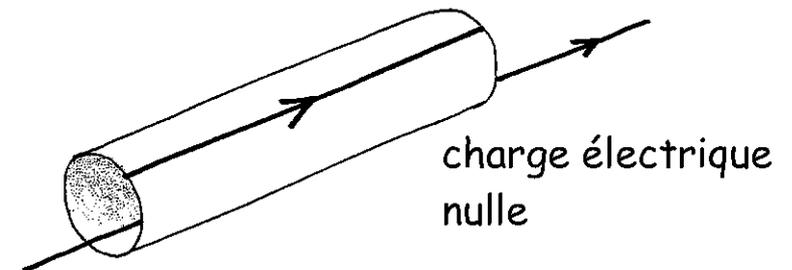
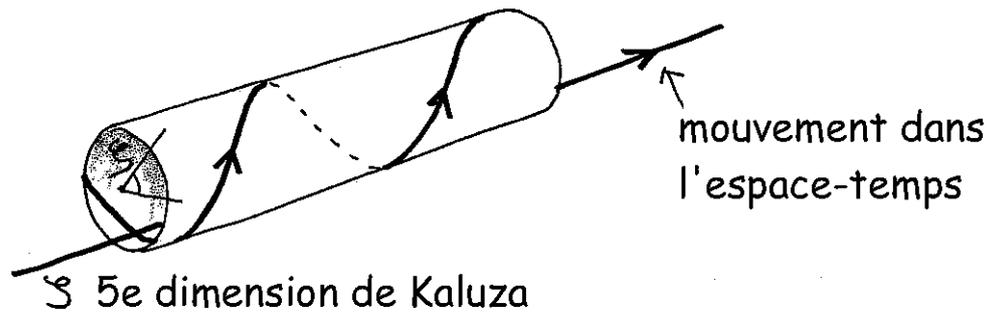
est-il absolument nécessaire de faire toutes ces mathématiques ?
Pour en arriver où ??

(*) BUNDLE en anglais

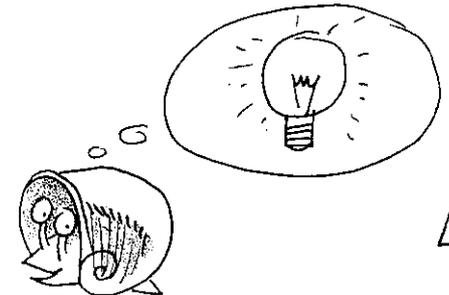
L'ESPACE DE KALUZA

On vous avait dit que la PHYSIQUE c'était de la GÉOMÉTRIE. Eh bien, inscrire le mouvement d'une particule dans une hypersurface à cinq dimensions est équivalent au fait de considérer que le point matériel relativiste soit doté d'une CHARGE ÉLECTRIQUE e . Et le fait que cette cinquième dimension, dite "de Kaluza" soit fermée sur elle-même entraîne que cette charge électrique ne peut prendre que des valeurs entières (QUANTIFICATION GÉOMÉTRIQUE). On peut rétrécir les dimensions d'espace à un simple point. Alors le mouvement du point matériel relativiste électriquement chargé correspondra à une courbe spirale :

La Direction



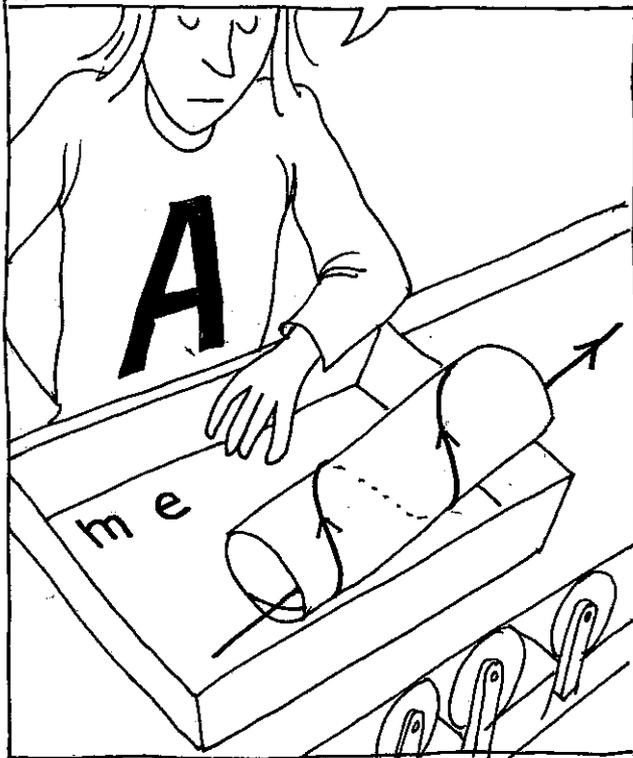
ouah! Je comprends! Le sens de l'enroulement de la courbe spirale correspondra au signe de la CHARGE ÉLECTRIQUE



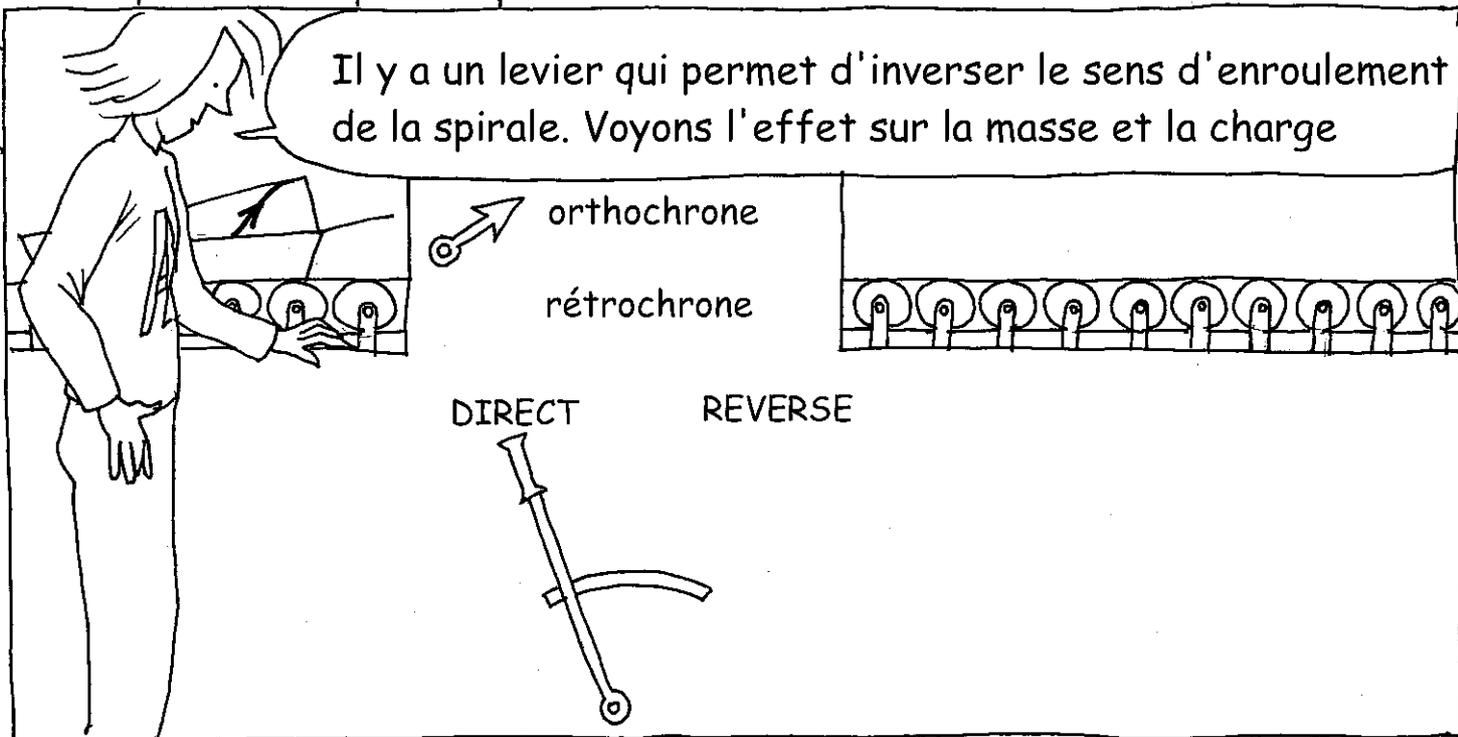
est-ce qu'il n'y a pas un groupe derrière tout cela ?

bien sûr, quand il y a de la géométrie il y a un groupe sous-jacent (*)

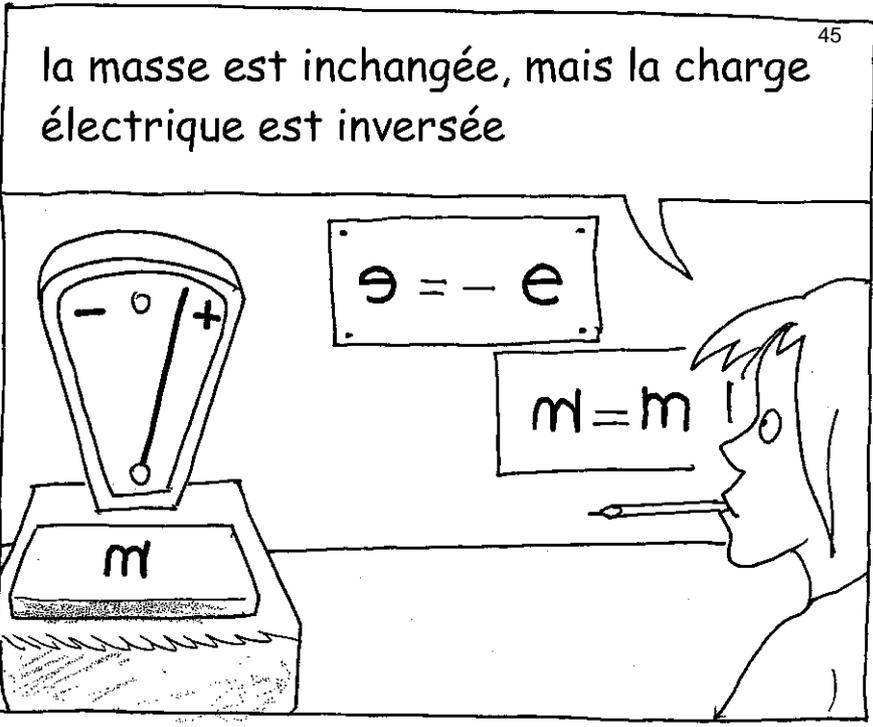
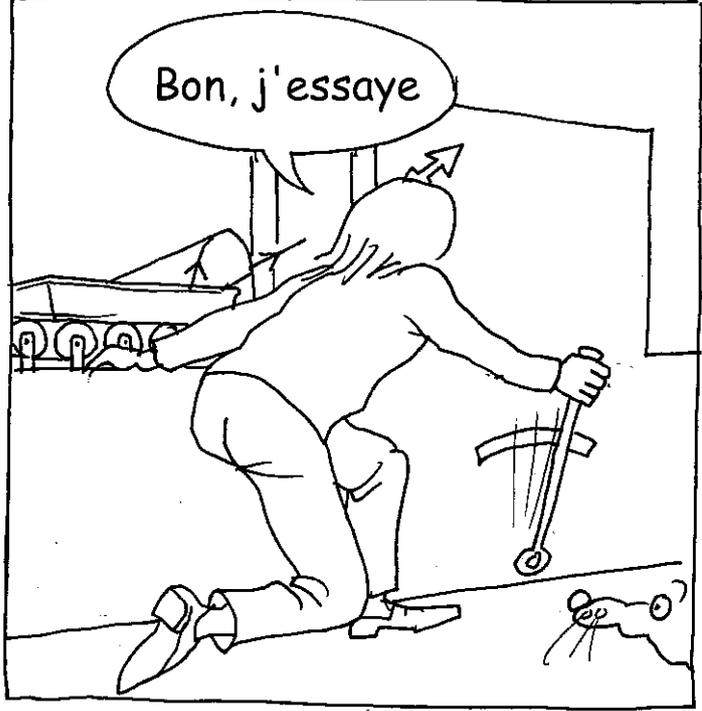
bon, j'entre un mouvement, la masse m et la charge e



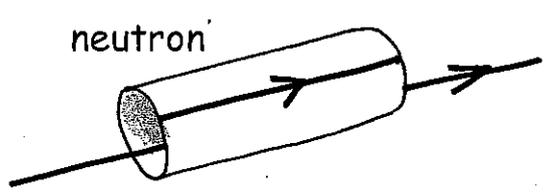
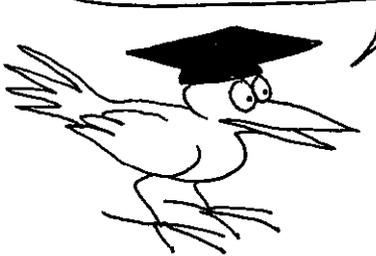
Il y a un levier qui permet d'inverser le sens d'enroulement de la spirale. Voyons l'effet sur la masse et la charge



(*) Le "groupe de Poincaré étendu" voir Annexe 4



cette inversion de la charge électrique évoque immédiatement la transformation matière -> antimatière. Mais selon ce modèle schématisé le neutron, dont la charge électrique est nulle serait sa propre antiparticule, ce qui n'est pas vrai. En fait les particules possèdent, sur leur "carte d'identité" un certain nombre de "charges quantiques" (hadronique, leptonique, etc...) la charge électrique e n'étant qu'une de ces charges parmi toutes les autres. La transformation d'une particule de matière en son antiparticule consiste à inverser toutes ses charges quantiques(*), dont sa charge électrique si celle-ci n'est pas zéro. Ce qu'il faut retenir c'est que si les charges changent. la masse ne bouge pas.



(*) Conjugaison de charge ou C-SYMÉTRIE

Bref, l'antimatière a une masse positive

pourquoi ne pas rajouter des dimensions supplémentaires pour faire apparaître toutes ces facettes des particules ?

plus facile à dire qu'à faire, les gens des supercordes en savent quelque chose. Il n'y a qu'avec la 5e dimension, l'électromagnétisme et la charge électrique que ça a bien marché. Mais comme la cinquième dimension s'inverse automatiquement dès qu'on procède à une C-symétrie, on peut la retenir comme une image géométrique commode de cette symétrie matière-antimatière.

alors, toutes les particules possèdent leur antiparticule, puisque même quand leur charge électrique est nulle il leur reste d'autres CHARGES QUANTIQUES que la C-symétrie peut inverser

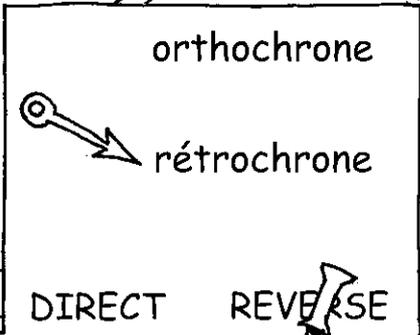
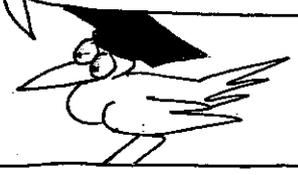
l'exception c'est le PHOTON

pourquoi ?

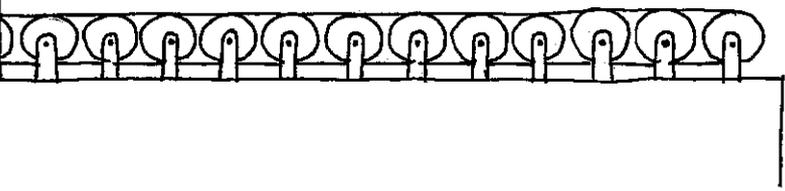
parce que toutes ses charges quantiques sont nulles

mais, que lui reste-t-il? Rien?

si, son énergie $E = h\nu = \frac{p^2}{2m}$ (*)

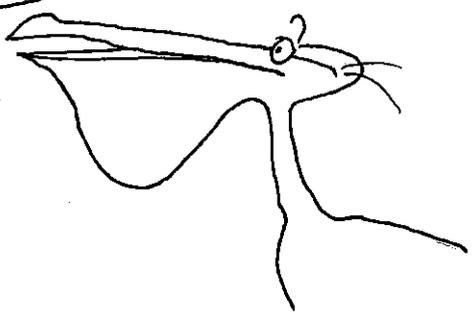


voyons ce que ce groupe a dans le ventre. Je vais cette fois à la fois inverser le sens de parcours de cette cinquième dimension et le sens de parcours du temps



et alors, qu'est-ce que ça donne ??

ce garçon ne s'arrête donc jamais ?



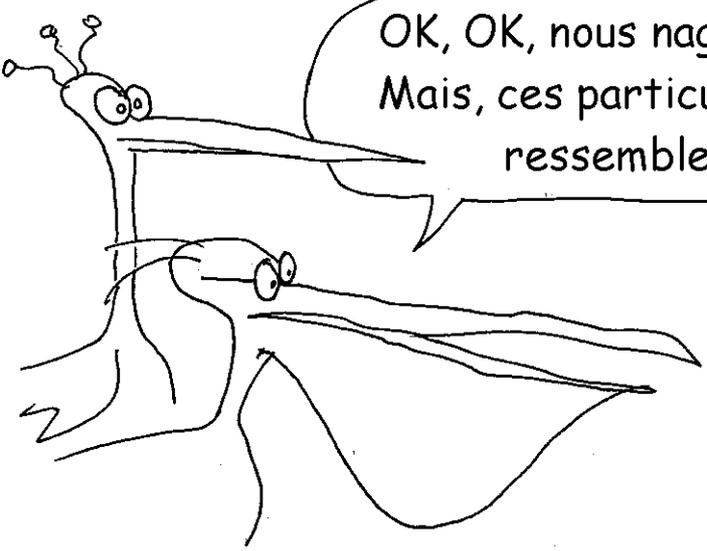
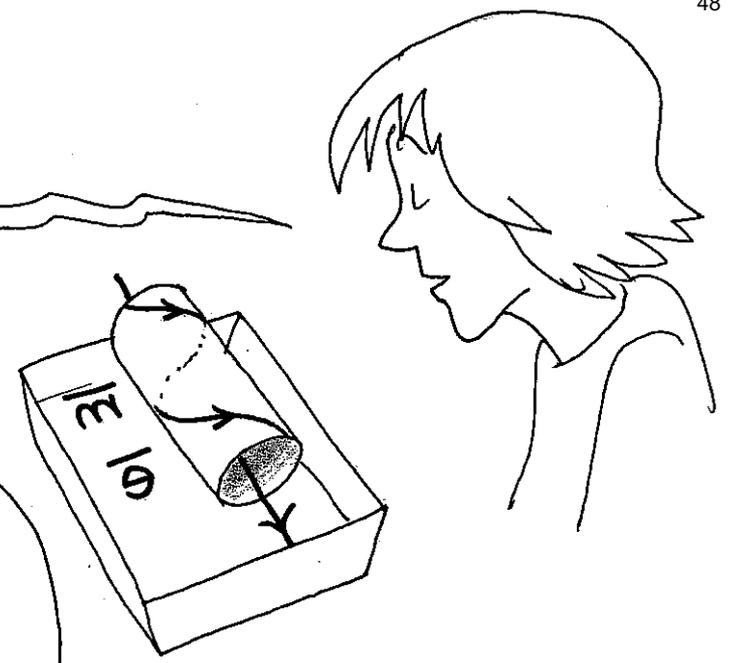
(*) et son spin, voir Annexe 2

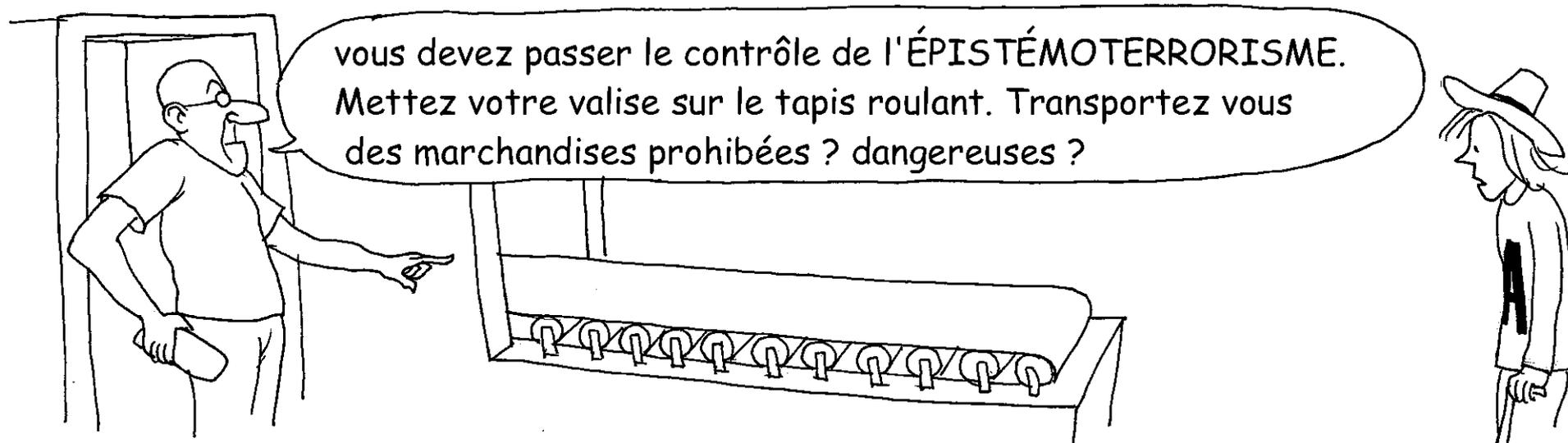
charge électrique \bar{e} inversée et masse \bar{m} inversée. Cela veut dire que j'obtiens de l'antimatière à masse et énergies négatives. Autrement dit la symétrie matière-antimatière existe aussi dans ce monde des masses négatives. Mais en dehors du fait que les masses et les énergies soient inversées, cette autre matière, ça peut ressembler à quoi au juste ?

Conclusion: LA DUALITÉ MATIÈRE-ANTIMATIÈRE se retrouve également dans CE MONDE DES ÉNERGIES NÉGATIVES où une particule de masse négative pourra "s'annihiler" avec son antiparticule, également de masse négative, en donnant des photons $\bar{\gamma}$ d'énergie négative.

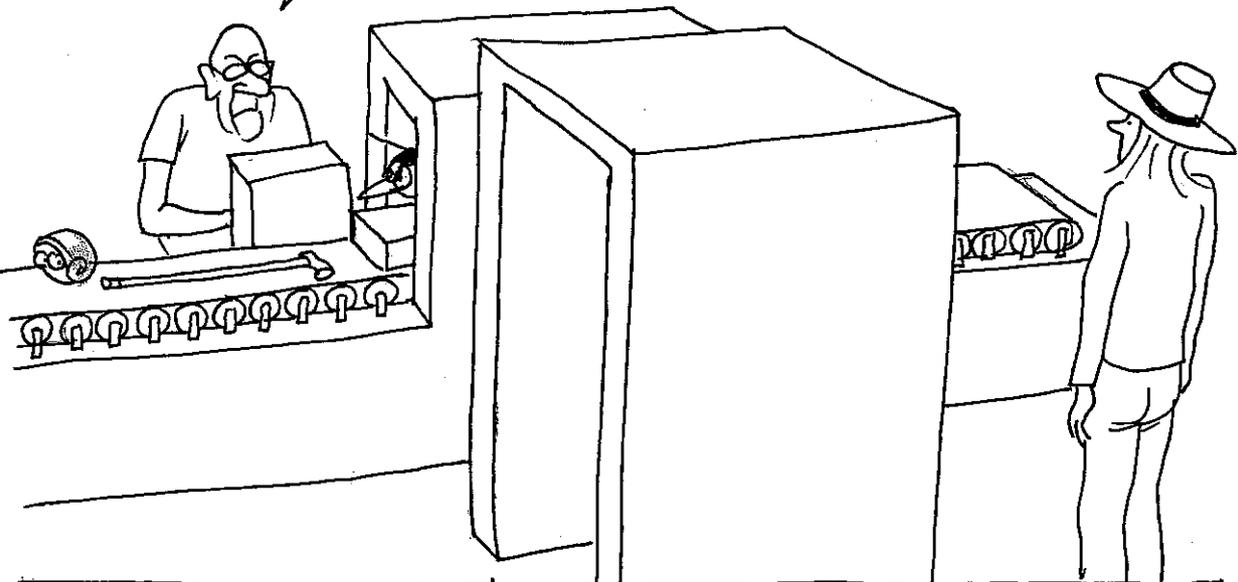
OK, OK, nous nageons en pleine fiction. J'accepte. Mais, ces particules à énergie négative, elles ressemblent à quoi ?

On trouve des protons \bar{p} , des électrons \bar{e} , des neutrons \bar{n} , des neutrinos $\bar{\nu}$, etc, tous dotés d'une énergie négative





pas de particules à énergie négative ?

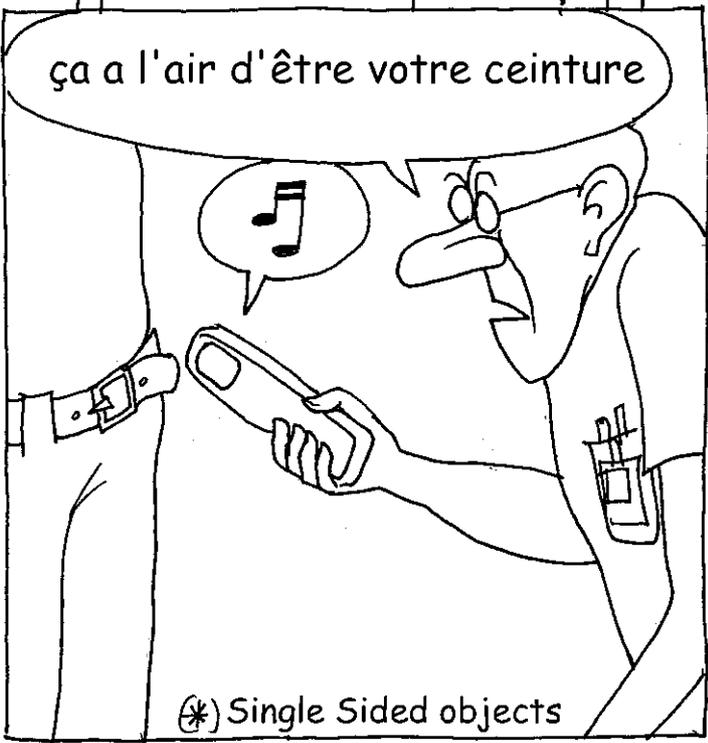


Bon, maintenant, passez sous le portique



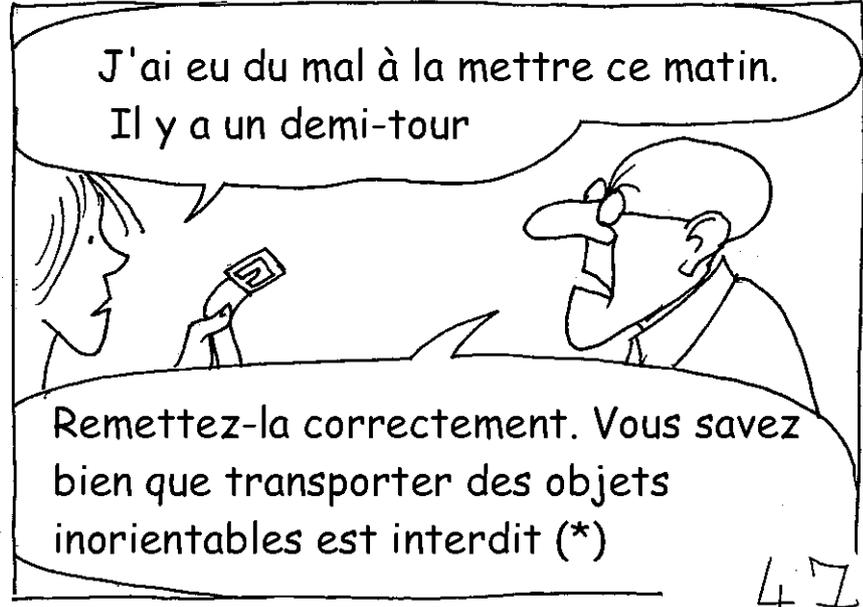
!!!!

Stop!



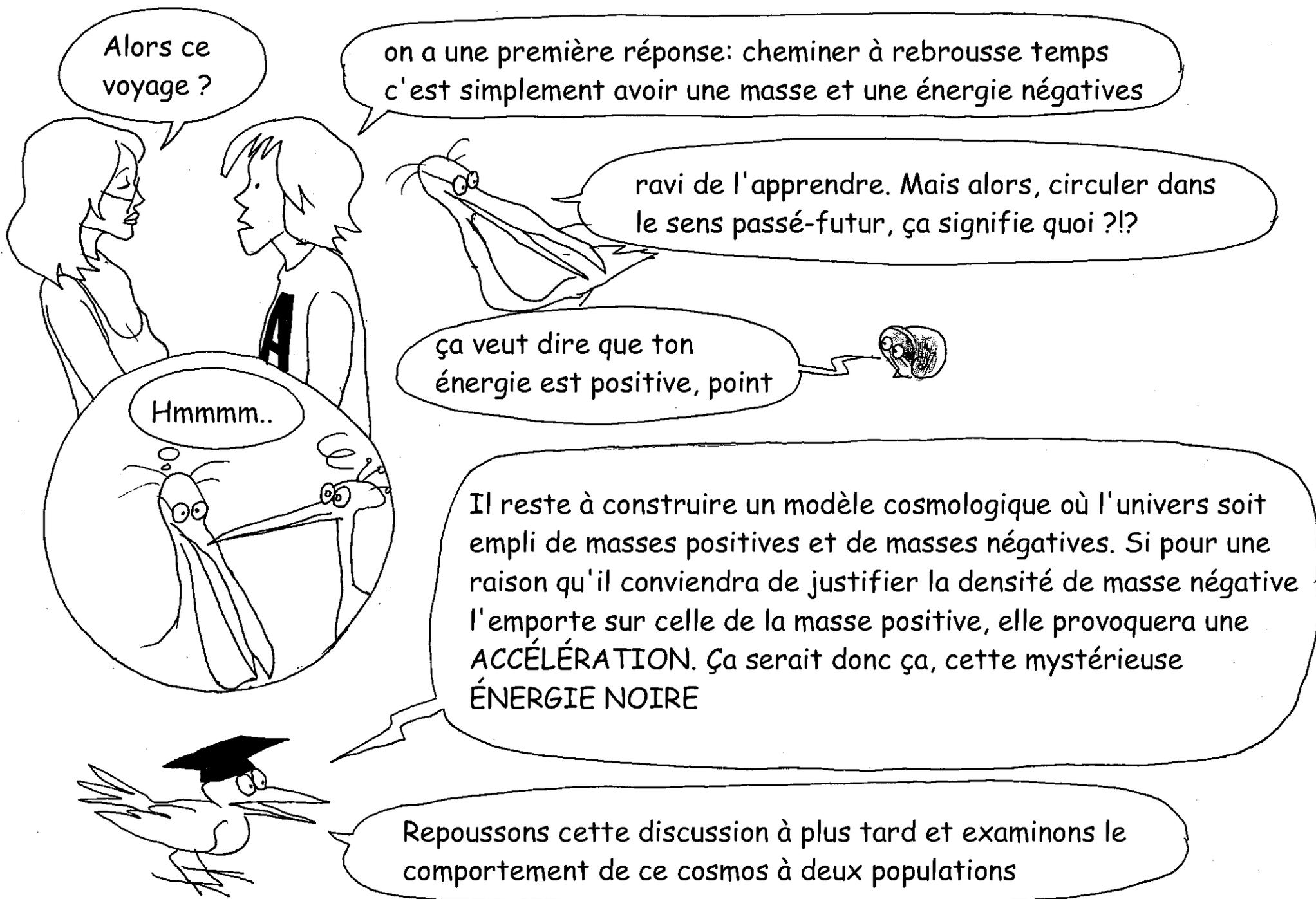
ça a l'air d'être votre ceinture

(*) Single Sided objects



J'ai eu du mal à la mettre ce matin. Il y a un demi-tour

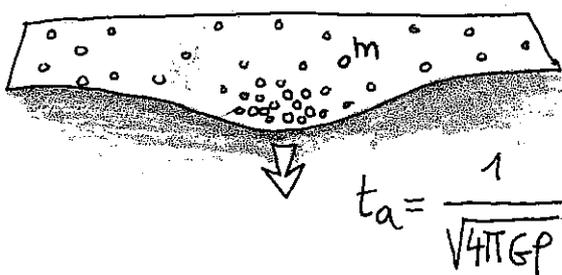
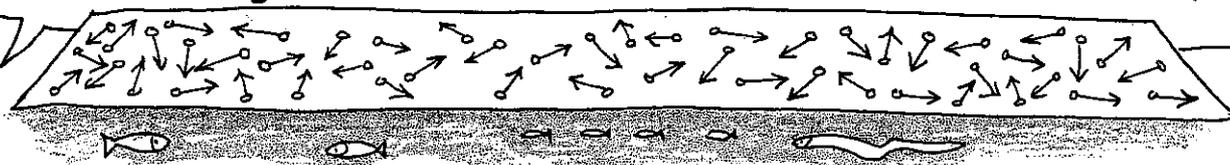
Remettez-la correctement. Vous savez bien que transporter des objets inorientables est interdit (*)



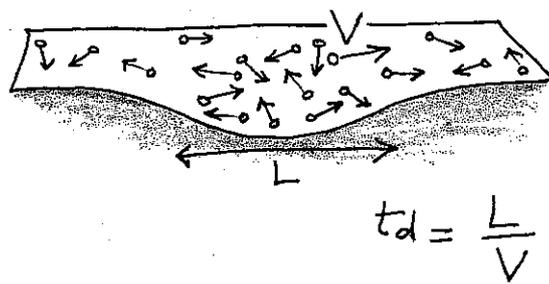
(*) L'existence de masses et d'énergies négatives "Structure des Systèmes dynamiques" 1972, téléchargeable sur www.jmsouriau.com plus précisément page 198, équation 14.67

LA STRUCTURE A GRANDE ÉCHELLE : EXPLIQUÉE

Dans l'album MILLE MILLIARDS DE SOLEILS (1986) on avait présenté un phénomène fondamental en astrophysique: L'INSTABILITÉ GRAVITATIONNELLE ou INSTABILITÉ DE JEANS (page 12 à 23) Nous allons reprendre l'idée, en modifiant un peu le modèle. La matière sera figuré par des billes de plomb dispersées sur un vaste tapis de caoutchouc, souples, recouvrant une étendue d'eau. Ces billes de plomb se déplacent librement sur cette surface avec une vitesse aléatoire figurant la VITESSE D'AGITATION THERMIQUE(*) de ce milieu 2d.



$$t_a = \frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho}}$$



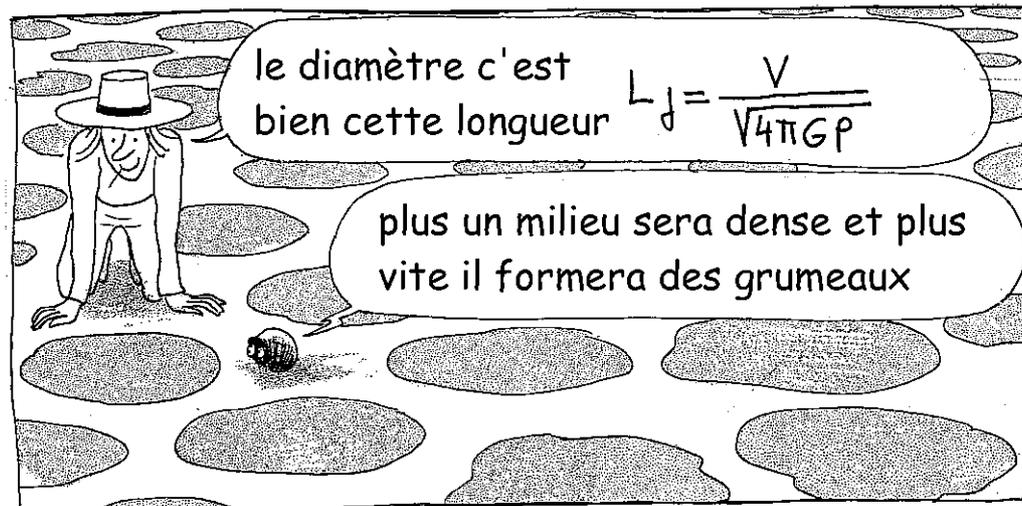
$$t_d = \frac{L}{V}$$

quand le hasard crée un rassemblement, une surdensité locale de matière, celle-ci attire la matière environnante (phénomène d'ACCRETION). Le temps caractéristiques t_a de croissance de cette perturbation est en $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$ où ρ est la densité.

Inversement ce "grumeau" tendra à se disperser en un temps $t_d = \frac{L}{V}$

(*) la TEMPÉRATURE ABSOLUE est définie par $\frac{3}{2}kT = \frac{1}{2}mV^2$ où k est la Constante de Boltzman ($1.38 \cdot 10^{-23}$ MKSA)

Les grumeaux qui apparaîtront seront ceux dont le diamètre vaudra la distance de Jeans(*) qui, statistiquement, auront plus de chance d'apparaître que des grumeaux plus grands



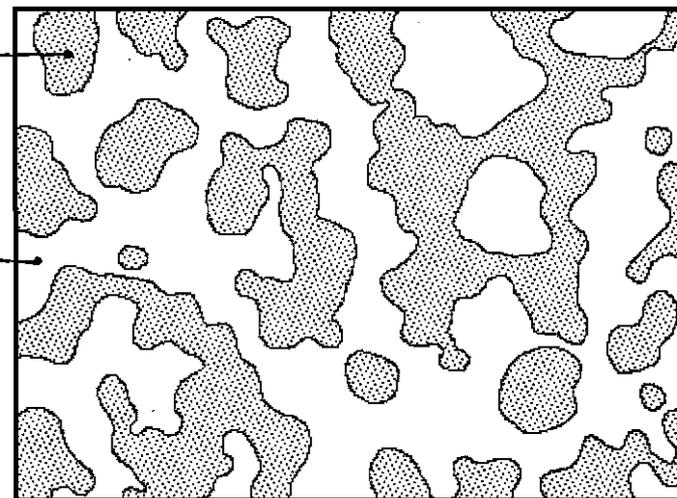
comme les masses négatives s'attirent mutuellement, elles vont également former leurs propres "grumeaux". Si on part d'un milieu où les masses positives et les masses négatives auraient les mêmes densités et les mêmes vitesses d'agitation thermique, elles se partageraient simplement l'espace disponible, puisqu'elles se repoussent mutuellement

comme des gens qui ne peuvent pas se supporter



matière à masse positive

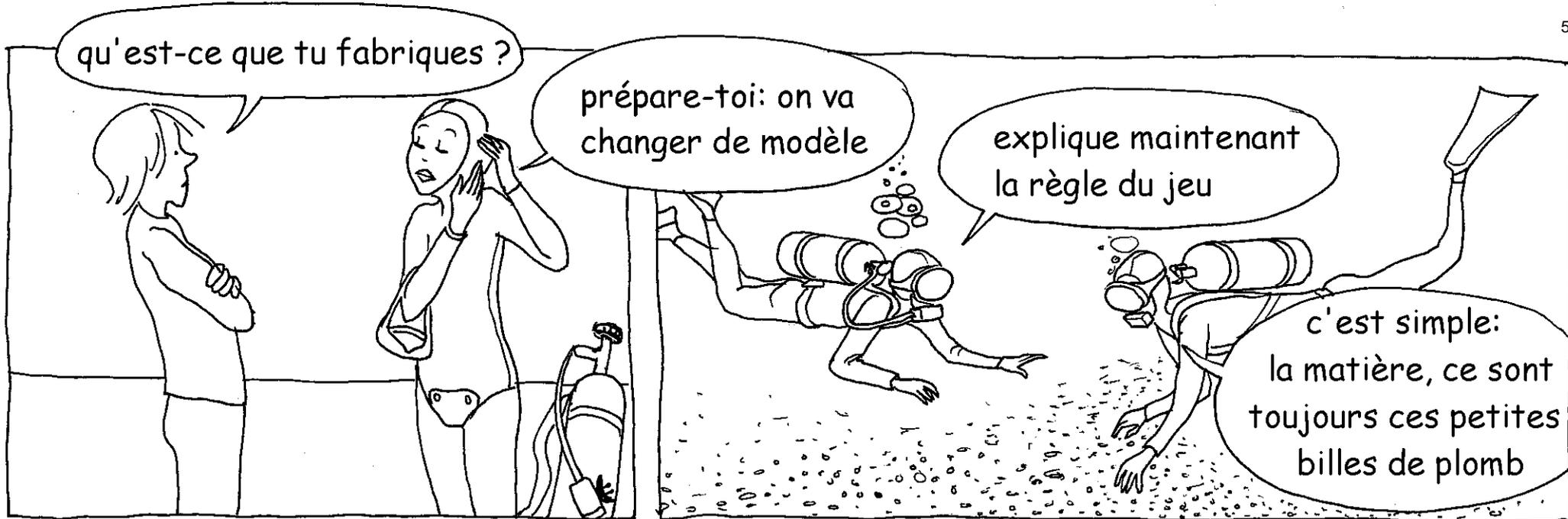
matière à masse négative



J.P.Petit : The missing mass problem.

Il Nuovo Cimento B Vol. 109 July 1994, pp. 697-710

(*) Sir James Jeans, astronome Anglais (1877-1946)



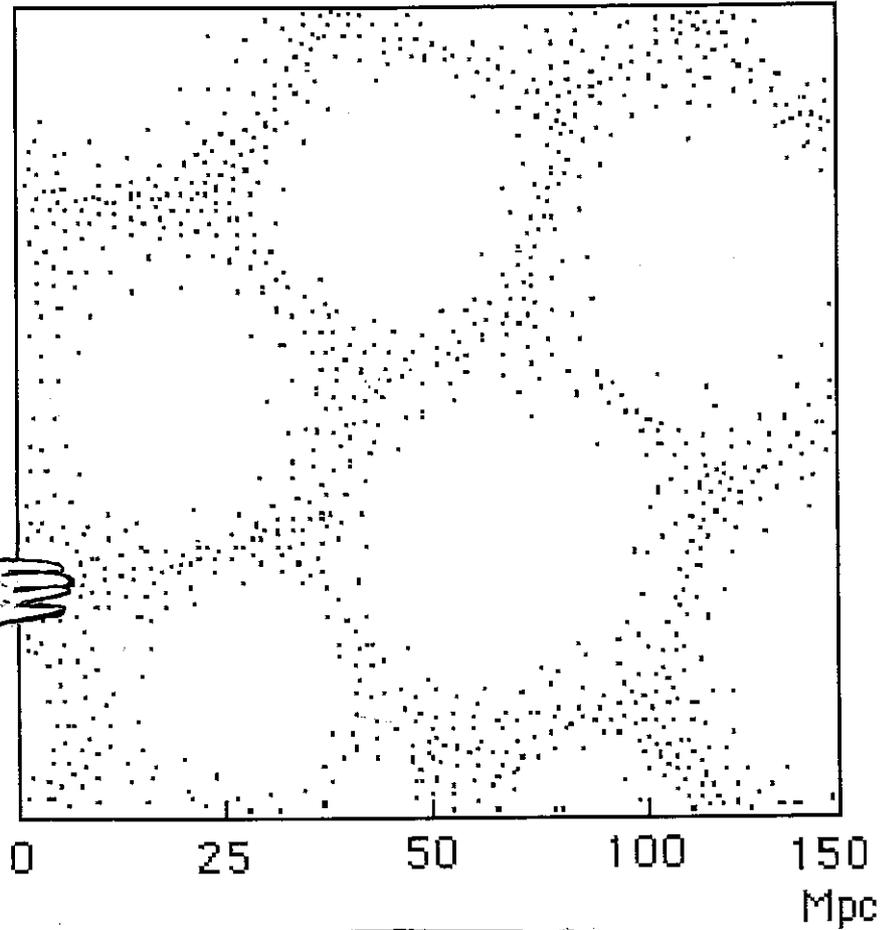
apparemment, la matière se rassemble entre ces sortes de promontoires, qui semblent émerger de nulle part

comme si quelque chose avait soulevé le fond

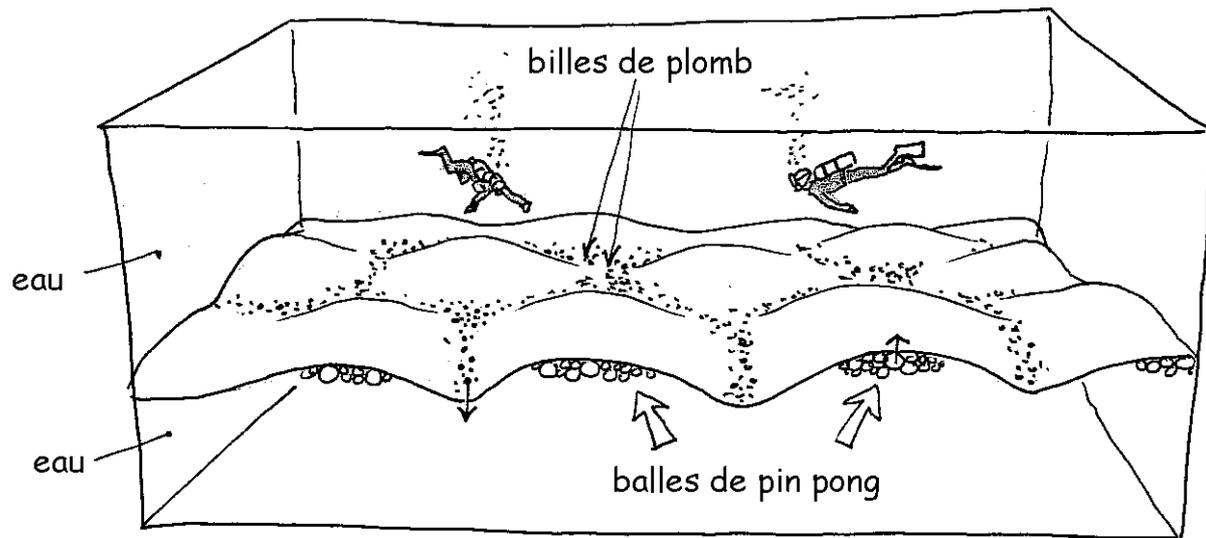
c'est la seconde population des masses négatives qui, en se rassemblant confine la matière dans ces sortes de vallées, dans les parties basses

J.P.Petit : Twin Universe Cosmology
Astronomy and Space Science 226 : 273-307, 1995

très joli coup d'oeil



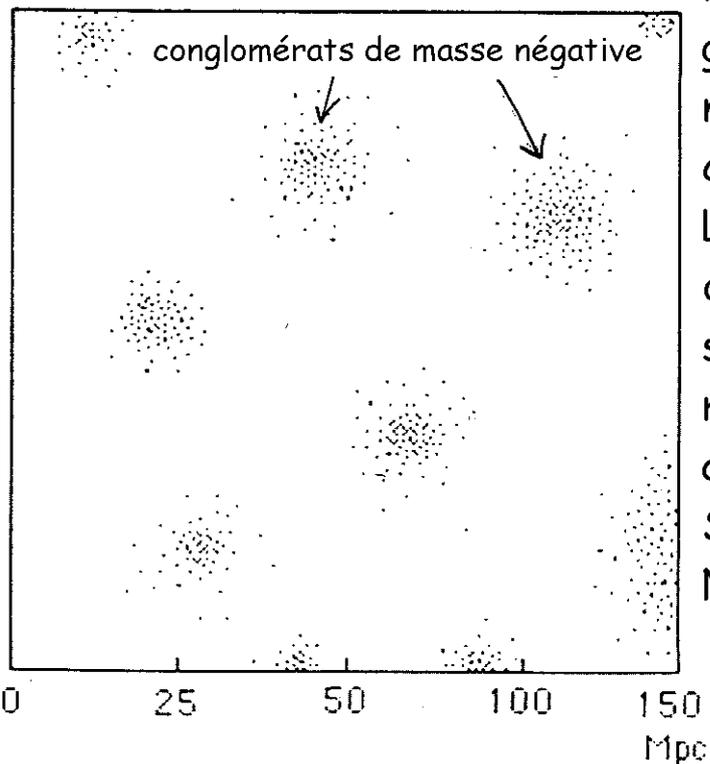
chacune de ces mailles fait dans les cent millions d'années-lumière de diamètre



Ce modèle est là pour illustrer ce concept d'INSTABILITÉS GRAVITATIONNELLES CONJOINTES qui affecteraient un mélange de masses positives et de masses négatives au cas où la densité ρ de masse négative serait plus élevée

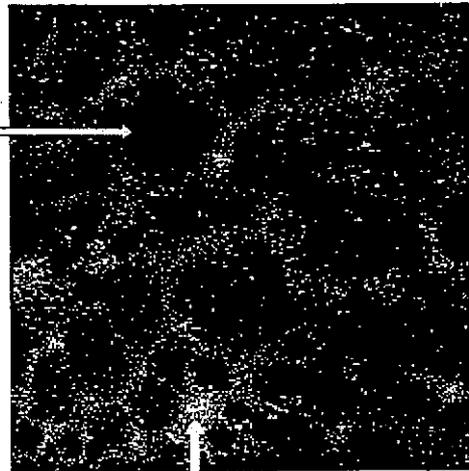
Elle formerait des conglomérats plus rapidement, en imposant sa structure à

l'univers à grande échelle. La membrane de caoutchouc évoque leur invisibilité pour un observateur fait de masse positive. En bas, à gauche, voici ce que verrait un observateur constitué de masses négatives, qui ne verrait plus notre propre matière, laquelle, et c'est un fait **OBSERVATIONNEL AVÉRÉ**, se distribue de manière **LACUNAIRE**, à la manière de "Bulles de savon jointives", autour de "vides" de cent millions d'années-lumière de diamètre. Des simulations numériques, menées dès 1992 avec un mélange des deux matières ont conduit à des images conformes aux observations, alors que le modèle classique, même en recourant à force **MATIÈRE SOMBRE FROIDE** donne **UNE STRUCTURE FILAMENTEUSE QUI NE COLLE PAS AVEC LES OBSERVATIONS** (page suivante)



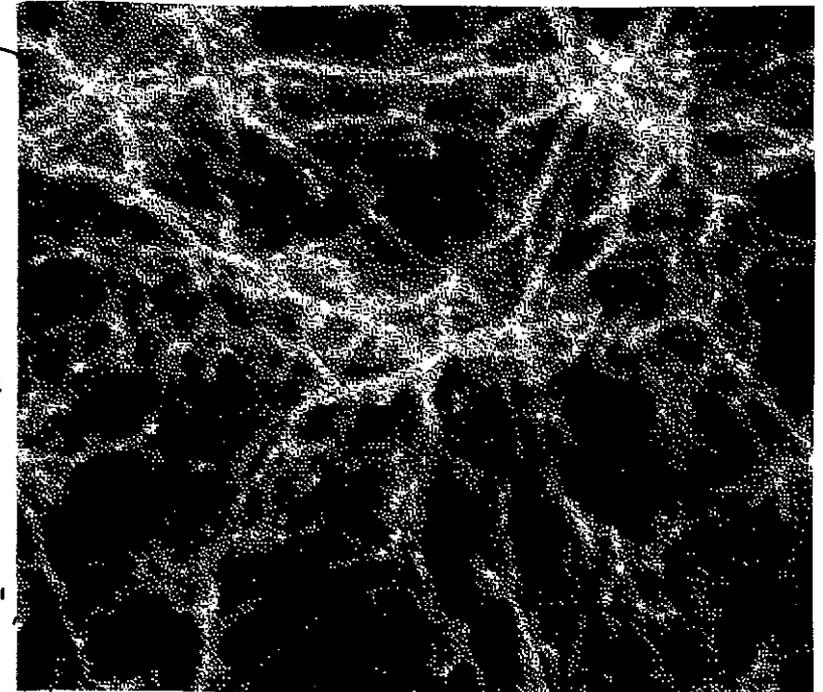
LE SURRÉALISME SCIENTIFIQUE

bulle vide



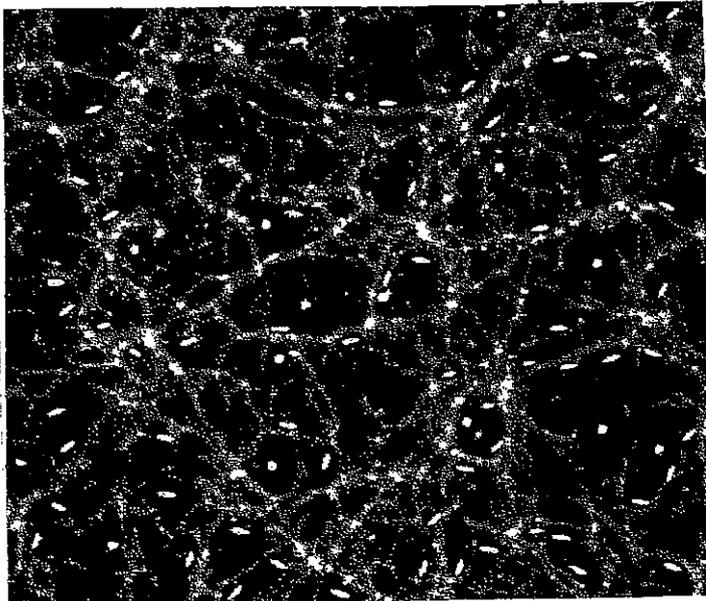
amas de galaxies

En haut et à gauche la PARTIE VISIBLE de l'univers, dont l'aspect résolument LACUNAIRE se confirme d'année en année. En bas et à gauche LA PARTIE INVISIBLE déduite du décodage des micro-effets de lentille gravitationnelle. En haut et à droite le résultat des simulations à coups de MATIÈRE SOMBRE FROIDE, qui colle avec les secondes "observations" mais pas du tout avec ce que l'on voit.

