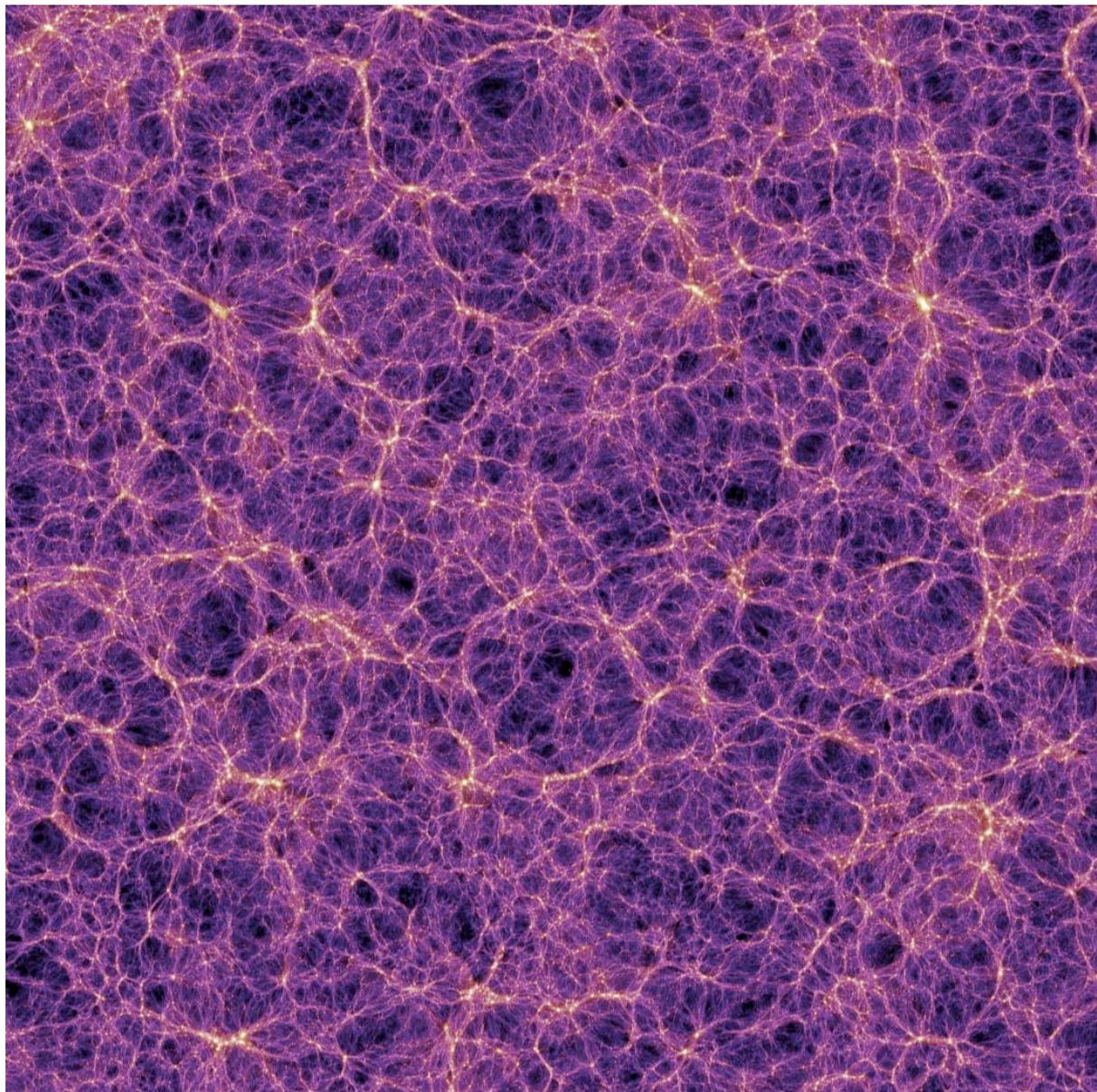


Le Modèle d'univers Janus

Seconde partie

Grâce à l'ordinateur on assiste cependant à une reconstruction du réel à travers cette *virtualité*. Les moyens de calculs sont de plus en plus puissants, témoin cette image correspondant à une « millenium simulation » réalisée sur l'ordinateur du Max Planck Institute avec 10 milliards de points-masses :



Petit à petit une idée s'insinue dans la tête des gens :

C'est beau, ça marche, donc ça doit être vrai.

Mais l'ordinateur, deus ex machina du monde moderne, ne joue pas toujours le rôle qu'on attend de lui.

La dynamique galactique : une discipline sinistrée

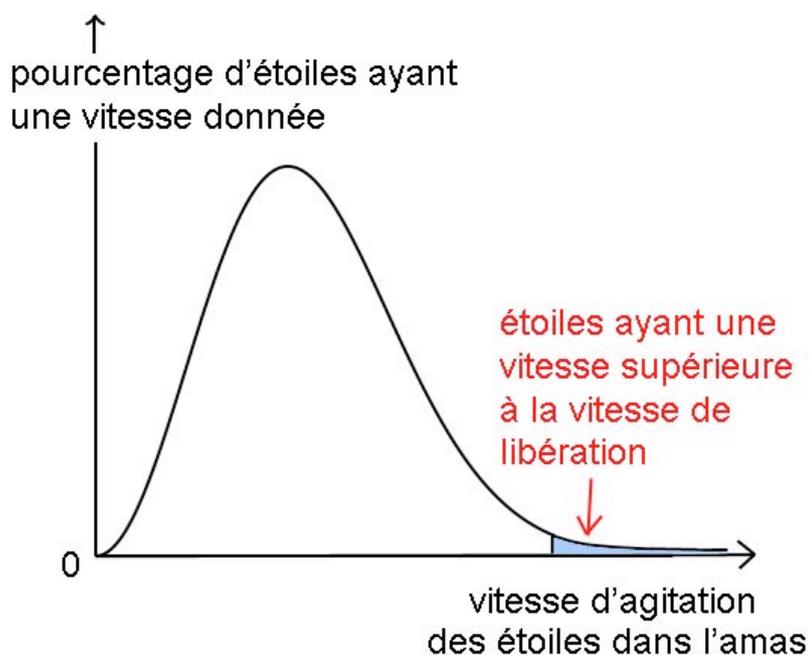
On s'attendait à ce qu'une approche par simulation sur ordinateur apporte immédiatement la clarté sur le phénomène des structures spirales dans les galaxies. Hélas toutes les tentatives ont été des échecs. On sait que ces structures représentent des « ondes de densité » dans le gaz interstellaire, qui se distribue dans un disque de 100.000 années-lumière de diamètre, ayant la géométrie d'un disque microsillon. Non seulement il a été impossible de créer des structures stables mais même en utilisant comme conditions initiales une distribution de gaz observée, celle-ci ne tardait pas à se désagréger en un nombre infime de tours.

L'académicienne Françoise Combes a tenté d'expliquer le pourquoi de ces structures spirales en imaginant que des paquets de gaz interstellaire froid pourraient tomber sur les galaxies. Elle obtenait alors des formes a priori séduisantes. Mais, non seulement celles-ci étaient détruites rapidement, il s'est avéré impossible de détecter de telles masses de gaz froid dans l'espace intergalactique.

On pouvait a priori douter de l'existence de ce gaz froid entre les galaxies, pour une raison assez simple. Quand les galaxies se forment, apparaissent les premières étoiles, assez brutalement. Le gaz résiduel est alors chauffé. Deux cas de figure se présentent. Soit la galaxie est d'une masse modeste (équivalant celle de notre voie lactée). Ce gaz reste prisonnier de cette population d'étoiles primitives dont les quelques centaines d'amas globulaires (des sortes de « mini-galaxies sphéroïdale comportant des centaines de milliers d'étoiles) sont le fossile. Ci-après, l'amas d'Hercules :



Ce système constitué par ces amas d'étoiles ne tourne pas, et c'est encore le cas aujourd'hui. Seuls les amas comportant un grand nombre d'étoiles ont survécu. Les amas primitifs moins riches ont disparu, se sont « évaporés » avec le temps. En effet, si les étoiles d'une galaxie forment un système pratiquement non collisionnel (le « temps de libre parcours moyen est de 10^{13} ans) ça n'est pas le cas au centre des amas stellaire. Ces collisions entre étoiles tendent à donner à ces étoiles une « distribution de vitesse de Maxwell Boltzmann, avec deux queues de distribution, l'une avec les étoiles lentes, l'autre avec les étoiles rapides. L'amas a une masse M , dont une vitesse de libération V_r . Dans les amas moins riches les collisions créent à haut rythme des étoiles suffisamment rapides pour s'échapper.



Distribution des vitesses des étoiles dans l'amas.

Ainsi, seuls les amas d'une masse égale ou supérieure à 100.000 masses solaires ont connu une « évaporation » suffisamment faible pour perdurer aujourd'hui.