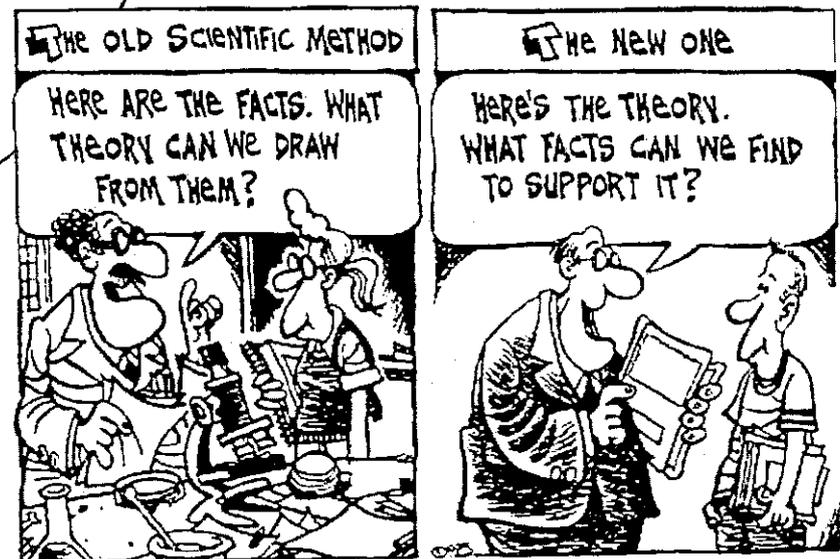


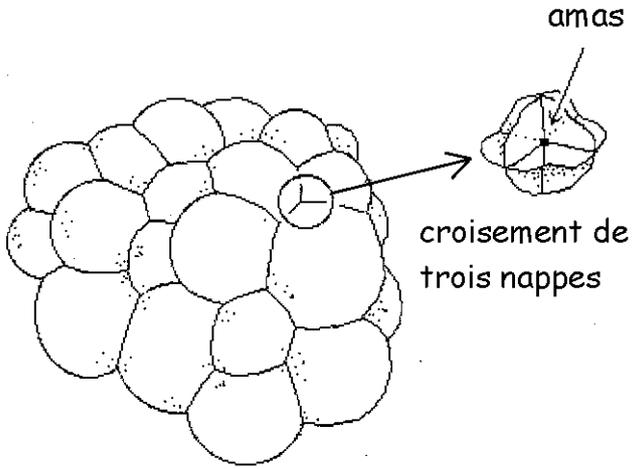
simulation: L'univers âgé de 2 milliards d'années

Il ne reste plus qu'à cartographier L'ÉNERGIE NOIRE...



cartographie de la matière sombre



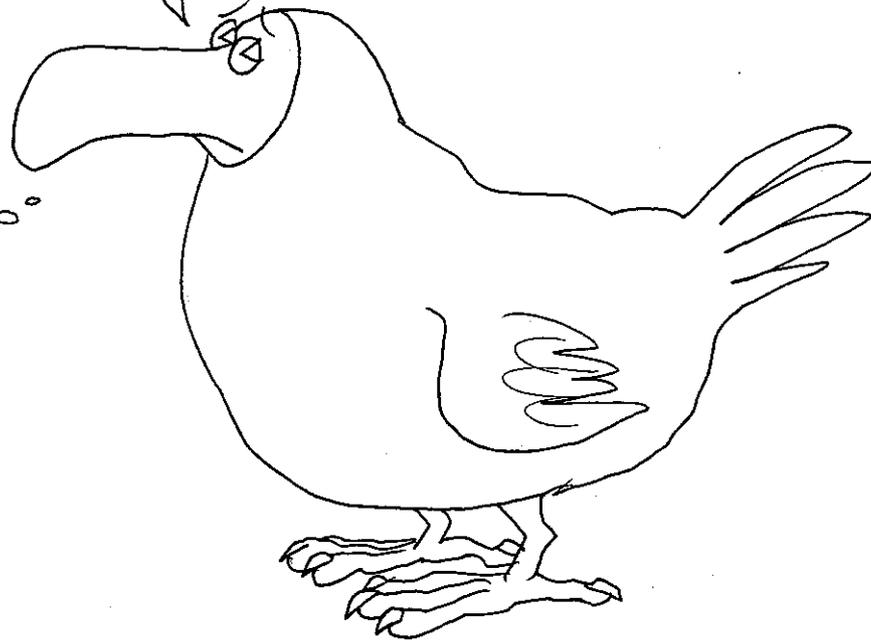


amas
croisement de
trois nappes

bulles de savon jointives

vous vous accrochez comme des malades à ces misérable 4% de l'univers qu'on observe. Soyez modernes que diable! Voyez ces fantastiques avancées effectuées par cette NOUVELLE ASTRONOMIE. De toute façon vous n'échappez pas à un FAIT incontournable: les forts effets de lentille gravitationnelle qui vous PROUVENT L'EXISTENCE DE LA MATIÈRE SOMBRE

des bulles de savon jointives!



Ah, je crois que Lanturlu apporte un élément nouveau!



L'EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE NÉGATIF (*)

quel élément nouveau ?!
J'ai juste été acheter
quelques chips parce que
j'avais un petit creux

oui, mais ce sont des NÉGACHIPS

qu'est ce que c'est que cette
histoire de ... négachips ?!

ce sont des chips à
COURBURE NÉGATIVE

(*) Pour le spécialiste: l'effet de lentille gravitationnel négatif est solution de l'équation d'Einstein, ce à quoi personne n'avait jusqu'ici pensé. Ceci sera évoqué schématiquement dans l'annexe ??? pour les détails, voir :

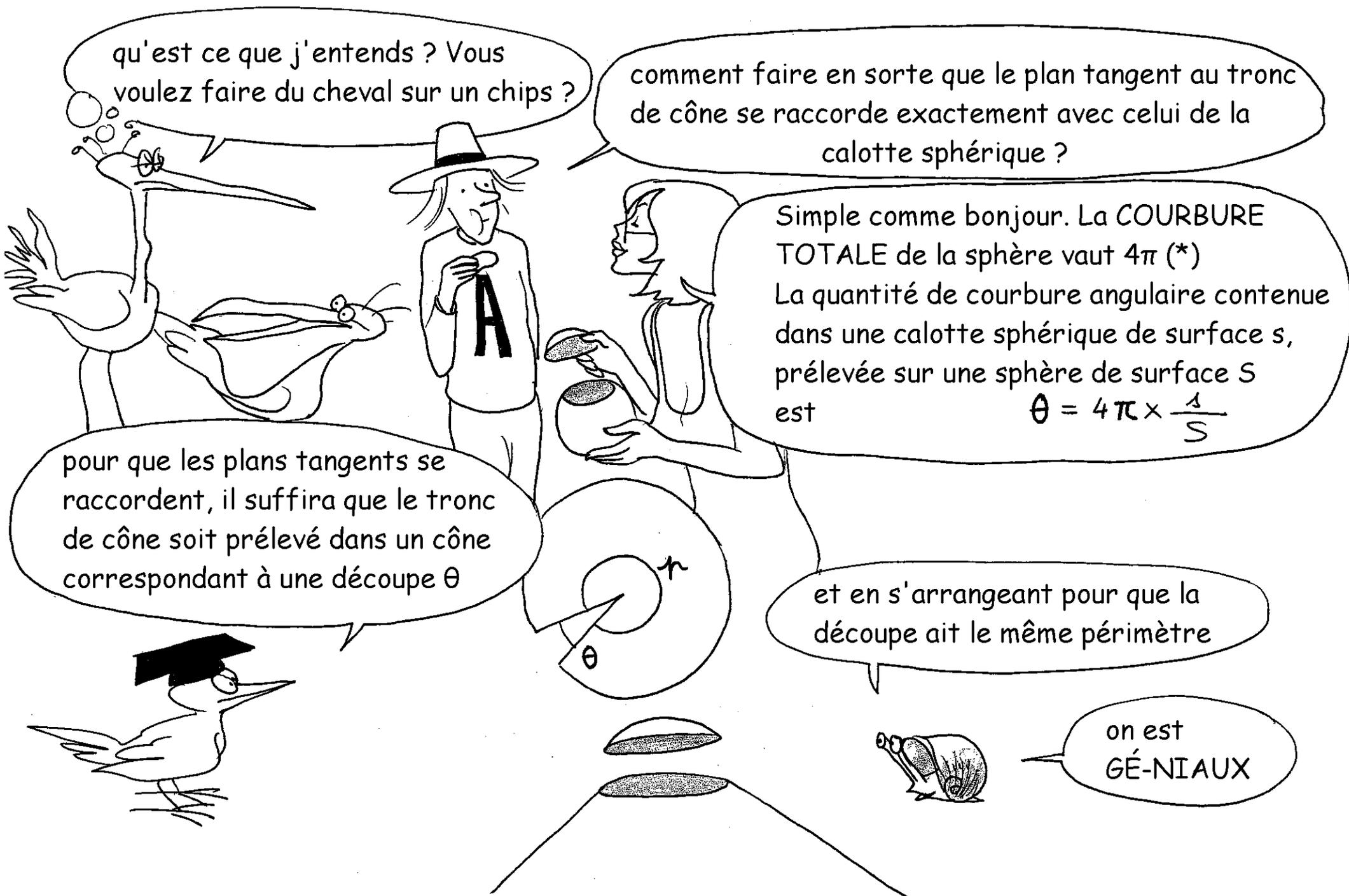
Jean-Pierre Petit : Twin Universe Cosmology : Astronomy and Space Science 226 : 273-307, 1995 et <http://arxiv.org/abs/0801.1477>

quoi ?!?

Je pense qu'un industriel a soudain eu l'idée de produire des chips en forme de SELLE DE CHEVAL. Un mathématicien qui se sera reconverti dans l'agro-alimentaire, sans doute

Quand on trace une géodésique sur une surface à courbure négative, sa projection plane évoque une FORCE RÉPULSIVE. Rappelez-vous le coup du POSICÔNE ÉMOUSSÉ

un TRONC DE POSICÔNE est une calotte sphérique, surface courbe, complétée par un tronc de cône, surface euclidienne. La projection plane donne l'impression qu'un objet, sur sa trajectoire, subit l'attraction d'une masse M



est-ce qu'on peut imaginer un NÉGACÔNE ÉMOUSSÉ ?

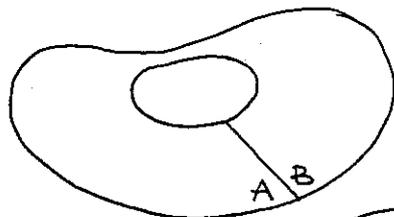
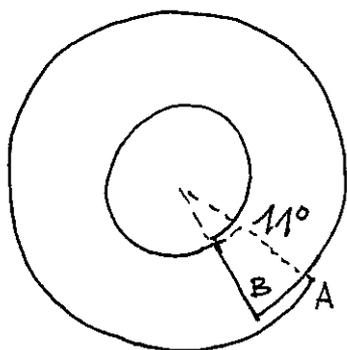
bien sûr. Il suffit de coller bord à bord un négachips avec un tronc de négacône

ouh la la ...

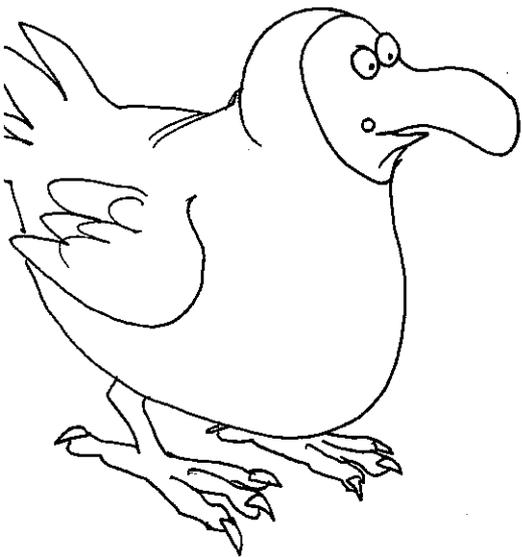
et comment assure-t-on la continuité du plan tangent ?

un négacône est un disque où on a inséré un secteur d'angle θ

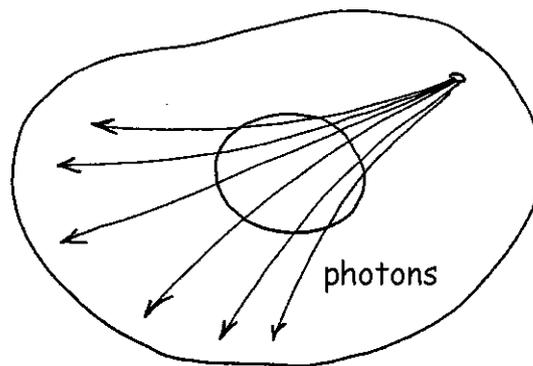
et là, il n'y a pas de règle aussi simple que pour le positif émoussé. Nous avons mesuré la courbure négative du négachips et trouvé -11° . Ça a été délicat car on n'a pas trouvé d'adhésif pour négachips



je trouve que les fabricants de négachips devraient faire figurer cette courbure, histoire de savoir ce qu'on mange !

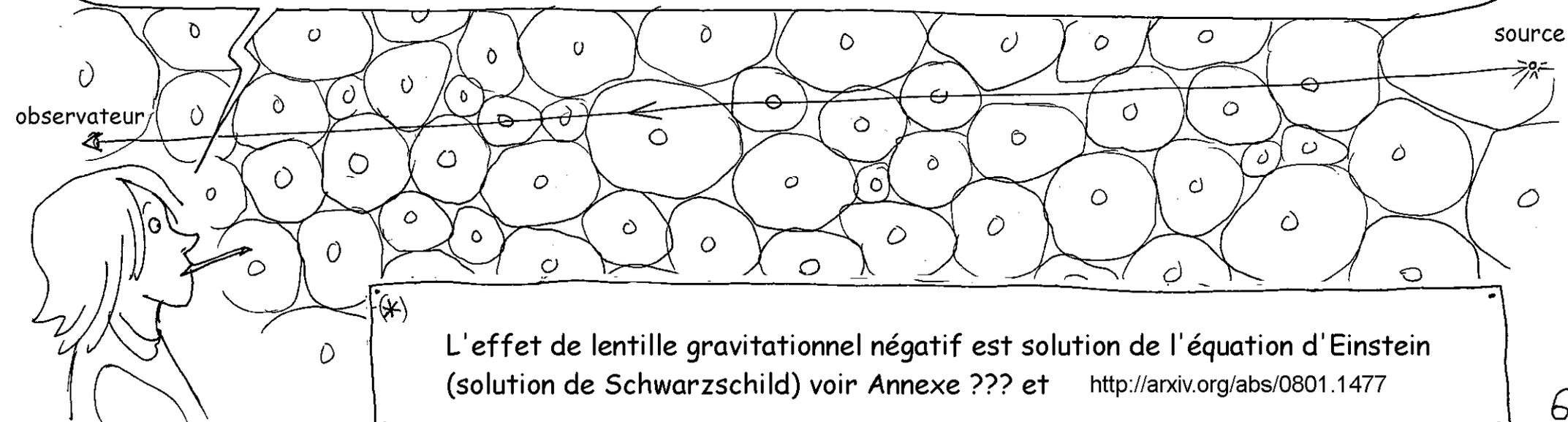


qu'est-ce que vous prétendez
montrer avec vos ... négacônes ?



c'est une image 2d de l'EFFET DE LENTILLE
GRAVITATIONNEL INVERSE (*) que subira,
sans autre interaction tout photon d'énergie
positive traversant "sans le voir" un conglomérat
de masse négative

Ce qui signifie que si on observe dans une direction quelconque des objets situés à de très grandes distances, aux confins de l'univers observable il y a toutes les chances pour que les rayons lumineux traversent plusieurs conglomérats de masse négative sur leur passage et que ceci atténue leur luminosité. Ainsi, en toute logique les images des galaxies très distantes, à fort redshift, devraient les faire apparaître comme des naines



(*)

L'effet de lentille gravitationnel négatif est solution de l'équation d'Einstein
(solution de Schwarzschild) voir Annexe ??? et <http://arxiv.org/abs/0801.1477>

alors, monsieur Handshic ?

Eh bien... les premières galaxies qui se forment sont effectivement des ... naines. C'est ce qu'on observe aux forts redshifts. Puis on suppose qu'elles s'assemblent pour constituer des objets plus massifs

c'est la thèse qui est retenue

il me semble que nous progressons, non ?

et ces galaxies, en général comment se forment-elles ?

nous y travaillons chère mademoiselle, nous y travaillons

depuis plus de trois quarts de siècle

COMMENT SE FORMENT LES ÉTOILES

vous marquez un point, certes, mais n'oubliez-pas, bande de petits malins que votre histoire de masses négatives n'explique nullement les forts effets de lentille gravitationnelle au voisinage des galaxies, et surtout des amas de galaxies

pour le moment, il a raison

avant de se demander comment se forment les galaxies, on peut réfléchir à la façon dont se forment les étoiles

les étoiles: on sait à peu près comment ça fonctionne. Au regard de nos vies humaines éphémères et même de nos civilisations, leur évolution s'étend sur des temps incommensurablement plus importants. Le progrès-clé, réalisé au tout début du XXe siècle a consisté à réaliser qu'il n'y avait pas une infinité d'étoiles possibles mais que nous avons sous les yeux différents types d'étoiles classables selon leur masse, nous apparaissant dans des états évolutifs différents,

et les étoiles massives brûlaient leur hydrogène par les deux bouts



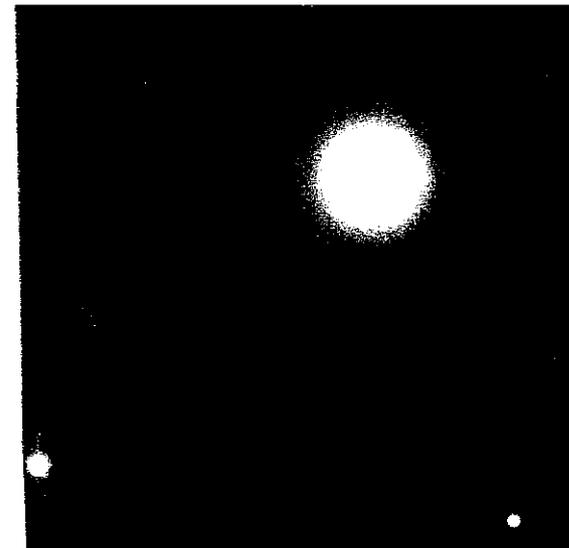
les étoiles se forment dans des nuages de gaz, dans les galaxies. On verra plus loin pourquoi et comment se forment des "grumeaux", les PROTO-ÉTOILES. Quand la FUSION démarre, l'étoile brûle son "carburant", l'hydrogène. Plus la masse de l'étoile est importante, plus elle "carbure" et plus brève est son existence. Jupiter est une "étoile ratée" qui rayonne, se contracte, mais ne s'allumera jamais. Quand la masse est suffisante, disons supérieure à dix fois la masse de Jupiter, l'étoile connaît un temps de latence avant que les réactions de fusion ne démarrent

combien de temps cela prend-t-il ?

Soit R le rayon de l'étoile. Le grumeau se contracte jusqu'à ce que sa température atteigne 3000° . Alors ce grumeau s'ionise et les forces de pression s'opposent à la poursuite de cette contraction. La quantité de chaleur à évacuer, par rayonnement, est comme le volume de l'étoile, comme le cube du rayon. Le "radiateur" c'est sa surface $4\pi R^2$. Le temps de dissipation de cette chaleur, qui permet la reprise de la contraction, débouchant sur la fusion varie donc comme la racine cubique de la masse de l'étoile, comme son rayon R

on a parlé de ces conglomerats sphéroïdaux de matière à masse négative qui se situeraient au centre de ces grands vides. Comment ces objets évoluent-ils ?

Il faudrait être constitué de masse négative pour apercevoir ces immenses proto-étoiles, rayonnant dans le rouge et dans l'infrarouge dont le temps de contraction excède l'âge de l'univers. Ce qui fait qu'elles ne s'allumeront...jamais !



Donc, si je comprends bien, dans ce négamonde, pas de véritables étoiles, pas de fusion, pas de supernovae, pas d'éléments lourds, donc pas de planètes et pas de VIE ?

ces objets ne sont que la charpente de notre univers à masse positive

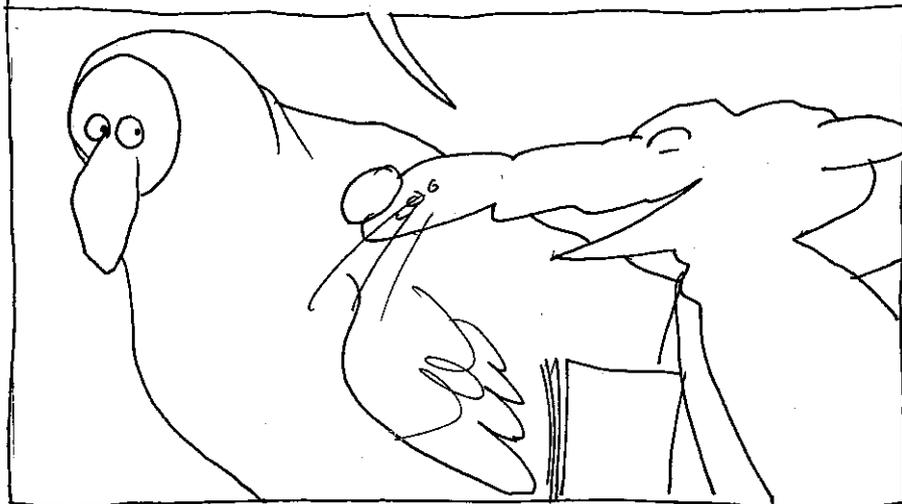
ridicule, fantasmagorique! Vous pouvez inventer ce genre de chose à perte de vue. Alors que LA MATIÈRE SOMBRE et l'ÉNERGIE NOIRE sont, elles, bien réelles !

LE PROBLÈME DE LA FORMATION DES GALAXIES

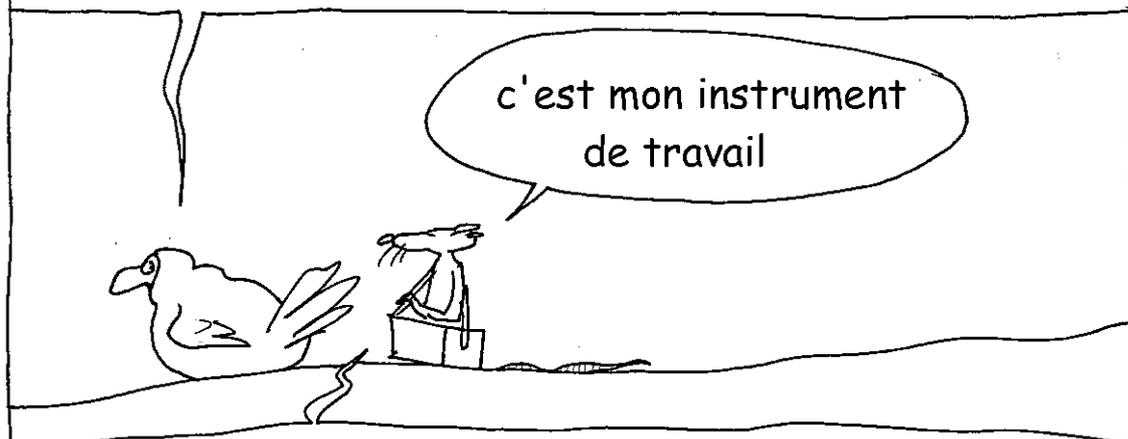




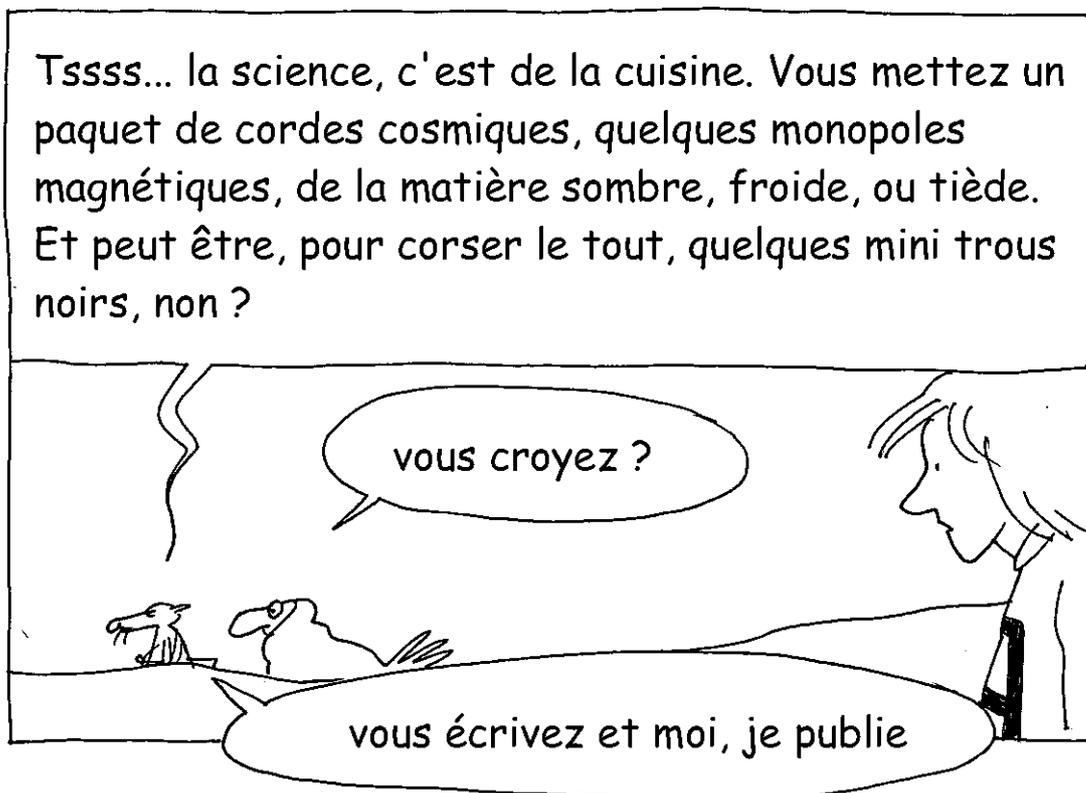
l'essentiel c'est de trouver les mots, les bon mots. Trou noirs, matière noire, énergie noire. Le côté noir est extrêmement porteur, croyez-moi



qu'est ce que vous transportez avec vous ? In dirait un nécessaire pour cirer les chaussures.

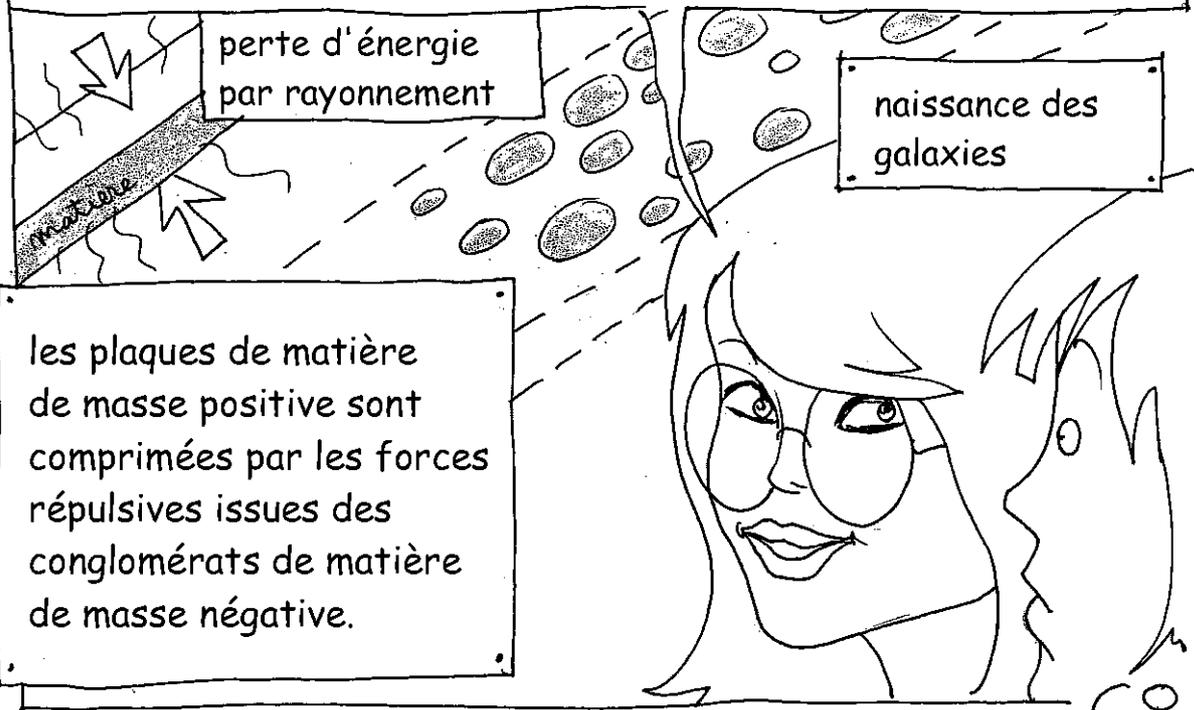


Vous connaissez ma devise: toujours dans le sens du vent dominant, toujours!



quand on part d'un mélange de masses positives et de masses négatives, avec une large supériorité de la seconde sur la première, celle-ci forme des conglomérats, par instabilité gravitationnelle. Ce faisant elle repose la matière à masse positive, la nôtre, dans l'espace résiduel. Mais elle le fait assez violemment, et cette matière, sous forme d'hydrogène et d'hélium, se trouve comprimée selon des PLAQUES(*)

Alors que la matière à masse négative se rassemble sous forme de sphère et ne pourra ainsi pas évacuer sa chaleur par rayonnement, la CONFIGURATION EN PLAQUES représente au contraire le radiateur optimal pour la matière qui pourra ainsi se refroidir par rayonnement, à la suite d'une forte excursion en température. Ce gaz se trouve ainsi déstabilisé et ce refroidissement déclenche l'instabilité gravitationnelle et la formation des galaxies TOUTES EN MÊME TEMPS. C'est pour cela qu'on ne trouve pas de jeunes galaxies.



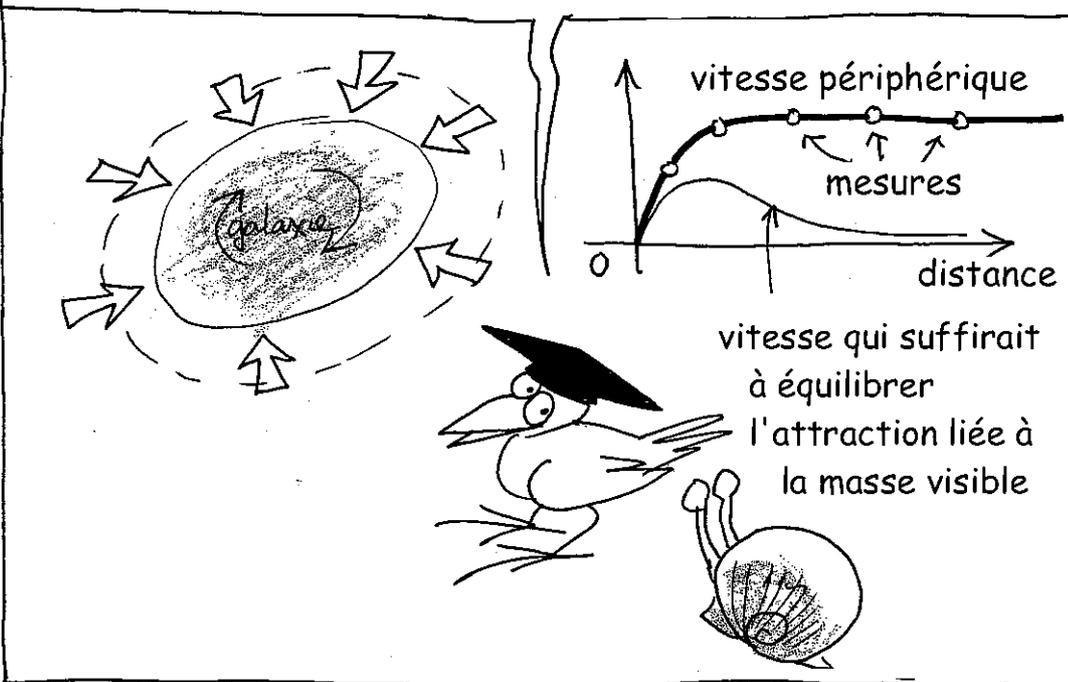
(*)

CONFINEMENT DES GALAXIES

actuellement les galaxies sont éloignées les unes des autres comme des petits pois distants d'un mètre. Mais au moment de leur naissance les jeunes galaxies étaient aussi serrées que des grains de raisin dans une grappe. Elles formaient un **SYSTÈME COLLISIONNEL** et ce sont ces interactions qui leur ont conféré leurs mouvements de rotation (*). Puis l'expansion les a séparées et les collisions quoique toujours existantes se sont faites beaucoup plus rares

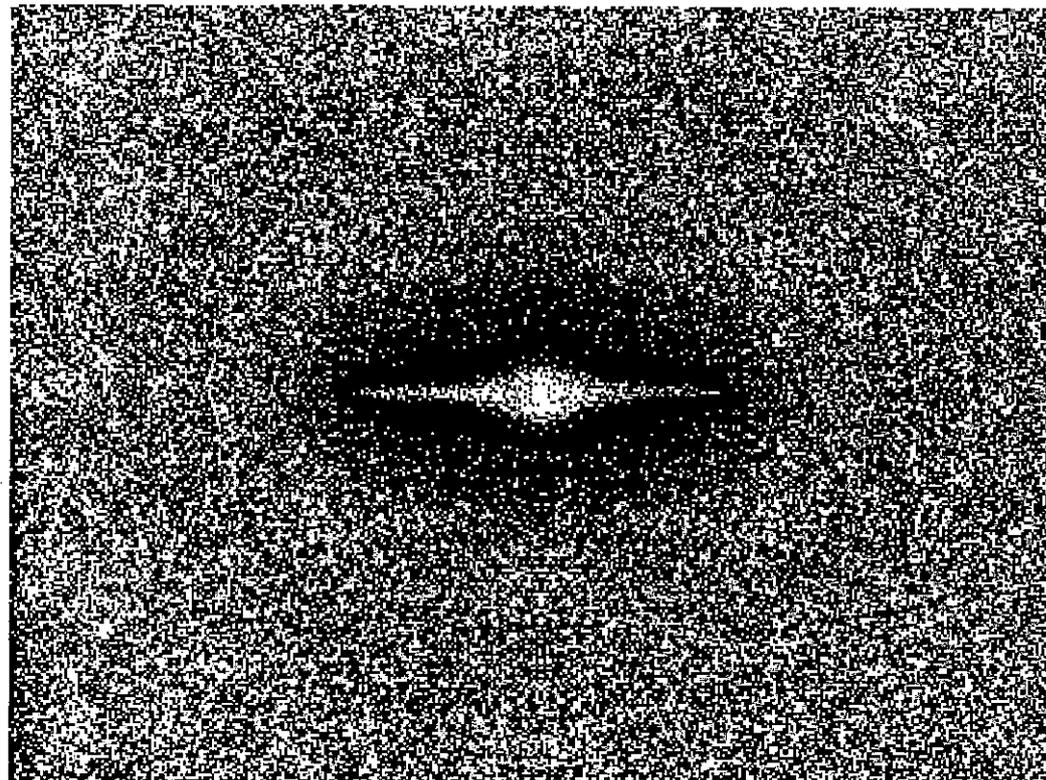


la matière à masse négative n'est pas concentrée dans les conglomerats. Elle forme une ambiance gazeuse qui exerce une **CONTRE-PRESSION** sur notre propre matière et, s'infiltrant entre les galaxies, les **CONFINE**. Sa présence aux frontières des galaxies explique les survitesses périphériques mesurées dans le gaz interstellaire



(*) dans un gaz les collisions mettent les molécules en rotation

Bon, essayons un peu de faire le point dans ce tourbillon d'idées nouvelles, qui diffèrent totalement de ce qu'on lit dans MAIN STREAM. Si je comprends bien, pour vous, la matière sombre et l'énergie noire sont des foutaises. La matière à masse négative suffit à elle seule à tout expliquer. Ses conglomerats fixent, stabilisent la STRUCTURE À GRANDE ÉCHELLE LACUNAIRE DE L'UNIVERS VISIBLE, à la manière de "clous". Cela donne un schéma original pour la formation des galaxies. Cette matière négative, en s'infiltrant entre elles, assure leur CONFINEMENT. Elles sont comme nichées dans des trous de gruyère.



je crois que je vais prendre une aspirine

Résultats de simulations numériques (1992). En bas la courbe de rotation qui s'en déduit et qui colle parfaitement avec l'observation

de même que les mini effets de lentille gravitationnelle permettant aux Nouveaux Astronomes de cartographier la matière sombre dans l'univers, de même des gens comme Albert Bosma, ci-contre, adaptent les distributions de matière sombre qui permettent de retrouver les courbes de rotation. Faute de nouveaux modèles théoriques, tout se résume à la loi de Newton et à des techniques d'ajustement pour coller aux données d'observation

$$F = \frac{Gmm'}{d^2}$$



Au XVII^e siècle Toricelli comprit que c'était la **PRESSION ATMOSPHÉRIQUE** qui faisait monter le mercure dans le baromètre qu'il avait inventé. Sinon les scientifiques en seraient encore à mesurer l'**HORREUR DU VIDE**.

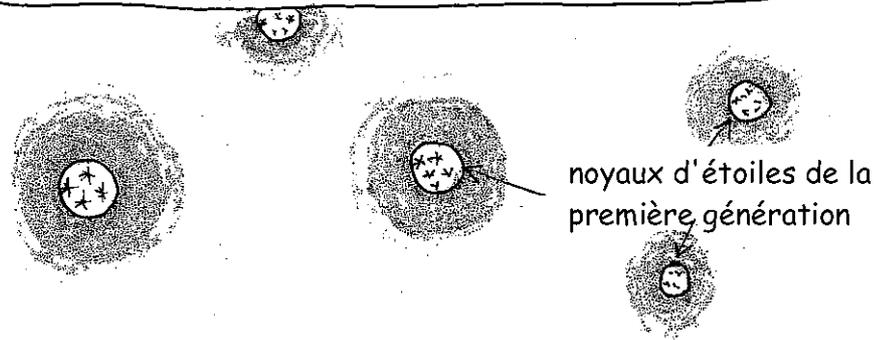
c'est une grande découverte : l'horreur du vide décroît avec l'altitude.



Pourquoi les galaxies légères ont-elle du gaz et les galaxies massives, non ?

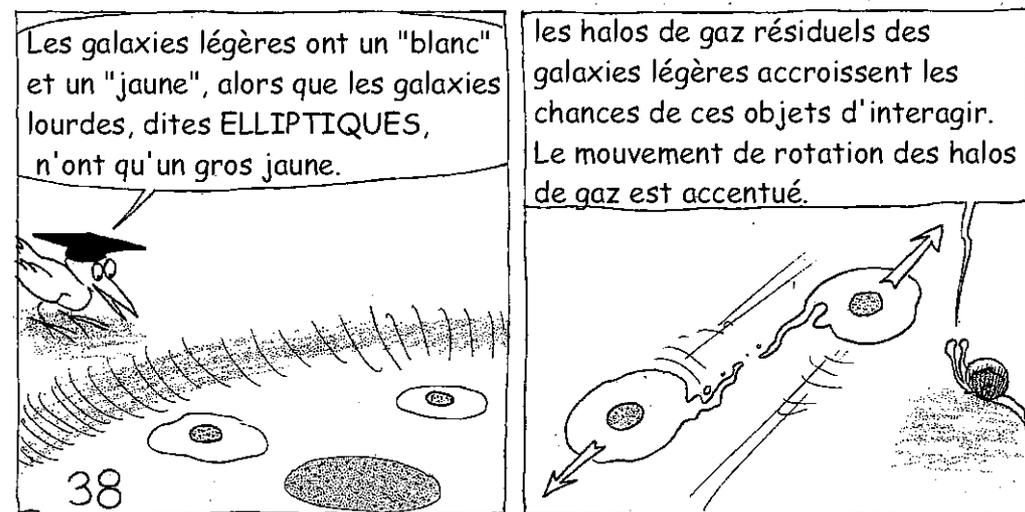


Mais s'il s'agit d'une galaxie dix fois plus légère le chauffage communiqué au gaz résiduel sera insuffisant pour lui faire quitter celle-ci. Il se dilatera alors en formant une sorte d'atmosphère. Les jeunes galaxies, encore très proches les unes des autres "se frotteront" lors de rencontres et ceci mettra ces auras gazeuses en rotation (mais pas le noyau central fait d'étoiles)



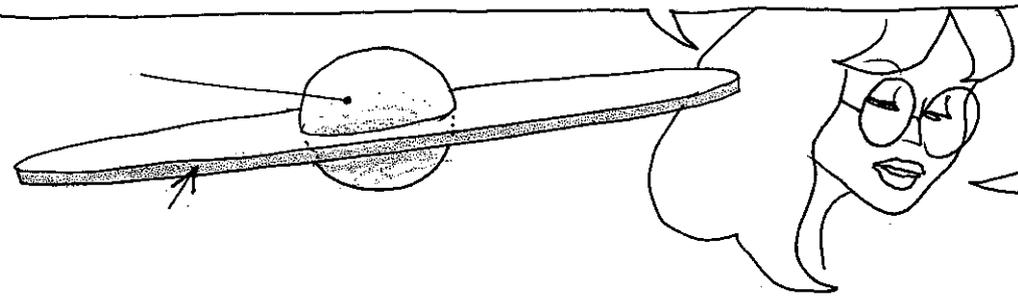
les étoiles de "premières génération" se forment immédiatement et portent à haute température le gaz résiduel ambiant. Pour les galaxies massives ce chauffage est si puissant que la vitesse d'agitation thermique $V = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ dépassera la VITESSE DE LIBÉRATION(*) de la galaxie. Ce gaz ira donc se perdre dans l'espace et sera si raréfié que les collisions entre atomes ne pourront entraîner son REFROIDISSEMENT RADIATIF.

Comme déjà décrit en 1986 dans MILLE MILLIARDS DE SOLEILS, page 38 :

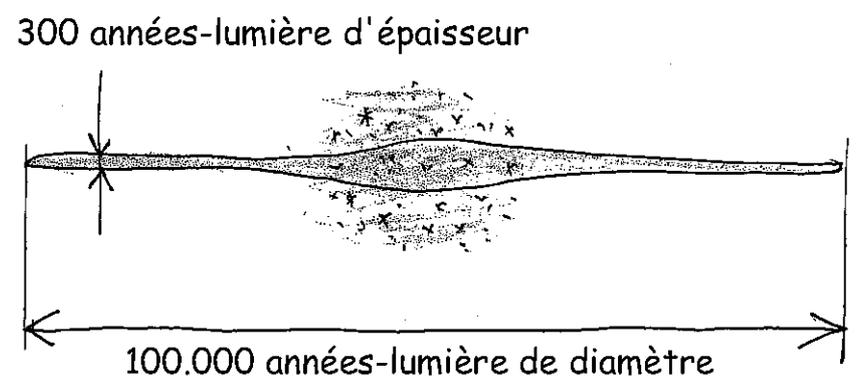


(*) Cette vitesse de libération est de l'ordre de 1000km/s. En appliquant $\frac{1}{2} mV^2 = \frac{3}{2} kT$ (annexe ???) on trouve que les galaxies doivent baigner dans du gaz à des dizaines de millions de degrés, ce qui a été mis en évidence.

l'expansion éloigne les galaxies les unes des autres. Les auras gazeuses conservées par les galaxies légères, forment des ensembles collisionnels d'atomes, se refroidissent en émettant du rayonnement. Conservant le **MOMENT CINÉTIQUE** acquis lors des rencontres cette masse gazeuse se mue en un disque très plat, associé au sphéroïde constitué par les étoiles de première génération qui, lui, **NE TOURNE PAS** et donnera les centaines d'amas globulaires, de 100.000 étoiles, constituant la "galaxie fossile"

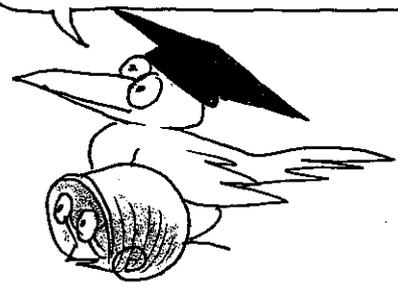


le refroidissement radiatif déstabilise cette masse gazeuse, ce qui entraîne la naissance d'étoiles de seconde génération par instabilité gravitationnelle



l'épaisseur du disque de gaz se maintient constante car le rayonnement UV émis par les jeunes étoiles le réchauffe et l'empêche de s'aplatir complètement. Ceci étant, la géométrie du disque de gaz d'une galaxie qui en possède est comparable à celle d'un CD-ROM

Autrement dit. ces galaxies fonctionnent comme des chasses-d'eau. Quand la température du gaz baisse, de nouvelles étoiles se créent et le réchauffent.

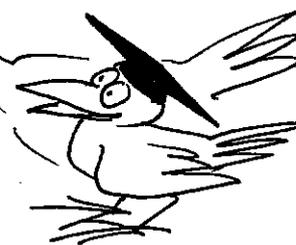
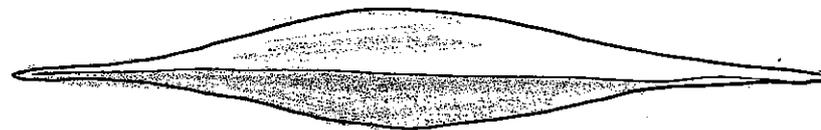


il y a une chose qui m'échappe: ces galaxies spirales, quand on les voit par la tranche ne me semblent guère aussi aplaties. Et on ne distingue guère de frontière entre les deux populations d'étoiles, celles du halo et celles du disque

le gaz interstellaire est fragmenté en nuage de masses très variées pouvant représenter 100.000 masses solaires. Les étoiles n'interagissent pas entre elles, s'ignorent(*) mais elles quittent le disque lorsque, croisant une masse de gaz interstellaire elles sont accélérés par EFFET DE FRONDE

le milieu interstellaire est aussi impermanent que les cumulus un jour ensoleillé. Sans cesse l'explosion de supernovae (une par siècle, soit un million par tour de galaxie) disperse le gaz dans un rayon de plus de cent années lumière, créant du désordre à la manière de pétards explosant dans un édredon. L'orage passé, un autre nuage se reconstituera plus loin, par instabilité gravitationnelle

paisible, la voie lactée? tu parles!...



(*) Les croisements proches d'étoiles sont aussi fréquents que pourraient l'être les collisions de deux fourmis circulant sur le territoire français

STRUCTURE SPIRALE

où en est-on sur ce front-là ?

En considérant les galaxies isolément les bras spiraux ne tiennent pas. Ils se dissipent en un tour



quand je balance de l'hydrogène froid, ça spirale, pas longtemps, mais comme on observe des galaxies spirales c'est que, nécessairement un flux continu d'hydrogène froid les alimente en abondance

Cette matière ultra froide, vous l'observez ?



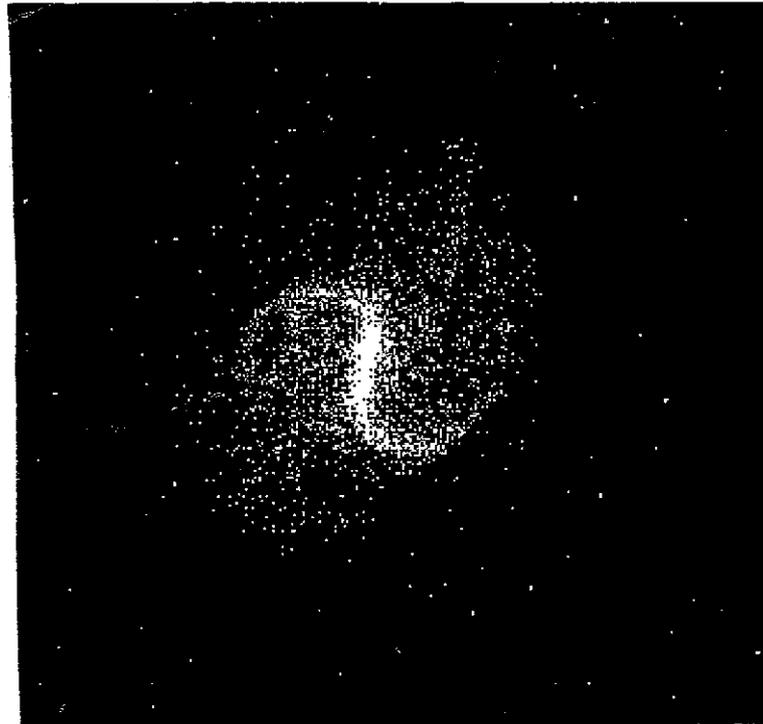
Cette matière froide est **NÉCESSAIREMENT** présente dans les amas de galaxies **PUISQU'IL** y a des galaxies spirales

c'est un point de vue...

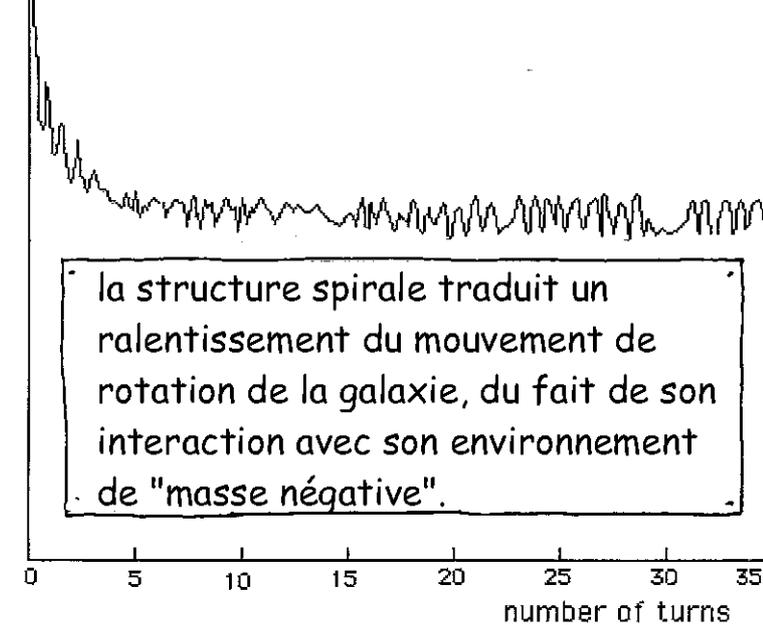
c'est fou le nombre de trucs qui sont aujourd'hui **NÉCESSAIRES** pour maintenir debout la boutique...



En 2002, en faisant interagir un grumeau de matière de masse positive, en rotation dans un trou ménagé dans une distribution de masses négatives : création immédiate d'une spirale barrée stable sur 30 tours. Mais abandon de ce thème de recherche face à l'hostilité violente de la concurrence.



Momentum of the positive population

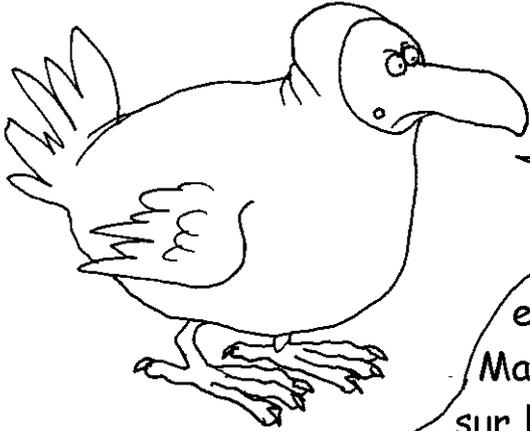


la structure spirale traduit un ralentissement du mouvement de rotation de la galaxie, du fait de son interaction avec son environnement de "masse négative".

Là, l'idée est très simple: la galaxie, confinée dans son "trou" de gruyère et tournant à l'intérieur de celui-ci subit les effets d'un phénomène de FRICTION DYNAMIQUE

Comme quand on fait tourner son cappuccino dans sa tasse avec une cuillère.

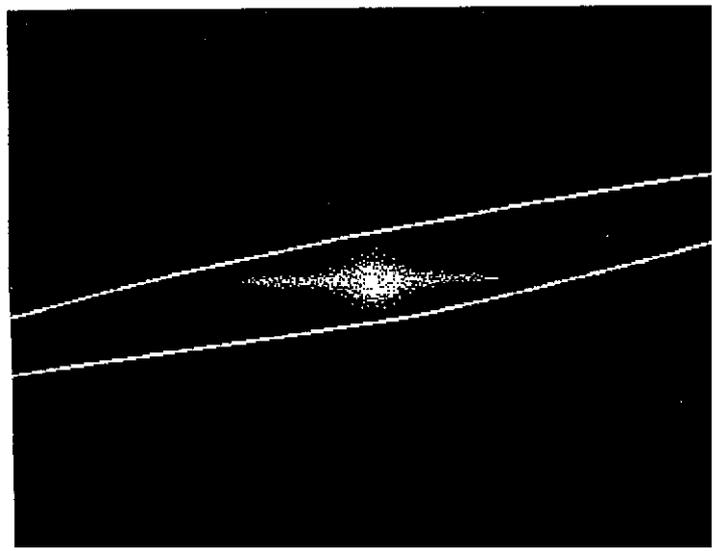
MYTHIQUE MATIÈRE SOMBRE



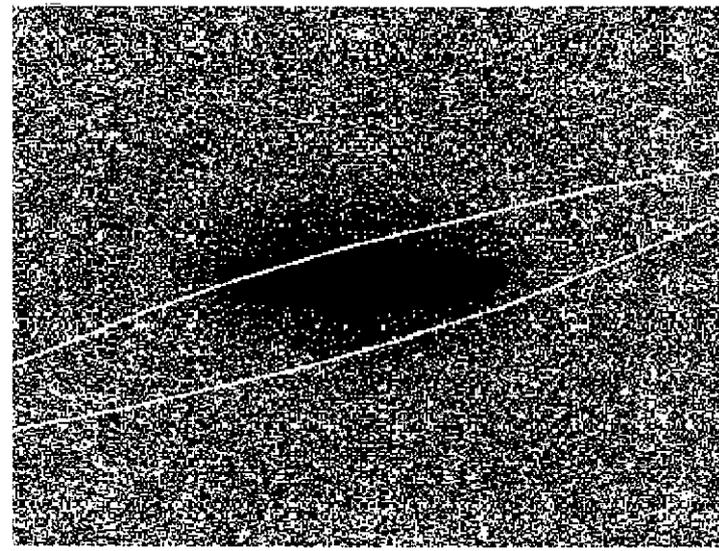
Tout ça c'est très joli. Mais que faites-vous des forts effets de lentille gravitationnelle qui PROUVENT l'existence de la matière sombre



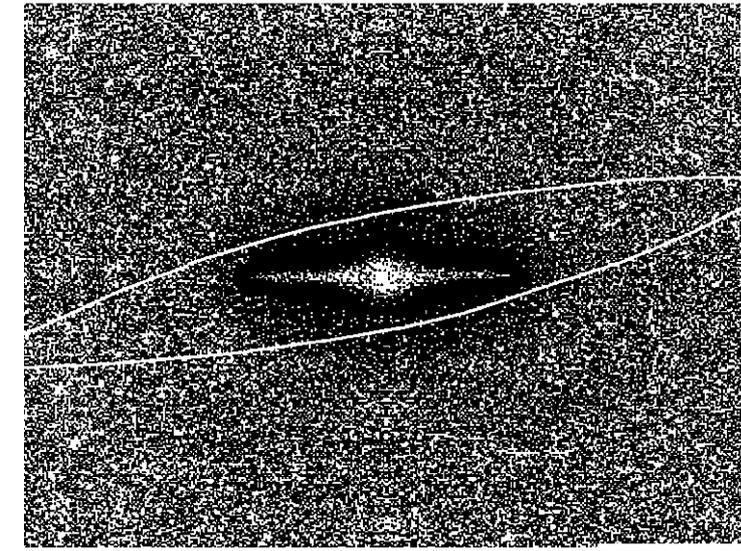
La galaxie, considérée isolément produirait un premier effet de lentille gravitationnelle, dû à sa masse (image de gauche). Mais la masse négative environnante, qui la confine, agit également sur les trajectoires des photons et produit un EFFET DE FOCALISATION (image centrale) qui produit un effet global renforcé (image de droite). Vous imputez ceci à un halo de matière sombre invisible qui ... n'existe pas.



effet de lentille gravitationnelle, galaxie seule

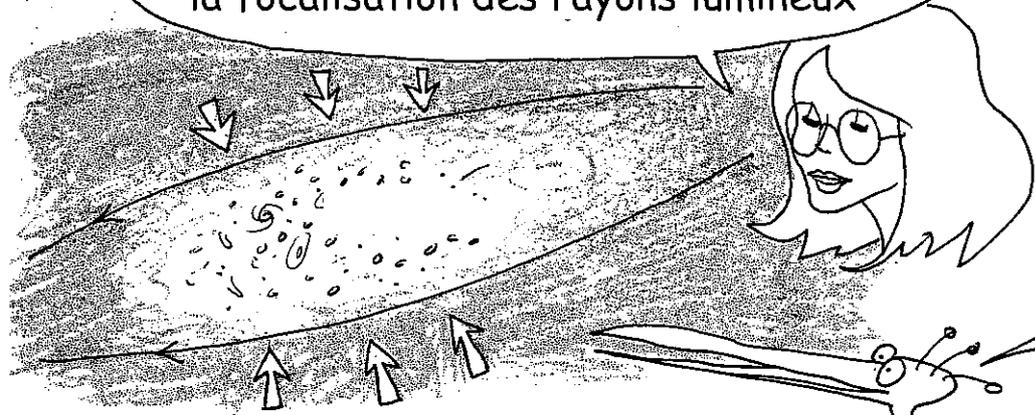


focalisation due à l'action de la masse négative

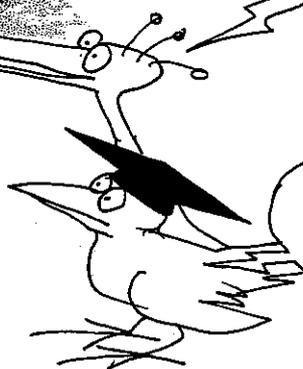


les deux effets, combinés

pour les AMAS DE GALAXIES, même cause, mêmes effets: renforcement de la focalisation des rayons lumineux

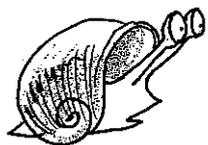


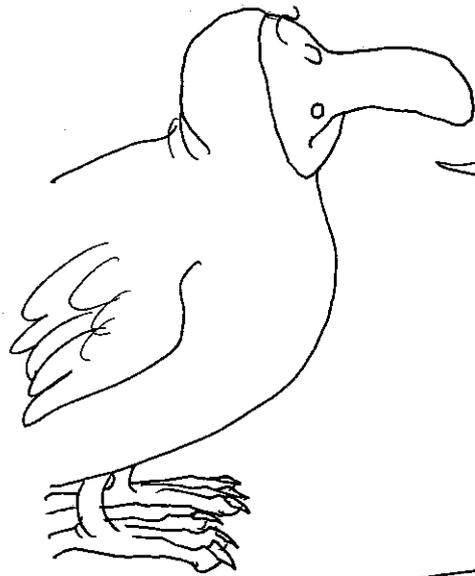
si je comprends bien, cette matière à masse négative exerce une contre-pression à différents niveaux. Elle assure d'abord la pérennité de la structure à grande échelle de l'univers, lacunaire. Puis elle maintient les galaxies dans les amas. À une échelle moindre elle confine les galaxies. Mais ne pourrait-elle pas s'infiltrer à l'intérieur même des galaxies ?



oui, et on la trouvera, avec de très faibles densités entre les étoiles

C'est drôle. À très grande échelle c'est la matière qui est structurée comme un gruyère, les conglomérats de masse négative se localisant au centre des "trous". À plus petite échelle c'est le contraire. C'est la matière de masse négative qui devient lacunaire. Dans les "trous" se logent les galaxies, et à plus petite échelle, les étoiles.

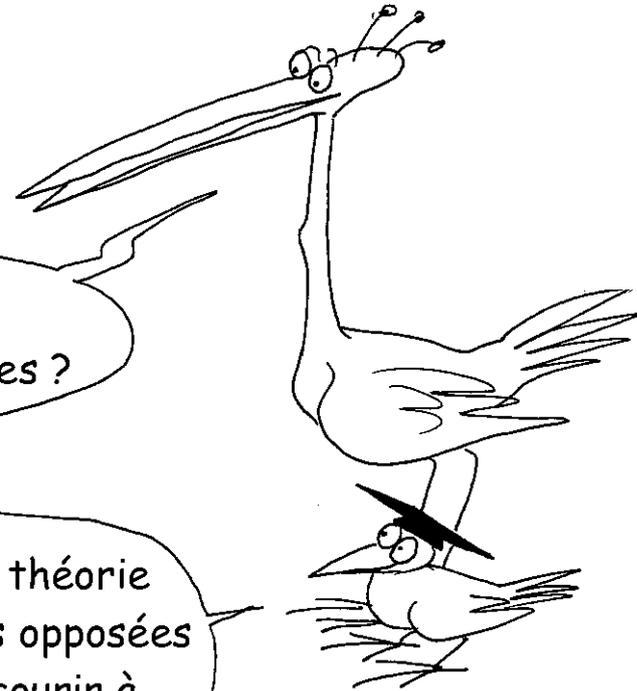




bon... vous avez trouvé une interprétation
ALTERNATIVE de ce phénomène.
Personnellement je préfère celle qui est
fondée sur la MATIÈRE SOMBRE

ce qui voudrait dire qu'il serait impossible
d'opter pour l'une ou l'autre de ces théories ?

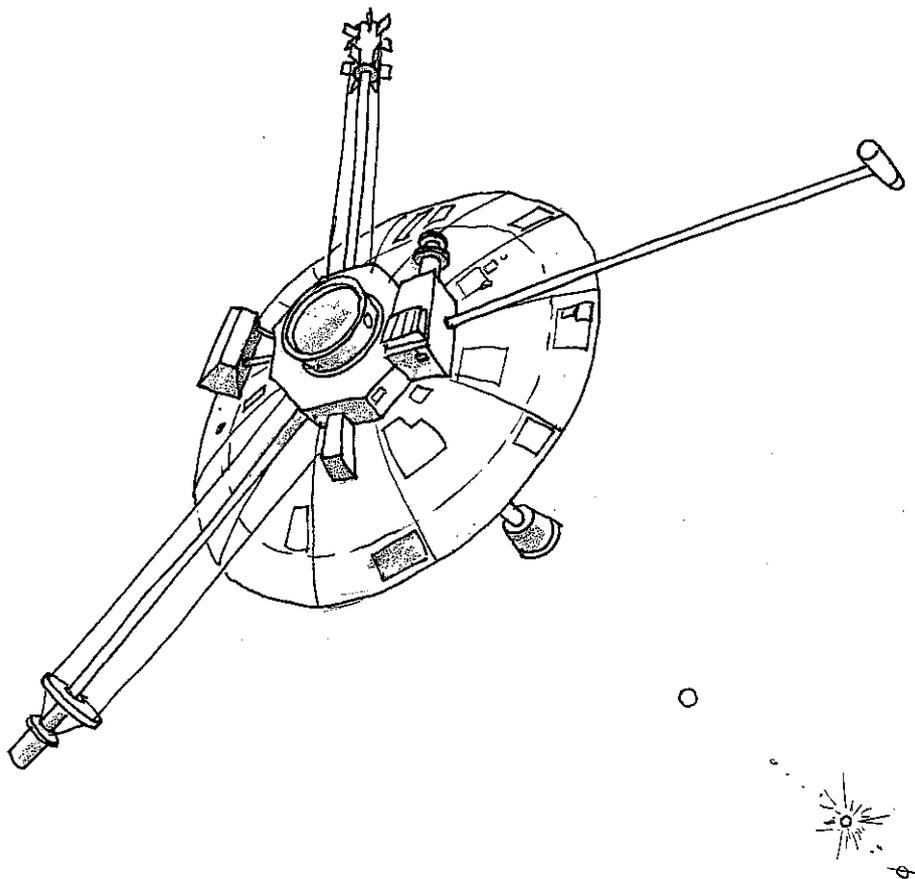
il faut quand même remarquer qu'avec cette théorie
où on fait interagir deux matières de masses opposées
on fait coup double, puisque cela évite de recourir à
un autre ingrédient: L'ÉNERGIE NOIRE



l'idéal serait de considérer une observation dont on pourrait rendre compte avec
cette matière à masse négative, et pas avec la matière sombre



L'EFFET PIONEER



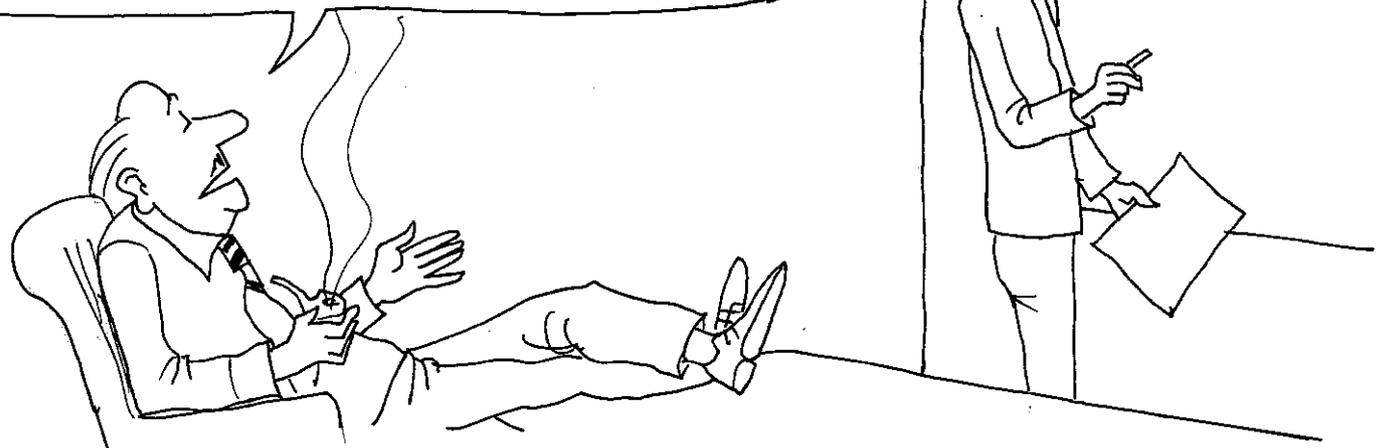
En 1972-1973 la Nasa procéda au lancement de deux sondes identiques : PIONEER X et PIONEER XI. Bénéficiant d'une impulsion par EFFET DE FRONDE en frôlant Jupiter elles purent acquérir une vitesse qui leur permit d'échapper à l'attraction du Soleil et de quitter le système solaire en ????. Alimentées par un générateur nucléaire elles purent envoyer des signaux jusqu'en ????. On constata un phénomène insolite. Les sondes subissaient une décélération infime mais parfaitement mesurable (*). Tout fut envisagé pour rendre compte de ce phénomène, y compris le fait que le système solaire recèle, au voisinage du Soleil une certaine quantité de MATIÈRE SOMBRE.

Mais pour la première fois l'explication à tout faire ne fonctionna pas...



Le système solaire fonctionne comme une mécanique de précision, régie par la loi de Newton. L'ordinateur a permis au fil des ans de pouvoir situer à tout moment les planètes proches du Soleil à 20 mètres près. Une telle précision interdit toute modification de la masse, centrale, qui régit le mouvement des planètes de plus d'un cent millième de celle du Soleil. Or, pour pouvoir rendre compte des accélérations observées la quantité de matière sombre à rajouter au modèle classique excéderait largement cette valeur. On est donc contraint de chercher ailleurs la cause du phénomène. Actuellement (2008) les efforts se portent sur une ... modification (empirique) de la loi de Newton (MOND ou Modified Newton Dynamics)(*). Ceci entraîne une remise en cause des principes fondateurs de la Relativité Générale. Mais, au-delà, les ajustements nécessaires pour faire apparaître ces décelération à distance ne cadrent alors plus avec la dynamique à faible distance du Soleil (planètes telluriques)

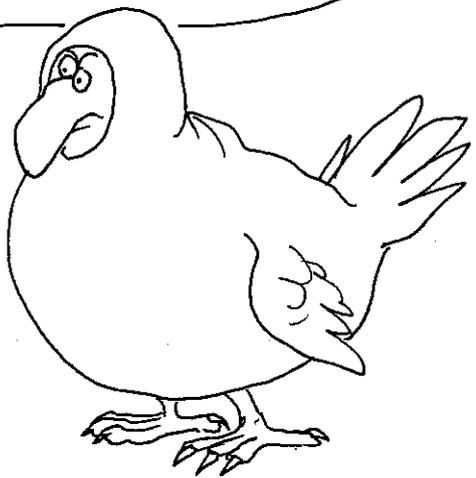
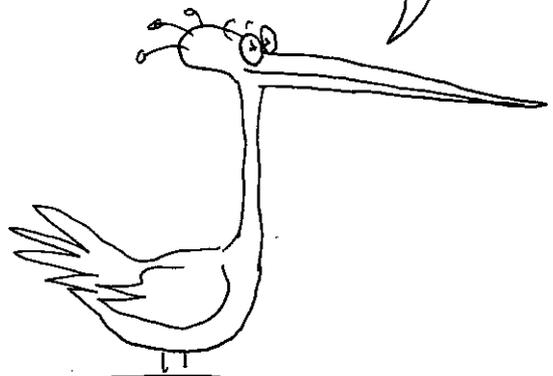
Je veux bien reconnaître que votre loi de Newton modifiées rend compte de la décelération des sondes. Mais si j'utilise votre loi pour envoyer une sonde sur Mars, je rate ma cible, et pas qu'un peu. Les dates des éclipses de Soleil et de Lune ne cadrent plus avec les ÉPHÉMÉRIDES. Que faire ?



(*) Toutes les autres causes à caractère physique, technique, ayant été recensées et éliminées

L'hypothèse "Matière Sombre" ne parvient donc pas à résoudre l'incontournable énigme soulevée par le phénomène, **INCONTESTABLE**, mis en évidence par les sondes spatiales PIONEER X et PIONEER XI

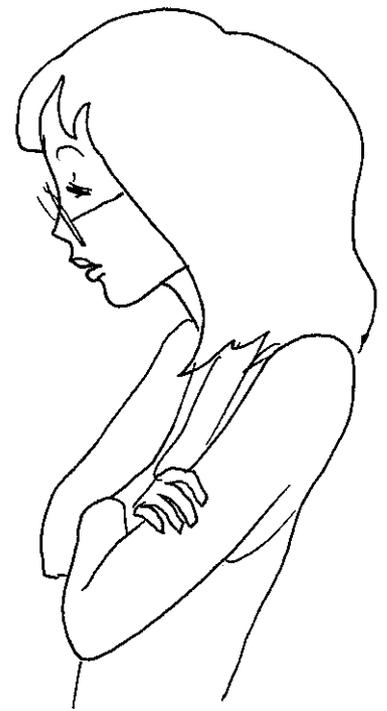
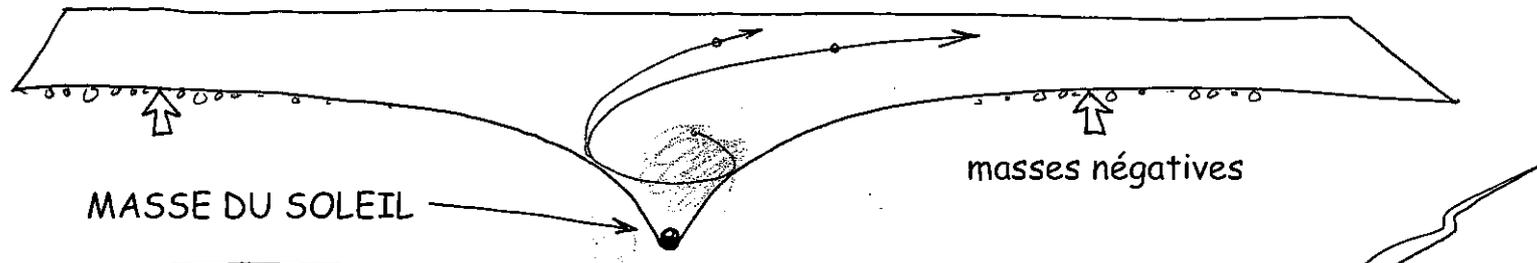
il ne reste que l'imputation de ce phénomène à l'action **RÉPULSIVE** de l'infime quantité de masse négative présente au voisinage du Soleil



qu'en est-il alors ?



les "balles de ping-pong" relèvent alors très légèrement, à distance, la surface sur laquelle les sondes se meuvent. La "côte à gravir" est simplement très légèrement plus pentue.



C'est LA SEULE explication qui ait un minimum de sens.

L'UNIVERS BIMÉTRIQUE

Voici un article que Sabine Hossenfelder a publié en juillet 2008 dans la revue Physical Review D

A Bi-Metric Theory with Exchange Symmetry

S. Hossenfelder*

Perimeter Institute for Theoretical Physics

31 Caroline St. N, Waterloo Ontario, N2L 2Y5, Canada

(Dated: July 17, 2008)

Physical Review Juillet 2008

We propose an extension of General Relativity with two different metrics. To each metric we define a Levi-Cevita connection and a curvature tensor. We then consider two types of fields, each of which moves according to one of the metrics and its connection. To obtain the field equations for the second metric we impose an exchange symmetry on the action. As a consequence of this ansatz, additional source terms for Einstein's field equations are generated. We discuss the properties of these additional fields, and consider the examples of the Schwarzschild solution, and the Friedmann-Robertson-Walker metric.

Sabine Hossenfelder, qui travaille au Perimeter Institute, Canada, connaît parfaitement l'existence de mes travaux antérieurs, très développés, sur l'univers bimétrique (Nuevo Cimento 1994, Astrophysics and Space Science 1995)

Je lui ai rappelé en octobre 2008 l'existence de ces articles sans recevoir de réponse.

Voir aussi :

1 - **Bigravity as an interpretation of cosmic acceleration** J.P.Petit & G. D'Agostini. <http://arxiv.org/abs/0712.0067> du 2 décembre 2007

2 - **Bigravity : A bimetric model of the Universe. Exact nonlinear solutions. Positive and negative gravitational lensings.** J.P.Petit & G. D'Agostini <http://arxiv.org/abs/0801.1477> du 10 janvier 2008

3 - **Bigravity : A bimetric model of the Universe with variable constants, including variable speed of light.** J.P.Petit & G. D'Agostini. <http://arxiv.org/abs/0803.1362> 15 mars 2008

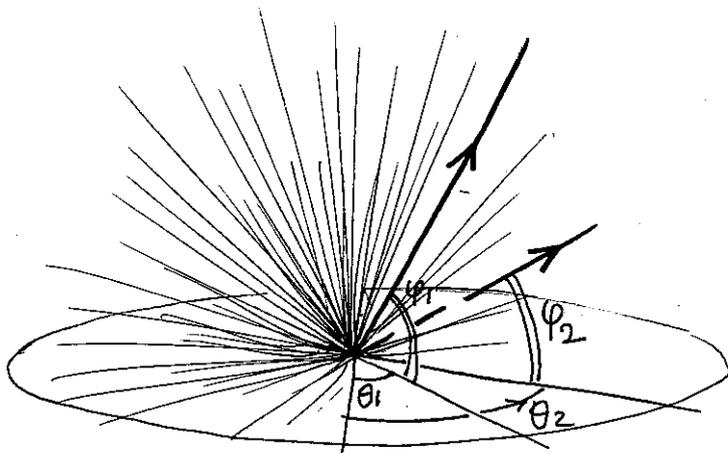
4 - **Five-dimensional bigravity. New topological description of the Universe.** J.P.Petit & G. D'Agostini <http://arxiv.org/abs/0805.1423> 9 Mai 2008

le monde des Sciences est pavé d'histoires de ce genre. Cette parenthèse faite, continuons...



LE MYTHE DE LA CAVERNE

Au IV^e siècle avant JC, le philosophe Grec Platon avait développé l'idée selon laquelle la perception que l'homme pouvait avoir du monde était comparable à l'observation d'ombres dansantes projetées, depuis l'extérieur, sur le mur d'une caverne où il vivrait, enfermé, la véritable nature des phénomènes lui échappant. Dès l'avènement de la Théorie de la Relativité le mythe ressurgit. En effet nous avons dit que la révolution de ce début de siècle avait consisté à restituer les phénomènes sur une HYPERSURFACE ESPACE-TEMPS. Nous allons introduire une image. Vous connaissez tous ces luminaires constitués par un bouquet de fibres optiques, qui ne font que pointer une direction repérable par deux ANGLES, l'azimut θ et le site φ . C'est une image d'un ESPACE PRÉ-MÉTRIQUE ou le concept de DISTANCE est dénué de sens puisque deux fibres ne sont séparées que par des ÉCARTS ANGULAIRES.

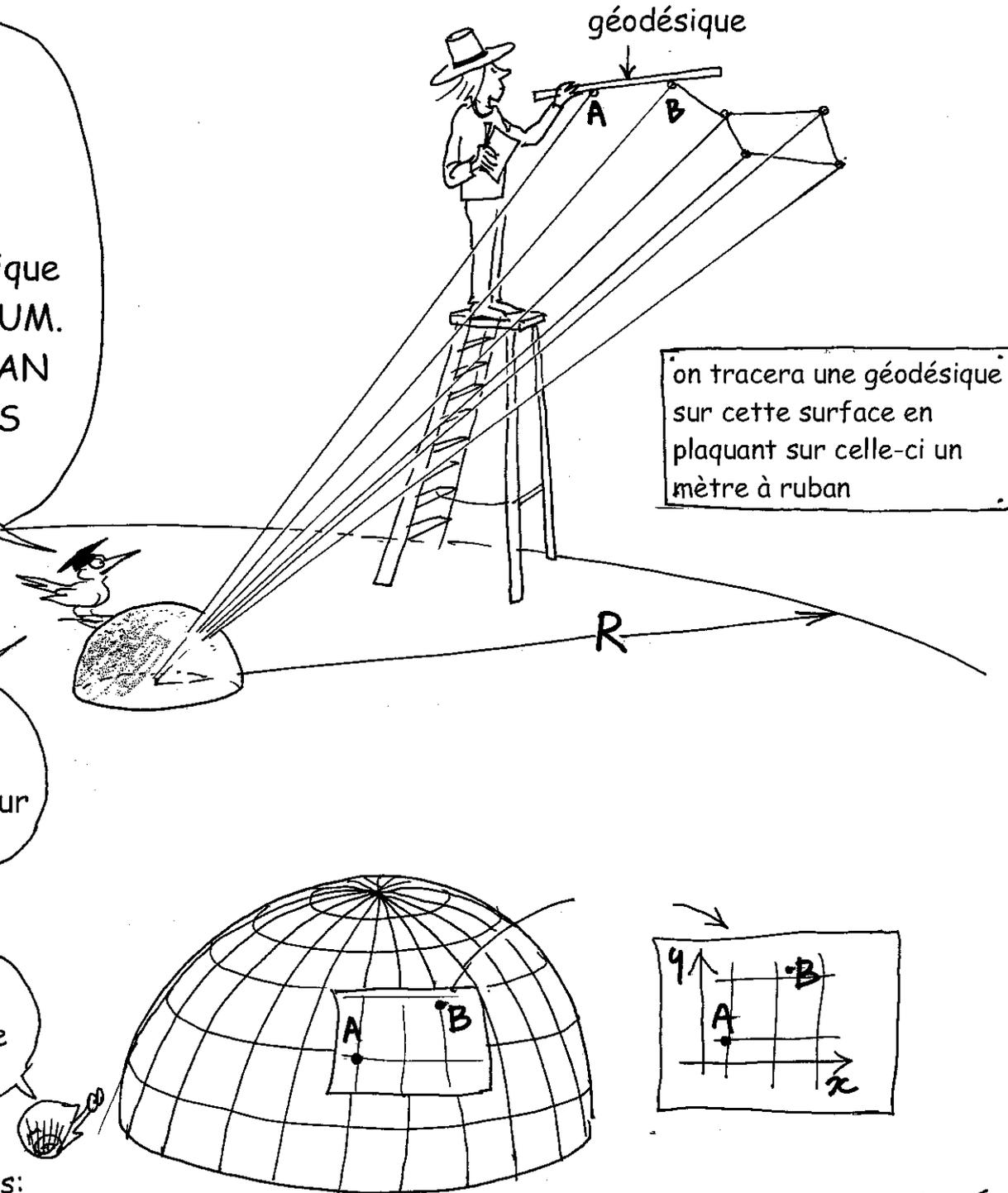


Imaginons un paquet de telles fibres optiques, infiniment serrées. Certaines émettent de la lumière, d'autres, non. En projetant ces rayons éventuellement de couleurs différentes, sur un écran sphérique on fabriquerait un classique PLANÉTARIUM. On pourra ainsi MESURER SUR CET ÉCRAN LA DISTANCE SÉPARANT DEUX DE CES IMAGES et utilisant une GÉODÉSIQUE

La longueur de l'arc géodésique AB sera proportionnelle au rayon R de l'écran sphérique de notre planétarium. On appellera cette grandeur R "facteur d'échelle d'espace", ou "jauge" *

on peut ensuite CARTOGRAPHIER l'écran en le maillant à l'aide de deux familles de courbes que nous appellerons COORDONNÉES

(*) les terminologies utilisées varient selon les auteurs: space scale factor, gauge, warp factor, etc...



BIMÉTRIQUE

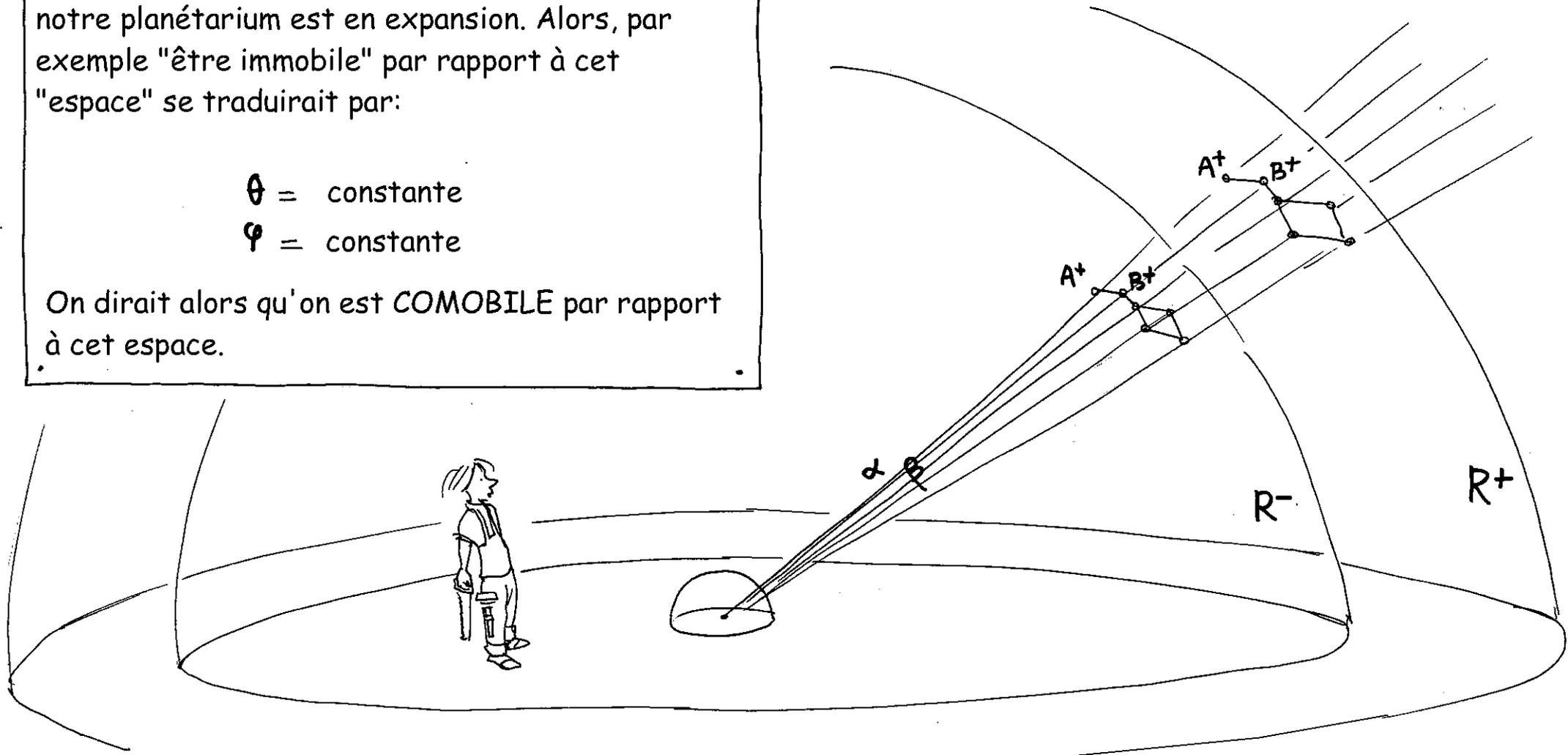
Il est clair que la véritable façon de repérer une POSITION dans cet espace n'est pas cet ensemble de deux longueur (x,y) mais les angles (θ,φ) . Ceci sera d'autant plus vrai si l'écran... se gonfle, si notre planétarium est en expansion. Alors, par exemple "être immobile" par rapport à cet "espace" se traduirait par:

$\theta = \text{constante}$

$\varphi = \text{constante}$

On dirait alors qu'on est COMOBILE par rapport à cet espace.

Imaginons maintenant que cet ensemble de "positions", de "lieux" (θ,φ) puisse se projeter selon non UN écran, mais DEUX



on aura donc deux manières différentes de MESURER la distance séparant les points $\widehat{A^+ B^+}$ $\widehat{A^- B^-}$ image des mêmes "rayons lumineux" α et β selon l'écran choisi.

(PLATON)² OU L'UNIVERS JUMEAU

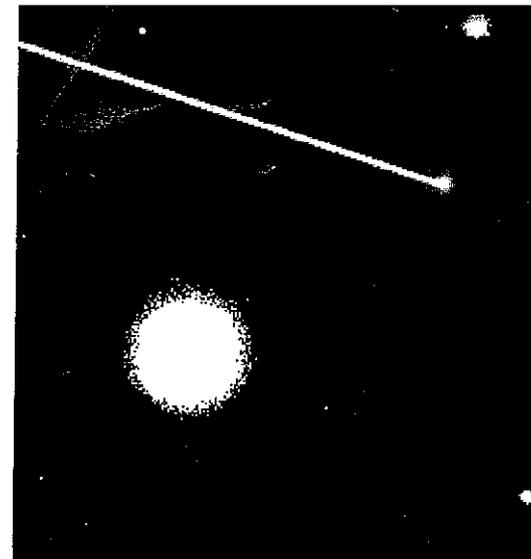
Cette conception BIMÉTRIQUE de l'Univers représente un CHANGEMENT DE PARADIGME très difficile à concevoir. Elle revient à prendre Platon à la lettre, avec une structure sous-jacente, NON MÉTRIQUE, où les lieux différents α et β (les "fibres optiques") sont repérés à l'aide d'ANGLES ($\theta_\alpha, \varphi_\alpha$) et ($\theta_\beta, \varphi_\beta$). Ce "système de projection" (le planétarium) se projette sur deux surfaces (feuillet, branes, peu importe) dont les facteurs d'échelles R^+ et R^- peuvent être très différents, y compris "d'un lieu à l'autre". Pour un mathématicien géomètre c'est une chose tout à fait "naturelle" de doter une structure sous-jacente où les positions se repèrent à l'aide d'angles, qu'il appelle VARIÉTÉ (en anglais MANIFOLD) de plusieurs feuillets (SHEET), dont les facteurs d'échelle R^+ et R^- (WARP FACTORS) peuvent être totalement différents. Si ces HYPERSURFACES 4d sont des ESPACES de MINKOWSKI les objets ne pourront y cheminer plus vite que la vitesse de la lumière de l'espace considéré. Mais ces vitesses peuvent être très différentes (par exemple $c^- \gg c^+$). Bien sûr, on envisage que les objets de masse m^+ (appelés précédemment m), et les objets de masse m^- et d'énergie E^- (désignées précédemment par \bar{m} et \bar{E}) empruntent des chemins $\widehat{A^+B^+}$ et $\widehat{A^-B^-}$ s'inscrivant dans des feuillets (SHEETS ou BRANES) différents, que l'on peut considérer comme des UNIVERS JUMEAUX U^+ ET U^- , constituant en fait un seul et même UNIVERS JUMEAU U . Ce SECOND UNIVERS n'est pas ailleurs, de même que les particules à énergie négative ne sont pas AILLEURS. Objets de masses et d'énergies opposées sont immergés dans un même univers, ou

ILS NE PEUVENT INTERAGIR QUE PAR LA GRAVITATION

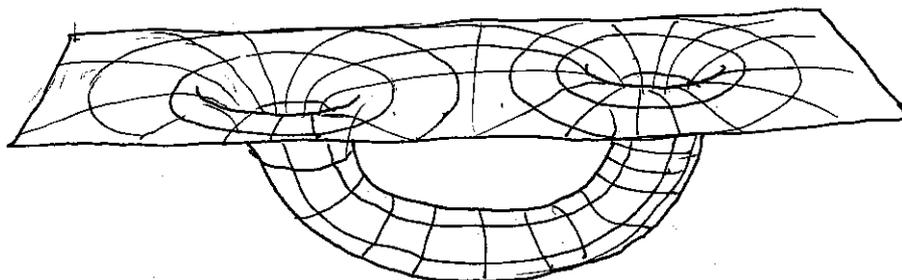
Le VOYAGE INTERSTELLAIRE serait donc non-impossible et pourrait s'effectuer en empruntant les "couloirs" d'un UNIVERS JUMEAU doté d'une vitesse lumineuse C^- plus élevée. Un véhicule dont la masse serait inversée, serait

- Invisible
- Repoussé par la masse de la Terre

en alternant sa présence à travers un phénomène de nature quantique dans les deux univers jumeaux il tomberait dans un de ces mondes et s'élèverait dans l'autre, l'alternance rapide de ces deux séquences donnant à un observateur constitué de masse positive une impression d'immobilité, donc d'ANTIGRAVITATION.



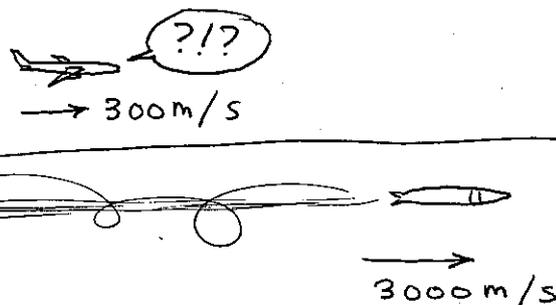
Jusqu'à présent, quand ils acceptaient de les considérer comme "non-impossibles", les scientifiques imaginaient que des voyages interstellaires puissent s'effectuer en empruntant des "tunnels hypersphériques", ou "Wormholes" (trous de vers). Mais rien de bien convainquant n'avait émergé de tout ceci.



ouais

VOYAGES INTERSTELLAIRES

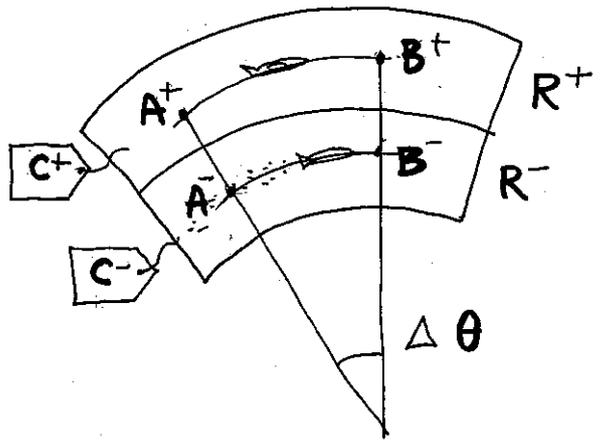
les observations astronomiques ont accrédité au fil du temps que tout, dans l'Univers, pourrait ne pas être observable optiquement et ... tangible. On a ainsi forgé l'idée, totalement spéculative (en science on gère beaucoup de questions en créant de simples mots) qu'il puisse exister des particules, hypothétiques, "n'interagissant que très faiblement avec notre propre matière(*). Au delà on peut envisager des particules qui n'interagissent avec notre matière QU'À TRAVERS LA FORCE DE GRAVITÉ. Un vaisseau constitué de MASSES NÉGATIVES, croisant à seulement quelques dizaines de km/s pourrait traverser notre planète de part en part, et même notre Soleil, sans en être incommodé (si dans ce cas sa vitesse est suffisante pour qu'il ne reste pas prisonnier du champ de gravité de celui-ci). S'agissant de cheminements à des vitesses apparemment supraluminiques on peut donner l'image suivante: Dans un monde "double" le déplacement supersonique est impossible. Mais, pour aller d'un lieu à un autre deux cheminements sont possibles: par voie aérienne, à moins de 340m/s et... sous l'eau, en dessous de la vitesse du son dans cet autre milieu, mais qui est cette fois dix fois plus élevée,



(*) On les appela des WIMPS (Weakly Interacting Massive Particles)

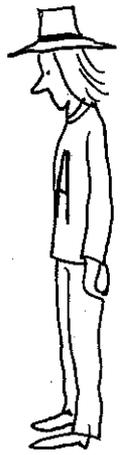
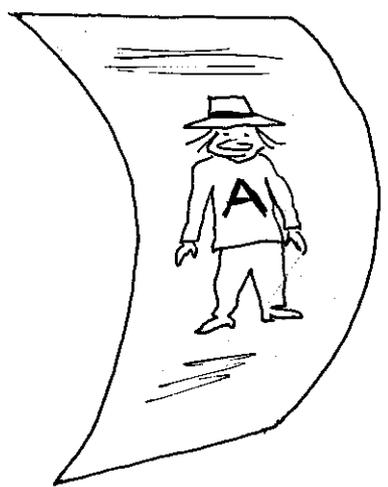
L'EFFET GULLIVER

S'agissant du raccourcissement de la distance à parcourir on peut imaginer que le déplacement n'est qu'ANGULAIRE et se prête à deux types de REPRÉSENTATIONS différentes, liées à des facteurs d'échelle d'espace (WARP FACTORS) R^+ et R^- très différents, ces représentations spatiales étant elles mêmes liées à des vitesses de la lumière C^+ et C^- très différents :



$$\begin{cases} R^+ \gg R^- \\ C^+ \ll C^- \end{cases}$$

on gagnerait ainsi sur les deux tableaux:
 dans le "monde négatif" (Univers "jumeau"):
 moins de distance à parcourir, plus vite



derrière un miroir concave les distances
 à parcourir sont aussi plus courtes. Il me
 suffirait de "passer de l'autre côté du
 miroir"

Cette histoire dérape, commence à ressembler de plus en plus à ALICE AU PAYS DES MERVEILLES. Nous nageons maintenant en pleine fiction.

mais la science d'aujourd'hui c'est la fiction d'hier Un siècle plus tôt la transformation directe de matière en énergie selon la loi $E = mc^2$, c'était de la pure fiction



c'est quand même amusant

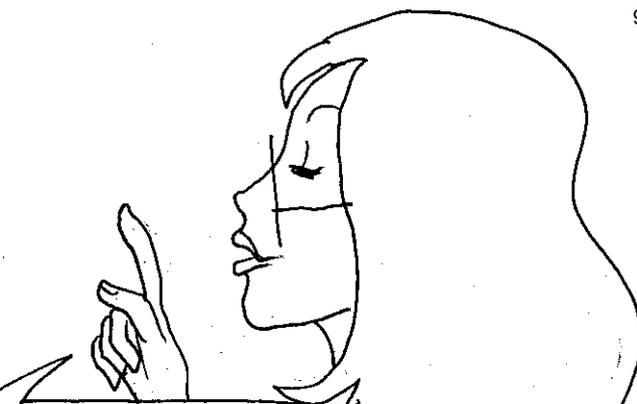
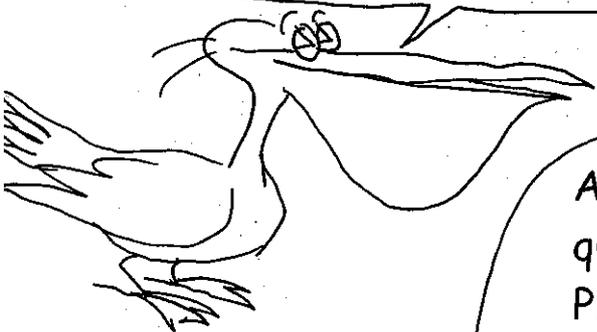
On aurait dit que cela était impossible parce que violant :
LE PRINCIPE DE CONSERVATION DE LA MATIÈRE

la loi ci-dessus n'est rien d'autre que
LE PRINCIPE DE
CONSERVATION DE
L'ÉNERGIE MATIÈRE

pour cette vision "gémellaire" je propose un nouveau principe: d'un feuillet à l'autre L'ÉNERGIE-MATIÈRE SE CONSERVE



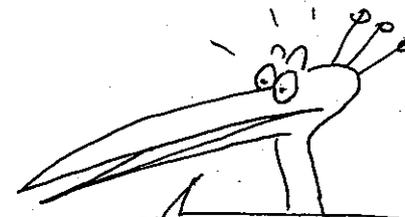
Ah, mon cher Tirésias, nous sommes en train de jouer un jeu: ATTENTION, UN PRINCIPE PEUT EN CACHER UN AUTRE, et à ce jeu-là, vous ne craignez personne !



Attention, la MÉCANIQUE QUANTIQUE n'a pas fini de nous surprendre, qui gère des PROBABILITÉS DE PRÉSENCE. Deux chercheurs FABRICE PETIT et MICHAËL SARRAZIN viennent de publier un travail avec une REPRÉSENTATION À DEUX FEUILLETS dans la revue PHYSICAL REVIEW D où une particule peut passer d'un feuillet à l'autre en mettant d'ailleurs en oeuvre ce principe de conservation de l'énergie matière ce PRINCIPE DE TIRÉSIAS

et ces deux-là envisagent même de monter des expériences avec des énergies plutôt modestes

la BARRIÈRE LUMINIQUE c'est le mur de Berlin de la Science de notre temps, la physique à l'ouest du Pecos



mais alors, la fiction est à nos portes. Vous imaginez tout ce que cela implique !!

LA PHYSIQUE À L'OUEST DU PECOS

Plausible "faster-than-light" displacements in a two-sheeted spacetime

Fabrice Petit^{1,*} and Michaël Sarrazin^{2,†}

¹Belgian Ceramic Research Centre,

4 avenue du gouverneur Cornez, B-7000 Mons, Belgium

²Laboratoire de Physique du Solide, Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix,
61 rue de Bruxelles, B-5000 Namur, Belgium

In this paper, we explore the implications of a two-point discretization of an extra-dimension in a five-dimensional quantum setup. We adopt a pragmatic attitude by considering the dynamics of spin-half particles through the simplest possible extension of the existing Dirac and Pauli equations. It is shown that the benefit of this approach is to predict new physical phenomena while maintaining the number of constitutive hypothesis at minimum. As the most striking feature of the model, we demonstrate the possibility of fermionic matter oscillations between the two four-dimensional sections and hyper-fast displacements in case of asymmetric warping (without conflicting special relativity). This result, similar to previous reported ones in brane-world theories, is completely original as it is derived by using quantum mechanics only without recourse to general relativity and bulk geodesics calculation. The model allows causal contact between normally disconnected regions. If it proves to be physically founded, its practical aspects could have deep implications for the search of extra-dimensions.

PACS numbers: 11.10.Kk, 04.62.+v, 11.25.Wx



1. arXiv:0809.2060 [ps, pdf, other]

Probing braneworlds through artificial matter exchange between branes: experimental setups for neutron and helium-3 disappearance

Michael Sarrazin, Fabrice Petit, submitted

2. arXiv:0706.4025 [ps, pdf, other]

Plausible "faster-than-light" displacements in a two-sheeted spacetime

Fabrice Petit, Michael Sarrazin. Accepted for publication in Phys. Rev. D76,(2007)

Journal-ref: Phys. Rev. D 76, 085005 (2007)

3. arXiv:hep-th/0603194 [ps, pdf, other]

Matter localization and resonant deconfinement in a two-sheeted spacetime

Michael Sarrazin, Fabrice Petit. Accepted for publication in Int. J. of Modern Physics A 22 (2007) 2629-2641

4. arXiv:hep-th/0505014 [ps, pdf, other]

Artificially induced positronium oscillations in a two-sheeted spacetime: consequences on the observed decay processes

Michael Sarrazin, Fabrice Petit. Accepted for publication in Int. J. of Modern Physics A 21 (2006) 6303-6314

5. arXiv:hep-th/0409084 [ps, pdf, other]

Quantum dynamics of massive particles in a non-commutative two-sheeted space-time

Fabrice Petit, Michael Sarrazin. Accepted for publication in Physics Letters B 612

6. arXiv:hep-th/0409083 [ps, pdf, other]

Quantum dynamics of particles in a discrete two-branes world model: Can matter particles exchange occur between branes?

Michael Sarrazin, Fabrice Petit. Published in Acta Physica Polonica B (2005)
Journal-ref: Acta Phys. Polon. B36 (2005) 1933-1950

Kiss, qu'est-ce que vous pensez de ces histoires de particules qui sautent d'un feuillet à l'autre ?



Tout dépend du consensus, mon cher Handshic. Si un large consensus se dégage, Main Stream suivra le mouvement

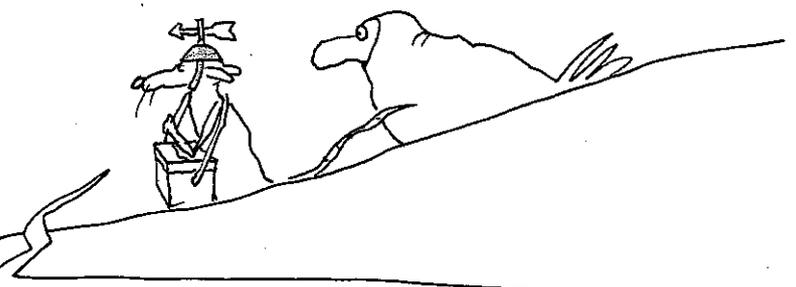
quand les temps changent, nous changeons avec eux



ça permet de savoir dans quel sens souffle le vent de la science



Une opinion !? Et puis quoi encore ? Comme si la vie n'était pas déjà assez compliquée !



Ah, excusez-moi. J'aperçois là-bas le professeur Nostradamour, qui sort de l'Institut. C'est un spécialiste incontesté des supercordes. Je m'en vais de ce pas l'interviewer. Vous savez: tant que ça fait vendre, moi je suis preneur



ce brave Harvey Kiss, avec sa revue MAIN STREAM sous le bras, son nécessaire pour cirer les chaussures et maintenant ce chapeau, il me fera mourir de rire !



Bon, récapitulons. Nous habitons un monde double, peuplé de particules qui ont des masses et des énergies opposées. Le Maître des groupes dit: c'est normal. C'est parce qu'elles naviguent à rebrousse-temps. Pour corser le tout, les distances parcourues pour aller d'un point de cet univers à un autre différent selon qu'on soit constitué de masses positives ou de masses négatives.

J'avoue que je suis perdu!



Ahem...

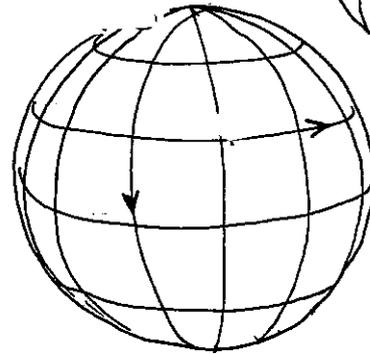
Comment faire interagir ces régions à flèches du temps opposées et où de plus, les façons de mesurer les longueurs sont différentes !?!

TOPOLOGIE DE L'ESPACE-TEMPS

Tu n'as qu'à replier l'Univers sur lui-même

Pars d'un modèle d'espace-temps avec un BIG BANG, un BIG CRUNCH et une situation d'extension maximale, que tu peux représenter en 2d à l'aide d'une simple sphère

qu'est-ce que c'est que cette histoire de fou ?



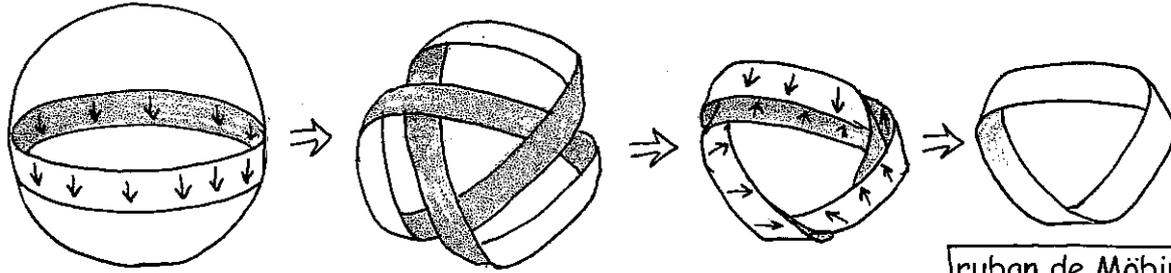
Oui, le temps suit les méridiens et l'espace, qui n'a qu'une dimension, est figuré par un cercle parallèle qui part de zéro, au "pôle BIG BANG" grandit jusqu'à devenir l'équateur de la sphère, puis collapse selon le "pôle BIG CRUNCH"

Tu sais que tu peux amener tout point de cet espace-temps en coïncidence avec son ANTIPODE SPATIO-TEMPORELLE (le point antipodal sur la sphère S^2 , et que le résultat est une surface de Boy. Tout cela est expliqué dans le TOPOLOGICON)(*)



(*) S'y référer. On ne va pas reprendre tout cela ici.

En feuilletant à rebours les pages 71 à 43, quatre animations permettent de suivre le repliement du voisinage de l'équateur qui, amenant les points antipodaux en coïncidence montrent comment des régions à flèche du temps opposées forment un "TWO SHEETED SPACETIME", un "espace-temps à deux feuillets"



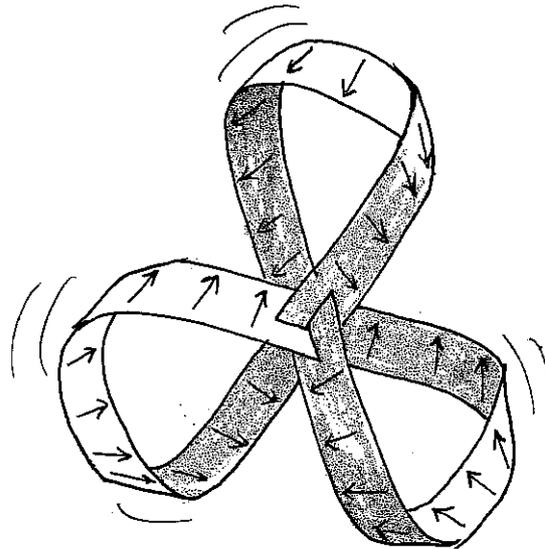
voisinage de l'équateur de cette sphère espace-temps

ruban de Möbius à trois demi-tours

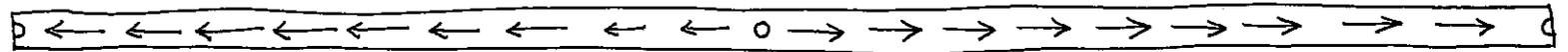
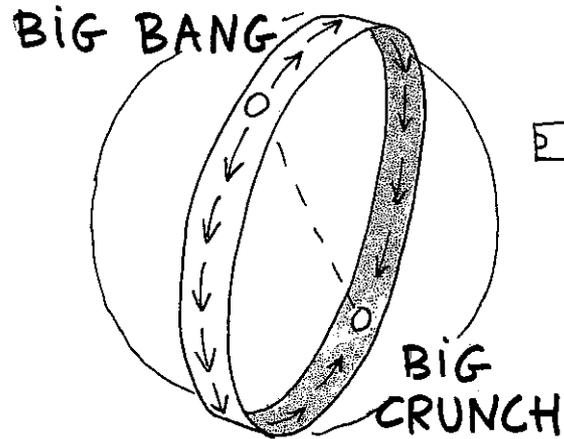
Ce voisinage de l'équateur se configure selon le REVÊTEMENT d'un ruban de Möbius à trois demi-tours. Mais il est assez difficile de réaliser soi-même cette opération, qui nécessite le croisement de trois nappes, comme indiqué sur la figure de la page 59:



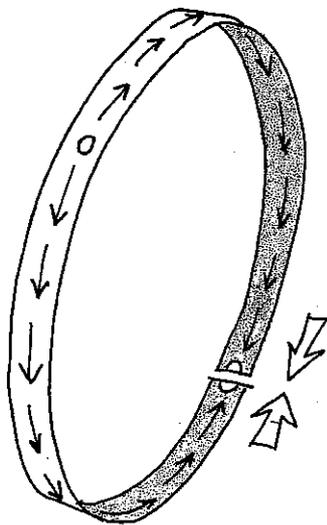
il faut reconnaître que pour un individu NORMAL c'est tout sauf évident



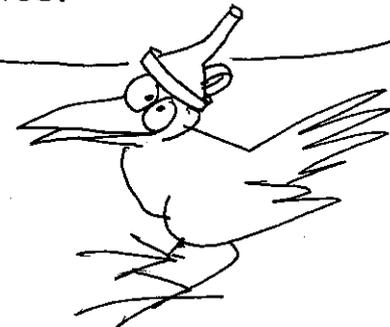
Pour vous montrer comment ce repli de la sphère espace-temps sur elle-même, amenant ses points en¹⁰¹ coïncidence avec leurs antipodes amène du même coup "face à face" deux régions à flèches du temps opposées nous allons procéder différemment. Nous partirons cette fois du voisinage d'un MÉRIDIEN de notre sphère espace-temps à deux dimensions. Fabriquez-vous une longue bande de papier de 2cm de large et de 80 et quelques centimètres de long. En son milieu, dessinez un rond figurant le BIG BANG et de part et d'autres les flèches du temps. En bout de bande, deux petits demi-cercles.



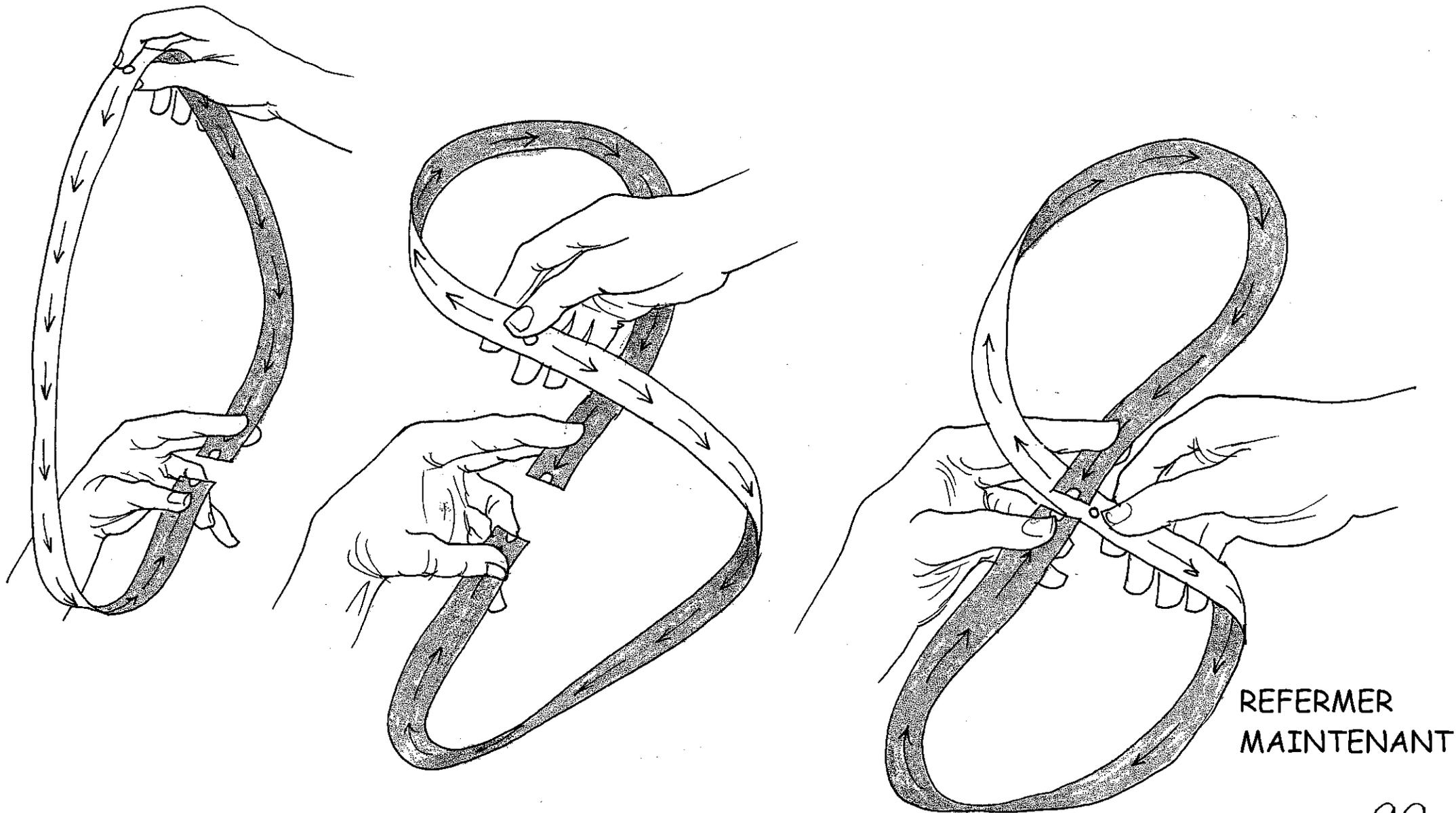
Doublez ces marques à l'identique sur le verso de la bande. Vous êtes prêts, en joignant les deux extrémités, à réaliser ce voisinage d'une ligne de temps, qu'on appelle LIGNE UNIVERS



Attention, il est encore temps de renoncer à cette expérience car elle va créer dans votre cerveau des connexions synaptiques irréversibles.

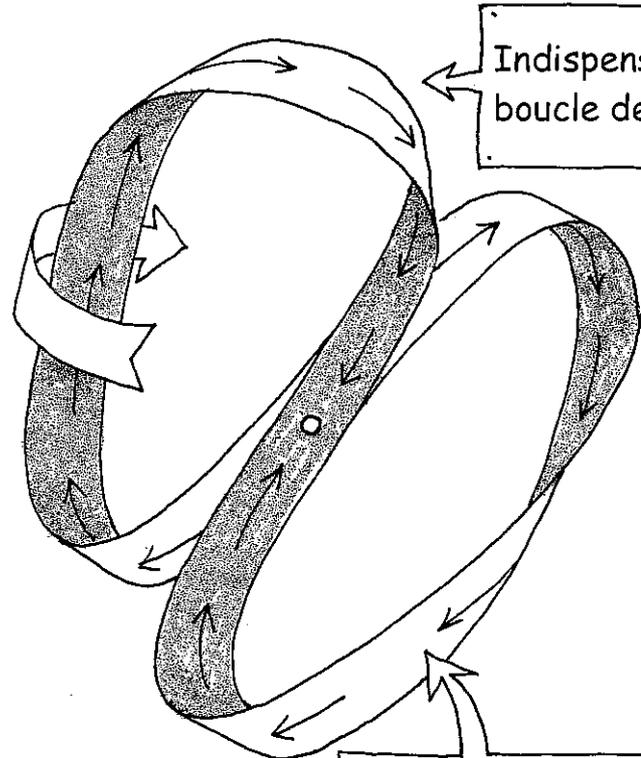
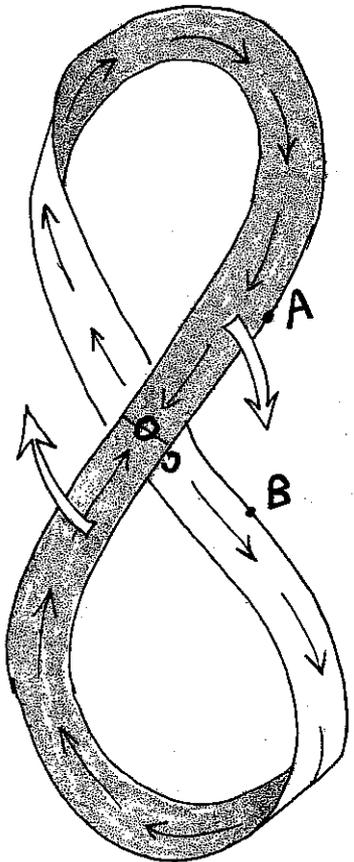


Le repli de la sphère selon le revêtement à deux feuillets d'une surface de Boy(*) ne peut s'opérer sans que la surface ne se recoupe elle-même. Nous allons donc opérer UN traversement avant de refermer cette bande BILATÈRE avec du ruban adhésif et vous procéderez comme ci-après:

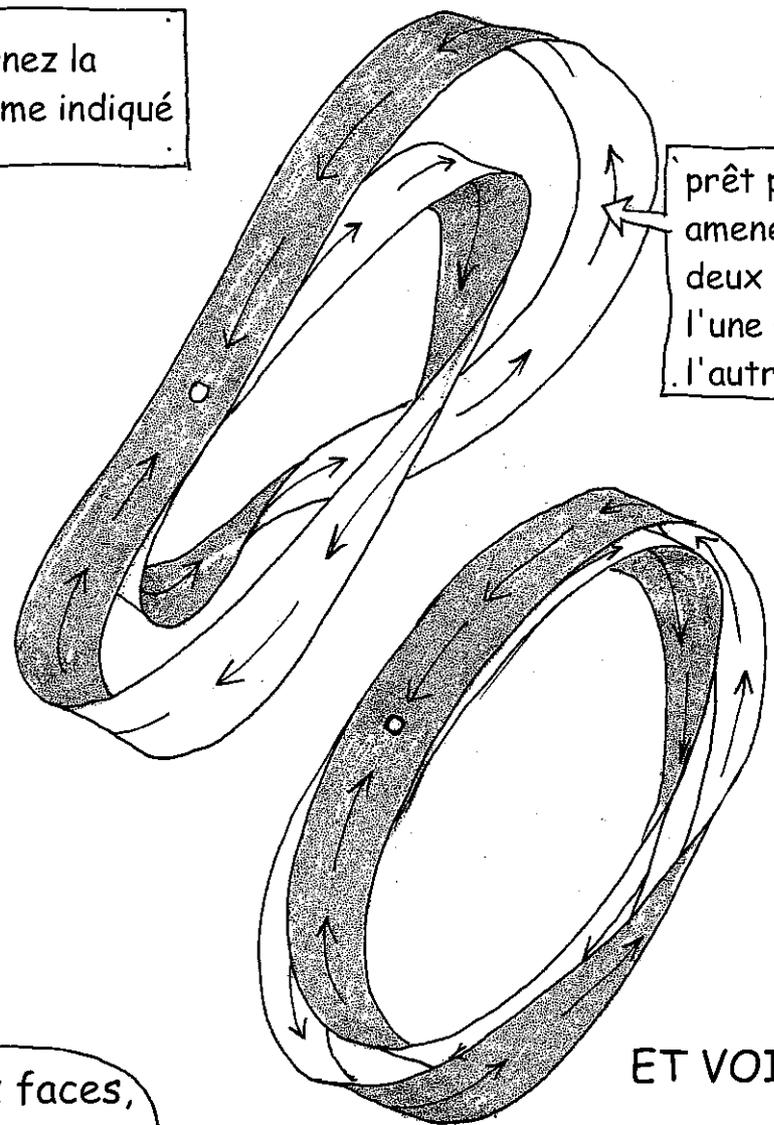


(*) se référer au TOPOLOGICON

Vous maintenez les deux "pôles", le BIG BANG et le BIG CRUNCH l'un sur l'autre entre votre pouce et votre index. Puis vous effectuez une rotation "en ciseau" en amenant le point A sur le point B



Indispensable: retournez la boucle de gauche comme indiqué



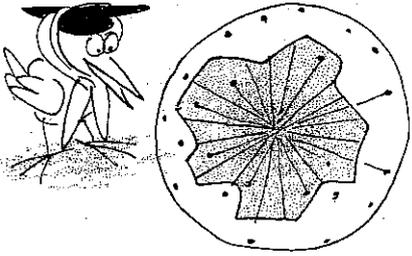
prêt pour amener ces deux boucles l'une sur l'autre

vous reconnaissez en cette boule un ruban de Möbius à un demi-tour

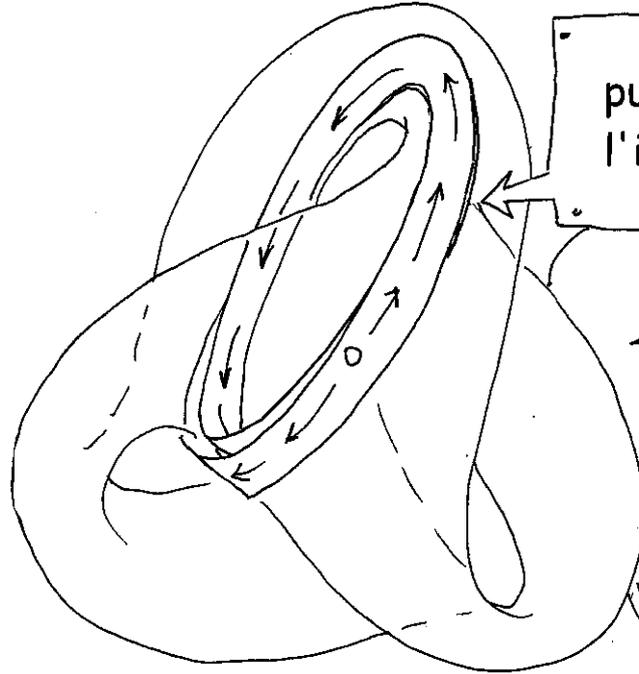
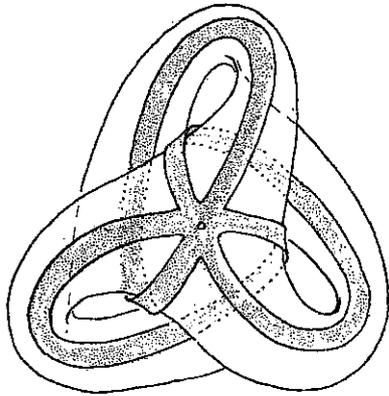
ET VOILÀ !



cette bande est BILATÈRE. Pour bien garder cela en tête crayonnez en gris l'une des deux faces, Vous remarquerez que cette opération plaque la face blanche... contre elle-même. Ceci fait, trouvez le geste qui, en un tournemain fasse cette fois disparaître la face grise, sans rien couper!



Le thème de la mise en coïncidence des points d'une sphère avec leurs homologues antipodaux avait été largement développé il y a treize ans dans le TOPOLOGICON. Alors les méridiens de la sphère, les LIGNES d'UNIVERS d'un espace-temps sphérique S^2 se "replient" selon le revêtement à deux feuillets d'un ruban de Möbius à trois demi-tours. Ci-après trois de ces méridiens repliés



puis l'objet que nous venons de créer illustrant l'inversion de la flèche du temps



Ce qu'on fait avec une sphère S^2 peut aussi être réalisé avec une sphère S^4 (*)



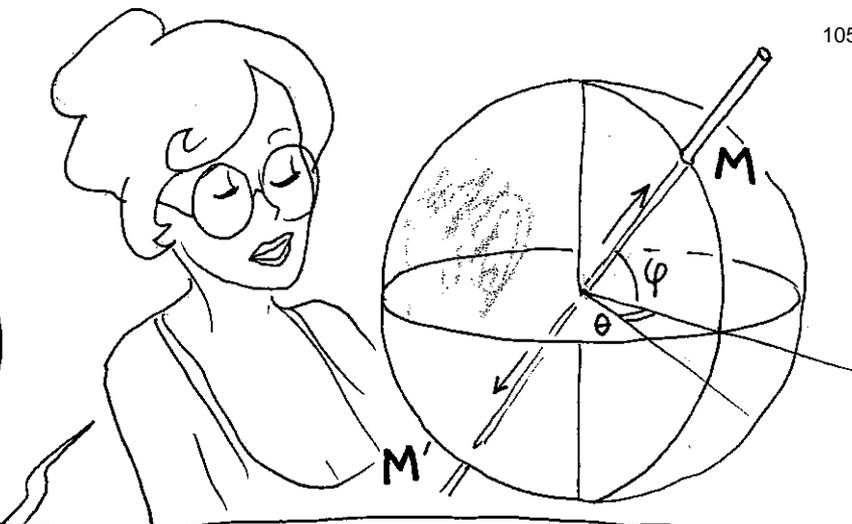
autrement dit, ce jeu entre masses positives et masses négatives serait la conséquence de la configuration topologique de l'Univers

REMARQUE: Si au lieu de plaquer le "pôle BIG BANG" contre le "pôle BIG CRUNCH" on envisageait un passage tubulaire, éliminant la SINGULARITÉ notre espace-temps devenu torique se "replierait" selon le revêtement à deux feuillets d'une bouteille de Klein, sous un aspect... inhabituel.

(*) un espace-temps hypersphérique, fermé, "compact"

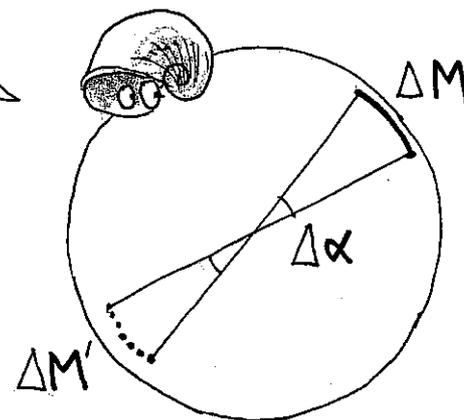


Bon, je conçois que cette inversion du temps (donc de la masse) relève encore d'une entourloupe géométrique, une de plus. Mais quid des DISTANCES ?

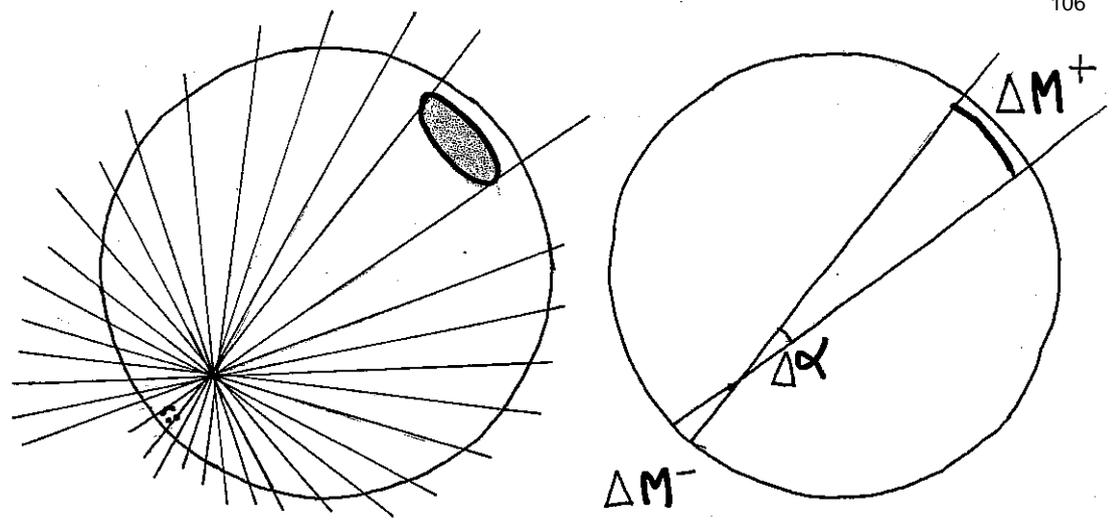


Quand tu as associé des régions antipodales de ta sphère, c'est comme si tu avais utilisé des fibres optiques en leur faisant émettre de la lumière par les deux bouts. Chaque fibre est repérée par des coordonnées ANGULAIRES (θ, φ) . Elle ne désigne pas un point de la sphère, mais deux, antipodaux M et M'

Un déplacement correspond à une VARIATION ANGULAIRE $\Delta\alpha$ à laquelle sont associés deux TRAJECTOIRES ΔM et $\Delta M'$, qui vaudront $\Delta M = R\Delta\alpha = \Delta M'$, seront égales si le système de projection sur l'écran se situe au centre de la sphère.

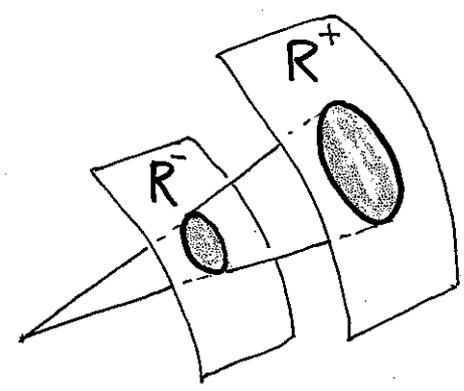


Si le "système de projection" est "décentré", alors un même déplacement Δa (un "lieu" se définit par des angles) ne correspondra pas à la même distance parcourue selon qu'il s'inscrira sur "l'écran des masses positives" ou sur "l'écran des masses négatives". Le phénomène perçu comme une expansion est en fait la variation du facteur d'échelle R (Warp Factor) en fonction du temps. Celle-ci n'est pas "vécue", c'est à dire MESURÉE de la même manière par les deux sous-ensembles. Le système est INSTABLE.



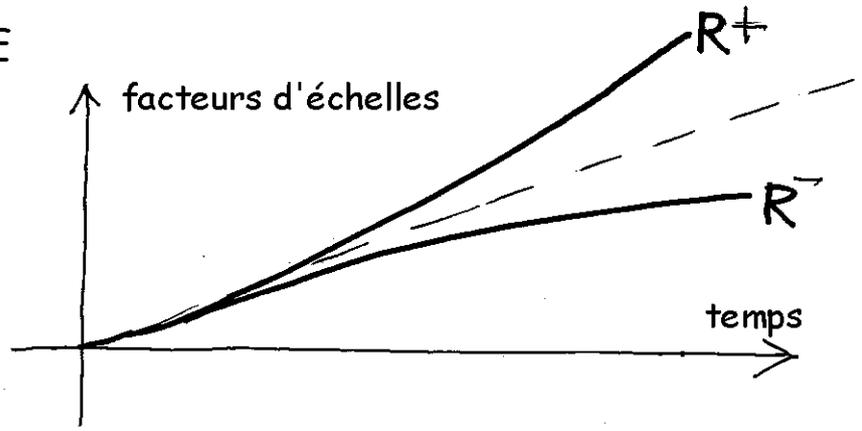
$$\Delta M^+ = R^+ \Delta \alpha > \Delta M^- = R^- \Delta \alpha$$

Si le facteur d'échelle R^+ des masses positives s'accroît plus vite que le facteur d'échelle R^- des masses négatives, ce mouvement s'accélère. Des êtres qui vivraient dans ce NÉGAMONDE subirait au contraire une décélération (courbes). C'est le phénomène qui est fallacieusement imputé au POUVOIR RÉPULSIF DU VIDE ou à L'ÉNERGIE NOIRE



$$\left\{ \begin{array}{l} \rho^+ \sim \frac{1}{R^{+3}} \\ \rho^- \sim \frac{1}{R^{-3}} \end{array} \right. \text{(densités)}$$

(voir Annexe 7)



FAILLITE DES HYPOTHÈSES COSMOLOGIQUES

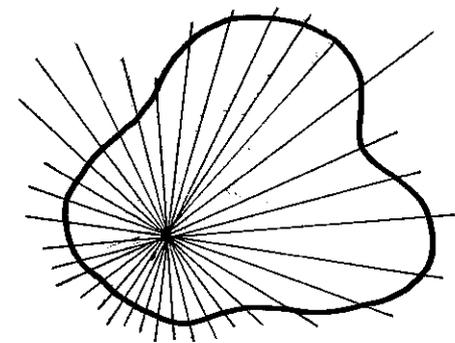
Le MODÈLE COSMOLOGIQUE STANDARD reposait sur un certain nombre d'HYPOTHÈSES FONDAMENTALES que personne ne songeait à remettre en question

- L'UNIVERS EST UN CONTINUUM (ce que de plus en plus de gens remettent en question)
- L'UNIVERS EST HOMOGÈNE (faux: sa structure est LACUNAIRE)(*)
- L'UNIVERS EST ISOTROPE (de plus en plus contredit par les observations)
- LES CONSTANTES DE LA PHYSIQUE SONT DES CONSTANTES ABSOLUES(*)

Non seulement les ombres des choses ne se projettent pas dans la caverne sur une seule paroi, mais deux. Ces ombres interagissent. Le système de projection n'est pas au centre et, pour clore le tout, il est vraisemblable que ces "parois" oscillent, se gondolent, ce phénomène se traduisant par des ANISOTROPIES.



bref, tout fout le camp



GÉOMÉTRIES CONJOINTES (*)



J'ai ce qu'il
te faut.



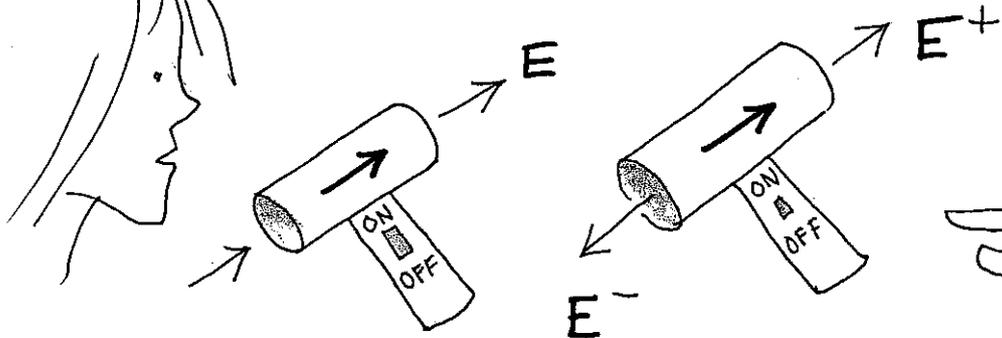
qu'est-ce que tu veux que je fasse
avec un séchoir à cheveux ?



ça marche à piles ?



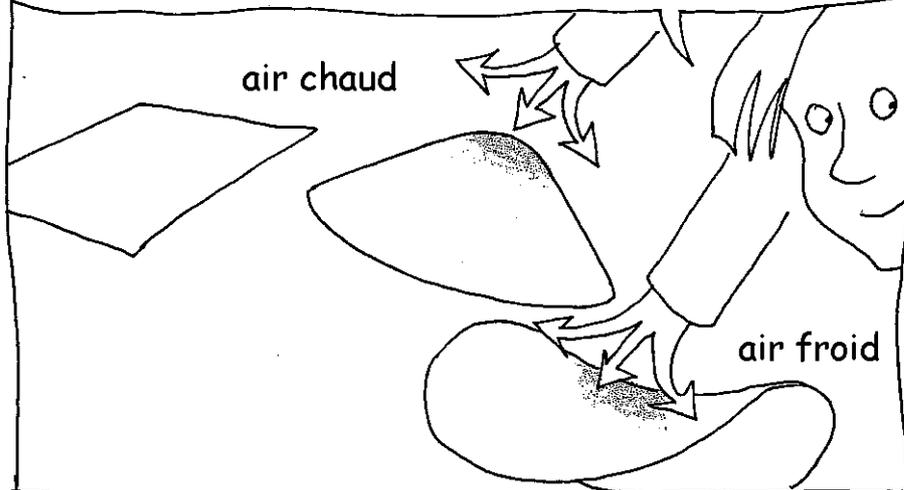
Ça a été inventé en 1994 par un Français et ça s'appelle un PETITRON(*)



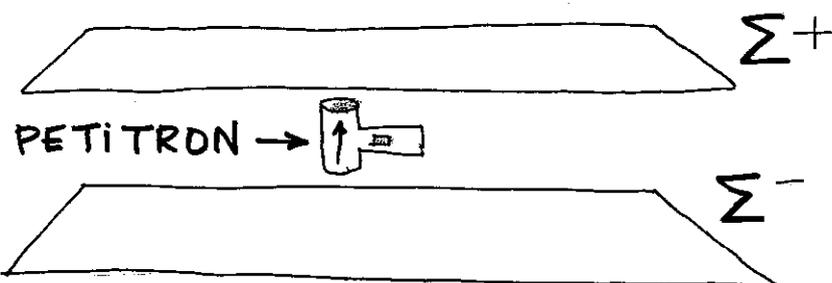
Ça prend l'énergie d'un côté et ça l'expédie de l'autre, en quantités égales. Comme ça, en même temps je peux sécher mes cheveux et refroidir ta soupe.

Attends ça me donne une idée. Tu te rappelles qu'en soufflant sur une tôle, soit de l'air froid, soit de l'air chaud on créait des courbures POSITIVE ou NÉGATIVE

air chaud

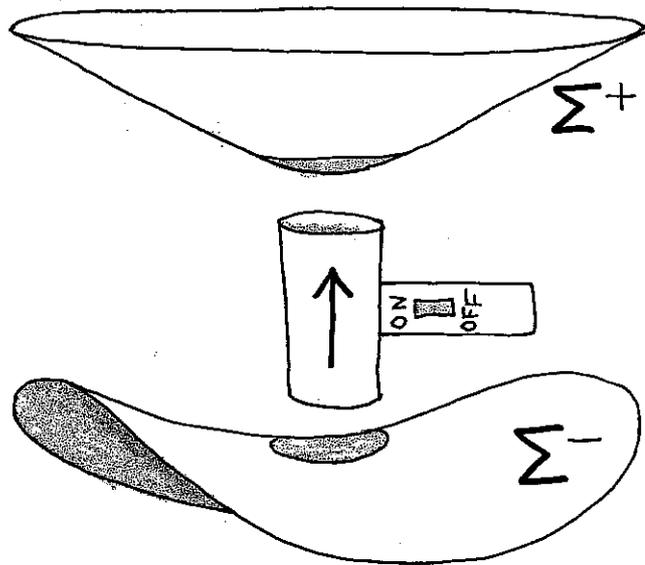


air froid



On va mettre ce PETITRON entre deux surfaces Σ^+ et Σ^- . Si je le mets en marche je vais chauffer la surface Σ^+ et refroidir la surface Σ^- et on va voir ce que ça donnera.

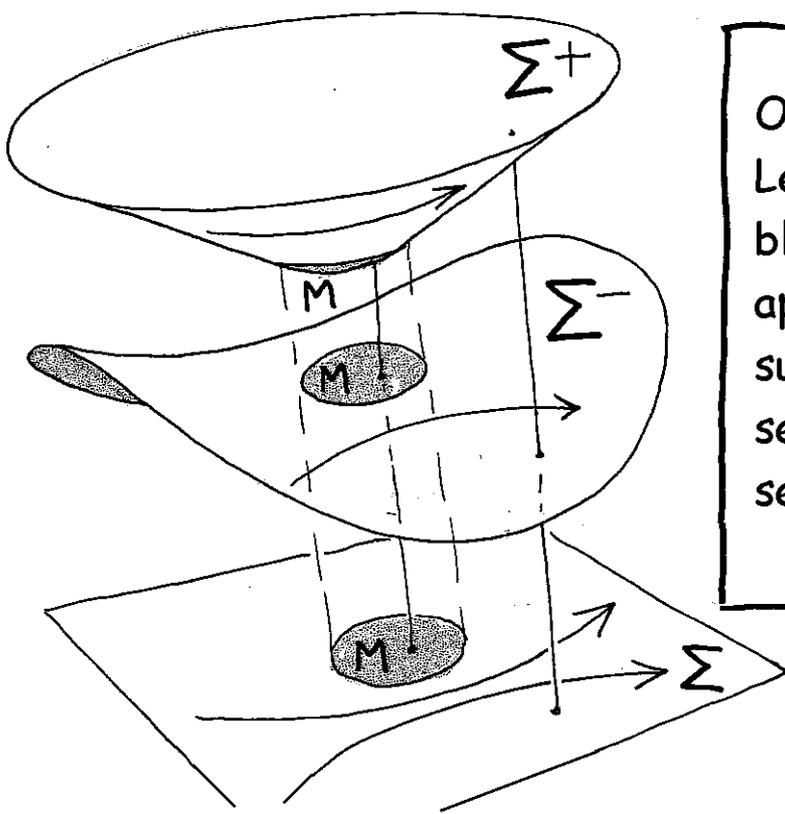




Simple: tu crées un POSICÔNE ÉMOUSSÉ sur la surface qui reçoit l'ÉNERGIE POSITIVE et un NÉGACONE ÉMOUSSÉ sur celle à laquelle tu prends de l'énergie, vers laquelle tu envois de l'ÉNERGIE NÉGATIVE. Et comme COURBURE égale ÉNERGIE, on aura, face à face, deux régions contenant des QUANTITÉS DE COURBURE égales, mais de DE SIGNES OPPOSÉS.



on appellera cela des GÉOMÉTRIES CONJOINTES

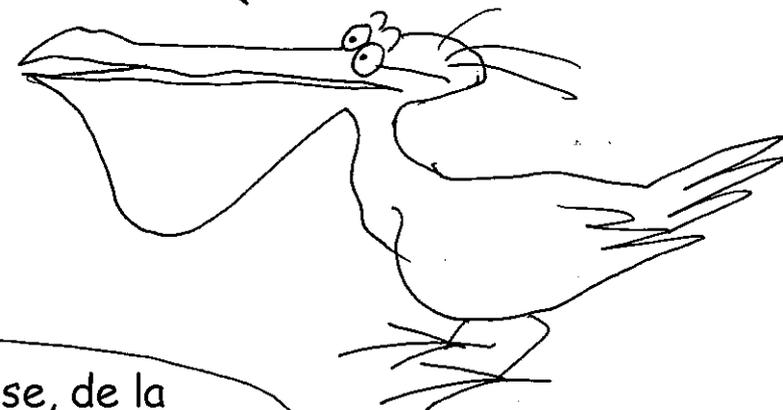


On peut associer des points M^+ et M^- de ces deux surfaces. Les régions grises ont des courbures opposées. Les régions blanches des courbures nulles. Soient deux points M_1^+ et M_2^+ appartenant à Σ^+ et (M_1^-, M_2^-) leurs POINTS CONJUGUÉS, sur la surface Σ^- les ARCS GÉODÉSIIQUES $\widehat{M_1^+ M_2^+}$ et $\widehat{M_1^- M_2^-}$ ne se projettent pas sur le plan Σ , représentation EUCLIDIENNE selon LES MÊMES COURBES.

ces deux surfaces Σ^+ et Σ^- sont les deux "cavernes" de (PLATON)². Le plan Σ est la REPRÉSENTATION EUCLIDIENNE que nous nous faisons du monde.
Les observateurs constitués de masses opposées VOIENT les choses totalement différemment. Ce qui est PRÉSENCE pour l'un est ABSENCE pour l'autre (*)

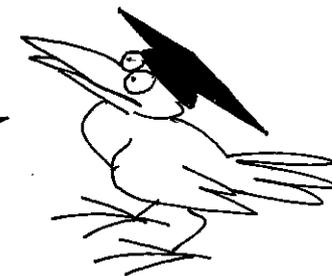


mais alors, le RÉEL c'est QUOI ?

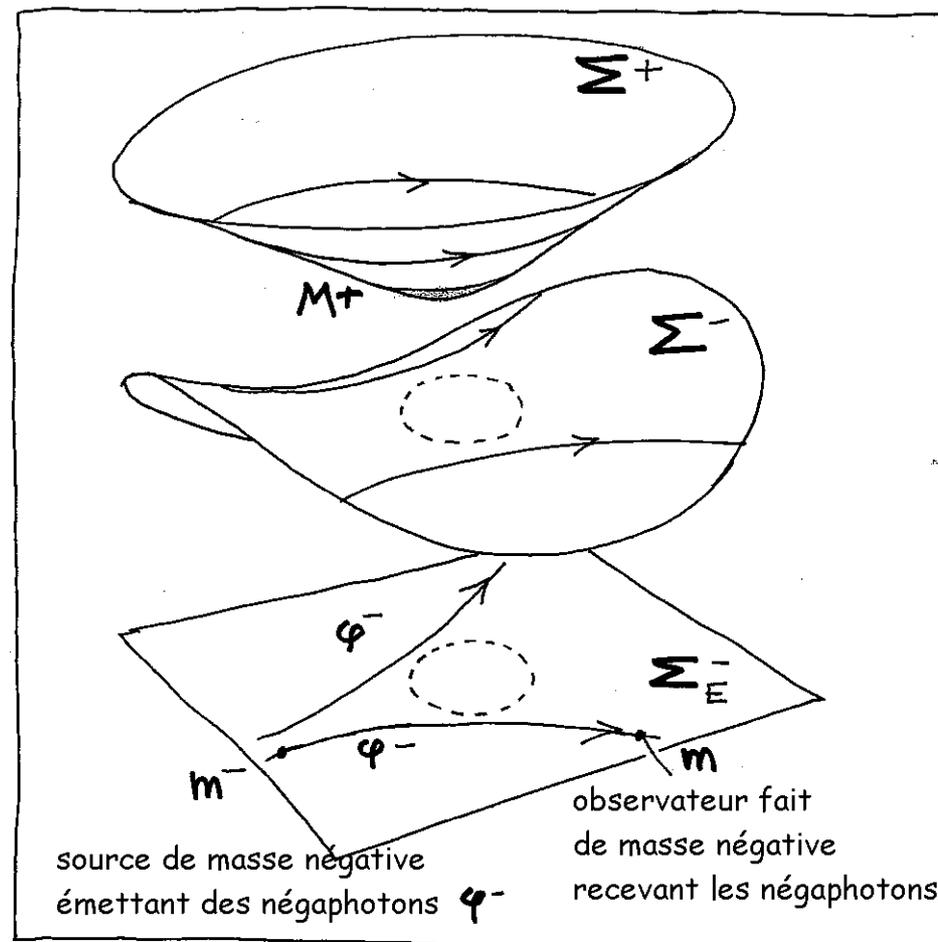
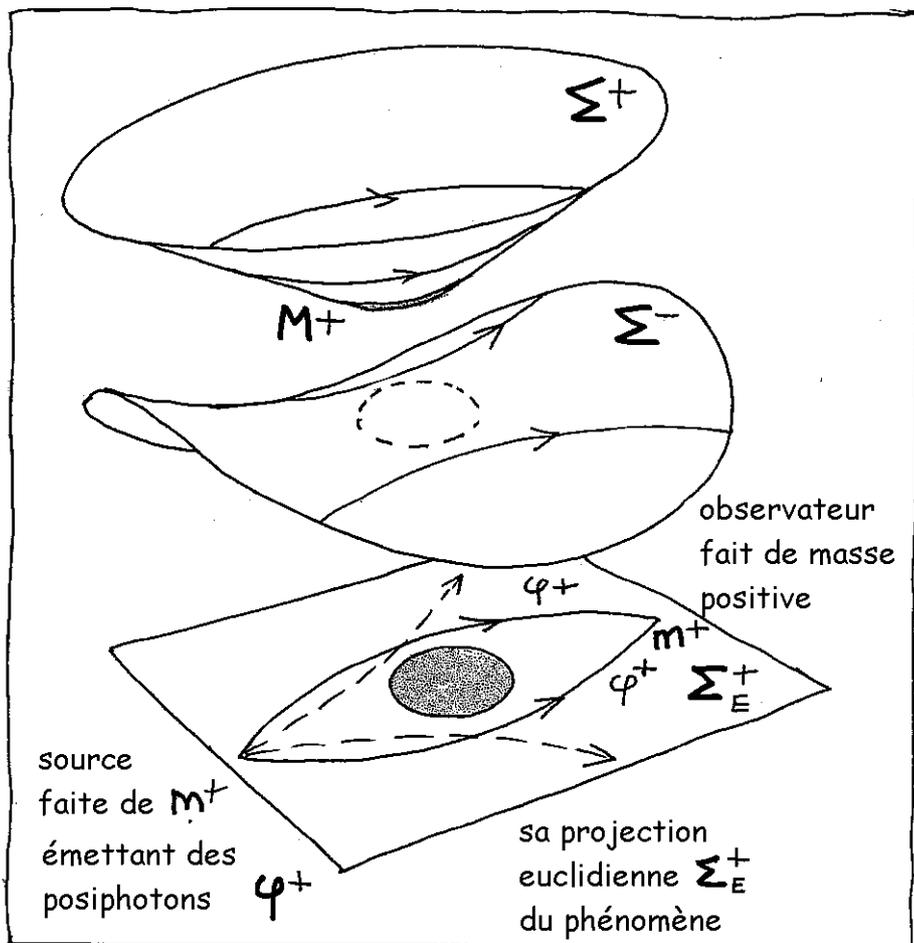


ça dépend du signe de ta masse, de la façon dont tu PROJETTES les phénomènes dans TON monde

reprends la figure précédente. Suppose que tu sois fait de masse positive. Tu ne percevras que les projections des géodésiques de la nappe Σ^+ sur ta représentation euclidienne Σ . Tu ne percevras que les photons d'énergie positive, qui suivent les géodésiques de Σ^+ dans ce MONDE BIMÉTRIQUE (Σ^+, Σ^-)



(*) du point de vue QUANTIQUE ce qui est une PROBABILITÉ DE PRÉSENCE pour un observateur constitué de masse positive deviendra une PROBABILITÉ D'ABSENCE dans le NÉGAMONDE



un observateur fait de masse positive m^+ observera un EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE POSITIF affectant les POSIPHOTONS, qui seuls peuvent faire réagir sa rétine et ses instruments de mesure.

un observateur fait de masse négative m^- observera un EFFET DE LENTILLE GRAVITATIONNELLE NÉGATIF affectant les NÉGAPHOTONS, qui seuls peuvent faire réagir sa rétine et ses instruments de mesure.

et si on a affaire à une
masse négative M^-



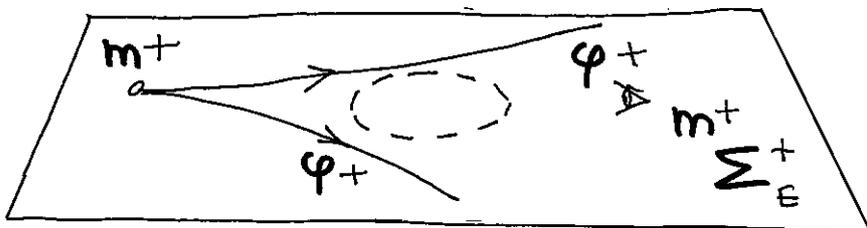
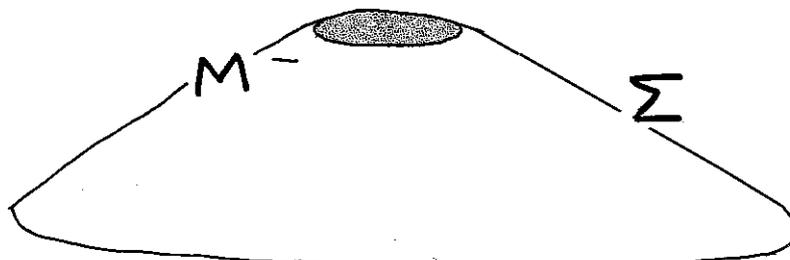
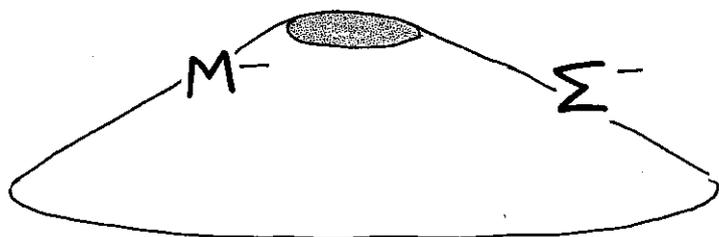
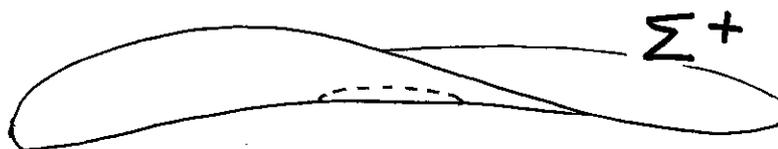
simple: tu n'as qu'à inverser
les figures



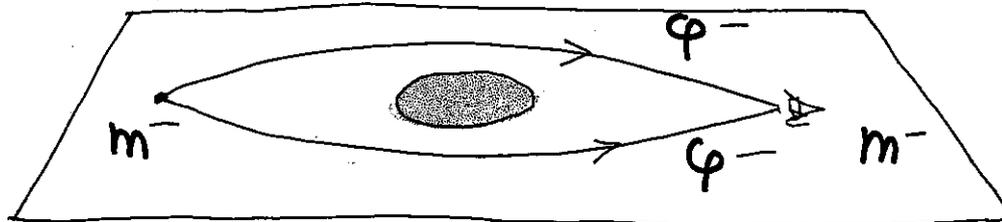
CONCEPT DE MASSE APPARENTE



masse négative



observateur fait de masse positive :
effet de lentille gravitationnelle négatif



observateur fait de masse négative :
effet de lentille gravitationnelle positif

En somme, les masses qui sont de même signe que celle de l'observateur sont perçues par lui comme ATTRACTIVES sinon c'est l'inverse

ce que tu découvres d'un seul coup d'oeil à travers la loi de Newton

$$F = \frac{Gmm}{d^2}$$



j'ai pas tout suivi

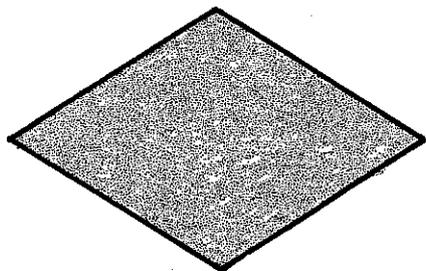
moi non plus...

ça c'est de la physique, tudieu !



ÉPILOGUE

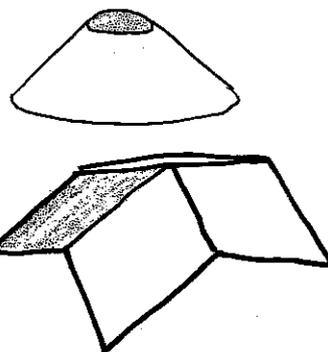
Pour finir on va vous proposer un petit exercice pour illustrer l'idée que ce qui est courbure positive pour l'un est courbure négative pour l'autre. Pour ce faire nous allons imaginer un monde peuplé de masses positives et de masses négatives formant un pavage régulier. Il vous suffira d'assembler des losanges en carton pour former une alternance de POSICOINS et de NÉGACOINS.



Vous construirez la REPRÉSENTATION
POLYÉDRIQUE ci-contre

La Direction

POSICÔNE

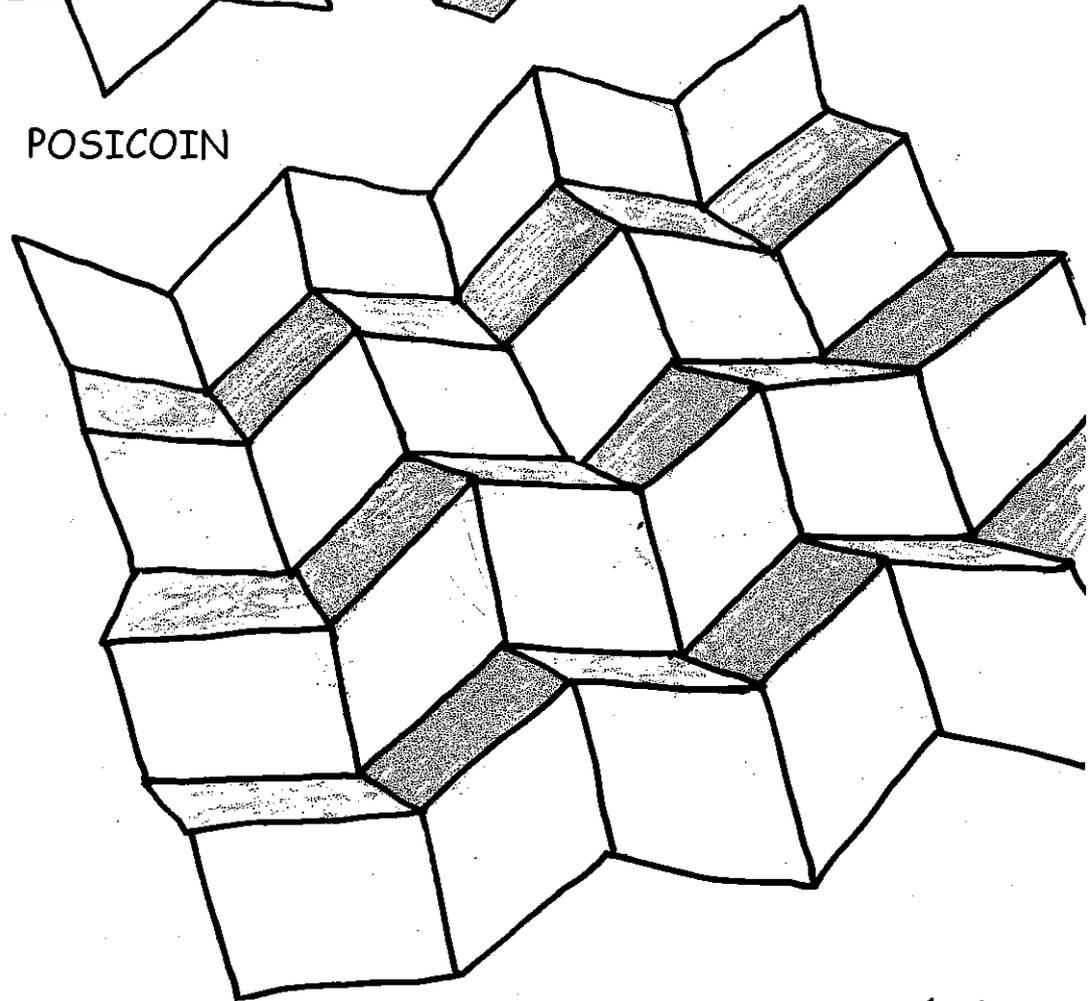


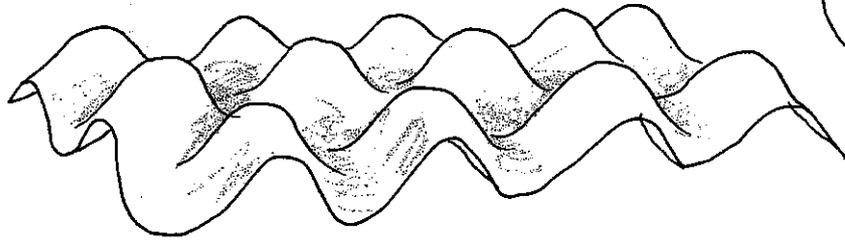
POSICOIN

NÉGACÔNE



NÉGACOIN

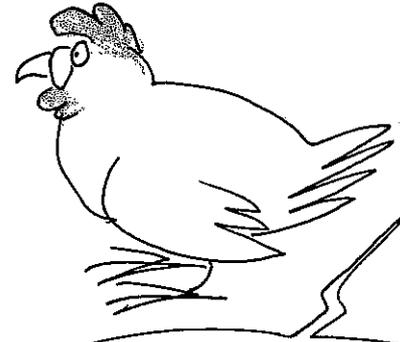




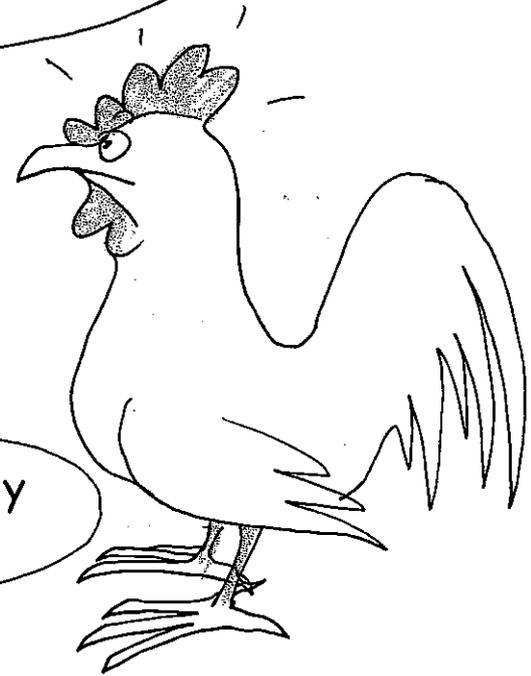
En décalant deux de ces structures vous mettrez face à face posicoins et négacoins.

Il y aurait beaucoup d'autres choses à vous dire, par exemple en DISCRÉTISANT ces grottes de (PLATON)² mais, comme l'a dit Kipling:

C'est comme les casiers conçus pour mettre les oeufs pondus par les POSIPOULES et les NÉGAPOULES



Ah non, tu ne vas pas t'y mettre, toi aussi !!



Ceci est une autre histoire.



FIN

Annexe 1

LE POLYÈDRE DE DIEU

La science de notre temps est médiatisée à l'extrême. Dès qu'on évoque une idée, un projet, il faut vite lui accoler un mot racoleur qui parle à l'imaginaire des gens. Il y a cinquante ans, l'objet dont on imaginait qu'il puisse décrire le destin d'une étoile à neutrons dont la masse, du fait des apports dûs au vent stellaire émis par une étoile compagne, puisse excéder la valeur critique de 2,5 masses solaires s'appelait CORPS DE SCHWARZSCHILD (*). Pas vendeur pour un sou. Le mot COLLAPSAR n'eut guère plus de succès. Mais quand John Archibald Wheeler proposa TROU NOIR le succès fut immédiat et planétaire. Même choix pour la TOE (théorie du tout = theory of everything), la THÉORIE M des gens des SUPERCORDES. En ce moment, nos modernes ploutophysiciens (de ploutos qui, en Grec, signifie « cher ») traquent le boson de Higgs, déjà surnommé LA PARTICULE DE DIEU.

Pour sacrifier un instant à cette mode imbécile et vous faire sourire un peu, voici le polyèdre qui n'a qu'une seule face et une seule arête. On rappelle que edra, en grec signifie face, donc :

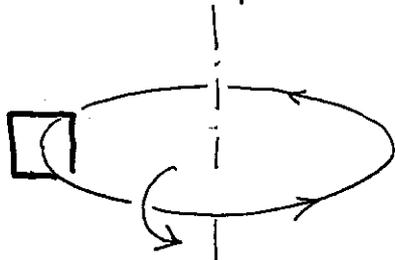
Voici donc le MONOÈDRE le ... « POLYÈDRE DE DIEU »

La Direction

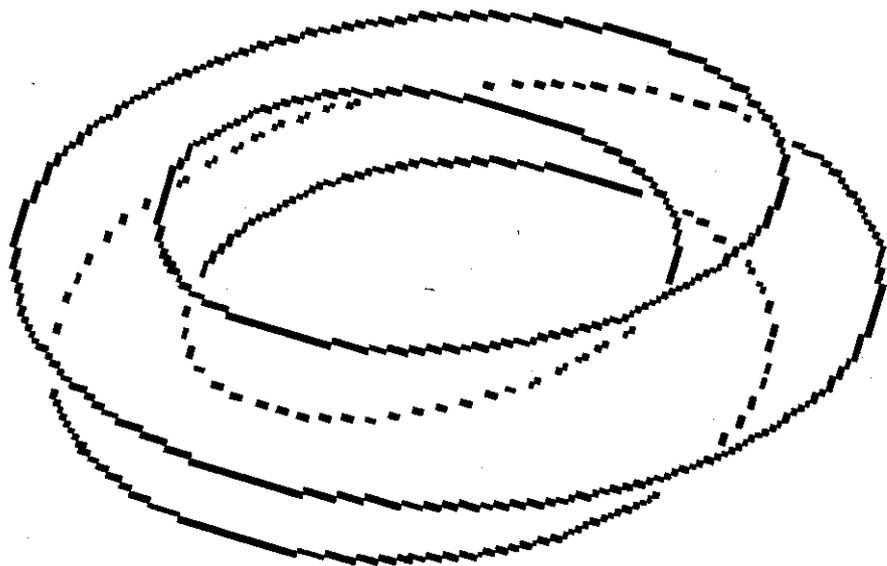
(*) Le modèle du « trou noir » repose sur un bricolage d'une solution de l'équation d'Einstein, due à Schwarzschild (1917) se référant à une région de l'univers VIDE. Nous en reparlerons dans un futur album.

LE MONOÈDRE

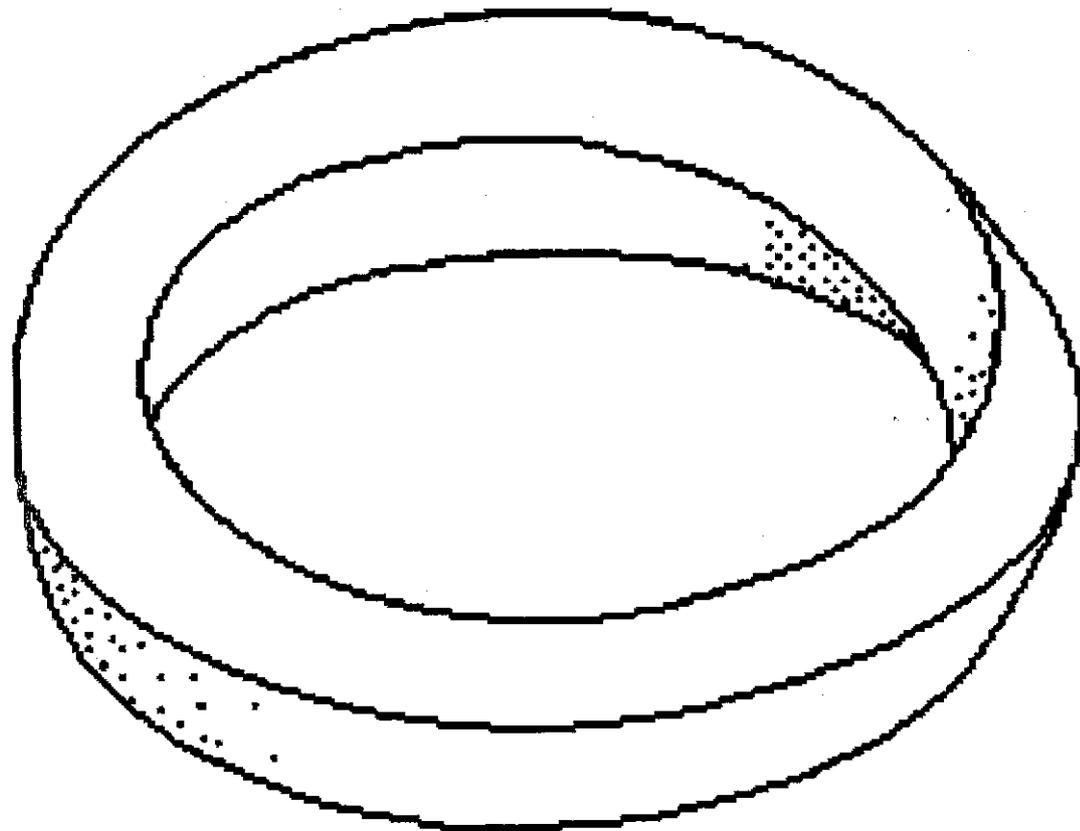
On peut l'engendrer en faisant tourner un carré autour d'un axe contenu dans son plan et en lui imprimant une rotation de $\pi/2$ à chaque tour.



... ou en épaississant un ruban de Möbius



SON ARÊTE UNIQUE



ANNEXE 2

ESPACE-TEMPS & GROUPES

En 1850, Mikhail Valisevich Ostrogradsky à Bernhard Riemann

Écoutez, mon cher, pourquoi consacrer tant d'efforts pour explorer ces espaces biscornus, issus de votre imagination, alors que l'espace où nous vivons est bêtement euclidien ?

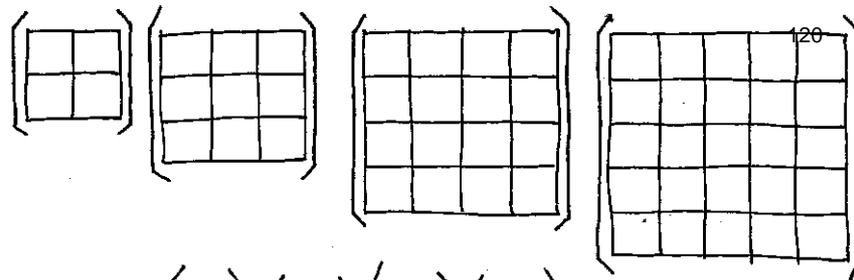


Le temps a passé.

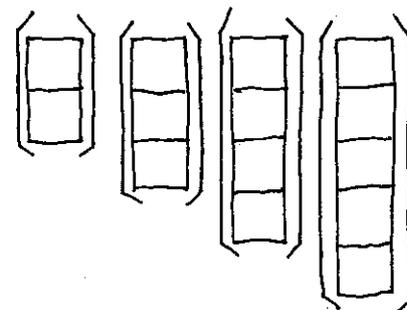
L'évolution permanente de la science montre que tout passe, à chaque fois, par l'abandon de quelque vision naïve issue de nos sens. Les faits nous montrent que les mathématiciens, et spécialement les géomètres ont eu sans cesse une vision des choses que s'est révélée plus proche des expériences des physiciens et des observations des astronomes que des visions antérieures vouées à la désuétude. En maniant de nouveaux concepts, par le jeu du papier-crayon, il fabriquent, peut-être sans s'en rendre compte la réalité de demain. Pour comprendre par exemple la RELATIVITÉ RESTREINTE il va vous falloir opérer un véritable LÂCHER PRISE au plan de votre vision du monde.

Êtes-vous prêt(e) à me suivre ?

La lettre M désignera une MATRICE carrée (n lignes, n colonnes)

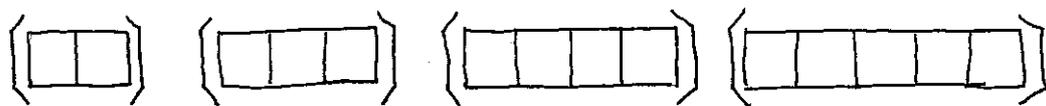


Un VECTEUR COLONNE est une matrice à n lignes et 1 colonne:



etc...

Un VECTEUR LIGNE est une MATRICE à 1 ligne et n colonnes:



etc...

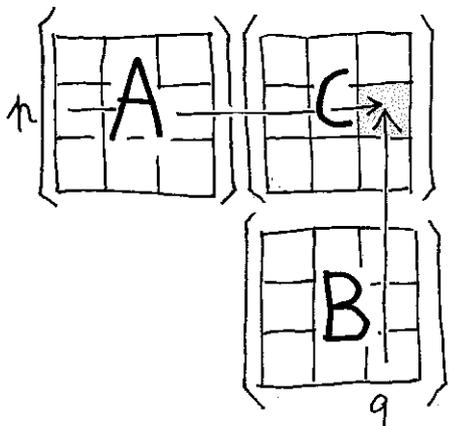
MULTIPLICATION DE DEUX MATRICES CARRÉES DE MÊME FORMAT

(possédant le même nombre de lignes = nombre de colonnes)

$$\begin{pmatrix} \square & \square \\ \square & \square \\ \square & \square \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \square & \square \\ \square & \square \\ \square & \square \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \square & \square \\ \square & \square \\ \square & \square \end{pmatrix}$$

$$C = A \times B$$

on multiplie "LIGNES-COLONNES"



moyen mnémotechnique: on dispose les deux matrices A et B du PRODUIT MATRICIEL $A \times B$ comme ci-contre et on multiplie termes à termes, en les additionnant les termes de la ligne p de la matrice A par les termes de la colonne q de la matrice B . On obtient ainsi le terme de la matrice $C = A \times B$ situé sur sa $p^{\text{ième}}$ ligne et sa $q^{\text{ième}}$ colonne.

FONDAMENTAL: CE PRODUIT N'EST PAS, EN GÉNÉRAL, COMMUTATIF

$$A \times B \neq B \times A !$$

MATRICES UNITÉ I

À tout ensemble de matrices carrées à n lignes, n colonnes [on dit "de format (n,n) "]
on associe des matrices unité, notées par la lettre I

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{etc...}$$

On a :

$$A \times I = I \times A = A$$

TRANSPOSÉE D'UNE MATRICE, NOTÉE ${}^t A$

C'est le symétrique du tableau carré par rapport à sa DIAGONALE PRINCIPALE.

$$\begin{matrix} {}^t \begin{pmatrix} \square & \square \\ \square & \square \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \square & \square \\ \square & \square \end{pmatrix} \\ {}^t \begin{pmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \text{etc...}$$

ON POSERA que la transposée d'un vecteur, d'une matrice colonne :

$$X = \begin{pmatrix} \square \\ \square \\ \square \\ \square \end{pmatrix}$$

est la matrice-ligne correspondante :

$${}^tX = \left(\square \quad \square \quad \square \quad \square \right)$$

MULTIPLICATION D'UNE MATRICE COLONNE OU LIGNE PAR UNE MATRICE CARRÉE

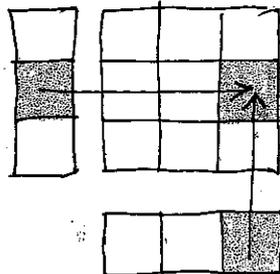
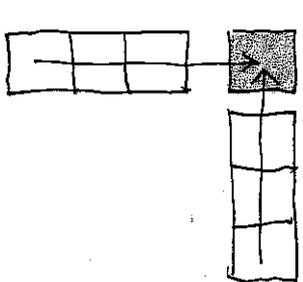
Pour la matrice colonne, MULTIPLICATION À GAUCHE :

$$A \times X = \begin{pmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \square \\ \square \\ \square \end{pmatrix}$$

Pour la matrice ligne, MULTIPLICATION À DROITE :

$$A \times {}^tX = \begin{pmatrix} \square & \square & \square \\ \square & \square & \square \end{pmatrix} \times \left(\square \quad \square \quad \square \right)$$

PRODUITS D'UNE MATRICE COLONNE \Leftrightarrow ET D'UNE MATRICE LIGNE



${}^tX \times X =$ matrice à 1 ligne, 1 colonne = SCALAIRE

$X \times {}^tX =$ matrice carrée de format (n,n)

alors, un scalaire est une matrice à une seule ligne et une seule colonne !?!

bref, quand on va dans une épicerie, on multiplie et on additionne des matrices

et on ne nous disait rien!

$$\begin{bmatrix} a \end{bmatrix}$$

Un NOMBRE COMPLEXE (a,b) ou $a + ib$ est en fait la matrice carrée:

$$\begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix}$$

et le nombre imaginaire i c'est

$$i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$i \times i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} = -1$$

Alors que LES MATRICES et le CALCUL MATRICIEL sont des éléments essentiels à la compréhension de notre physique et de nos mathématiques, leur enseignement est partout tombé en ... désuétude!

les matrices carrées peuvent posséder un INVERSE, noté A^{-1} tel que :

$$A^{-1} \times A = A \times A^{-1} = I$$

Un premier théorème, sans démonstration :

$$(A \times B)^{-1} = B^{-1} \times A^{-1}$$

Un second théorème, sans démonstration :

$${}^t(A \times B) = {}^t B \times {}^t A$$

les démonstrations sont faciles, mais sans grand intérêt (si le coeur vous en dit...)

avec cet outillage, nous allons pouvoir nous rendre aux avant-postes de la science

attention, le voila qui revient!

mais... ça n'est pas la bonne direction !?!



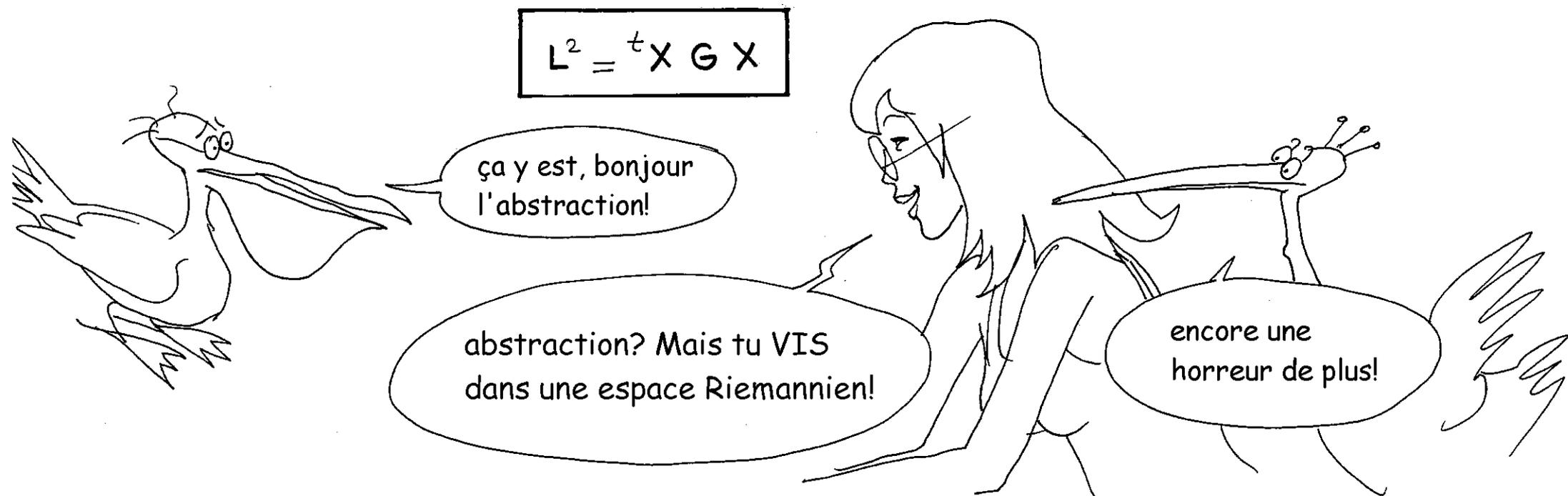
ESPACES RIEMANNIENS (*)

on appellera MATRICES DE GRAM des matrices carrées dont les termes non diagonaux sont nuls et dont les termes de la DIAGONALE PRINCIPALE valent ± 1

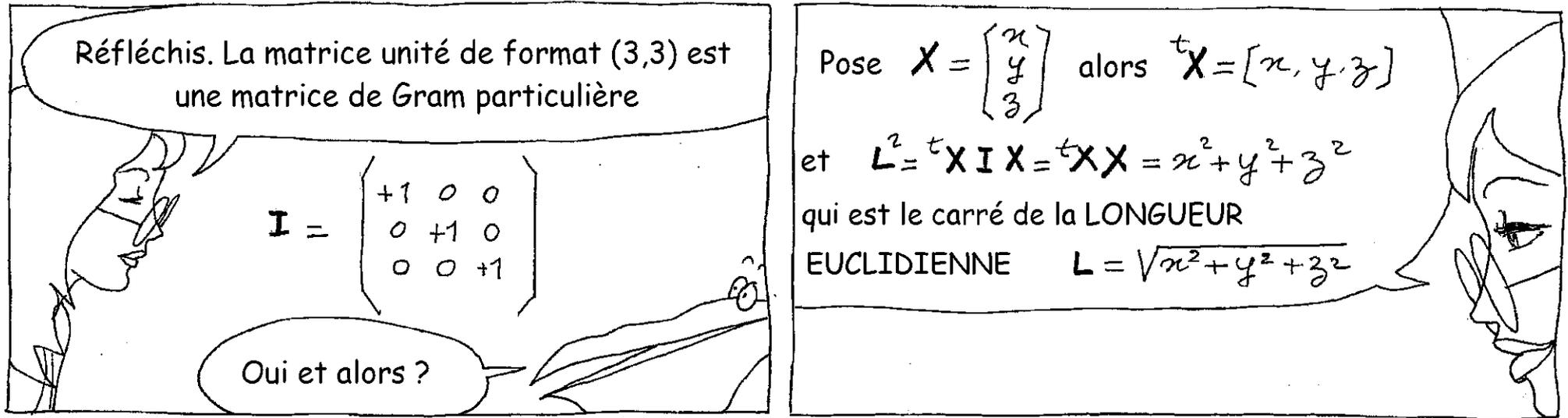
$$\begin{pmatrix} \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \pm 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \pm 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pm 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{pmatrix} \text{ etc...}$$

Soit un vecteur X appartenant à un espace \mathcal{E} , à n dimensions. On dira que cet espace est RIEMANNIEN si le carré de la longueur du vecteur X se définit par :

$$L^2 = {}^t X G X$$



(*) les mathématiciens ne sont pas tous d'accord sur la terminologie. Disons que nous décidons de regrouper sous cette appellation les espaces ayant une signature constituée par des signes ± 1



SIGNATURE

La Signature de ces espaces est la suite des signes de la métrique de Gram. Dans le cas de l'espace euclidien à trois dimensions c'est $(+ + +)$

Dans un espace à deux dimensions la matrice de Gram correspondant à un espace euclidien serait $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ et la signature $(+ +)$

Nous allons maintenant nous poser la question suivante: existe-t-il un ensemble de matrices M qui, agissant sur le vecteur $\mathbf{X} = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ préservant sa longueur ?

Nous allons effectuer de manière formelle le calcul dans le cas le plus général, celui d'un espace¹²⁷ riemannien à n dimensions défini par sa matrice de Gram G .

Soit M une matrice agissant sur le vecteur X en le transformant en un vecteur :

$$X' = MX$$

le carré de la longueur, de la norme du vecteur X' est

$$L'^2 = {}^t X' G X' = {}^t (MX) G (MX) = ({}^t X {}^t M) G (MX) = {}^t X ({}^t M G M) X$$

les longueurs L' et L seront égales si :

$${}^t M G M = G$$

Appliquons cela à un espace euclidien de dimension n :

$${}^t M M = I$$

Ce qui signifie tout simplement que :

$$M^{-1} = {}^t M$$

On qualifie ces matrices d'orthogonales. Nous allons expliciter dans le cas 2d

$$M = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}^t \begin{bmatrix} a & c \\ b & d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$a^2 + b^2 = 1 \quad ; \quad c^2 + d^2 = 1 \quad ; \quad ac + bd = 0$$

On cherche les matrices $M = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ qui satisfont ces relations.

Ces matrices M forment un ensemble \mathcal{M}_0

Nous allons voir qu'elles forment un

GROUPE

Voilà le mot magique de la physique qui lâché. Mais qu'est-ce qu'un groupe ?

C'est un ensemble de trucs qui agissent sur un ensemble de machins. En l'occurrence ici les trucs sont des MATRICES et les machins les points, ou les point d'un espace.

Souriau a coutume de dire :

- Un groupe c'est fait pour transporter.
- La façon de transporter vaut mieux que ce que l'on transporte.

Dans la BD on avait lu "dis-moi comment tu te meus, je te dirai QUOI tu es"

Là, on pourrait dire :

Dit moi comment tu te laisses transporter et je te dirai à quelle famille d'être géométriques tu appartiens. Bref, dans quel espace tu habites.

D'où la relation étroite GROUPE \Leftrightarrow GÉOMÉTRIE

les axiomes qui définissent un groupe ont été introduit par le Norvégien Sophus Lie. on appelle aussi les groupes de matrices des **GROUPE DE LIE**. Passons aux Axiomes.

- Soit un ensemble de machins agissant les un sur les autres - Appelons les $\alpha, \beta, \gamma \dots$

Ils forment un ensemble \mathcal{E}

- On peut les composer à travers une **LOI DE COMPOSITION** qu'on écrira $\gamma = \alpha \circ \beta$

1 : si α et β appartiennent à l'ensemble, $\alpha \circ \beta$ appartient aussi à l'ensemble
on dit que cette loi de composition est **INTERNE** (au groupe \mathcal{E})
(les chiens ne font pas des chats)

2 : Il existe un élément, appelons-le e , dit **ÉLÉMENT NEUTRE**, tel que pour tout élément a du groupe, on ait $e \circ a = a \circ e = a$

3 : Tout élément α possède un **RÉCIPROQUE**, noté α^{-1} tel que :

$$\alpha \circ \alpha^{-1} = e$$

4 : L'opération de composition est associative, c'est à dire que :

$$(\alpha \circ \beta) \circ \gamma = \alpha \circ (\beta \circ \gamma)$$

on ne se servira pratiquement **JAMAIS** de ce quatrième axiome. En effet il est au contraire très difficile de trouver des opérations de composition **NON-ASSOCIATIVES**

Le physicien ne travaillera QUE sur des GROUPES DE MATRICES appelés aussi GROUPE DE LIE.

- On aura des ENSEMBLES DE MATRICES CARRÉES M
- L'opération de composition \circ sera la MULTIPLICATION MATRICIELLE $M_1 \times M_2$
NON-COMMUTATIVE
- L'élément neutre e sera systématiquement la matrice unité I dans le format considéré (n,n)

GROUPES DISCRETS

On appelle ainsi des groupes (ici, de matrices) formant des ensembles à un nombre fini d'éléments
les matrices de Gram à 2 lignes, 2 colonnes forment un groupe à quatre éléments

$$g = \begin{bmatrix} \pm 1 & 0 \\ 0 & \pm 1 \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \right\}$$

accessoirement, elles sont identiques à leur inverse. Que représentent-elles ?

faisons les AGIR sur les vecteurs $X = \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$ d'un espace 2d

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} -x \\ y \end{pmatrix} & \text{symétrie par rapport à l'axe } oy \end{cases}$$

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} x \\ -y \end{pmatrix} & \text{symétrie par rapport à l'axe } ox \end{cases}$$

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} X = \begin{pmatrix} -x \\ -y \end{pmatrix} & \text{symétrie par rapport à l'origine} \end{cases}$$

Nos conditions sont satisfaites: les symétries conservent les longueurs

GROUPE À 1 (ou plusieurs) PARAMÈTRES

Les matrices $\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$ obéissent à nos critères et constituent le groupe des rotations du plan autour de l'origine.

C'est un groupe à 1 paramètre (l'angle θ)

jusqu'ici j'ai l'impression de comprendre.
Ça a l'air simple, somme toute, non ?

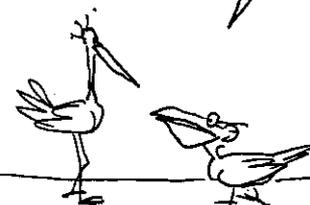
on dit ça. Mais avec l'auteur,
moi je me méfie. Ça commence simple,
mais soudain il vous fait fumer les
neurones, grave...

il y a des niveaux de réflexion ou le cerveau
devrait être équipé d'un fusible!

le nombre de paramètres est
appelé la DIMENSION DU
GROUPE, mais ça n'a rien à voir
avec la dimension de l'espace
sur lequel on le fera AGIR



le TOPOLOGICON, moi je ne m'en
suis jamais vraiment bien remis



Les matrices $\begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$ forment un groupe nommé $SO(2)$, pour "spécial orthogonal"

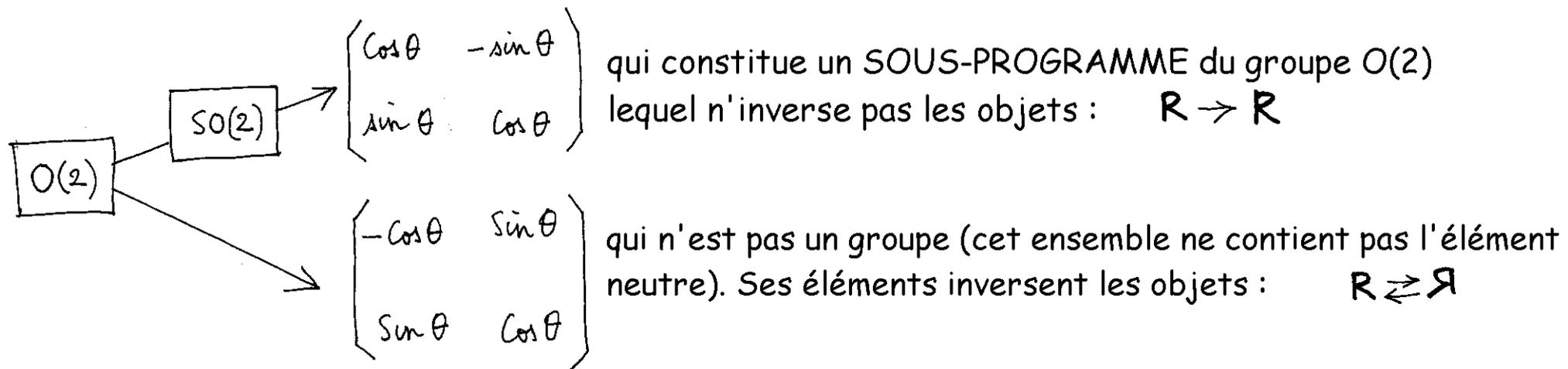
ORIENTATION

En multipliant cette matrice par une des deux matrices inversant les objets ($\mathbb{R} \rightleftharpoons \mathbb{R}$) comme par exemple celle qui opère une symétrie par rapport à l'axe oy on obtient:

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \theta & \sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix}$$

on remarquera que $\theta = \pi$ donne la symétrie par rapport à l'axe ox

On obtient un second ensemble de matrices qui sont aussi des matrices orthogonale puisque obéissant à ${}^tMM = I$. La réunion de ces deux ensembles constitue le GROUPE ORTHOGONAL $O(2)$. On dira que ce groupe dont nous appellerons l'élément a a DEUX COMPOSANTES.



GROUPE D'ISOMÉTRIE

L'ensemble des actions conservant les longueurs, dans un espace à deux dimensions combinent :

- Rotations
- Symétries
- Translations

ce qui peut se traduire à l'aide de matrices :

$$\begin{array}{l}
 \boxed{E(2)} \rightarrow \boxed{SE(2)} \rightarrow \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & \Delta x \\ \sin\theta & \cos\theta & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \cos\theta - y \sin\theta + \Delta x \\ x \sin\theta + y \cos\theta + \Delta y \\ 1 \end{pmatrix} \quad \boxed{R \rightarrow R} \\
 \boxed{E(2)} \rightarrow \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta & \Delta x \\ \sin\theta & \cos\theta & \Delta y \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ y \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -x \cos\theta + y \sin\theta + \Delta x \\ x \sin\theta + y \cos\theta + \Delta y \\ 1 \end{pmatrix} \quad \boxed{R \rightleftharpoons R}
 \end{array}$$

on obtient le GROUPE D'EUCLIDE 2D $E(2)$ qui est le GROUPE D'ISOMÉTRIE de l'espace EUCLIDIEN À DEUX DIMENSIONS. Sa première COMPOSANTE $SE(2)$ ("Spécial Euclide 2d") forme un SOUS-GROUPE. La seconde est un ensemble de matrices QUI INVERSENT LES OBJETS, mais ne constitue pas un groupe.

En 2d il est possible d'expliciter complètement les calculs. Ce qui a été fait en 2d peut être étendu en 3d. La matrice de Gram est la matrice unité 3d

$$I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad X = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Le carré de la longueur est $L^2 = {}^t X I X$ la signature: $(+ + +)$

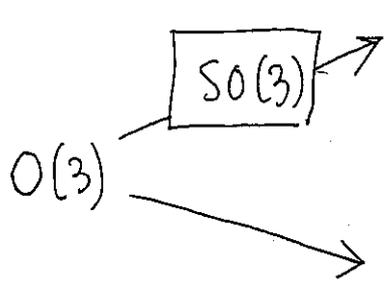
Soit une matrice M agissant sur le vecteur X selon $X = M X'$

La conservation de la longueur conduit à $L'^2 = {}^t X' I X' = {}^t (M X) (M X) = {}^t X ({}^t M M) X$

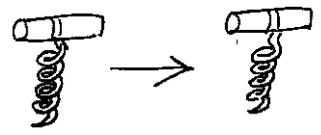
$L' = L$ si:

${}^t M M = I \text{ ou } M^{-1} = {}^t M$

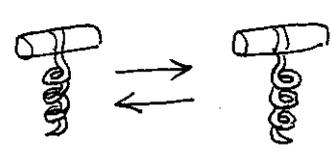
Les matrices jouissant de cette propriété, qui sont des matrices carrées (3,3) sont dites ORTHOGONALES et constituent le GROUPE ORTHOGONAL O(3) qui possède DEUX COMPOSANTES :



N'inverse pas les objets 3D



Inverse les objets 3D



(SYMÉTRIE MIROIR)

En ajoutant le vecteur translation

$$c = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

On construit le groupe d'Euclide 3D $E(3)$ qui hérite de la propriété du groupe orthogonal $O(3)$ autour duquel il est construit, dont on appellera l'élément a et qu'on écrira :

$$O = \left(\begin{array}{|c|c|c|} \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline \end{array} \right)$$

$$\left(\begin{array}{c|c} a & c \\ \hline 0 & 1 \end{array} \right) = \left(\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline & & & \Delta x \\ \hline & a & & \Delta y \\ \hline & (3,3) & & \Delta z \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline \end{array} \right) \text{ agissant sur } \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

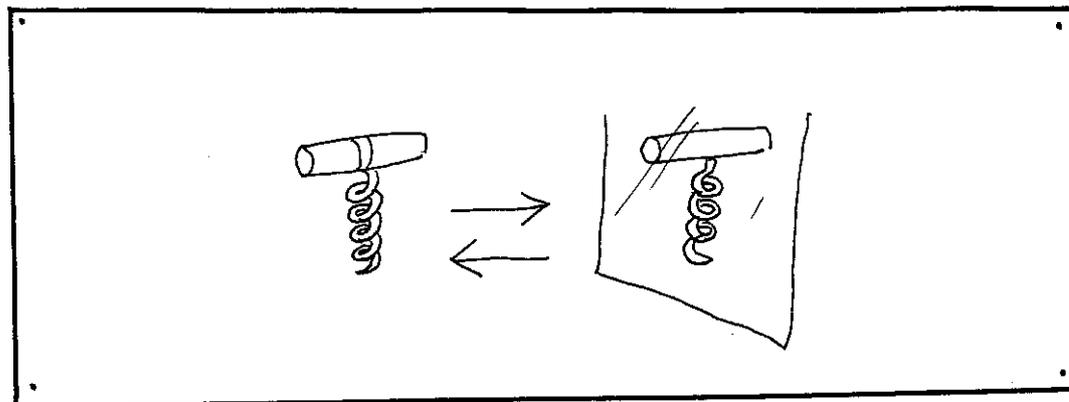
cette ACTION, écrite sous forme matricielle permet aux éléments du groupe d'Euclide 3D $E(3)$ d'agir sur les vecteurs X diffère des multiplications matricielles habituelles du genre

$$X' = MX$$

qui n'est qu'une forme d'ACTION parmi d'autres. Le concept d'action est essentiel et nous nous en resserrirons par la suite.

La moitié des matrices constituant le groupe d'Euclide transforme les objets orientables (le tire-bouchon) en leur image en miroir. On dira qu'ils opèrent

une P-SYMÉTRIE
ou "symétrie de parité"



QUAND LES MATHÉMATICIENS INVENTENT LES MIROIRS

C'est là que le mathématicien précède le physicien pour certaines démarches. Après avoir pratiqué les rotations et les translations le mathématicien invente la notion de groupe, les matrices de Gram, construit le SOUS-GROUPE $SE(3)$, qui n'inverse pas les objets en les TRANSPORTANT PHYSIQUEMENT. Mais le groupe secrète des éléments que le simple transport physique ne peut créer. En combinant rotations et translations on ne pourra jamais créer un TIRE-BOUCHON GAUCHE à partir d'un TIRE-BOUCHON DROIT. Or le groupe complet prédit "l'existence" de tels objets, habitant "de l'autre côté du miroir, ÉNANTIOMORPHES"



ainsi donc, nous pensons habiter dans un espace RIEMANIEN ELLIPTIQUE, ou ESPACE EUCLIDIEN 3d, de signature (+ + +) qui nous donne entre autre le THÉOREME DE PYTHAGORE. Mais quid d'espaces à signature (- - -) ?

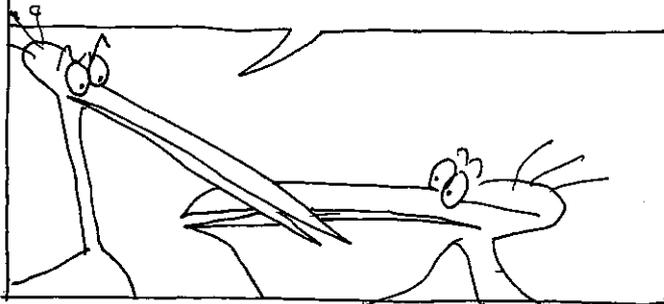


on les appelle IMPROPREMENT EUCLIDIENS. Les longueurs sont IMAGINAIRES PURES:

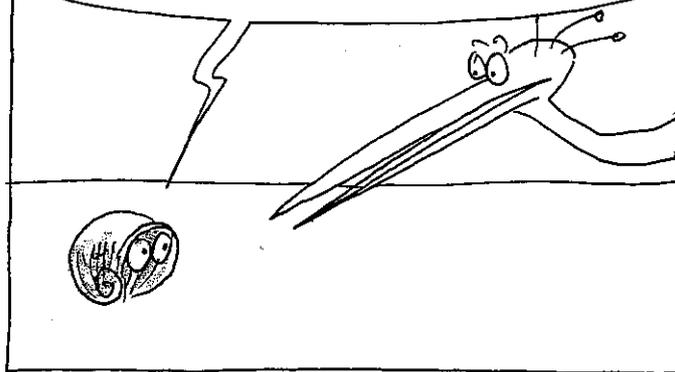
$$L = \sqrt{-x^2 - y^2 - z^2}$$

on reviendra à la fin de tout cela sur d'étranges espaces-temps où le temps est imaginaire pur

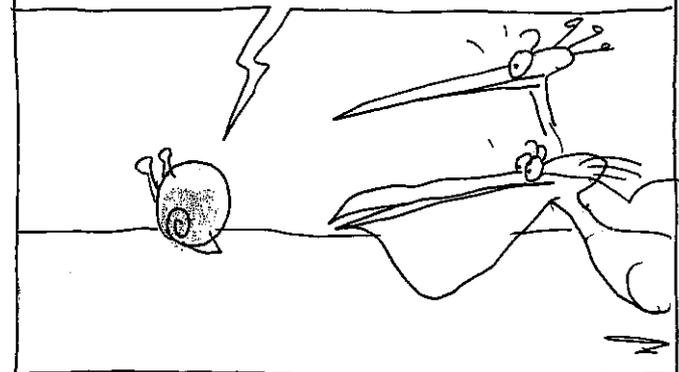
là, il ne faut pas exagérer. Un temps imaginaire pur ne peut-être que le produit de l'imagination



oui, mais l'imagination c'est QUOI ?

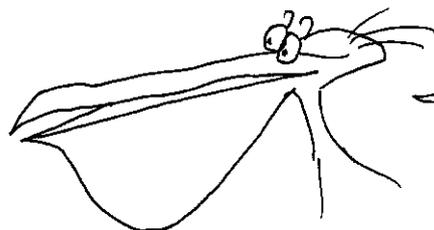


objets mathématiques, avez-vous donc une âme ?



ESPACE RIEMANNIENS HYPERBOLIQUES

Ce sont ceux dont la SIGNATURE comporte des signes + et des signes -. L'émergence de la THÉORIE DE LA RELATIVITÉ RESTREINTE a simplement consisté à réaliser qu'au lieu de vivre dans un espace euclidien de signature (+ + +): une HYPERSURFACE 3d perpendiculaire au temps, nous vivons dans un espace riemannien hyperbolique, de signature (+ - - -), L'ESPACE DE MINKOWSKI



Tirésias, comment pouvez-vous préférer de pareilles horreurs ?

La matrice de GRAM est alors

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

changeons de lettre pour désigner un vecteur de l'espace-temps :

$$\underline{\xi} = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

on définira un vecteur translation spatio-temporelle qu'on écrira :

$$C = \Delta \underline{\xi} = \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

On considérera des vecteurs infinitésimaux :

$$d \underline{\xi} = \begin{pmatrix} dt \\ dx \\ dy \\ dz \end{pmatrix}$$

On obtiendra alors (en faisant c , vitesse de la lumière, = 1) la longueur infinitésimale :

$$ds^2 = {}^t d\xi G d\xi = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

qu'on appellera MÉTRIQUE (de MINKOWSKI) et qu'on pourra écrire avec un simple changement de variables :

$$c^2 d\tau^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

Nous allons procéder comme nous l'avons fait pour le groupe d'Euclide et l'espace euclidien. Nous allons débiter par un espace-temps 2d :

$$\eta = \begin{pmatrix} t \\ x \end{pmatrix}$$

où l'élément de longueur, sa métrique 2d est avec, comme métrique de Gram :

$$ds^2 = {}^t d\eta G d\eta$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

Nous allons construire le GROUPE D'ISOMÉTRIE de cet espace...

on va procéder comme on l'a fait pour l'espace euclidien. Abandonnons un instant la présentation sous forme différentielle. Nous allons rechercher un groupe de matrices L , agissant sur le vecteur ξ selon :

$$\xi' = L \xi$$

qui préserve cette étrange "longueur hyperbolique", c'est à dire telle que :

$$L^T G L = G \quad \text{si :}$$

$$\boxed{L^T G L = G}$$

en 4d ce sont des matrices 4 lignes, 4 colonnes, de format (4,4). La formule ci-dessus est la définition du groupe (de matrices) de LORENTZ. Pour pouvoir expliciter, nous allons nous limiter à un espace-temps 2d (t,x)

$$L = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} a & c \\ b & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

$$\text{soit } a^2 - c^2 = 1 \quad ; \quad b^2 - d^2 = 1 \quad ; \quad ab - cd = 0$$

$$\text{ce qui nous fournit une première } \begin{pmatrix} \text{ch } \eta & \text{sh } \eta \\ \text{sh } \eta & \text{ch } \eta \end{pmatrix}$$

$$\text{puisque } \text{ch}^2 \eta - \text{sh}^2 \eta = 1$$

⇒ les lignes trigonométriques sont remplacées par les lignes hyperboliques

$$\begin{cases} \operatorname{ch} \eta = \frac{e^\eta + e^{-\eta}}{2} \\ \operatorname{sh} \eta = \frac{e^\eta - e^{-\eta}}{2} \end{cases} \quad \begin{cases} \cos \theta = \frac{e^{i\theta} + e^{-i\theta}}{2} \\ \sin \theta = \frac{e^{i\theta} - e^{-i\theta}}{2i} \end{cases} \quad z = e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$$

le GROUPE DE LORENTZ est l'équivalent des rotations, dans l'espace de MINKOWSKI

GROUPE DISCRET

les matrices de Gram 2d sont des matrices de Lorentz, obéissant à

$${}^t L G L = G$$

${}^t G G G = G$ avec $G G = I$ et ${}^t G = G$, donc en 2d nous avons le groupe discret :

$$\left\{ \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} \right\}$$

Nous obtiendrons le groupe de Lorentz complet, à quatre composantes

$\begin{bmatrix} \operatorname{ch} \eta & \operatorname{sh} \eta \\ \operatorname{sh} \eta & \operatorname{ch} \eta \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \operatorname{ch} \eta & -\operatorname{sh} \eta \\ \operatorname{sh} \eta & -\operatorname{ch} \eta \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\operatorname{ch} \eta & \operatorname{sh} \eta \\ -\operatorname{sh} \eta & \operatorname{ch} \eta \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -\operatorname{ch} \eta & -\operatorname{sh} \eta \\ -\operatorname{sh} \eta & -\operatorname{ch} \eta \end{bmatrix}$
--	--	--	--

sous-groupe orthochrone

sous-ensemble antichrone

RELATIVITÉ RESTREINTE

On a parlé RELATIVITÉ RESTREINTE. Mais la théorie d'Einstein c'est quoi ?



reprends le calcul de la LONGUEUR dans cet espace de Riemann hyperbolique qu'est L'ESPACE DE MINKOWSKI sous forme différentielle, donnée par la MÉTRIQUE :

$$ds^2 = c^2 d\tau^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

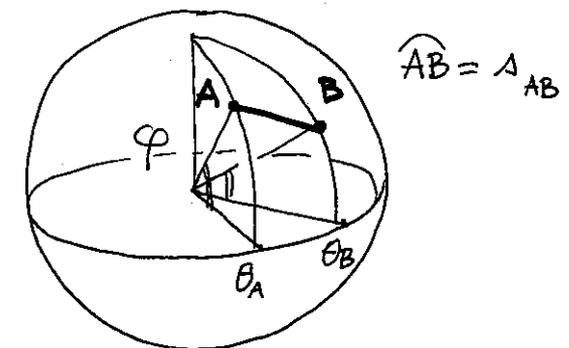
Cela veut dire que nos MOUVEMENTS SONT INSCRITS (*) sur une hypersurface 4d. Sur celle-ci (x,y,z,t) sont des COORDONNÉES. Dans PLUS RAPIDE QUE LA LUMIÈRE on explique que le plaquage d'un système de coordonnées sur cette hypersurface correspond à

la lecture faite par le PHYSICIEEN de cette hypersurface où la seule grandeur INTRINSÈQUE est la longueur S. Il y a le même rapport entre ces coordonnées et cette longueur S, qui se mesure en MÈTRES et qu'on convertit en TEMPS PROPRE τ grâce à la relation $ds = c dt$ où c est une vitesse caractéristique qu'entre les coordonnées de longitude θ et de latitude φ utilisées pour repérer des points sur une sphère et la longueur du chemin parcouru \widehat{AB} . Ce que montre cette formule c'est que quand on se donne ces coordonnées (x,y,z,t) on peut en déduire une vitesse

$$V = \frac{\sqrt{dx^2 + dy^2 + dz^2}}{dt}$$

Pour que le temps $d\tau$ reste réel il faut que $V < c$
le mouvement limite correspondra à $V = c$, et alors $d\tau = 0$

⇒ le temps propre du PHOTON est "gelé"



(*) en arabe: MEKTOUB

Pour les particules qui cheminent à $V < c$ s'opère la CONTRACTION DE LORENTZ

$$c^2 d\tau^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 \Rightarrow \frac{d\tau}{dt} = \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$$

τ c'est le temps qu'indique la montre du passager cheminant à la vitesse V , ce qui est illustré dans l'album TOUT EST RELATIF. Et quand V tend vers c "le temps gèle dans les chronomètres". Mais revenons au GROUPE DE LORENTZ. Ses éléments agissent sur des suites de points de l'espace-temps qui constituent un MOUVEMENT. En faisant agir un élément L du groupe de Lorentz sur un mouvement donné on obtient un autre mouvement. Le fait que le groupe contienne des éléments ANTICHRONES montre que les mouvements À REBROUSSE-TEMPS doivent être pris en considération. À titre d'exemple voici une matrice qui appartient au groupe de Lorentz :

$$L = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad {}^t L G L = G \quad \text{avec} \quad G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

L'action est :

$$\begin{pmatrix} t' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

INVERSION DU TEMPS

Quand nous avons défini le GROUPE ORTHOGONAL, sous-groupe du groupe d'isométrie de l'ESPACE EUCLIDIEN, nous l'avons complété à l'aide du vecteur des TRANSLATIONS SPATIALES

$$C = \begin{pmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix}$$

en construisant le GROUPE D'EUCLIDE, son groupe d'isométrie

élément du groupe
orthogonal $O(3)$

$$\begin{pmatrix} a & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} r \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$r = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

De même, à partir du GROUPE DE LORENTZ nous allons bâtir le GROUPE DE POINCARÉ, groupe d'isométrie de l'espace de MINKOWSKI.

$$C = \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{pmatrix} \begin{matrix} \text{translations} \\ \text{spatio-temporelles} \end{matrix}$$

$$\begin{pmatrix} L & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathcal{M} \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$\mathcal{M} = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Le groupe de Poincaré, à travers son sous-groupe $\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$ hérite des propriétés du groupe de Lorentz et possède comme celui-ci quatre composantes :

- DEUX ORTHOCHRONES (n'inversant pas le temps)
- DEUX ANTICHRONES (inversant le temps)

Il nous reste à comprendre la SIGNIFICATION PHYSIQUE de cette inversion temporelle

ESPACE, GROUPES ET OBJETS

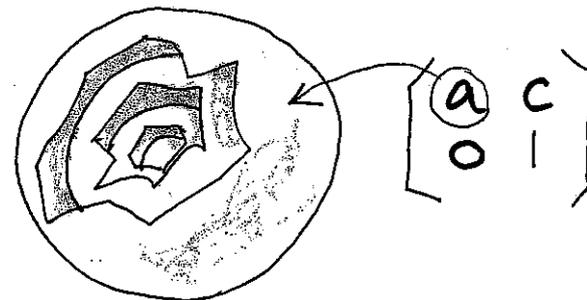
On est parti de l'espace euclidien et on s'est mis en 2d pour pouvoir expliciter les calculs. On a alors construit son GROUPE D'ISOMÉTRIE, le GROUPE D'EUCLIDE. Celui-ci accompagne donc l'espace euclidien et permet d'AGIR sur les objets, des points habitant dans cet espace. Mais on peut prendre le problème à l'envers: se donner le groupe, en tant qu'objet abstrait, purement mathématique, permettant d'envisager des ACTIONS et découvrir "l'espace qui va avec", le seul où ces actions peuvent être réalisées - "l'espace qui va bien", en quelque sorte. Ainsi l'espace et son groupe (d'isométrie) se confèrent-ils mutuellement leur existence.

Mais il y a plus encore - le groupe engendre les OBJETS de l'espace auquel il est lié en tant qu'INVARIANTS PAR L'ACTION D'UN SOUS-GROUPE. Donnons un exemple: les rotations autour d'un point, dans l'espace euclidien 2d constituent un de ses sous-groupes. Les objets invariants sont alors la famille de cercles centrée sur ce point. C'est ainsi, en terme de groupe qu'on définit le cercle!



Lucretius, poète et philosophe romain, 1er siècle avant JC, imagina que les objets étaient fait d'atomes en comparant l'analogie entre l'écoulement de l'eau et du sable (Voir L'ASPIRISOUFFLE pages 15 à 17)

Dans le groupe d'Euclide 3d, les rotations autour d'un point constituent aussi un des ses sous-groupes. Quel sont les objets que les ACTIONS DE CE SOUS-GROUPE laissent INVARIANT ? Réponse: la famille des SPHÈRES centrées sur ce point. Le concept d'INVARIANT par telle ou telle action du groupe ou d'un de ses sous-groupes est un concept fondamental de la THÉORIE DES GROUPEs. Dans ce groupe d'Euclide, d'où le temps est absent, le groupe fait naître lui-même des OBJETS qui peupleront l'espace auquel il est lié.



Quand le temps intervient, le groupe devient un GROUPE DYNAMIQUE. Il ne gère plus les objets statiques, mais des ENSEMBLES DE "POINTS ÉVÈNEMENTS" qu'on peut nommer TRAJECTOIRES ou MOUVEMENTS. Au début du siècle la remarquable mathématicienne allemande Emmy Noether (qualifiée par Einstein de "mouvement de la physique") a laissé son nom à un des théorèmes les plus important de la physique qui dit qu'à tout sous-groupe d'un groupe dynamique correspond un INVARIANT qui lui correspond.

Dans le GROUPE DE POINCARÉ nous trouvons le SOUS-GROUPE DES TRANSLATIONS TEMPORELLES, représenté par la matrice ci-contre. Groupe à 1 paramètre, il lui correspond alors un invariant, scalaire: L'ÉNERGIE E C'est ainsi, en termes de groupes, qu'on définit l'énergie!

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t + \Delta t \\ x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}$$

Second sous-groupe: celui des TRANSLATIONS SPATIALES (matrice ci-contre), groupe à trois paramètres (Δx , Δy , Δz).

Il lui correspond un nouvel invariant:

l'IMPULSION

$$\begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

c'est ainsi, à l'aide de GROUPE DYNAMIQUES qu'on définit l'impulsion. Les grandeurs de la physique deviennent ainsi des OBJETS GÉOMÉTRIQUES, et cette démarche de GÉOMETRISATION DE LA PHYSIQUE constitue un des piliers de la PHYSIQUE MATHÉMATIQUE.

En continuant à jouer à ce petit jeu on pourrait considérer le sous-groupe des TRANSLATIONS SPATIO-TEMPORELLES (matrice ci-contre)

L'objet invariant serait alors le QUADRIVECTEUR IMPULSION-ÉNERGIE

$$\begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ x + \Delta x \\ y + \Delta y \\ z + \Delta z \\ 1 \end{pmatrix}^{48}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & \Delta t \\ 0 & 1 & 0 & 0 & \Delta x \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \Delta y \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta z \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t + \Delta t \\ x + \Delta x \\ y + \Delta y \\ z + \Delta z \\ 1 \end{pmatrix}$$

À quoi servent les GRANDEURS DE LA PHYSIQUE ? Bonne question.

Réponse = ON PEUT LES ADDITIONNER !

Le groupe de Poincaré dépend de dix paramètres (on dit qu'il est "de dimension dix", simple terminologie de matheux). Il y en a 3 pour la translation spatiale, 1 pour la dimension temporelle. Il en reste six, qui représentent la dimension du GROUPE DE LORENTZ, qui gère "les rotations spatio-temporelles". Si on considère le groupe de Lorentz comme un sous-groupe du groupe de Poincaré :

Le théorème de Noether nous dit qu'il doit lui correspondre un "objet" défini par six paramètres qui sera invariant par l'action de ce sous-groupe

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathbb{S} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L \mathbb{S} \\ 1 \end{pmatrix} \text{ avec } \mathbb{S} = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$$

Dans cet objet se cache le SPIN. Souriau a montré en 1972 sa nature PUREMENT GÉOMÉTRIQUE. Il a la dimension d'un moment cinétique. Or le groupe de Poincaré gère les mouvements du POINT MATÉRIEL RELATIVISTE. L'interprétation du spin en tant qu'objet purement géométrique est préférable.

Le "MOMENT"

Les sous-groupes correspondent à une sorte de "démontage du groupe, pièce par pièce, rouages par rouages". Lorsqu'on a fait l'opération inverse, on reconstitue le groupe. L'ensemble des invariants dénombrés plus haut constitue ce que Souriau a appelé le "moment"

$$\text{moment} = \{ E, p_x, p_y, p_z, \dots, \text{SPIN} \}$$

ACTIONS D'UN GROUPE

Je connaissais la multiplication matricielle: $X' = MX$, mais je ne connaissais pas cette façon de faire AGIR un groupe de matrices de manière à gérer, par exemple dans le groupe d'Euclide, d'un coup les rotations, les symétries et les translations

$$X' = \begin{bmatrix} a & c \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \times X = \begin{bmatrix} aX + c \\ 1 \end{bmatrix}$$



c'est un gadget sympa

mais c'est tout sauf un gadget, une simple astuce. C'est une ACTION

mais... il n'y a pas trente six façons de faire AGIR UN GROUPE. Il y a celle-la, et c'est tout, non?



il y en a déjà une que tu oublies!

l'action de l'élément g du groupe sur un autre élément g'

$$g \times g' = g''$$

ça t'en fait déjà deux

alors qu'est ce que c'est qu'une ACTION DE GROUPE ?

Un groupe peut AGIR sur les éléments d'un ensemble U et ses ACTIONS se définissent comme suit :

Soit g l'élément du groupe

Soit \circ l'opération de composition

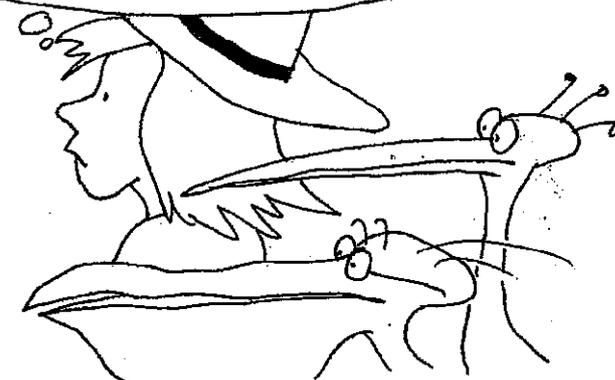
Soit u l'élément de l'ensemble U

$A_g(u)$ sera une action de g sur U si

$$A_{g''}(u) = A_g[A_{g'}(u)]$$



on dirait un machin plus ou moins transitif...



Si l'action est simplement l'opération de composition \circ

$$g \circ (g' \circ u) = (g \circ g') \circ u = g'' \circ u, \text{ ça marche.}$$

Donc l'opération de composition est une action.



ravi de l'apprendre.
Nous enfonçons des
portes ouvertes, non ?

Essayons avec :

$$A_{g'}(x) = \begin{bmatrix} a' & c' \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a'x + c' \\ 1 \end{bmatrix}$$

qui transforme X en $X' = a'X + c'$



et plus qu'à
remettre ça

et alors ?

J'écris $A_g(x') = \begin{pmatrix} a & c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a'x+c' \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} aa'x + ac' + c \\ 1 \end{pmatrix}$

et là, je suis perdu, je ne reconnais plus rien...



mais non, tout va bien. Fais le produit des deux matrices :

$$\begin{pmatrix} a & c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} a' & c' \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} aa' & ac'+c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a'' & c'' \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ce que tu as obtenu c'est $\begin{pmatrix} a'' & c'' \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix}$ donc :

$$A_g [A_{g'}(x)] \text{ donne bien } A_{g''}(x) \text{ avec } g'' = g \times g'$$

Ça veut dire que $\begin{pmatrix} a & c \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} x \\ 1 \end{pmatrix}$ est bien une ACTION d'un

élément g du groupe d'Euclide sur les points X de l'espace.



et, de la même façon $\begin{pmatrix} L & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \xi \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L\xi + C \\ 1 \end{pmatrix}$ avec $\xi = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix}$ est aussi une ACTION du GROUPE DE POINCARÉ sur les "points-événements" ξ de l'ESPACE-TEMPS

ATTENTION UNE GÉOMÉTRIE PEUT EN CACHER UNE AUTRE!

mais il existe une AUTRE ACTION
du groupe sur un AUTRE ESPACE

mais... il n'y a qu'un seul espace, où
s'inscrivent les mouvements,
l'espace-temps !?!

Il y aura donc une seconde
action du groupe sur les
points de cet espace, donc
une seconde géométrie,
celle du MOMENT

Ce qui s'inscrit dans l'espace-temps n'est
que la TRAJECTOIRE. Le MOUVEMENT
se joue dans deux espaces, et le second est
celui des PARAMÈTRES DU MOUVEMENT,
que j'ai appelé ESPACE DES MOMENTS



$$\mathbf{J}' = \mathbf{g} \times \mathbf{J} \times {}^t \mathbf{g}$$

où \mathbf{J} est une matrice ANTISYMMÉTRIQUE

on peut vérifier que c'est bien une ACTION.

$$A_{\mathbf{g}}[A_{\mathbf{g}'}(\mathbf{J})] = \mathbf{g} \times [\mathbf{g}' \times \mathbf{J} \times {}^t \mathbf{g}'] \times {}^t \mathbf{g} = \mathbf{g} \mathbf{g}' \mathbf{J} {}^t \mathbf{g}' \mathbf{g}$$

mais ${}^t[AB] = {}^t B {}^t A$ alors ${}^t \mathbf{g}' {}^t \mathbf{g} = {}^t(\mathbf{g} \mathbf{g}')$ et si $\mathbf{g}'' = \mathbf{g} \mathbf{g}'$

$$A_{\mathbf{g}}[A_{\mathbf{g}'}(\mathbf{J})] = \mathbf{g}'' \quad {}^t \mathbf{g}'' = A_{\mathbf{g}''}(\mathbf{J})$$

La matrice \mathbf{J} a nécessairement le même format que le format (5,5) des matrices \mathbf{g} du groupe. Dans une matrice antisymétrique les termes symétriques par rapport à la diagonale principale sont opposés. Donc ceux de cette diagonale principale sont égaux à zéro (qui est son propre opposé). On peut donc dénombrer les composants de cette matrice

0	l
$-l$	0

(2,2)

0	$-l_z$	$-l_y$
l_z	0	$-l_x$
$-l_y$	l_x	0

(3,3)

0	$-l_z$	l_y	f_x
l_z	0	$-l_x$	f_y
$-l_y$	l_x	0	f_z
$-f_x$	$-f_y$	$-f_z$	0

(4,4)

0	$-l_z$	l_y	f_x	$-p_x$
l_z	0	$-l_x$	f_y	$-p_y$
$-l_y$	l_x	0	f_z	$-p_z$
$-f_x$	$-f_y$	$-f_z$	0	$-E$
p_x	p_y	p_z	E	0

(5,5)

Format	Nombre de composantes
(2,2)	1
(3,3)	3
(4,4)	6
(5,5)	10



Je peux découper cette matrice antisymétrique J de format $(5,5)$ en une matrice antisymétrique M de format $(4,4)$ et un QUADRIVECTEUR p , à quatre composantes. Et je pourrai écrire tout cela de façon plus compacte. Cela me permettra d'explicitier le calcul de l'action du groupe de Poincaré sur cette matrice-moment J de manière plus commode, tout simplement

$$\begin{array}{c}
 J = \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 0 & -l_z & l_y & f_x & -p_x \\ \hline l_z & 0 & -l_x & f_y & -p_y \\ \hline -l_y & l_x & 0 & f_z & -p_z \\ \hline -f_x & -f_y & -f_z & 0 & -E \\ \hline p_x & p_y & p_z & E & 0 \\ \hline \end{array} \\
 \Rightarrow \\
 \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline 0 & -l_z & l_y & f_x & -p_x \\ \hline l_z & 0 & -l_x & f_y & -p_y \\ \hline -l_y & l_x & 0 & f_z & -p_z \\ \hline -f_x & -f_y & -f_z & 0 & -E \\ \hline p_x & p_y & p_z & E & 0 \\ \hline \end{array} \\
 \begin{array}{c}
 M = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0 & -l_z & l_y & f_x \\ \hline l_z & 0 & -l_x & f_y \\ \hline -l_y & l_x & 0 & f_z \\ \hline -f_x & -f_y & -f_z & 0 \\ \hline \end{array} \\
 P = \begin{array}{|c|} \hline p_x \\ \hline p_y \\ \hline p_z \\ \hline E \\ \hline \end{array} \\
 {}^t P = \begin{array}{|c|c|c|c|} \hline p_x & p_y & p_z & E \\ \hline \end{array}
 \end{array}$$

$$J = \begin{pmatrix} M & -P \\ {}^t P & 0 \end{pmatrix} \quad g = \begin{pmatrix} L & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

vu sous cet angle, ce découpage est logique



il n'y a plus qu'à explicitier le calcul $J' = g \times J \times {}^t g$

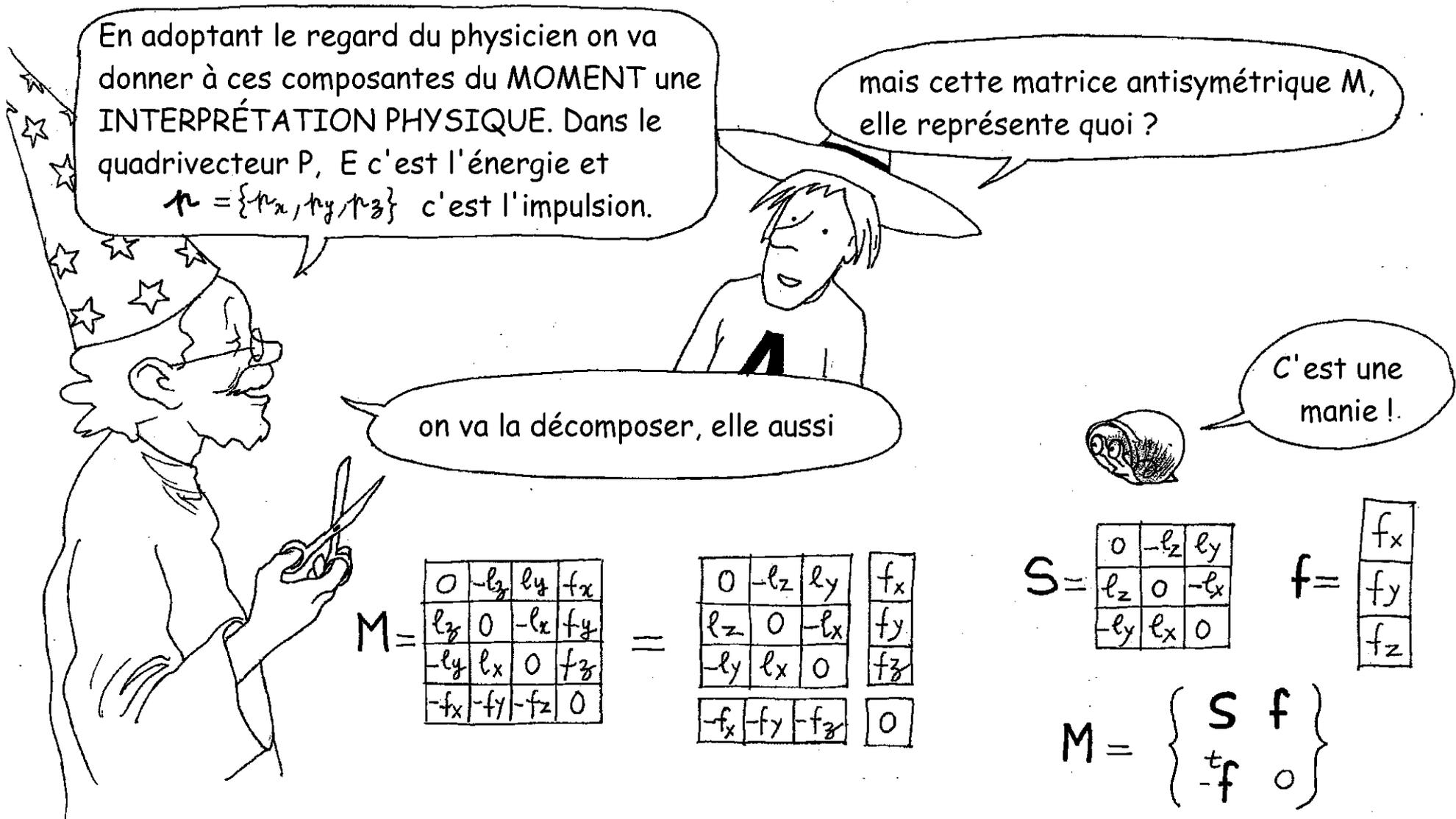
$${}^t q = \begin{pmatrix} {}^t L & 0 \\ {}^t C & 1 \end{pmatrix} \quad J' = \begin{pmatrix} L & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} M & -P \\ {}^t P & 0 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} {}^t L & 0 \\ {}^t C & 1 \end{pmatrix}$$

$$J' = \begin{pmatrix} L & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} M {}^t L - P {}^t C & -P \\ {}^t P {}^t L & 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L M {}^t L - L P {}^t C + C {}^t P {}^t L & -L P \\ {}^t P {}^t L & 0 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} M' &= L M {}^t L - L P {}^t C + C {}^t P {}^t L \\ P' &= L P \end{aligned}$$

je veux bien. Mais à quoi vont me servir ces magnifiques formules ?

elle est pas belle, la science ?



La vitesse V est implicitement présente dans la matrice L du groupe de Lorentz. Si on considère un mouvement qui s'effectue selon une direction privilégiée, par exemple oz avec une vitesse V et une translation $\Delta z = c$ et si par ailleurs $c = V \Delta t$ on se situe dans un système de coordonnées où on accompagne, au fil de cette translation spatio-temporelle la particule dans son mouvement. On montre alors que le vecteur f est nul.

La matrice S s'écrit alors:

0	-S	0
S	0	0
0	0	0

Souriau a consacré en 1972(*) le caractère PUREMENT GÉOMÉTRIQUE du SPIN: une matrice antisymétrique (3,3)



C'est le SPIN de la particule

La méthode de QUANTIFICATION GÉOMÉTRIQUE qu'il a inventée permet de montrer que ce spin S ne peut être qu'un multiple d'une quantité fixe: \hbar . On a vu que le fait qu'une particule soit dotée d'une charge électrique était équivalent au fait de dire qu'elle évoluait dans une espace doté d'une CINQUIÈME DIMENSION, la dimension de KALUZA. C'est le fait que cette dimension soit fermée sur elle-même qu'entraîne que la charge électrique soit quantifiée. Dans l'espace-temps il existe une "forme de fermeture" qui fait qu'un objet se retrouve identique à lui-même sous l'action d'une rotation de 360° . La quantification du Spin, dans une certaine mesure, découle de cette propriété. Il existe une relation étroite entre quantification et fermeture d'une dimension. En exploitant l'outil groupe et la fermeture de la 5ième dimension, Souriau fait émerger l'équation de Klein-Gordon du groupe de Poincaré (et l'équation de Schrödinger du groupe de Galilée, groupe dynamique gérant le mouvement du point matériel non relativiste)

L'INVERSION DU TEMPS ENTRAINE L'INVERSION DE L'ÉNERGIE

On a vu plus haut, que l'élément du groupe de Lorentz pouvait être mis sous la forme:

$$L = \mu L_0 \quad \mu = \pm 1$$

où L_0 représente l'élément du sous-groupe orthochrone (qui n'inverse pas le temps).

Sous cette forme l'action s'écrit:

$$M' = L_0 M {}^t L_0 - \mu L_0 P {}^t C + \mu C {}^t P L_0$$

$$P' = \mu L_0 P$$

Considérons l'action la plus simple possible où il y a inversion du temps ($\mu = -1$). Dans le groupe orthochrone L_0 , choisissons la matrice unité \mathbf{I} . Annulons la translation spatio-temporelle C . L'élément du groupe s'écrit :

$$g = \begin{pmatrix} -\mathbf{I} & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

L'action sur l'espace-temps, l'espace des trajectoires se réduit à :

$$\mathbb{S}' = -\mathbb{S} \Rightarrow t \Rightarrow -t$$

C'est l'inversion du sens du temps le long de la trajectoire. L'action sur le moment est :

$$M' = M \Rightarrow \text{le spin } S \text{ reste inchangé}$$

$$P' = -P : E \rightarrow -E$$

ça y est, ça a été dur
mais on y est arrivé



ANNEXE 4: L'ANTIMATIÈRE

Page 40 nous avons évoqué l'idée que pour qu'un point matériel relativiste soit doté d'une charge électrique e il fallait envisager son déplacement non dans un espace à quatre dimension, mais dans un espace à cinq :

$$\{t, x, y, z, \zeta\}$$

ζ étant la cinquième dimension, ou DIMENSION DE KALUZA. Page 137 on avait introduit la MÉTRIQUE DE MINKOWSKI

$$ds^2 = \overset{t}{d} \underset{\zeta}{\mathbb{E}} G \underset{\zeta}{d} \mathbb{E} = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

on va partir d'un ESPACE DE KALUZA, Riemannien hyperbolique, défini par sa signature (+ - - - -) et sa matrice de Gram :

$$\Gamma = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \text{ où } G = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

La métrique de l'espace de Kaluza est :

$$d\Sigma^2 = dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 - dS^2$$

$$r = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \mathbb{M} = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ r \end{pmatrix} \quad \Omega = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbb{M} \\ S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ S \\ r \end{pmatrix}$$

$$d\Sigma^2 = {}^t d\Omega \Gamma d\Omega$$

on peut alors rechercher le groupe d'isométrie de cet espace de Kaluza et on trouvera un groupe dont la représentation matricielle ressemble trait pour trait à celle du groupe de Poincaré, avec une dimension de plus :

$$\begin{pmatrix} \Lambda & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{avec} \quad {}^t \Lambda \Gamma \Lambda = \Gamma$$

ce groupe agit sur les points de l'espace de Kaluza:

$$\begin{pmatrix} \Lambda & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \Omega \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Lambda \Omega + C \\ 1 \end{pmatrix}$$

Le vecteur C représente cette fois une translation à cinq dimensions :

$$C = \begin{pmatrix} \Delta t \\ \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta \xi \end{pmatrix}$$

les translations selon la dimension ζ représentent un sous-groupe de ce groupe :

dont la représentation
matricielle est :

sous groupe à 1 paramètre

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta \xi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ \xi \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \\ \xi + \Delta \xi \\ 1 \end{pmatrix}$$

Le théorème de Noether nous dit qu'alors un nouveau scalaire sera invariant sous l'action de ce sous-groupe, et ce scalaire est

LA CHARGE ÉLECTRIQUE e

le groupe de Kaluza est construit à partir d'un groupe Λ

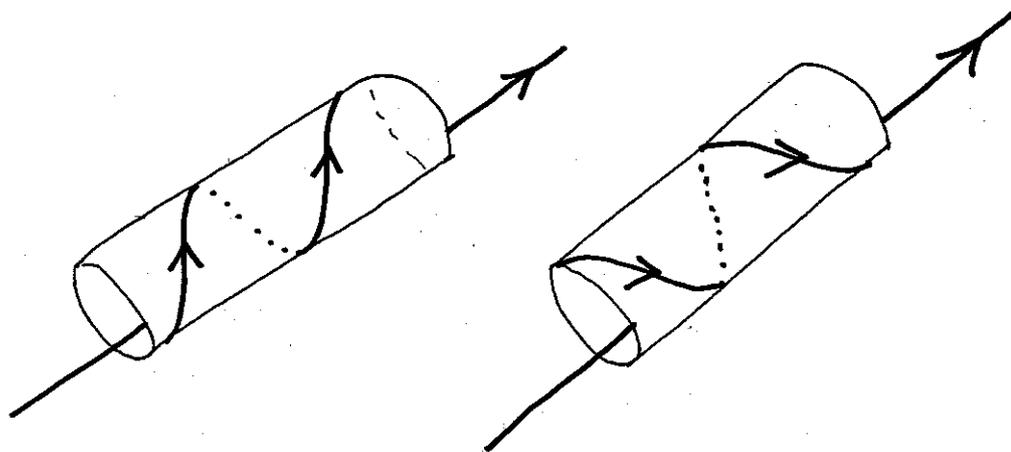
le groupe de Lorentz est un de ses sous-groupes :

$$\begin{pmatrix} L & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

voici un autre sous-groupe du groupe de Kaluza

$$\begin{pmatrix} L & 0 & 0 \\ 0 & \mu & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mu r \\ \mu S \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} L \mu r \\ \mu S \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{avec } \mu = \pm 1$$

les éléments ($\mu = -1$) de ce groupe inversent la cinquième dimension. Pour reprendre le dessin de la page 42 : (la cinquième dimension est fermée)



Le sens de l'enroulement du mouvement de la particule est inversé. On démontre (...) que ceci entraîne l'inversion de la charge électrique e

Ceci ne saurait représenter une définition géométrique de l'antimatière. Une particule possède des CHARGES QUANTIQUES et la charge électrique e n'est que l'une d'entre elles. Mais on voit poindre l'idée: "le statut d'antimatière relève d'un type de mouvement dans un espace de dimension supérieure".

SOUS-GROUPES DE LORENTZ ORTHOCHRONONE et ANTICHRONE

Le GROUPE DE LORENTZ L possède quatre composantes

L_n (neutre), L_s (inverse l'espace), L_t (inverse le temps), L_{st} (inverse l'espace et le temps)

La "composante neutre" est un sous-groupe qui contient l'élément neutre, à la différence des trois autres ensembles et n'inverse... ni l'espace ni le temps. Ci-après, quelques matrices qui appartiennent aux ensembles (\in signifie "appartient à" et $\{ \}$ ensemble)

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \in \{L_n\}; \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \in \{L_s\}; \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \in \{L_t\}; \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \in \{L_{st}\}$$

ANNEXE 5: GROUPE GÉMELLAIRE

On peut regrouper ces quatre ensembles de matrices en deux sous-ensembles:

$$L_0 \text{ (orthochrone)} = \{L_n, L_s\} \quad L_a = \{L_t, L_{st}\}$$

Le premier sous-ensemble est un sous-groupe du groupe de Lorentz. Ce regroupement permet l'écriture :

$$L = \mu L_0 \text{ avec } \mu = \pm 1 \text{ car } L_t = -L_s \text{ ; } L_{st} = -L_n$$

Dans ce gros calcul matriciel qu'on a pas osé vous mettre dans ces pages (mais que vous pourriez très bien suivre) "L'ACTION" la plus générale des composantes du groupe de Poincaré sur "son espace des moments" contient la relation (Souriau 1972)



$$\begin{pmatrix} E' \\ p'_x \\ p'_y \\ p'_z \end{pmatrix} = L \times \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix} = \mu L_0 \times \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

Les éléments $\mu = -1$ correspondent aux transformations ANTICHRONES qui inverse le temps. La matrice unité (4,4) I fait partie du groupe de Lorentz. Quand on se limite à inverser le temps on voit que ceci inverse l'énergie, mais aussi l'impulsion P

$$p = \begin{pmatrix} p_x \\ p_y \\ p_z \end{pmatrix}$$

$$E' = -E \quad p' = -p$$

Si on prend le groupe de Kaluza

$$\begin{pmatrix} \Lambda & C \\ 0 & 1 \end{pmatrix}$$

tous les calculs peuvent être reconduits en 5d et on obtiendra en particulier avec :

$$\pi = \begin{pmatrix} E \\ p_x \\ p_y \\ p_z \\ e \end{pmatrix} \quad \pi' = \Lambda \pi$$

On peut décomposer le groupe Λ en deux composantes, l'une orthochrone et l'autre antichrone, et écrire

$$\Lambda = \mu \Lambda_0 \quad \text{avec} \quad \mu = \pm 1$$

les composantes ANTICHRONES ($\mu = -1$) inversent:

- L'énergie E
- L'impulsion p
- La charge électrique e

On peut exprimer Λ en utilisant le sous-ensemble orthochrone L_0 du groupe de Lorentz et, en rajoutant ($\lambda = \pm 1$) introduire (dans les deux feuillets) la dualité matière-antimatière

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \mu L_0 & 0 \\ 0 & \lambda \end{pmatrix}$$

Le sous-groupe du groupe de Kaluza pour lequel on opte s'écrit alors

$$\begin{pmatrix} \mu L & 0 & \Delta \mathcal{M} \\ 0 & \lambda & \Delta \mathcal{S} \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \mathcal{M} \\ \mathcal{S} \\ 1 \end{pmatrix}$$

ANNEXE 6:

ESPACES IMAGINAIRES

AVEZ-VOUS DONC UNE ÂME ?

On se rappelle qu'en faisant interagir les deux sous-ensembles cosmiques d'énergies et de masses opposées, on avait représenté ces deux feuilletts comme le revêtement d'un projectif, lequel, dans le cas de deux dimensions (t,x) devenait une SURFACE DE BOY (*) (voir page)
 On avait également envisagé que les deux "pôles" l'un figurant le BIG BANG et l'autre le BIG CRUNCH, au lieu d'être identifiés, correspondent à un passage, un pont reliant les deux feuilletts. Ceci faisait disparaître la singularité et d'autre part, en 2d, donnait à l'objet-univers la topologie d'un tore T^2 agencé en revêtement à deux feuilletts d'une bouteille de Klein K^2 (plus facilement "lisible" dans le Topologicon, page).

L'espace frontière est alors un cercle S^1

(*)Abondamment décrite dans le TOPOLOGICON

Si on se place maintenant en 5d il faut supposer qu'on puisse construire une solution avec deux métriques du type

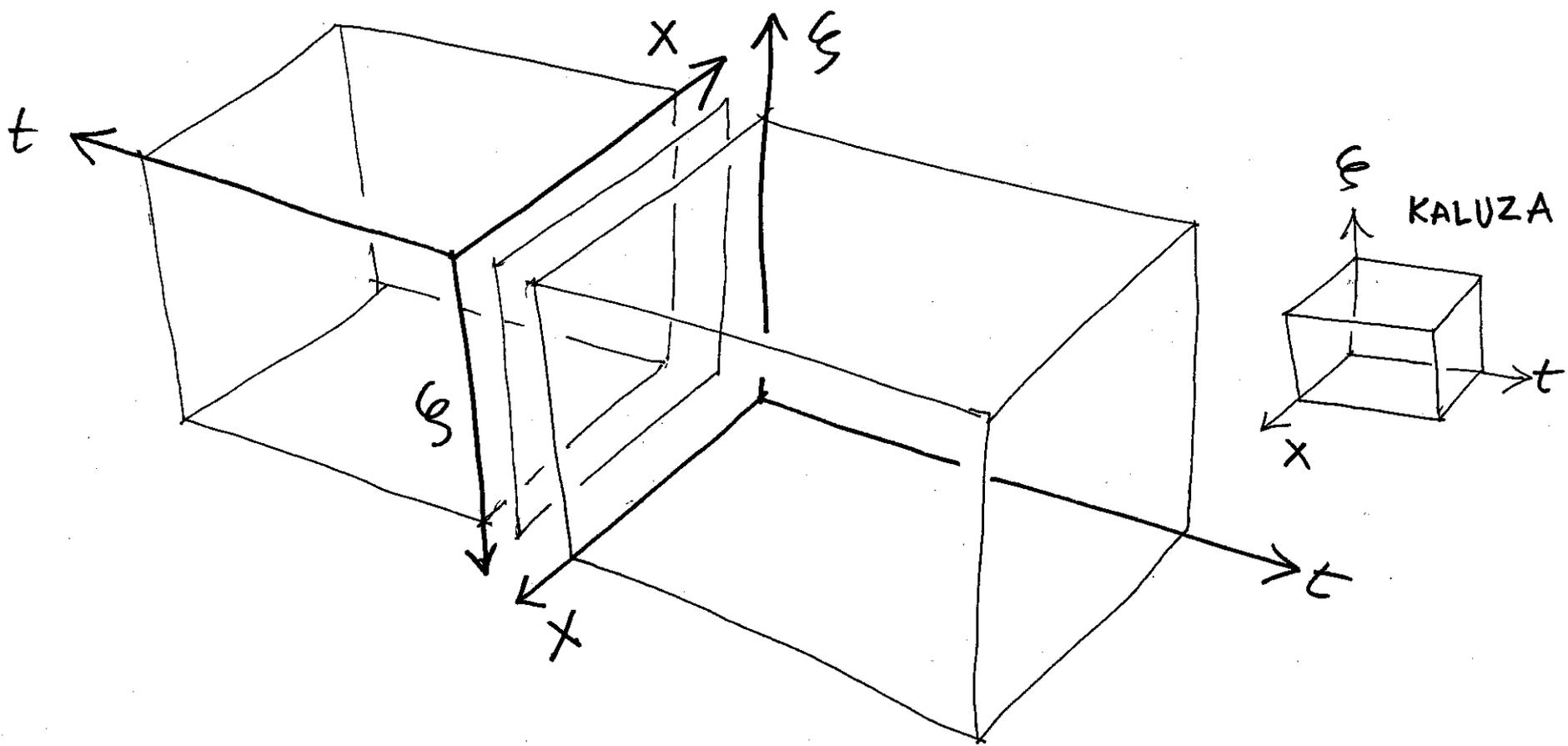
$$d\Sigma^2 = R^2 [dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2 - d\mathcal{S}^2]$$

Dans l'Univers primitif (voir PLUS RAPIDE QUE LA LUMIÈRE), avant la BRISURE DE SYMÉTRIE les deux facteurs d'échelle (Warp factors) sont supposés égaux. À la jonction il y a dégénérescence dimensionnelle. La métrique de l'espace-frontière devient alors :

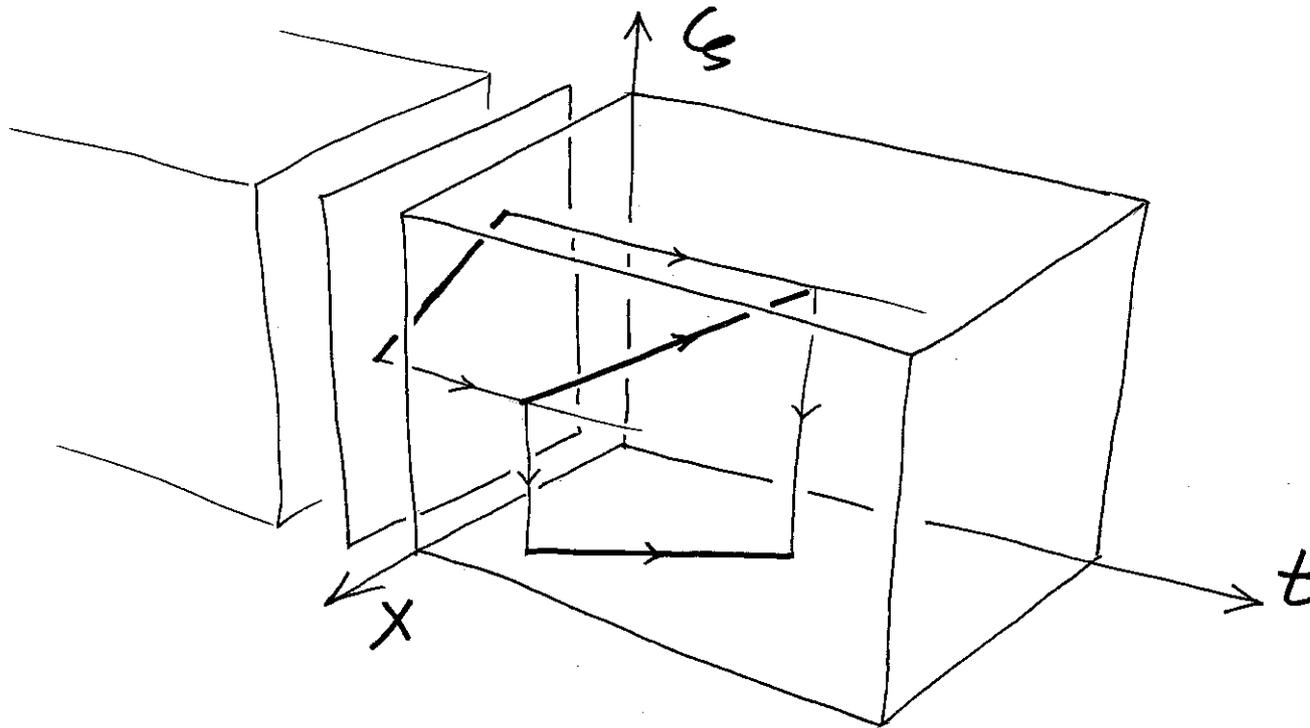
$$d\sigma^2 = R_{\min}^2 [-dx^2 - dy^2 - dz^2 - d\mathcal{S}^2] < 0$$

DANS CET ESPACE-FRONTIÈRE, LA LONGUEUR EST IMAGINAIRE PURE
PEUT-ELLE ÊTRE ASSIMILÉE À UN TEMPS IMAGINAIRE ?

DANS TOUS LES CAS DE FIGURE, QUELLE SIGNIFICATION (META)PHYSIQUE
DONNER À CETTE STRUCTURE GÉOMÉTRIQUE ?

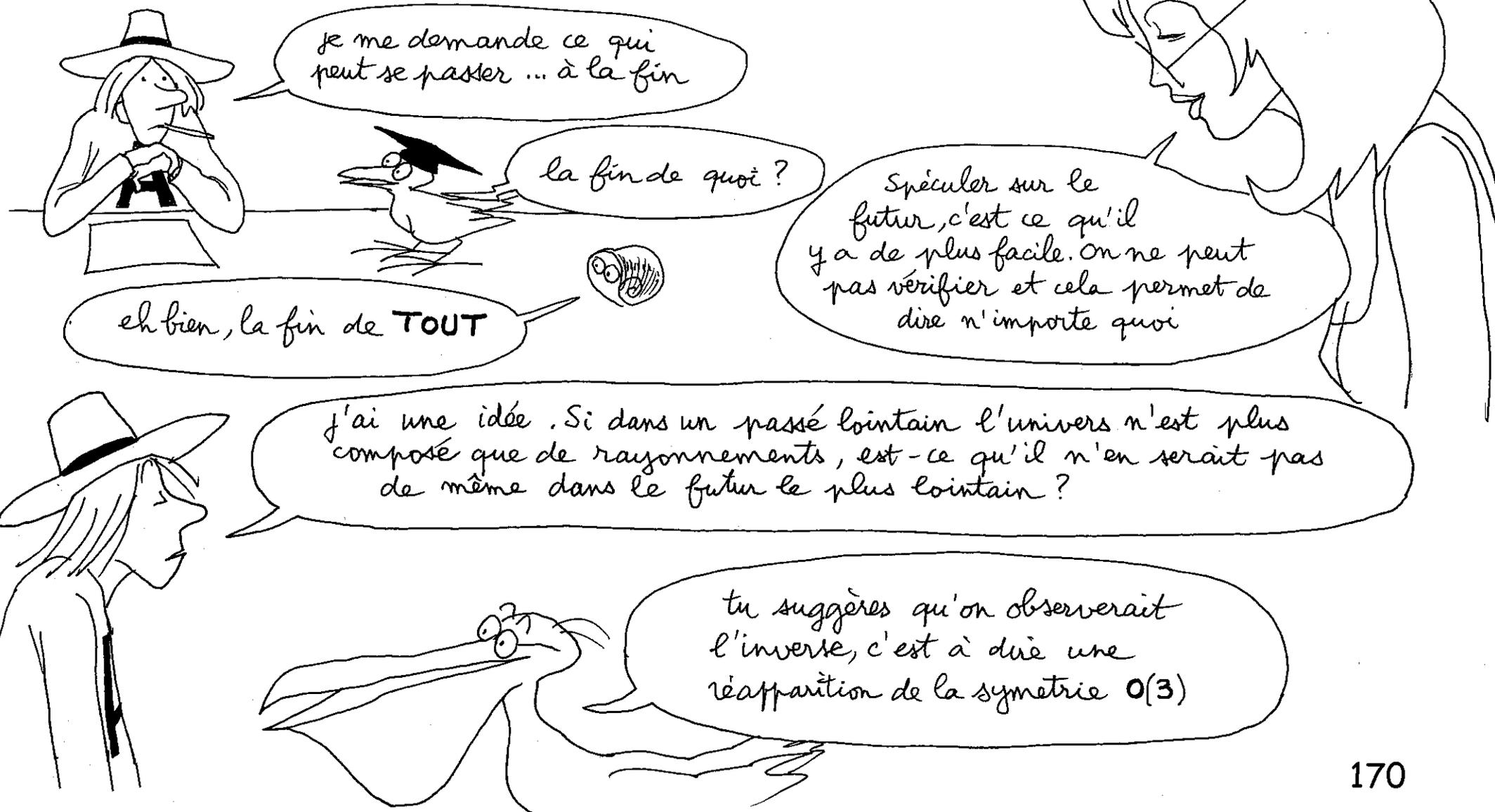


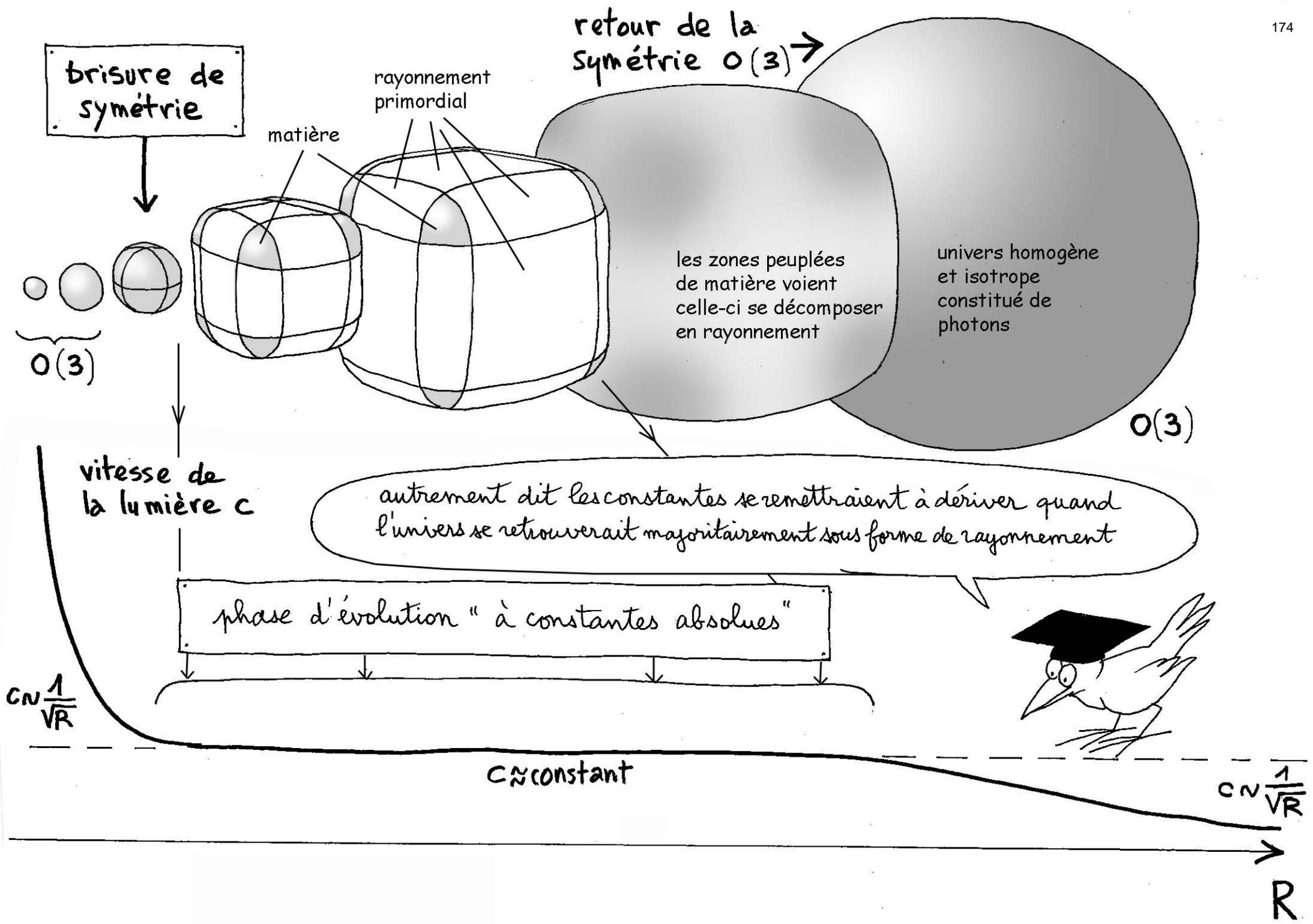
le "TOY MODEL"



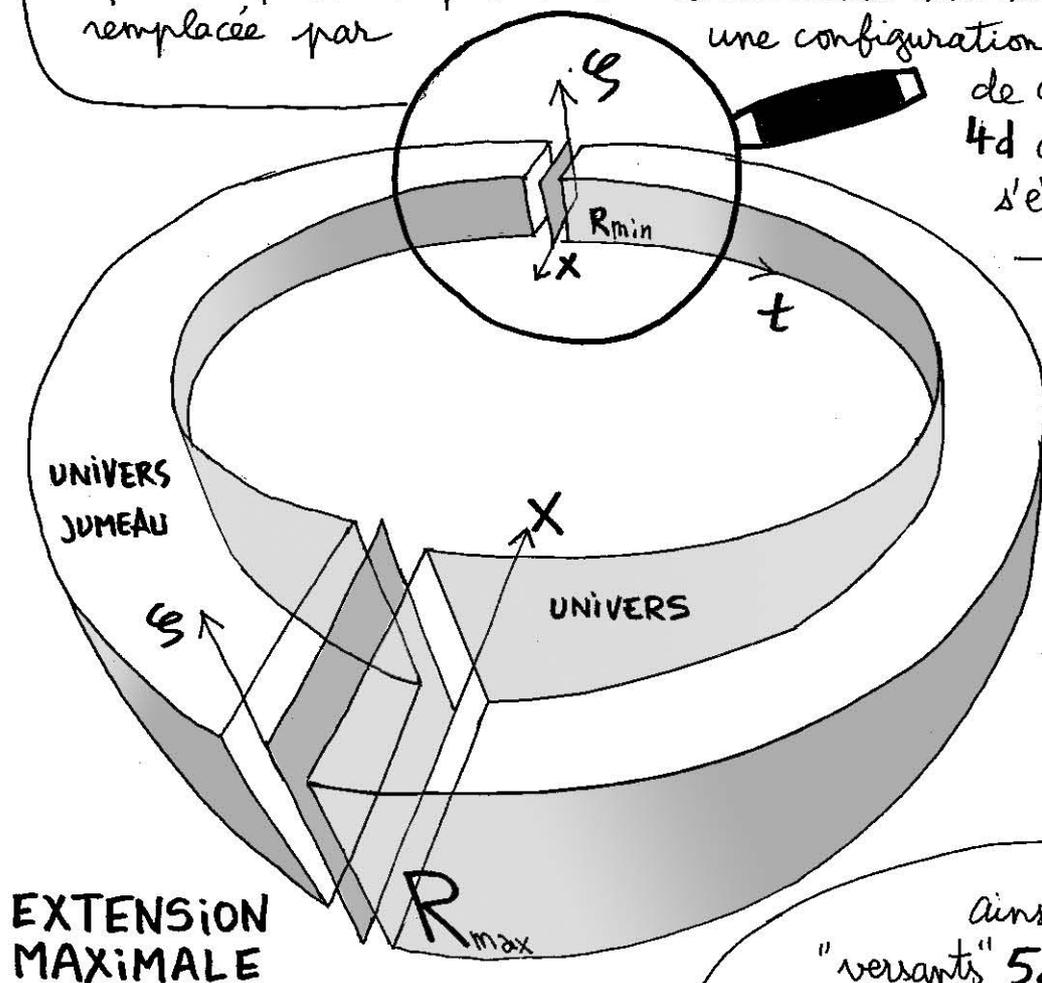
Personne ne s'est jamais hasardé à fournir un quelconque modèle de ce que pouvait être la CONSCIENCE avec son corollaire : le CHOIX. On a ci-dessus une image amusante où une "ligne de destin", achrone, inscrite dans cet espace frontière (x,y,z,ζ) de signature $(- - - -)$ peut se projeter d'une infinité de manières possibles dans l'un des deux feuillets d'espace-temps (X,t) , le choix de telle ou telle projection représentant un DEGRÉ DE LIBERTÉ

L'ÉTERNITÉ C'EST LONG SURTOUT À LA FIN





la représentation proposée a remplacé la "singularité initiale" par une structure 4d où l'extension spatiale passerait par une valeur minimale R_{min} . Dans cette même optique "l'expansion indéfinie" serait remplacée par une configuration d'extension maximale R_{max} . Et rien n'empêche de connecter ces deux "extrêmes" par une nouvelle structure 4d à métrique elliptique (----) et où le temps s'écoulerait selon des valeurs **IMAGINAIRES PURES**



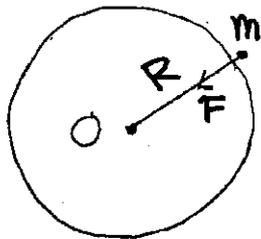
ainsi toute trajectoire s'inscrivant dans ces deux "versants" 5d d'univers se projetterait sur ces structures 4d à temps imaginaire selon des courbes différentes, puisque ces espaces sont quadridimensionnels. Quelle histoire!

c'est (MEKTOUB)²

ANNEXE 7:

SOLUTIONS NEWTONIENNES

En 1934 Milne et Mac Crea créèrent une immense surprise en faisant émerger l'équation de Friedman, donnant la loi d'évolution de la dimension caractéristique R de l'univers avec trois fois rien de calcul et la loi de Newton. La méthode consiste à considérer un bout d'univers, contenu dans une sphère de rayon R et de centre O , ρ étant la densité de matière dans ce milieu. On



cherche alors quelle est l'accélération R'' à laquelle cette masse est soumise en supposant que le point O est fixe. On peut alors démontrer que la force, radiale, à laquelle cette masse m est soumise se limite à celle d'une masse $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho$ qui serait située en O et qui représente la masse contenue dans cette sphère de rayon R

$$F = -\frac{Gm}{R^2} \frac{4}{3}\pi R^3 \rho = m R''$$

on obtient l'équation différentielle :

$$R'' = -\frac{1}{R^2} \left(\frac{4\pi G \rho R^3}{3} \right)$$

Si la masse est conservée $\rho R^3 = C^{te}$ on obtient l'équation de Friedman

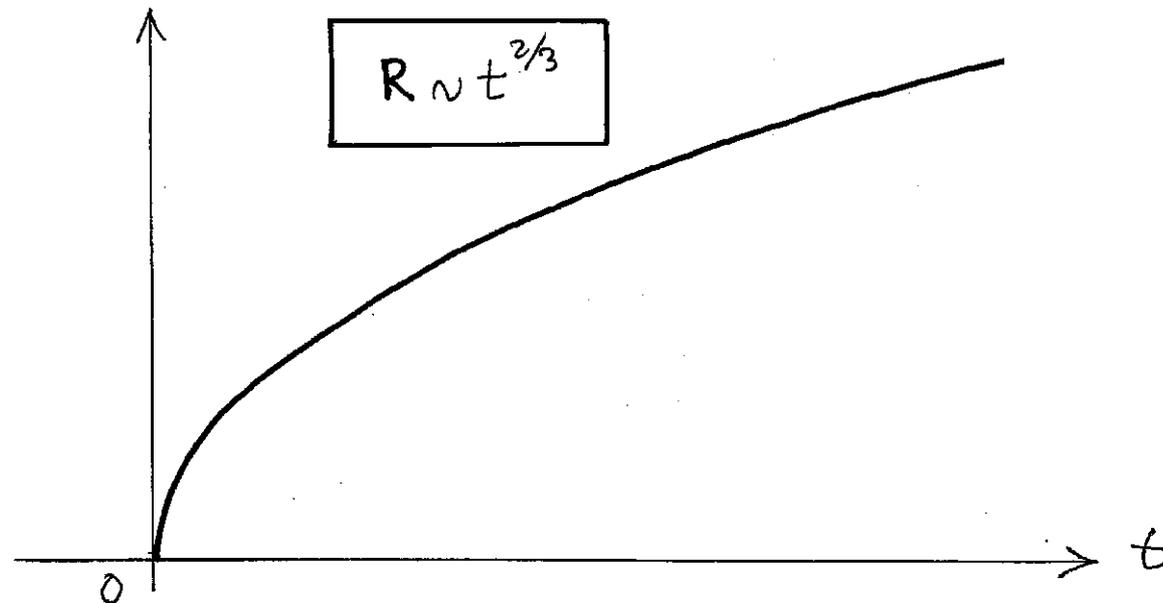
$$R'' = -\frac{a^2}{R^2}$$

qui possède trois types de solutions qui font toutes les trois état d'une décélération, infinie pour $R = 0$ puis décroissant au fil de l'expansion $R(t)$ au fil du temps. Nous chercherons la loi en

$$R \sim t^m$$

$$R' = ma^2 t^{m-1} \quad ; \quad R'' = m(m-1)a^2 t^{m-2} \quad ; \quad R^2 R'' = m(m-1)a^6 t^{3m-2}$$

qui conduit à la solution parabolique:



Imaginons maintenant que l'évolution de l'Univers soit régie par deux contenus, l'un représentant des masses positives m^+ et l'autre des masses négatives m^- . En outre, comme nous nous sommes efforcé de le faire comprendre dans l'album, cette expansion se joue à travers deux FACTEURS D'ÉCHELLE R^+ et R^- (Warp factors)

Considérons une masse m^+ , positive située sur une sphère de rayon R^+ dont le centre est supposé fixe. Dans le cadre d'une approximation newtonienne calculons l'accélération $R^{+''}$ qu'elle subit. Elle peut être calculée en considérant, comme précédemment, la quantité de masse positive contenue dans cette sphère (et ramenée à son centre O):

$$\frac{4}{3} \pi \rho^+ R^{+3}$$

Il nous faut ensuite tenir compte de la MASSE APPARENTE de la masse négative contenue dans cette sphère et qui est :

$$\frac{4}{3} \pi \rho^- R^{+3} \quad \text{avec} \quad \frac{\rho^-}{\rho^+} = \frac{R^{+3}}{R^{-3}}$$

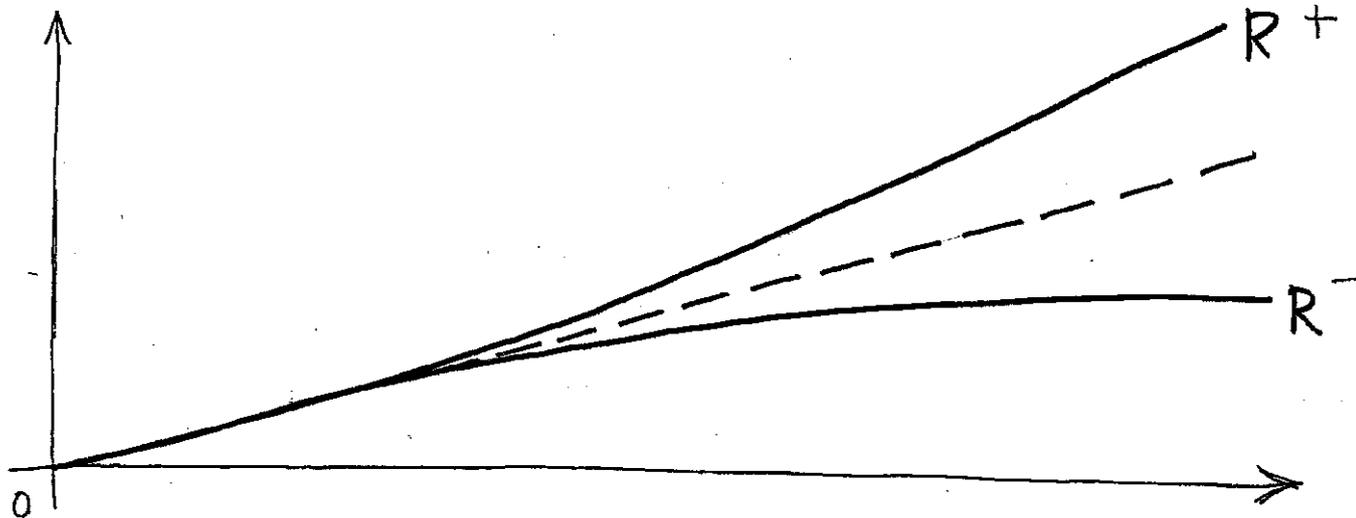
L'équation différentielle donnant $R^+(+)$ est alors :

$$R^{+''} = -\frac{Gm^+}{R^{+2}} \times \frac{4\pi R^{+3}}{3} (\rho^+ - \rho^-) = \frac{-a^2}{R^{+2}} \left(1 - \frac{R^{+3}}{R^{-3}} \right)$$

En faisant le même raisonnement en utilisant cette fois l'accélération $R^{-''}$ subie par une masse m^- et en prenant la constante (arbitraire) a égale à 1 on aura le système des deux équations différentielles couplées :

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

qui admet la solution linéaire (instable) $R^+ = R^- \sim t$



L'instabilité de la solution, en supposant que les masses positives subissent une accélération tardive donnera l'illusion de l'action d'une ÉNERGIE NOIRE.

Ces deux mondes constitués d'énergies et de masses de signes opposés interagissent. Dans le cas figuré à la page précédente les masses négatives, plus denses accélèrent le phénomène de l'expansion des masses positives, associées au facteur d'échelle $R^+(+)$. Phénomène inverse dans le "négamonde" où des observateurs, constitués de masses négatives et recevant des signaux véhiculés par des PHOTONS À ÉNERGIE NÉGATIVE, constateraient au contraire un ralentissement du phénomène d'expansion.

Le début de la courbe, où l'expansion semble linéaire, peut sembler incompatible avec les observations. Mais alors intervient une BRISURE DE SYMÉTRIE et une VARIATION DES CONTANTES, en particulier de la vitesse de la lumière, sans laquelle la grande homogénéité de l'univers primitif n'est pas explicable. Tout ceci fait l'objet de l'album

PLUS RAPIDE QUE LA LUMIÈRE

Un modèle cosmologique : le Twin bang,

LE PROBLÈME DE L'ÂGE DE L'UNIVERS.

Bien sûr, nous essayons de lier logiquement ces différents travaux. Des arguments liés à la description de l'évolution de ces deux cosmos jumeaux nous amènent par exemple à la conclusion que la densité moyenne de ghost matter doit être supérieure à celle de la matière.

Pour "traiter" le système des deux équations de champs couplées nous décrivons les deux feuillettes d'univers par des métriques dites de Robertson Walker. Il s'agit de la métrique riemannienne qui intègre les deux hypothèses d'homogénéité et d'isotropie, donc c'est elle qui, dans le cas d'un seul univers, conduit aux solutions de Friedmann.

Nous introduisons deux *facteurs d'échelle* $R(t)$ et $R^*(t)$. Ce sont les dimensions caractéristiques liées à chacun des deux univers.

Le problème concerne les conditions initiales. On suppose "qu'au tout début" (mais ce mot sera ultérieurement repris et commenté) les paramètres des deux univers sont identiques ($\rho = \rho^*$, $p = p^*$). Dans ces conditions $\mathbf{T} = \mathbf{T}^*$ et les équations de champ deviennent :

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}^* = 0$$

La solution est alors :

$$R = R^* = ct$$

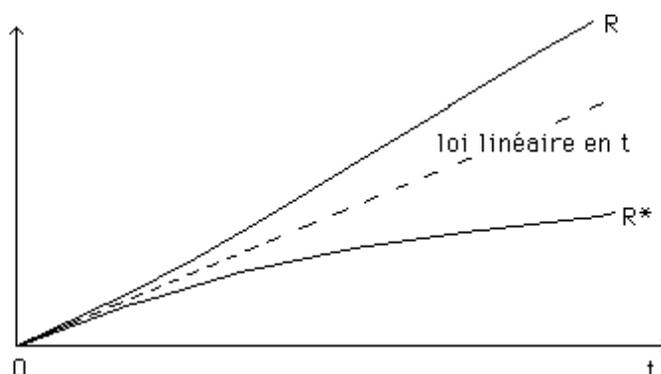
Une expansion linéaire dans les deux univers.

Objection immédiate : quid de la nucléosynthèse, de la synthèse de l'hélium, par exemple : Une expansion linéaire serait beaucoup trop lente. Si on remonte le temps, comme dans le modèle standard on débouche sur des conditions où la température est suffisante pour correspondre à la fusion de l'hydrogène en hélium (et du ghost-hydrogen en ghost-helium).

Dans le modèle standard, le modèle de Friedman c'est la rapidité de l'expansion, dans la phase primordiale, qui gèle la réaction et empêche que tout l'hydrogène soit converti en hélium.

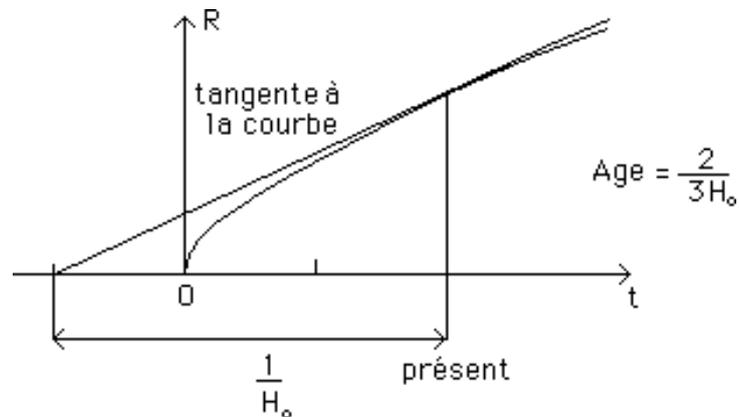
Réservons nous de répondre à cette question plus tard en disant simplement que le mode d'évolution est différent selon que la matière ou le rayonnement prédominent. Commençons par nous occuper de la "phase matière", lorsque la contribution du rayonnement devient négligeable (dans le modèle standard ceci correspond à $t = 500.000$ ans).

On montre alors que ce mode d'expansion linéaire $R = R^* = ct$ est instable. Un des deux univers voit son expansion s'accélérer, alors qu'elle se ralentit dans le second. [Voir sur le site: *Geometrical Physics A*, 4, 1998, section 2.]

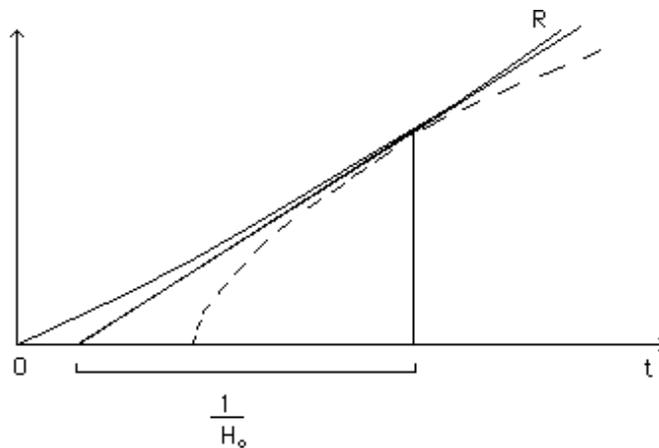


Nous supposons que c'est notre propre univers qui voit son expansion s'accélérer.

Nous avons vu plus haut que la constante de Hubble était liée à la tangente à la courbe $R(t)$. Dans le modèle standard, avec une constante cosmologique prise égale à zéro :



Avec ce nouveau modèle, nous avons :



En ligne tireté la courbe qui correspondrait au modèle standard. On note, par rapport à celui-ci, un vieillissement de l'univers. En fait, dans cette instabilité des deux expansions conjointes, l'univers fantôme se comporte comme s'il propulsait en avant le nôtre, qui, en revanche, le freine.

Le ghost universe se comporte... comme une constante cosmologique. Son effet est semblable à ce mystérieux "pouvoir répulsif du vide".

Il fut un temps où beaucoup de gens croyaient que le mercure montait dans les baromètres parce que la nature avait horreur du vide.

Aujourd'hui le vide n'est plus horrible : il est devenu repoussant

Cette théorie des deux univers en interaction fournit une interprétation qui a l'avantage d'être moins ésotérique, personne ne sachant ce qu'est l'horreur du vide.

Ceci étant, l'univers qui a tendance à accélérer reste assez voisin de la loi linéaire, ce qui fait qu'on peut envisager un assez large éventail de scénarios d'expansion qui cadreraient avec ce problème de l'âge des plus vieilles étoiles de notre galaxie.

Comment choisir entre tel ou tel scénario d'expansions conjointes $R(t)$ et $R^*(t)$, liées à travers deux équations différentielles couplées ? [Voir sur le site: *les équations (37-a) et (37-b) de Geometrical Physics A, 4, 1998.*]

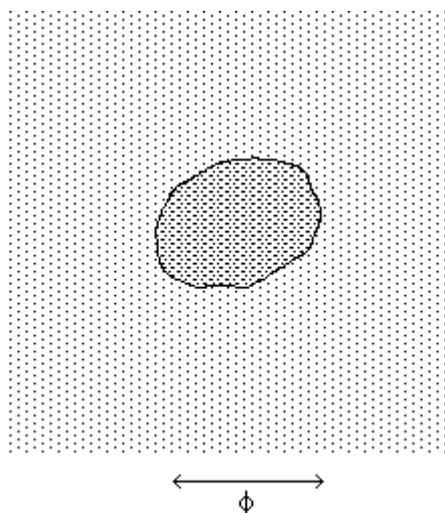
LA STRUCTURE À GRANDE ÉCHELLE DE L'UNIVERS.

Si le second univers voit son expansion contrariée par le nôtre, ralentie, sa densité ρ^* s'y maintient à une valeur plus élevée, de même que sa température. On décide alors d'étudier l'instabilité gravitationnelle dans un système composé de deux populations, auto-attractives, mais qui se repoussent mutuellement.

Selon la théorie, c'est la plus dense qui réagit le plus rapidement et de la manière la plus musclée. C'est elle qui donnera, par instabilité gravitationnelle, des conglomerats de ghost matter.

Qu'est-ce que l'instabilité gravitationnelle, étudiée pour la première fois par Sir James Jeans, déjà cité.

Considérons un milieu qui possède une densité ρ et dont les éléments sont animés d'une certaine vitesse d'agitation thermique V_{th} et proposons-nous d'étudier la croissance ou la dissipation d'éventuelles perturbations de densité. On suppose que, quelque part, s'est formée une surdensité d'un diamètre ϕ .

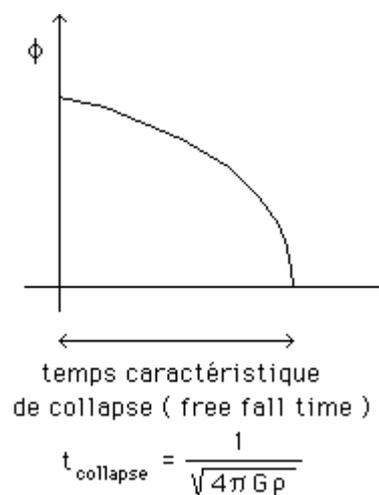


L'agitation thermique va tendre à dissiper naturellement cette perturbation. En combien de temps ? En un temps qui sera de l'ordre de

$$t_{\text{dispersion}} \sim \frac{\phi}{V_{th}}$$

C'est le temps que met un atome à parcourir la distance ϕ , donc c'est aussi le temps que mettra ce grumeau à doubler son diamètre.

Imaginons que la vitesse d'agitation soit nulle. Ces atomes s'attirent. Ce grumeau aura tendance à tomber sur lui-même. On sait calculer le temps mis pour qu'il se contracte. En fait, un "nuage de poussière" qui implose sur lui-même ressemble au Big Bang, à l'envers :



On compare alors ces deux temps.

Il y aura condensation d'une perturbation si le temps d'accrétion est inférieur au temps d'auto-dissipation, sous l'effet de l'agitation thermique.

$$\frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho}} < \frac{\phi}{V_{th}} \quad \text{c'est à dire :} \quad \phi > \frac{V_{th}}{\sqrt{4\pi G \rho}} = L_j$$

Les perturbation d'un diamètre supérieur à une longueur caractéristique, dite longueur de Jeans, s'amplifieront et donneront des condensats, des conglomerats de matière (clumps). .

Lorsque ce "grumeau" de matière se forme, la matière se trouve comprimée, échauffée. Les forces de pression s'accroissent et finissent par stopper le processus.

On appelle cela *l'instabilité gravitationnelle* ou *instabilité de Jeans*.

S'agissant du modèle standard, on pourrait se dire :

- Très bien. Après le Big Bang, l'univers, en expansion, va se refroidir, et la mise en œuvre de l'instabilité gravitationnelle va me permettre d'élaborer un scénario de naissance des galaxies et des étoiles.
- Si c'était si simple, ça serait déjà fait. En vérité on n'a aucun modèle de naissance de galaxie. Certains "croient" que les amas d'étoiles se sont d'abord formés, puis les galaxies, puis les étoiles. D'autres prônent l'opinion inverse.

De plus tout ceci se déroule dans un univers en expansion encore intense. La détection de galaxies à très fort red shift montre qu'il s'agit d'objets très anciens (confirmé par l'âge des plus vieilles étoiles de la galaxie). On ne sait pas gérer tout cela théoriquement.

Mais on sait deux choses :

1. Cette instabilité gravitationnelle ne peut jouer son rôle tant que le gaz de matière reste fortement lié au "gaz de photons", tant que l'univers reste ionisé. En effet les photons interagissent plus fortement avec les électrons libres (échappés des atomes) qu'avec les électrons orbitant autour des noyaux. Les photons, à leur façon, forment "un gaz". Lors de l'expansion celui-ci se décomprime, comme la matière et possède sa propre pression ou *pression de radiation*. Lorsque matière et photons sont fortement couplés, lorsqu'une masse de gaz ionisé tend à se contracter, elle entraîne ce gaz de photons avec elle.
 - Mais les photons vont à la vitesse de la lumière ! Comment une masse de gaz de dimension finie peut-elle "emprisonner des photons" ?

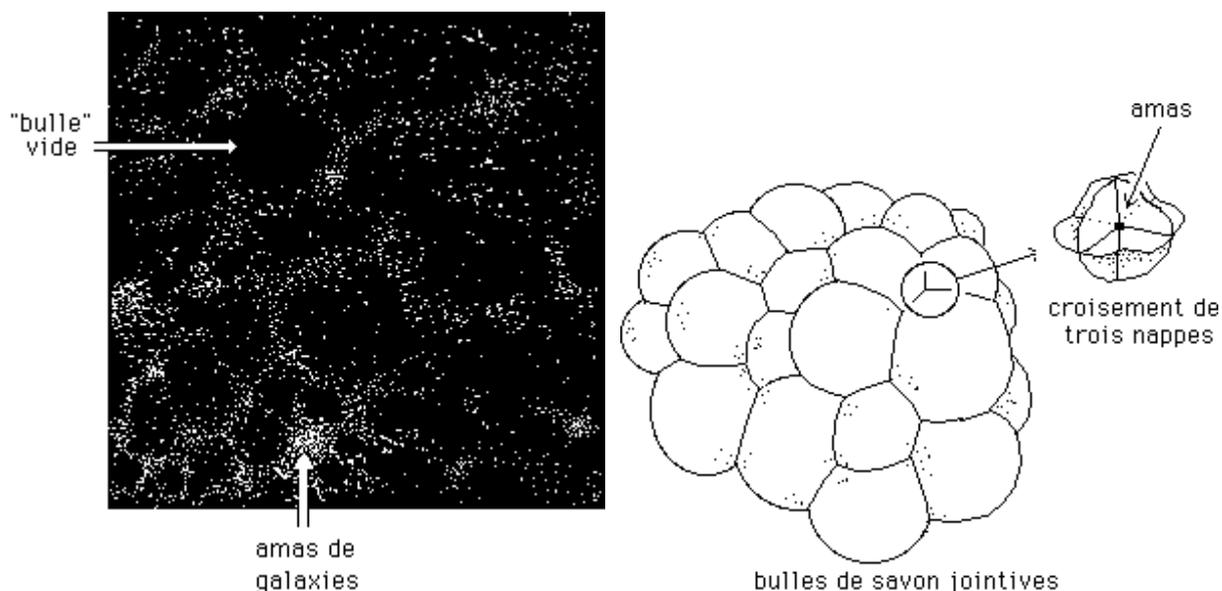
Emprisonner, s'entend. Dans cette masse de gaz les photons sont sans cesse absorbés et réémis. Au rythme de ces absorptions-rémission les photons ont beaucoup de mal à quitter cette masse gazeuse. C'est en ce sens qu'ils y sont retenus prisonniers (et c'est la même chose pour les photons émis au cœur du soleil, qui transitent très péniblement et très lentement vers sa surface).

Quand l'univers est âgé de moins de 500.000 ans, non seulement le rayonnement se trouve piégé dans les masses de gaz ionisées qui auraient des vellétés de former des grumeaux, mais la pression de radiation est encore trop élevée pour autoriser ces condensations.

Conclusion : homogénéité de l'univers, ou quasi homogénéité jusqu'à $t = 500.000$ ans, selon le modèle standard. S'il se passe quelque chose, c'est après.

2. Il existe des étoiles, rassemblées en galaxies, elles-mêmes constituant une structure à grande échelle. Certaines galaxies se rassemblent elles-mêmes en amas (amas Coma, amas Virgo) d'un millier d'individus. On avait cru au début que ceci se poursuivrait à une échelle supérieure et lancé l'idée d'existence de superamas, d'amas.

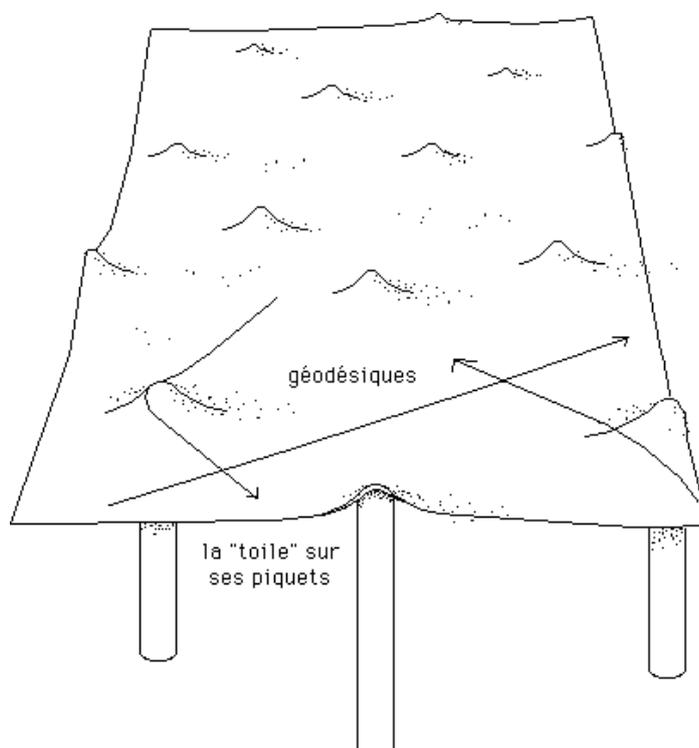
L'observation a révélé quelque chose de totalement différent. En fait les galaxies se distribuent en formant ce qu'on pourrait appeler des "bulles de savon jointives". Les amas de galaxies ne sont que les "nœuds" d'une telle distribution. Ci-après, le résultat du dépouillement des observations (1977).



Ainsi les galaxies se distribuent, à très grande échelle (Very Large Structure) autour de grandes bulles de vide dont le diamètre caractéristique est de l'ordre de la centaine de millions d'années-lumière.

En suivant une autre approche, des chercheurs ont tenté de reconstituer de telles structure, en partant d'une distribution uniforme de matière (dans un seul univers, évidemment). La théorie initiale était celle de la croissance de perturbations planes, en crêpes (les "pancakes" de Zel'dovitch). Mais les résultats s'avèrent décevants. Les simulations sur ordinateurs donnaient bien quelques cellules, mais celles-ci se dissipaient rapidement, par agitation thermique. Actuellement il n'existe pas de théorie convaincante de la formation de telles formations. Tout au plus parvient-on à assurer leur pérennité, toute relative, en les "consolidant" avec "de la matière sombre froide".

Il existe une façon géométrique d'interpréter cette distribution de points-masses : matière ordinaire repoussée par des conglomerats de matière fantôme, dessin qui a déjà été donné plus haut.



On considère une surface qui correspondrait à une toile posée sur des piquets de tente, à l'extrémité émoussée. Notons au passage que plus l'extrémité de nos piquets serait émoussée, plus le grumeau de matière fantomatique serait étendu. Situation opposée si ces piquets sont

plus pointus. A la limite des piquets infiniment pointus correspondraient à des régions posicôniques : à des points de courbure positive concentrée.

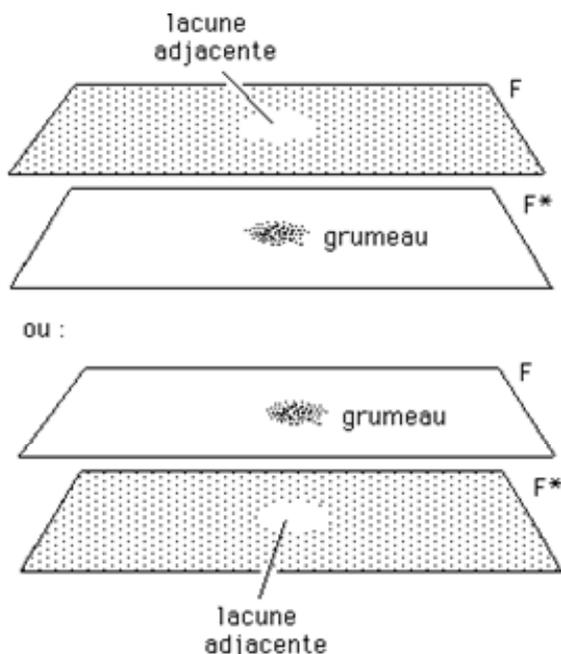
Donnons ici un autre modèle, qui va correspondre à la section suivante.

INSTABILITÉS GRAVITATIONNELLES CONJOINTES.

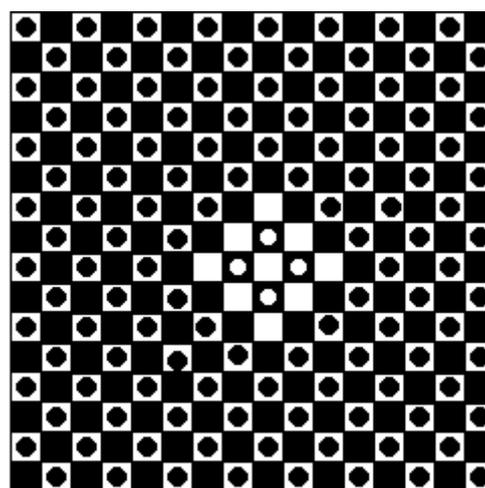
C'est l'analogie de la théorie de Jeans, mais avec deux populations auto-attractives, qui se repoussent mutuellement.

Voir : J.P.Petit and P.Midy : Matter ghost matter astrophysics. 4 : Joint gravitational instabilities.[*Voir sur ce site: Geometrical Physics A*, 7, 1998.]

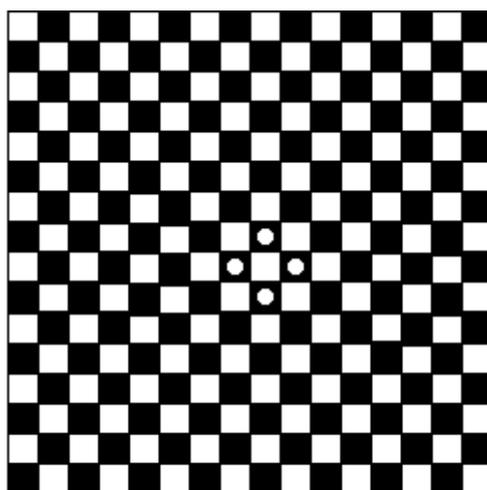
Lorsqu'un grumeau se forme dans l'un des feuillet, ce phénomène va de pair avec la naissance d'une bulle de vide dans l'autre.



Avec le modèle du jeu de dames :

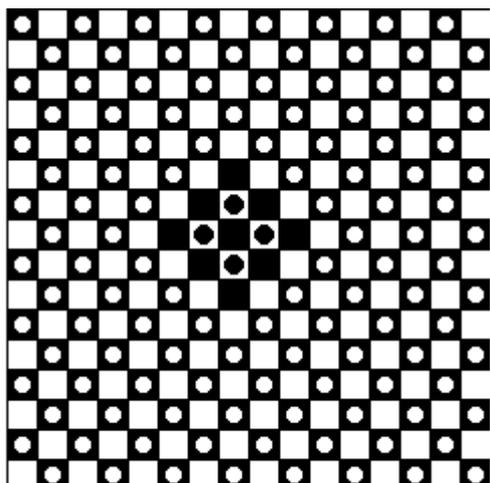


points de matière "cernés"
par des "points fantômes"

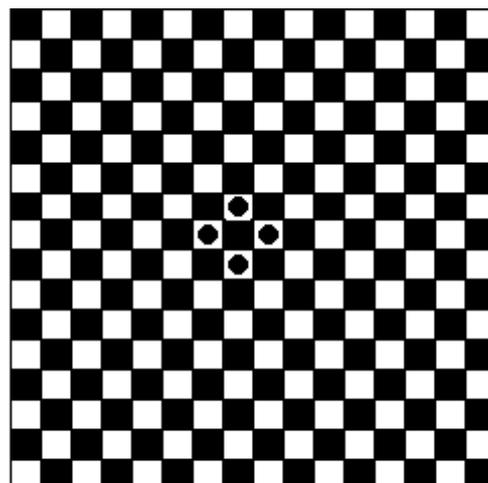


ce même "univers" tel que le concevraient
ces "points-matière", qui se "croiraient
entourés par du vide".

Même schéma pour le matière fantôme "cernées" par des points de matière, invisibles pour elle) :



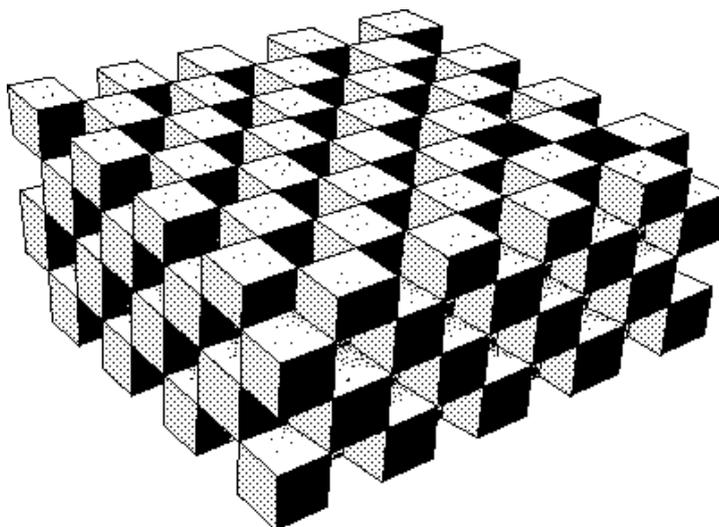
"Points fantômes" cernés par des points de matière



Le ghost universe, tel que le "percevraient" des objets faits de ghost matter, qui se "croiraient entourés par du vide".

Tout ceci à cause du fait que les photons émis par des particules de matière ne pourraient atteindre des particules de ghost matter, de même que des "ghost photons" émis par la ghost matter ne pourraient atteindre des particules de matière.

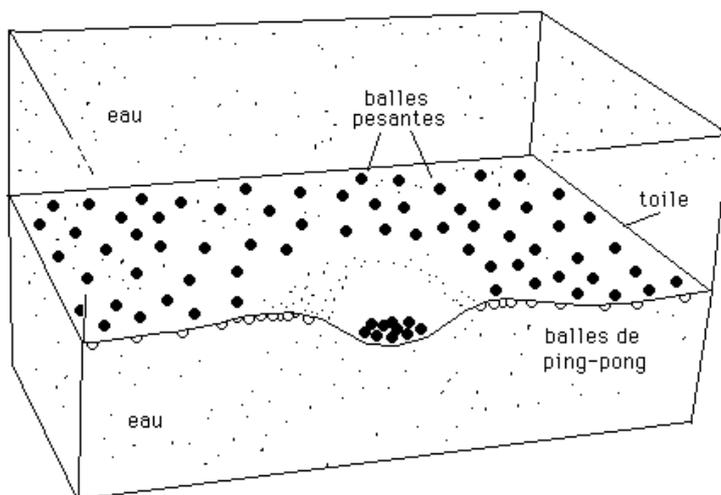
Il est facile d'imaginer la même situation en 3d, en faisant recours à un "damier tridimensionnel :



Ci-après, un modèle didactique destiné à illustrer le phénomène des instabilités gravitationnelles conjointes. Imaginons une sorte de piscine. A mi hauteur, sous l'eau, on disposerait une toile, horizontale, souple, d'un poids négligeable. Au dessus on place des balles, dotées d'un certain poids, qui vont donc peser sur la toile. En dessus on dispose une quantité égale de balles de ping pong, de même volume. Celles-ci, sensibles à la poussée d'Archimède, vont aussi exercer une pression sur la toile, mais en sens inverse. On peut aussi s'arranger pour que toutes les billes soient de même diamètre.

S'il existe la même distribution, uniforme, de balles pesantes de de balles de ping-pong, de part et d'autre, la résultante des forces exercées sur la toile sera partout nulle et celle-ci restera horizontale (la courbure sera nulle). Mais le hasard peut faire que des balles pesantes se rassemblent, quelque part. Elles vont donc creuser la toile et, ce faisant, chasser les balles de ping pong plus loin.

Schématiquement, en opérant une coupe, la surface prendra l'allure ci-après :



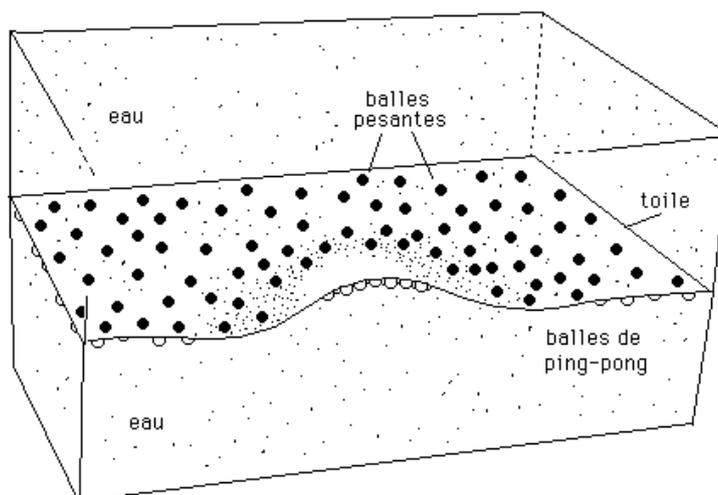
**Des balles pesantes se rassemblent, et creusent la toile.
Elles chassent les balles de ping-pong, qui se rassemblent tout autour.**

Intuitivement, on imagine que les deux phénomènes, loin de s'opposer, ce conjuguent. La présence de cet anneau de balles en surnombre, autour de la cuvette, va accentuer son creusement, donc le "confinement" de ces balles denses.

L'instabilité gravitationnelle pourrait être évoquée, avec une seule population, en disposant des balles pesantes sur un matelas de mousse suffisamment souple. Que quelques unes d'entre elles s'assemblent par hasard, quelque part, et elles vont créer une cuvette, une dépression, dans laquelle leurs voisines auront tendance à descendre. On appelle ceci un phénomène d'accrétion.

Si on prenait une toile et que l'on dispose dessous, seulement, des balles de ping-pong, ce système-là serait aussi instable. Que des balles de ping pong se rassemblent en un endroit quelconque de la toile, elles vont inciter leurs voisines à les y rejoindre. Avec ce modèle à deux populations, les balles pesantes et les balles de ping pong, on a deux effets conjugués, qui évoque le phénomène *d'instabilités gravitationnelles conjointes*. Ce modèle a aussi l'avantage d'illustrer la symétrie qui existe entre les deux sous-systèmes.

Si on reprend le système à deux populations, cela donnerait ceci :



**Des balles de ping-pong se rassemblent se rassemblent, et bombent la toile.
Elles chassent les balles pesantes aux alentours.**

On a donc cherché à tester cette idée en partant de deux distributions :

- Matière froide, densité ρ

- Ghost matter de densité $\rho^* \cong 64 \rho$, plus chaude : La vitesse moyenne d'agitation thermique dans le ghost universe V^* étant quatre fois plus élevée que dans le nôtre, paramètres issus de l'étude des expansions conjointes des deux univers, [voir sur le site: *Geometrical Physics*, **3**, section 3 et figure 5].

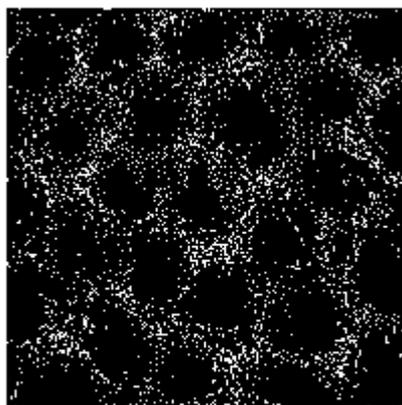
Les calculs ont été effectués à travers des simulations numériques 2d avec deux fois 5000 points-masses. Ils ne sont qu'indicatifs. Il faudrait effectuer des calculs en 3d et, pour ce faire, pouvoir gérer un nombre beaucoup plus important de points-masses, ce que notre système n'était pas capable de faire. Il ne faut donc pas prendre ces résultats 2d à la lettre.

Qualitativement, la ghost matter mène le jeu. Elle donne naissance à des conglomérats, assez rapidement (son temps d'accrétion, inversement proportionnel à la racine carré de la densité est plus court). Ces conglomérats (clumps) chassent alors notre propre matière dans l'espace résiduel en lui donnant ainsi sa configuration lacunaire.

Voir : J.P.Petit, P.Midy and F.Landsheat : Matter ghost matter astrophysics. 5 : Results of numerical 2d simulations. VLS. About a possible schema for galaxies' formation. [Voir sur le site: *Geometrical Physics A*, **8**, 1998.]

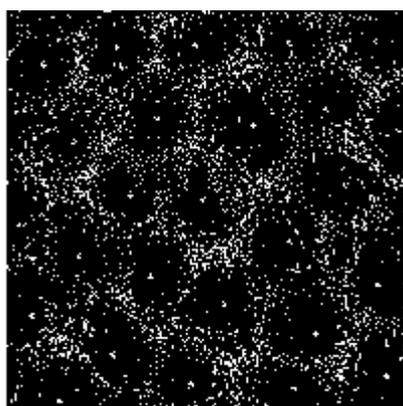


conglomérats de
matière gemellaire



notre propre matière
confinée dans l'espace
résiduel.

Les deux, superposés :



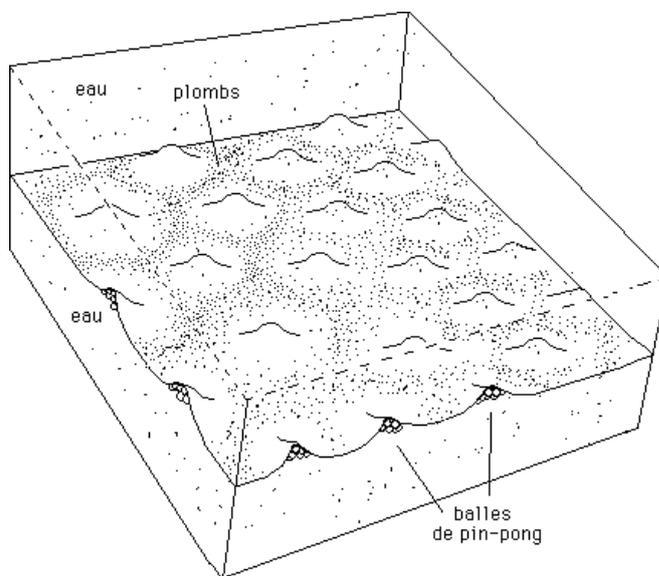
les deux, superposés

L'intérêt est que cette distribution est alors stable. Les grumeaux de ghost matter stabilisent la distribution lacunaire matière et, inversement, celle-ci emprisonne ces grumeaux dans ses "mailles". Ceci expliquerait la grande stabilité obtenue (de l'ordre de l'âge de l'univers). Les "mailles" de matière feraient alors office de barrière de potentiel vis à vis des éléments de ghost matter, issus des conglomérats et accélérés lors de collisions (au sens anglo-saxon de "encounter", c'est à dire interaction binaire entre deux points-masses de ghost matter).

Remarque (février 2000) :

Tous ces résultats de calcul datent de six ans. Comment on pu l'apprendre par ceux qui auraient lu mes livres, toutes ces simulations, fort intéressantes et prometteuses, ont été faites en 93-94, d'abord par mon collègue et ami Pierre Midy, sur "un vieux Cray", puis par "Fred", un jeune chercheur qui a préféré rester anonyme, ce en quoi je lui donne parfaitement raison. Les calculs avaient alors été effectués "en perruque" sur le puissant ordinateur gérant les données d'un accélérateur de particules Européen. Puis Fred avait changé de labo et dans sa nouvelle unité de telles choses n'étaient plus envisageables. L'approche simulation numérique fut donc abandonnée pendant six longues années. Mais tout récemment un fait nouveau est intervenu. Primo les machines ont fait de tels progrès en six années (vitesse et surtout capacité en mémoire vive) que des calculs qui n'étaient envisageables que sur de puissantes unités, affectées à la recherche, sont devenus à la portée de ... simples particuliers. Deux hommes, précisément des ingénieurs en retraite, mais passionnés d'astrophysique et de cosmologie, se sont donc manifestés. En programmant eux mêmes leurs machines ils avaient fait d'assez jolies simulations, en perturbant une "galaxie numérique 2d", constituée par 3000 points-masses par un "compagnon de passage", constitués par 300 points. Bref le schéma classique conduisant à la forme spiralée de "la galaxie des chiens de chasse", alias M51. Quand on voit ces images on se dit tout de suite "cela correspond à ce qu'on savait faire il y a huit-dix ans dans les milieux recherche, avec de puissants moyens de calcul". Bien sûr, la structure spirale ne perdurait pas. Elle disparaissait quand le compagnon perturbateur s'éloignait (aspect que l'on connaissait de longue date). Nos deux ingénieurs, mis en appétit par ces résultats encourageants, démarchèrent donc auprès de six astrophysiciens connus, en leur demandant "des directives", mais aucun d'eut la courtoisie de leur répondre. J'étais donc le septième astrophysicien qu'ils contactaient. Vous imaginez bien que j'ai été au contraire ravi de ce renfort et j'ai aussitôt branché ces nouveaux collaborateurs sur de nouvelles simulations. Apparemment ils s'en sortent fort bien et si tout se passe bien nous aurons "des résultats frais" dans les mois qui suivront". Attente passionnante, car le but n'est rien d'autre que de simuler la naissance d'une galaxie. Affaire à suivre.

La structure à grande échelle est issue du phénomène des instabilités gravitationnelles conjointes. Mais les densités ρ et ρ^* sont fort différentes. On peut reprendre le modèle évoqué plus haut (les balles pesantes, dessus, et les balles de ping-pong, dessous. Il suffirait d'imaginer que les balles de ping-pong soient plus grosses et que les balles pesantes soient réduites à de simples plombs de chasse. On obtiendrait alors ceci :

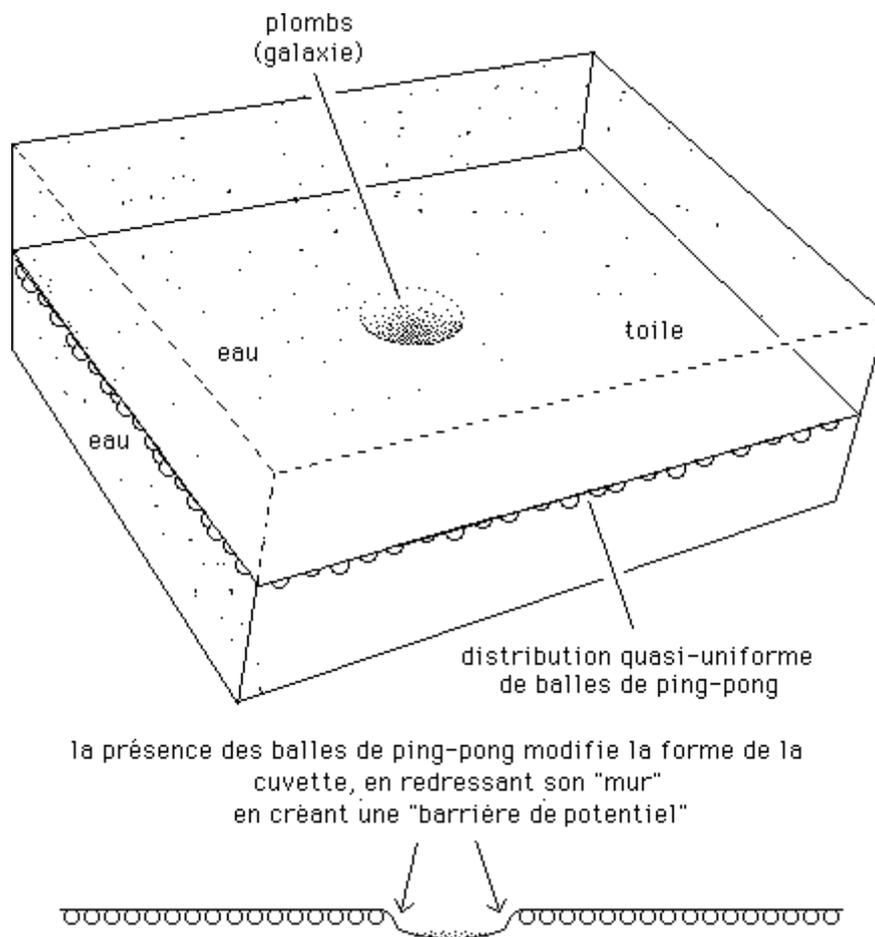


Le modèle décrivant le résultat du processus.

Les balles de ping-pong se sont amassées en créant des bosses et les plombs se sont distribués en étant repoussés dans les "vallées» loin de ces promontoire

Notons au passage qu'on pourrait aussi envisager une situation inverse, où ce soient les balles de ping-pong qui adoptent une distribution quasi-uniforme, ce qui serait le cas si elles

étaient suffisamment agitées, latéralement (milieu chaud). Sur le dessus de la matière ordinaire, plus froide, pourrait alors se rassembler dans une cuvette. On obtiendrait alors un modèle évoquant le confinement des galaxies, issu de leur environnement de matière fantomatique froide :



Modèle destiné à montrer comment la matière fantomatique (chaude) participe au confinement de la matière ordinaire (froide).

Un tel système devrait donner lieu à des "observables", non que ces grumeaux de ghost matter soient optiquement détectables : pour des raisons d'ordre géométrique ils ne le sont pas. Mais ils devraient modifier l'arrière-plan, par effet de lentille gravitationnelle.

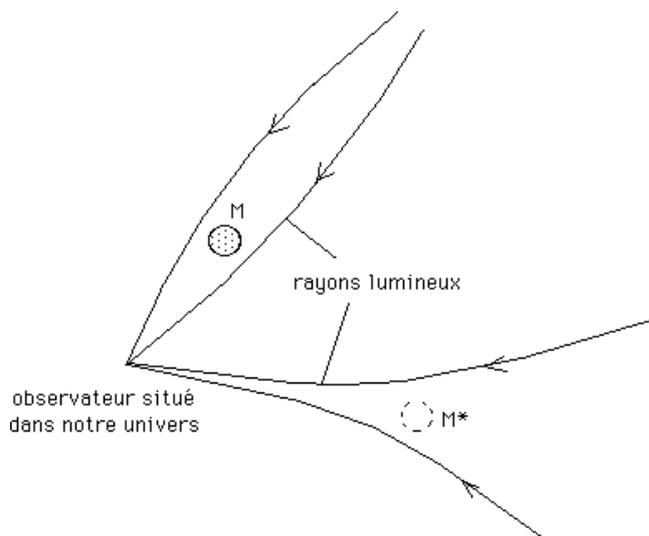
Nous avons vu qu'une concentration de matière M^* (correspondant à des masses positives m^*), située dans l'univers jumeau, dans le ghost universe, produisait, dans notre propre feuillet un effet de lentille gravitationnelle négatif (negative lensing).

Voir: J.P.Petit : Twin Universe Cosmology : Astronomy and Space Science 226 : 273-307, 1995 and [sur ce site: *Geometrical Physics A* , 2, section 4.]

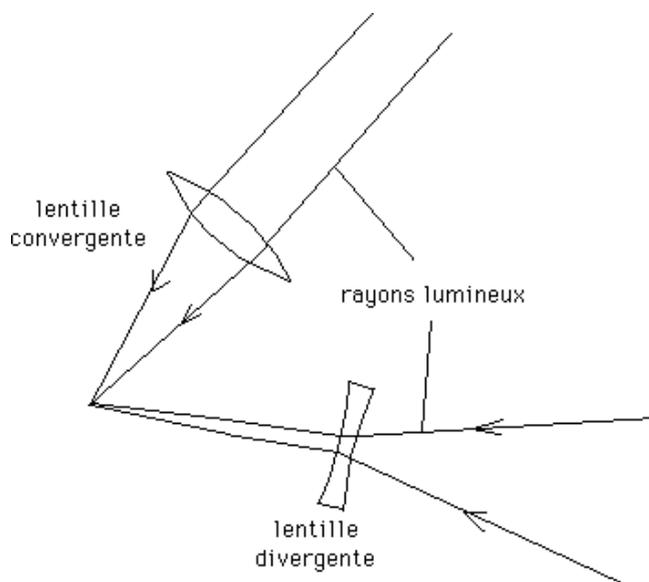
J.P.Petit and P.Midy : Repulsive dark matter. [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 3, 1998, section 6.]

J.P.Petit and P.Midy : Matter ghost matter astrophysics. 2 : Conjugated steady state metrics. Exact solutions. [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 5 , 1998, section 4.]

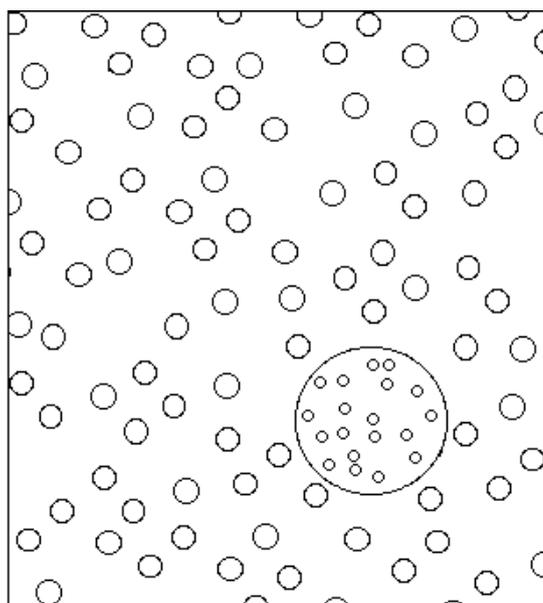
L'analogie avec une lentille de verre est relativement bonne. Une masse positive M fait converger les rayons. Une masse M^* les fait diverger :



Analogie avec l'optique :



Quand on observe du papier peint à pois à travers une lentille divergente, on peut apercevoir un plus grand nombre d'objets, de plus petit diamètre apparent. Mais c'est leur luminosité qui se trouve réduite (leur "magnitude apparente"):



Cosmologiquement parlant, les conglomérats de ghost matter, faisant office de lentilles divergentes, devraient réduire la magnitude des galaxies à fort red shift, tout en multipliant leur nombre.

Pour évaluer l'effet il faudrait connaître le diamètre des conglomérats de ghost matter, ce qui est difficile à faire. S'ils se forment, on ne sait pas a priori ce qu'ils peuvent devenir. Se constituent-ils en galaxies hypergéantes ?

Si on les situe au centre des "grandes bulles vides" ils sont en moyenne à cent millions d'années lumière l'un de l'autre. Mais l'influence sur l'arrière plan lointain dépend fortement de leur diamètre f .

Voir : J.P.Petit, P.Midy and and F.Landsheat : Matter ghost matter astrophysics. 5 : Results of numerical 2d simulations. VLS. About a possible schema for galaxies' formation. [Sur ce site: *Geometrical Physics A*, 8, 1998., section 3, expression (23) et figure 18.]

Toujours est-il que si ces objets existent ils doivent créer l'apparence d'un grand nombre de galaxies naines, pour les forts red shifts. Or c'est précisément ce qu'on observe (P.J.E.Peebles : *Principles of Physical Cosmology*, Princeton Series in Physics, 1993) L'interprétation classique est que des galaxies naines se formeraient d'abord, puis donneraient naissance à des objets plus gros, par fusion, cannibalisme galactique (merging). *Notre modèle offre une interprétation alternative de cet effet de nanisme des galaxies à fort red shift.*

VERS UNE THÉORIE DE LA NAISSANCE DES GALAXIES.

Il s'agit d'un scénario nouveau dont il convient d'en explorer toutes les implications. Toute la difficulté, non actuellement résolue, est de traiter tout en même temps. On ne peut pas dissocier le phénomène de l'expansion cosmique et la naissance des différentes structures. Pour le moment, on ne sait pas gérer les deux à la fois.

Esquissons néanmoins un scénario hypothétique. Les grumeaux de ghost matter pourraient se constituer les premiers, en exerçant aussitôt une intense contre-pression sur la matière, qui s'échaufferait de ce fait. Voir papier cité ci-dessus [Sur ce site: *Geometrical Physics A*, 8, 1998, section 4, schémas 19, 20 et 21.]

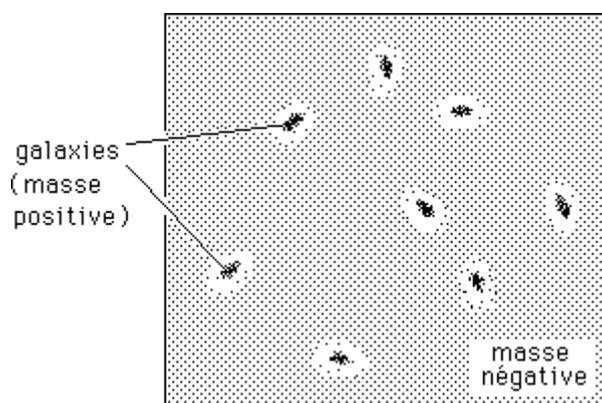
En astrophysique, dès qu'un objet se condense, se rassemble, sa température s'accroît. Il en est ainsi par exemple pour les proto-étoiles. Ceci équivaut à une conversion d'énergie gravitationnelle (potentielle) en énergie cinétique (vitesse d'agitation thermique). La pression c'est la densité multipliée par la température ($p = n k T$). La pression s'accroît et contrarie l'effondrement. Une proto-étoile, avant "allumage" est une masse sphéroïdale de gaz à quelques milliers de degrés, de la taille du système solaire qui rayonne dans l'infrarouge. Sous cette forme elle émet d'ailleurs plus d'énergie que plus tard, lorsqu'elle tirera celle-ci des réactions de fusion. C'est sa surface qui rayonne. Elle doit "transpirer" son énergie. Sans cela elle ne pourrait pas se contracter, accroître sa température à cœur et y démarrer le processus de fusion (minimum 700.000 degrés).

La compacité de l'objet n'en fait pas un bon radiateur. A température égale, l'énergie thermique est comme le cube du rayon et la surface émissive comme le carré.

Par contre la plaque constitue le radiateur optimal. Or en repoussant notre matière, les conglomérats de ghost matter la comprimeraient selon des plaques (les parois des "bulles de savon jointives"). Voir papier et figures cités ci-dessus.

Les calculs seraient à faire, mais on peut supposer que cette géométrie se prêterait à un refroidissement radiatif intense, donc à une déstabilisation du milieu vis à vis de l'instabilité gravitationnelle (pour ces problèmes d'instabilité gravitationnelle, voir ma bande dessinée *Mille Milliards de Soleils*, Ed. Belin, 8 rue Férou, Paris 75006, ou dans le "CD-Lanturlu").

La matière tendrait alors à se fragmenter en proto-galaxies. Immédiatement, la ghost matter s'infiltrerait dans l'espace disponible et on déboucherait sur un schéma de galaxies logées dans des lacunes de matière fantomatique. Ceci donne le même schéma que celui issu de la présence de masses négatives dans notre univers (hypothèse de Souriau). Reprenons le schéma des galaxies environnées par de la "matière négative" (ghost matter, twin matter, matière à masse négative, peu importe le nom qu'on choisit de lui donner).

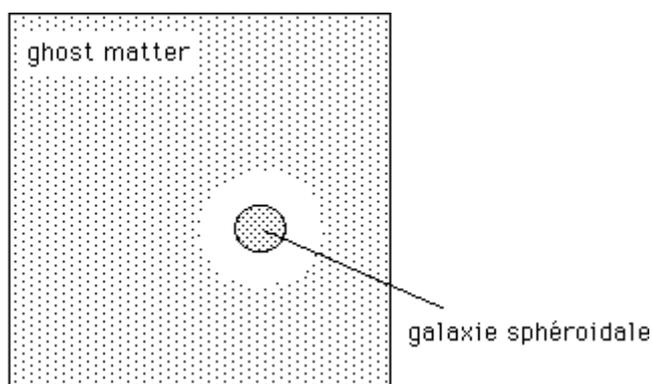


Selon le schéma suggéré par Souriau, les masses négatives se repousseraient. Dans ces conditions elles ne fourniraient pas d'explication à la structure à très grande échelle de l'univers.

UNE EXPLICATION DU CONFINEMENT DES GALAXIES.

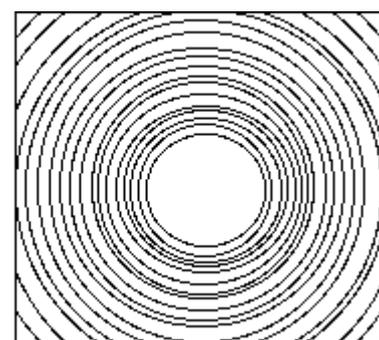
On obtient donc un schéma où de la matière fantomatique exercerait une contre pression sur la galaxie, assurant son confinement. C'est une alternative à l'idée de la présence de dark matter en son sein.

Voir J.P.Petit and P.Midy : Repulsive dark matter. [Voir sur ce site: *Geometrical Physics A*, 3, 1998, section 2]. Mais il existe des galaxies sphéroïdales. Elles seraient donc logées dans des cavités de même géométrie, ménagées dans la distribution quasi uniforme de ghost matière environnante (rappelons nous qu'elle est plus chaude que la nôtre). Ces cavités seraient-elles alors confinantes ?



Ceci ne contredirait-il pas le théorème de Gauss ?

Tous les étudiants en physique savent que si on charge uniformément une sphère, électriquement, le champ est nul à l'intérieur. On penserait alors à décomposer le champ gravitationnel créé à l'intérieur de la cavité sphérique en l'attribuant à des couches concentriques successives, chacune donnant une contribution nulle.



Cela paraît... évident. Mais ce théorème repose sur un pré-supposé : que la force de gravitation soit en $1/r^2$ à n'importe quelle distance, y compris... à l'infini.

Un champ newtonien donne ce qu'on appelle l'équation de Poisson, par application du théorème de Green :

$$\Delta\Psi = 4\pi G \rho$$

L'équation de champ d'Einstein, à petite distance, pour des courbures faibles, en quasi-stationnaire (Cosmologiquement parlant) et pour des vitesses faibles devant celle de la lumière, fournit la loi de Newton et l'équation de Poisson.

Cette équation peut-elle gérer une distribution uniforme ($\rho = \text{Cte}$) et infinie de matière ? On l'a supposé jusqu'ici. Mais on débouche alors sur un paradoxe. Plaçons-nous en symétrie sphérique, et en un point O quelconque, origine de nos coordonnées. L'équation de Poisson s'écrit alors :

$$\frac{d^2\Psi}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{d\Psi}{dr} = 4\pi G \rho \quad \text{Avec } \rho = \text{Cte}$$

où r est la distance radiale et Ψ est le potentiel gravitationnel, d'où dérive la force de gravitation g (radiale en symétrie sphérique) :

$$g = - \frac{d\Psi}{dr}$$

L'équation n'admet pas de solution $\Psi = \text{Cte}$ avec ρ différent de 0. Il y a donc une force de gravité, ce qui semble paradoxal : On pourrait s'attendre à ce que chaque particule, subissant la force attractive de toutes ses voisines, subisse une force résultante nulle.

Cette solution est :

$$\Psi = \frac{2}{3} \pi G \rho r^2$$

Le champ de gravitation, centré sur ce point O, est non nul et correspond à :

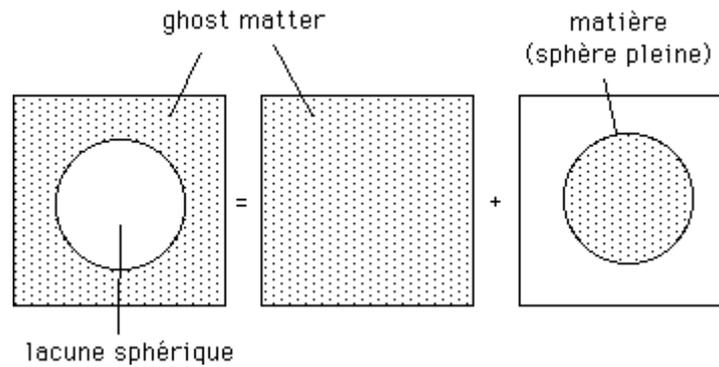
$$g = - \frac{4}{3} \pi G \rho r$$

Non seulement ce champ n'est pas nul mais il tend vers l'infini avec r .

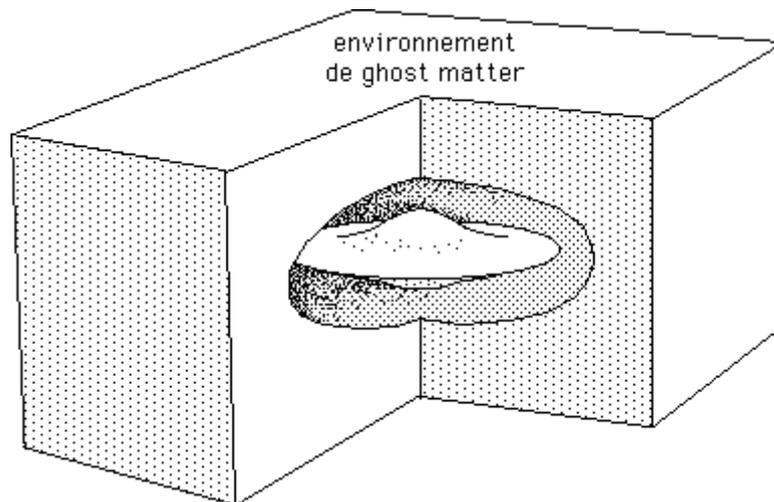
Une particule-témoin, immergée dans cette distribution, aurait donc tendance à tomber vers ce point O.

Dans le papier : J.P.Petit and P.Midy : Matter-ghost matter astrophysics. 7 : Confinement of spheroidal galaxies by surrounding ghost matter. [*Sur ce site: Geometrical Physics A*, **10**, 1998.], on a réexaminé cette question du théorème de Gauss, de l'effet d'écran et de l'équation de Poisson. On montre que lorsqu'on considère une distribution uniforme de matière, éventuellement illimitée, l'équation de Poisson n'existe plus, tout simplement parce qu'il devient impossible de définir un potentiel gravitationnel dans un tel milieu. En effet la loi de Newton et l'équation de Poisson dérivent du formalisme de la Relativité Générale uniquement lorsqu'on peut disposer d'une solution à l'ordre zéro *stationnaire*, qu'on peut ensuite perturber. Or cette solution ne peut exister lorsque l'univers est non-vide. On obtient alors en Relativité Générale les solutions de Friedmann, fondamentalement instationnaires.

Le champ à l'intérieur d'une cavité ménagée dans une distribution uniforme s'obtient alors simplement. Une distribution de ghost matter (qui se comporte comme un ensemble de masses négatives, par rapport à notre propre matière) comportant une lacune sphérique est équivalente à la superposition du champ créé par une distribution uniforme (nul), plus celui créé par une sphère emplies de matière ordinaire, de densité constante :



Le champ créé par la sphère pleine croît avec la distance au centre, puis décroît. Une lacune sphérique est donc "confinante". Même chose pour une cavité ellipsoïdale. Si la frontière est abrupte, le champ de confinement serait équivalent à celui créé par un ellipsoïde aplati, rempli de matière ordinaire avec une densité uniforme.



Mais la frontière ne peut être abrupte. La lacune dans la ghost matter est floue et cette variation de densité s'accompagne d'un gradient de pression. C'est ce même gradient de pression qui inciterait la ghost matter à remplir la cavité si la galaxie disparaissait. Dans le papier [Geometrical Physics A , 2], section 2, des calculs ont été effectués avec des distributions de matière et de ghost matter plus sophistiqués. La méthode de calcul, analytique, a également été indiquée. On notera qu'on retrouve alors une courbe de rotation très semblable à celles qui sont issues des observations.

Voir : J.P.Petit and P.Midy : Repulsive dark matter. [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 3, 1998. **Figure 4.**]

On a donc une théorie alternative à celle de la dark matter. Personnellement je pense qu'un modèle de galaxie, purement théorique, pourrait émerger de tout ceci, impliquant deux équations de Vlasov couplées, plus l'équation de Poisson.

Voir, dans ce contexte : J.P.Petit : Twin Universe Cosmology : Astronomy and Space Science **226** : 273-307, 1995 and [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 2, **section 4.**]

$$\Delta\Psi = 4 \pi G (\rho - \rho^*)$$

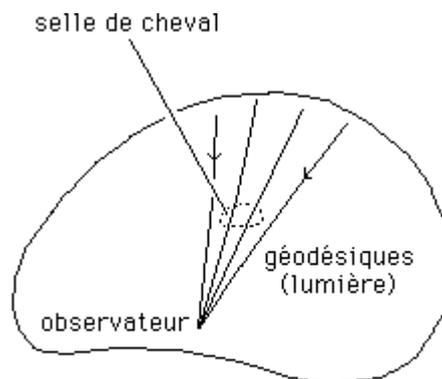
où ($\rho^* > 0$) se réfère à la densité de ghost matter. Le signe moins vient de la structure de l'équation de champ.

NEGATIVE LENSING EFFECT.

La "preuve irréfutable" de présence de matière sombre dans les galaxies, selon les astrophysiciens, se fonde sur les forts effets de lentille gravitationnels observés. Les galaxies

produisent des images multiples, de même que les amas de galaxies. Comme d'habitude, quand quelque chose appartient réellement au bestiaire cosmique, après un ou deux cas, ce sont des dizaines, puis des centaines d'observations qui déboulent. Effectivement les clichés s'accumulent.

Les forts effets constatés ne cadrent pas avec les masses estimées des galaxies ou des amas de galaxies. Il y a un fort "effet de masse manquante". *Mais un environnement inhomogène de ghost matter conduirait à des résultats identiques.* Dans notre feuillet d'univers la ghost matter produit un effet de lentille gravitationnelle négatif.



effet de lentille gravitationnelle inverse
(image didactique 2d du negative lensing)

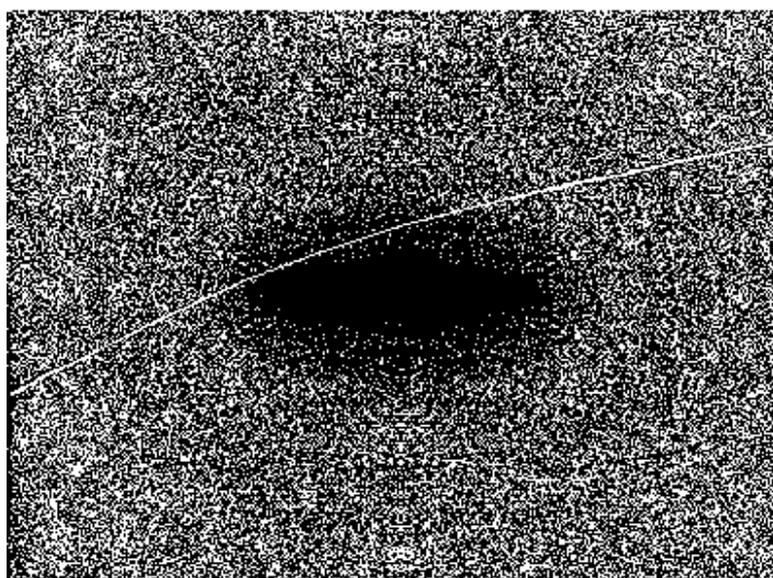
Dans le modèle, et dans notre feuillet d'espace-temps, des conglomérats de ghost matter (ou "matière gemellaire"), présents dans la portions "adjacente" F^* de notre feuillet F , créent une "courbure induite" négative dans celui-ci. C'est ce qu'on a tenté d'évoquer, didactiquement, plus haut, en utilisant le modèle d'un "néga-cône émoussé", dont la partie centrale est en selle de cheval (une surface à densité de courbure, négative, constante). Si on considère la figure ci-dessus, on a suggéré la présence d'un conglomérat de matière gemellaire, ou ghost matter, par un pointillé. Celui-ci n'est pas optiquement observable à partir de notre espace-temps (puisque, géométriquement, les photons ne peuvent pas passer d'un feuillet à l'autre). Par contre, comme suggéré sur la figure, ces conglomérats produisent un effet de lentille gravitationnelle négatif (negative lensing effect). Les trajectoires des photons, dans le feuillet F , sont schématiquement représentées. Mais ces photons ne peuvent interagir avec les atomes de ghost matter qui constituent le conglomérat présent dans la portion adjacente du feuillet F (dont le pourtour est représenté en pointillé). Ces photons "traversent donc librement le conglomérat".

Comme on l'a déjà signalé, c'est le gradient de densité qui produit l'effet. Une distribution homogène de matière ou de ghost matter ne dévierait pas les rayons lumineux.

Tout se passe, pour la matière ordinaire "comme si la matière attirait les photons" et pour la ghost matter" comme si elle repoussait les photons". Une cavité ménagée dans la ghost matter aurait donc un effet focalisant, comme évoqué ci-après :

L'indication n'est que schématique, mais, rassurez-vous : personne ne sait calculer le trajet d'un rayon lumineux dans une distribution inhomogène de matière (ou de ghost matter).

A cet effet focalisant viendrait s'ajouter l'effet dû à la présence de la galaxie. En



trajectoire d'un photon, déviée par une cavité
ménagée dans une distribution uniforme de ghost matter
(schématique)

négligeant la présence de cet environnement de ghost matter autour de l'objet on ne saurait rendre compte du phénomène avec la masse seule de la galaxie (ou de l'amas de galaxies).

UNE THÉORIE ALTERNATIVE POUR LA STRUCTURE SPIRALE.

Ce modèle fournit une nouvelle vision de la structure spirale, en l'imputant à l'interaction entre la galaxie et son environnement de ghost matter. La théorie de Françoise Combe se fonde sur l'interaction entre deux populations: la matière de la galaxie et une masse d'hydrogène froid, indétectable et d'origine non précisée. A noter qu'un modèle d'interaction, à deux populations, avait déjà été suggéré en 1986 dans ma bande dessinée Mille Milliards de Soleils, Ed. Belin.

Nous avons effectué des essais à travers des simulations 2d.

Voir : J.P.Petit and F.Landsheat : Matter ghost matter astrophysics. 6 : Spiral structure. [*Sur ce site: Geometrical Physics A, 9 , 1998.*]

Inutile de doubler les images. Si faire se peut nous intégrerons sur le site l'animation, très suggestive, montrant la naissance d'une galaxie barrée. On a deux régimes. D'abord une friction dynamique avec un fort ralentissement de la galaxie. La barre se forme très vite, de même que les bras spiraux. Le ralentissement devient alors insignifiant. Le système perdure alors pendant un grand nombre de tours, sa source étant l'effet de marée. Voir la suite des figures, dans l'article cité. Bien sûr, ces résultats doivent être accueillis avec circonspection, puisqu'il ne s'agit que de résultats 2d. Mais nos moyens de calcul ne nous permettent pas de faire du 3d. Si une équipe se proposait pour prendre le relais nous serions tout disposés à leur donner toutes les indications techniques nécessaires.

Dans les simulations "classiques" le problème est d'assurer la survie des bras spiraux. Le phénomène correspond, de toute façon, à une dissipation d'énergie. Les éléments de la galaxie, les "étoiles", acquièrent donc des vitesses importantes, ce qui entraîne la disparition de la structure spirale, qui devrait donc être reconstituée par un nouvel apport de gaz froid, par exemple.

Dans notre modèle il semble que l'environnement de ghost matter fasse office de "barrière de potentiel" et empêche ces objets de s'évader. La galaxie conserve alors ses bras spiraux pendant un grand nombre de tours. Mais ceci nécessiterait une confirmation en 3d.

Comme évoqué plus haut, nous avons deux nouveaux collaborateurs au travail sur ces questions de simulation et nous espérons beaucoup de ces nouveaux travaux (la séquence montrant la naissance des bras spiraux dans une galaxie date de 1994...). La puissance de calcul des nouveaux matériels, accessibles à de simples particuliers, permet de "jouer dans la cour des grands" avec un simple micro. On peut même gérer assez de "points-masses" avec de tels systèmes qu'on pourra très vite représenter les galaxies telles qu'elles sont vraiment, c'est à dire avec deux "populations", fort différentes sous différents aspects :

- La « population I », ou population halo, constituée par des vieilles étoiles (et des amas globulaires), dont les trajectoires s'éloignent sensiblement du plan équatorial.
- La "population II" ou population disque, regroupant, dynamiquement, les jeunes étoiles et des masses de gaz d'importances variables. Ce second ensemble de masses se localise très près du plan équatorial de la galaxie. C'est dans cette population que se crée la structure spirale, en tant "qu'onde de densité". C'est alors un phénomène très non linéaire, qu'on peut même assimiler à une "onde de choc".

Par contre le phénomène structure spirale affecte relativement peu la population I, qui concentre pourtant 90 % de la masse de la galaxie. Il sera extrêmement intéressant de pouvoir enfin coller de plus près à la réalité astrophysique en représentant la galaxie, non à l'aide d'une unique population de points-masses, mais de deux.

LA PHASE RADIATIVE.

Ici, nous revenons aux aspects cosmologiques du modèle. Comme évoqué plus haut, la solutions à départ linéaire (où R et R^* au voisinage de $t = 0$, croissent proportionnellement au temps) pose problème. Une telle expansion serait beaucoup trop douce pour assurer le figeage de la nucléosynthèse primordiale. On a donc été amené à faire le lien avec des travaux antérieurs, datant de 1988-1989, intégrées au site:

J.P.Petit, Mod. Phys. Lett. A3 (1988) 1527

J.P.Petit, Mod. Phys. Lett. A3 (1988) 1733

J.P.Petit, Mod. Phys. Lett. A4 (1989) 2201

et avec :

J.P.Petit : Twin Universe Cosmology : Astronomy and Space Science **226** : 273-307, 1995 and [*Voir sur le site: Geometrical Physics A , 2.*]

L'idée consiste alors à supposer que les constantes de la physique dépendent de la densité d'énergie. Dans les travaux antérieurs on avait montré que des variations conjointes des constantes de la physique pouvaient être envisagées, laissant invariantes toutes les équations de la physique (l'équation de champ, Schrödinger, Maxwell, etc...). Nous suggérons qu'un tel modèle puisse s'appliquer alors à la phase radiative, lorsque l'énergie-matière se trouve principalement sous forme de rayonnement.

Lorsqu'on remonte vers le passé, la densité d'énergie-matière croît. On débouche, lorsque $\rho_r \gg \rho_m$ (lorsque la densité d'énergie-matière sous forme de rayonnement est grande devant la densité sous forme de matière) sur des lois :

$$G \approx \sqrt{\rho} \quad m \approx \frac{1}{\sqrt{\rho}} \quad h \approx \rho^{-3/4} \quad c \approx \rho^{1/4} \quad e \approx \rho^{-1/4}$$

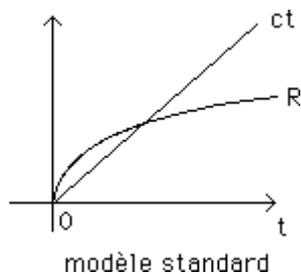
G étant la constante de gravité, m la masse, h la constante de Planck, c la vitesse de la lumière et e la charge électrique. On prend ces grandeurs égales dans les deux feuilletts (sans justifier un tel choix).

Avant de décrire ce modèle plus en détail, donnons-en la justification. On a vu plus haut que la remarquable homogénéité de l'univers primitif, traduite par celle du fond de rayonnement à 2,7°K, était difficilement justifiable dans un contexte standard. Il a donc fallu greffer sur l'ancienne théorie du Big Bang un nouveau modèle : l'inflation. Pour les français, ce mot est assez mal traduit. Il vient du verbe anglais to inflate, qui veut dire se gonfler. On est donc amené, au prix d'hypothèses lourdes, à supposer que l'univers aurait subi une fantastique expansion dans son "tout début". Alors son homogénéité peut être justifiée. Mais il est à noter que c'est la seule justification observationnelle du modèle de Linde, de cette théorie de l'inflation. Le prix à payer reste relativement élevé.

Ici nous envisageons que les constantes de la physique puisse dépendre de la densité d'énergie matière, au delà d'un certain seuil. Ca n'est pas pire que les hypothèses qui sous-tendent la théorie de l'inflation, à tout prendre. Mais le profit est alors double :

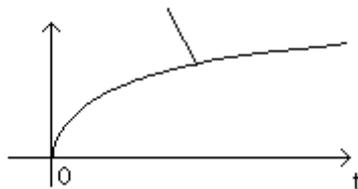
- On justifie l'homogénéité de l'univers primitif
- On obtient une redéfinition de la variable temps.

Pour l'homogénéité, c'est assez simple. On a vu que dans le modèle standard, à c constant, tout se joue en comparant l'horizon ct à la distance moyenne entre les particules.



Dans cette nouvelle vision des choses, références [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 3, 1998, figure 17] et [*Geometrical Physics A* , 6 , 1998, figure 10,] en conservant cette variable chronologique t :

la distance entre les particules
et l'horizon varie de la même façon



L'homogénéité du milieu cosmique est donc assurée à toutes les époques. Cette différence tient au fait que la vitesse de la lumière c croît au fur et à mesure qu'on remonte vers le passé. Voir la figure 5 de la référence [Sur ce site: *Geometrical Physics A* , 6 , 1998].

Une remarque en passant :

Pendant pas mal d'années, nous avons été "les olibrius qui s'amusaient à faire varier les constantes de la physique", thème de recherche qui n'avait absolument pas été pris au sérieux en France, en particulier dans les cénacles du CNRS. Beaucoup trouvaient l'idée parfaitement absurde "dans la mesure où les observations permettaient d'affirmer que ces constantes ne pouvaient pas avoir varié de manière sensible au fil des milliards d'années".

On comprend une telle attitude, car il est vrai qu'aucune expérience ou observation n'a pu démontrer une telle variation d'une quelconque constante de la physique. Nous sommes bien d'accord. Mais en fait, la question est mal posée. Dans les travaux que nous avons développés depuis 1988 il a toujours été question de *variations conjointes* des constantes de la physique, des variations qui laissent en particulier invariantes... les équations de la physique. Or toute expérience s'appuie sur de telles équations. Si les équations sont invariantes, alors le "phénomène" ne pourra pas être mis en évidence, simplement parce que les instruments de mesure "dérivent parallèlement au phénomène que l'on veut mettre en évidence".

Donnons une image pour illustrer ce propos. Imaginez que vous mesuriez la longueur d'une table en fer avec une règle en fer. Vous trouvez une longueur constante. Est-ce à dire que la table garde une longueur constante ? Pas nécessairement. La température ambiante dans le laboratoire pourrait varier, phénomène que vous ne pourriez mettre en évidence à travers une dilatation de votre table en fer, simplement parce que votre instrument de mesure, votre règle de même métal, se dilate avec l'objet dont il est censé mesurer la longueur !

Si rien n'est mesurable, me direz-vous, alors où est l'intérêt ? Comme montré dans nos travaux (y compris dans l'article publié avec Pierre Midy en août 1999 dans *The International Journal of Physics D*, intitulé "scale invariant cosmology" (cosmologie invariante par changement d'échelle, les observables sont de deux natures :

- Le redshift
- La prédiction de l'homogénéité de l'univers primitif.

Venons-en au temps. Nous avons dit plus haut que le choix des coordonnées était arbitraire. Peut-on imaginer une mesure du temps qui soit invariante par changement des coordonnées ?

Nous l'avons sous les yeux. C'est le système solaire qui, lui, est parfaitement physique. Que nous la mesurons en nanosecondes ou en siècles, le nombre de révolutions de la Terre autour du soleil, par rapport à l'arrière-plan stellaire reste le même : c'est un *nombre*.

Partant de ce constat nous allons donc imaginer une horloge conceptuelle constituée par deux masses orbitant autour de leur centre de gravité commun.



Nous décidons que le nombre de tours effectué par ce système, par rapport aux autres objets qui l'environnent sera la définition du temps. Pas de temps sans horloge. Pas de temps sans phénomène de référence, quel qu'il soit. Sinon c'est un temps abstrait, un simple repère chronologique. Le temps *c'est* l'horloge. Des horloges qui accéléreraient ou ralentiraient au cours du temps, ça n'a pas de sens.

Lorsqu'on remonte vers le passé, nanti de cette horloge conceptuelle, la question à poser est :

Combien de tours ce système a-t-il fait sur lui-même dans le passé ?

Dans notre modèle la réponse est : une infinité de tours.

Si on retient donc ce compteur de tours comme horloge, le passé de l'univers devient infini. La singularité originelle est éliminée. On notera au passage que ce nombre de tours se trouve être

$$n = \text{Log } t$$

C'est à dire précisément ce *temps conforme* cher à Lévy-Leblond.

Autre remarque, dans ce modèle qui, dans sa phase radiative, devient "à constantes variables" cette quantité s'identifie également à l'entropie par baryon. Le cosmos devient non-isentropique. Le second principe revisité, en quelque sorte (le modèle standard nous offre une évolution isentropique).

Cette vision du cosmos nous évite de nous demander "ce qui existait avant le Big Bang". L'adverbe avant devient de plus en plus vide de sens à mesure qu'on s'enfonce vers le passé.

L'univers est une histoire qui se déroule "sous nos yeux". En quelque sorte, c'est un livre ouvert. Si vous allez voir un éditeur, pour publier un livre, il ne vous demandera quelle est l'épaisseur de votre manuscrit. En signant le contrat vous pourriez lui jouer un mauvais tour en lui soumettant un document dont les pages auraient une épaisseur variable. En ouvrant le livre à une page qui s'intitulerait "présent" et en le feuilletant à rebours, il pourrait découvrir avec désagrément qu'ayant utilisé des feuilles de plus en plus fines, vous lui présentez un livre qui contient un nombre de pages... infinies et qu'il n'aura jamais la moindre chance de lire votre préface pour savoir ce que vous avez voulu dire dans cet ouvrage.



Vous pourriez aussi utiliser des caractères de plus en plus petits, etc.

Un éditeur prudent, désireux de s'éviter un tel désagrément, demandera donc à l'auteur :

Combien votre ouvrage comporte-t-il de caractères ?

Dans le cas de cet ouvrage "univers", la réponse, du moins en ce concerne le passé, serait : l'infini.

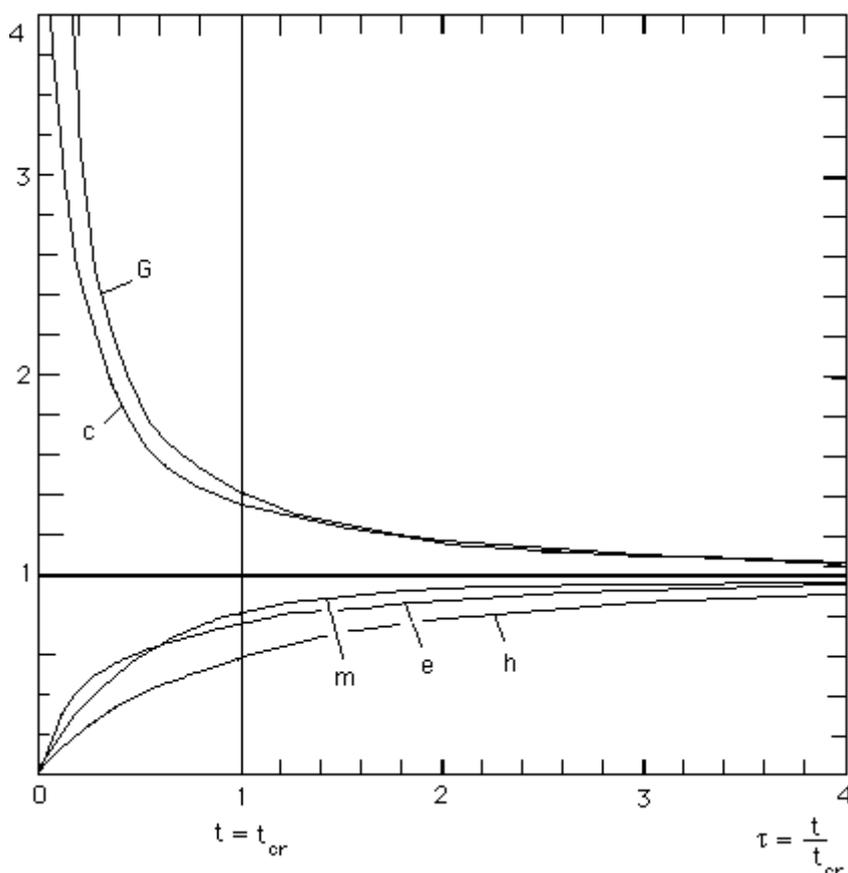
En remontant dans le passé on compterait simplement une infinité d'événements microphysiques. Ceci constitue donc *notre* réponse à la question "des origines". Elle est bien différente des réponses que certains élaborent de nos jours. Voir à ce propos la déclaration faite par notre tout jeune académicien [Thibaud-Damour](#) à la revue Science et Vie, au rayon "Galerie de Portraits", à propos de sa théorie du "pré Big-Bang", fondé sur une théorie qui en trente année n'a jamais été capable de fournir la moindre chose, tant au plan des observations que sur le terrain de l'expérience, j'ai nommé la TOE, la "théorie de tout", alias la "théorie des supercordes"

Mais le temps de Planck, dans tout cela ?

Celui-ci varie... comme t , c'est à dire qu'il maigrit au fur et à mesure qu'on s'enfonce dans le passé. La barrière de Planck s'éloigne comme un mirage. Quand à la longueur de Planck, elle varie comme R .

Bien sûr, ce modèle ne gère pas "le reste de la physique". Pour le rendre complet il faudrait adjoindre des variations ad hoc des constantes liées aux autres interactions, forte, faible. Considérons que c'est une idée de plus, à débattre (ce qui est possible, nous le faisons de suite. Pour l'impossible, nous demandons un délai...)

Le détail de ce modèle est à lire dans l'article [*Sur ce site: Geometrical Physics A* , **6** , 1998] . Pour mémoire nous donnerons les variations des constantes de la physique en fonction de la variable chronologique t .



LE TEMPS DANS LE SECOND UNIVERS.

Dans ce qui précède nous sommes partis d'hypothèses purement géométriques, ce qui nous a amené à proposer un système de deux équations de champ, couplées. Nous avons vu que ce système était *équivalent* au fait d'inverser le signe des masses de la seconde population, bien que les masses m^* soient positive.

Quand on résout ces équations, on donne aux deux métriques des formes particulières, qui ne font que tenir compte de différentes hypothèses. On suppose que la Relativité Restreinte "fonctionne" dans les deux feuillets. Ceci nous amène à choisir une forme particulière de métrique Riemannienne, dite "à signature (+ - -)". Puis nous supposons que ces deux univers sont homogènes (que les paramètres, pression, densité, sont les mêmes en tout point de l'espace) et isotropes (que l'apparence de l'univers est la même quelle que soit la direction vers laquelle on se tourne. A l'aide de ces métriques particulières nous pouvons exprimer les tenseurs \mathbf{S} et \mathbf{S}^* puis résoudre les équations, en obtenant en fin du compte des équations différentielles permettant de définir les évolutions de R et de R^* , "facteurs d'échelle" des deux univers.

On fait de même dans la théorie standard, sauf qu'on a une équation de champ unique, l'équation d'Einstein, une seule métrique et qu'on aboutit au bout du compte à une seule équation différentielle. C'est la célèbre équation de Friedmann :

$$R^2 \frac{d^2 R}{dt^2} + a^2 = 0$$

Remarque immédiate : cette équation est invariante lorsqu'on change t en $-t$, elle est "time-reversible".

En fait, rien dans notre physique ne nous permet de faire la différence entre le passé et l'avenir. Quoi qu'on fasse on est toujours ramené à une conception *subjective* du temps. Seuls nos sens nous permettent de faire la différence entre le passé et le futur.

Une surface possède des géodésiques. Mais il n'y a pas de sens de lecture pour celles-ci. Le choix du sens du temps est arbitraire.

Les équations différentielles couplées (équations (37-a) et (37-b) du papier [Geometrical Physics A, 6, 1998] sont également invariantes quand on change t en $-t$.

En remontant en amont, on sait qu'on peut repérer deux points conjugués M et M^* de nos deux hypersurfaces avec le même jeu de coordonnées. Appelons ces coordonnées (t, z, x, h) . On peut alors mener le calcul jusqu'au bout et obtenir les deux équations différentielles finales, couplées (écrivons-les) :

$$R^2 \frac{d^2 R}{dt^2} + 1 - \frac{R^3}{R^{*3}} = 0$$

$$R^{*2} \frac{d^2 R^*}{dt^2} + 1 - \frac{R^{*3}}{R^3} = 0$$

Qui sont invariantes si je change τ en $-\tau$.

A ce stade je peux très bien décider que : $t = \tau \quad t^* = \tau$

ou que : $t = \tau \quad t^* = -\tau$

Les équations ne définissent aucune orientation temporelle a priori, pas plus que ne le faisait l'équation de Friedmann. Mais alors, que signifient ces variables t et t^* ?

AJOUT EN DATE DE FÉVRIER 2000 :

Entre le moment où j'avais composé ce texte et aujourd'hui se sont situés tout un lot de travaux nouveaux concernant les trous noirs (ou plutôt allant dans le sens de leur inexistence). A la lueur de ces travaux, je dirais maintenant que les grandeurs t et t^* ne sont que des coordonnées, et rien d'autre. Le fait qu'on décide par exemple que $t^* = -t$ ne signifiera absolument pas que si on passe du feuillet F au feuillet gémeilaire F^* on va se mettre à vivre "à rebrousse-temps". Dans ces nouveaux travaux ainsi évoqués on s'intéresse tout particulièrement à la manière dont les deux feuillets pourraient se trouver mis en communication (pendant un très bref instant, le temps d'un transfert hyperspatial de matière du feuillet F au feuillet F^*). Qu'arrive-t-il alors à cette matière qui s'échappe vers "le versant rétrochrone de notre univers" ? Chemine-t-elle à contretemps ?

Elle évolue dans le feuillet F^* où la coordonnée temps se trouve inversée. Mais en transitant d'un feuillet à l'autre, une masse témoin a suivi une géodésique. Sa "montre de bord" (c'est à dire son temps propre) continue de progresser vers le futur. Qui plus est cette particule témoin pourrait théoriquement ré émerger dans F après avoir effectué un trajet en empruntant "les couloirs du gémeilaire". Serait-ce à dire que cette particule témoin pourrait ré émerger avant d'être partie?

Non pas. A aucun moment son cheminement n'a été "rétrochrone". Mais alors, quelle est la nature ontologique de cette inversion du temps. Attention, il ne s'agit que de l'inversion de la coordonnée temps, pas du temps propre. En s'inspirant des travaux de Souriau (Structure des Systèmes Dynamiques, 1974, Dunod, page 198, équation 14.67) on sait qu'inversion de la coordonnée temps et inversion de la masse (et de l'énergie) sont des phénomènes conjoints. L'inversion du temps résulte de l'action des "composantes antichrones du groupe de Poincaré". Quand à l'inversion de la masse et de l'énergie elle découle de l'action du groupe sur son espace des moments.

Ainsi "cheminer pendant un temps dans un feuillet où la coordonnée temps t^* est inverse de la nôtre" signifie simplement que pendant ce temps où elle est "en plongée dans le jumeau" une masse témoin m contribue négativement au champ de gravité (relatif aux particules restées dans son feuillet d'origine).

Inverser le temps équivaut à inverser l'énergie et la masse.

Nous avons vu que nos particules de matière-fantôme se comportaient comme si elles possédaient une masse négative. On peut dire que si deux particules qui interagissent ont des masses positives, mais des flèches du temps inverses, elles se repoussent, gravitationnellement. Dans le papier: J.P. Petit and P. Midy : Geometrization of antimatter through coadjoint action of a group on its momentum space. 3 : Twin group. Matter anti-matter duality in the ghost space. Réinterprétation of the CPT theorem. [Sur le site: Geometrical Physics B, 3 , 1998.] Nous avons tenté de dégager la structure de groupe qui sous-tendait cette géométrie gémeilaire. Nous sommes arrivés à la conclusion que les deux feuillets étaient liés par des relations de symétrie et qu'en particulier leurs flèches du temps étaient opposées. On rejoint alors l'idée initiale d'André Sakharov et sa théorie des univers gémeilaires.

Jean-Pierre PETIT