Les galaxies légères se retrouvent donc entourées d'une aura de gaz sphéroïdale qui s'étend bien au delà de cet ensemble d'étoiles primitives. A cette époque elles sont beaucoup plus proches les unes des autres et si actuellement cette distribution correspond, du point de vue des distances, à des objets de la taille d'un petit pois, éloignés d'un mètre, lorsque que ces galaxies venaient de se créer elles étaient aussi serrées les unes contre les autres que peuvent être des grains de raisin dans un grappe. Les rencontres entre galaxies, beaucoup plus fréquentes, affectent les auras gazeuses auxquelles elles communiquent un mouvement de rotation. Puis l'expansion cosmique fige ce milieu en l'état. Alors cette aura gazeuse se refroidit en perdant de l'énergie par rayonnement, tout en conservant son moment cinétique, ce qui lui donne la forme qu'on lui connaît aujourd'hui. Ce tassement et ce refroidissement de ce gaz permettra à

l'instabilité gravitationnelle de jouer son rôle et de donner naissance à des étoiles de seconde génération.

Dans le second scénario, concernant des galaxies dix fois plus massives que la nôtre, la vitesse communiquée aux atomes du gaz, hydrogène et hélium, est si élevée que celui-ci échappe à l'emprise gravitationnelle de la galaxie, d'où il se trouve éjecté. Il emplira alors l'espace inter-galactique. Comme la vitesse de ces atomes atteint plusieurs milliers de mètres par seconde, ceci, en vertu de la correspondance :

$$\frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m V^2$$

k : constante de Boltzmann, *m* masse de l'atome

correspond à des températures de dizaines de millions de degrés. Quand de tels atomes entrent en collision le rayonnement émis est alors dans la gamme des rayons X. Et c'est ce qui est observé. Ainsi, étant donnée l'origine de ce gaz intergalactique et donc sa température il est aussi vain de rechercher dans ces régions du gaz froid que de trouver du beurre en broche.

A propos de l'insuccès de la gestion du problème de la structure spirale à travers des simulations numériques, l'écueil provient du fait que les bras de galaxies « chauffent ». Les points-masses qui le constituent acquièrent rapidement des vitesses assez grandes pour leur permettre de quitter la galaxie et en très peu de temps il ne subsiste qu'une « barre » en rotation.

Sur le plan de la théorie pure, c'est encore pire. On ne dispose à ce jour d'aucun modèle de galaxie digne de ce nom, et la façon dont elles se forment reste obscure.

Un nouveau saut paradigmatique.

C'est sur cette toile de fond que nous allons maintenant passer à nos propres travaux, qui impliquent un saut paradigmatique très important.

On a vu que la relativité Restreinte et plus tard la relativité Générale avaient totalement bouleversé le panorama de la cosmologie et de l'astrophysique. Ce que nous suggérons est de même grandeur. Ces concepts se révèlent extrêmement déroutants, non seulement pour le public, mais également pour ceux qui sont censés être spécialistes de ces questions.

Examinons le point de départ.

Nous avons présenté plus haut l'équation de champ d'Einstein. Celle-ci se prête à un mode de traitement, que nous ne détaillerons pas, et qu'on appelle « l'approximation Newtonienne ». En effet, quand le champ gravitationnel (synonyme de courbure d'espace) reste modéré, de même que les vitesses des masses considérées comme ponctuelles, la dynamique cosmique doit s'identifier à celle de Newton. On ne doit donc pas étonner si, en mettant en œuvre cette technique on voit émerger la loi de Newton, avec sa force en $\frac{1}{r^2}$

En 1957 le cosmologiste Anglo-Autrichien Hermann Bondi a regardé s'il était possible que le cosmos héberge des masses, soit positives, soit négatives¹.



Herman Bondi 1919 – 2005

Les lois d'interaction apparaissent, mais la surprise est mauvaise. Il trouve que

- Les masses positives attirent tout (elles-mêmes et les masses négatives)
- Les masse négatives repoussent tout (elles mêmes et les masses positives)

Considérons deux masses, l'une positive et l'autre négative, qui se rencontrent.

L'ingérable paradoxe Runaway

Ce qui se passe ? La masse positive s'enfuit, poursuivie par la masse négative, le tandem étant animé d'un mouvement d'accélération uniquement. Comble du paradoxe : cette accélération ne requiert aucun apport d'énergie extérieur puisque l'énergie cinétique

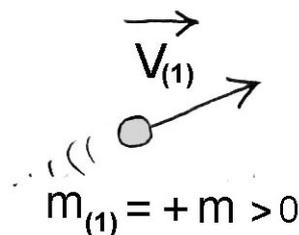
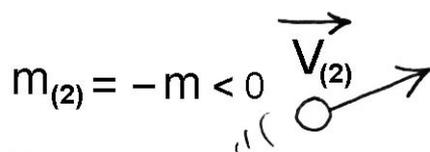
$$\frac{1}{2} m^{(-)} V^2$$

de la masse négative $m^{(-)} < 0$ est elle-même négative.

¹ Bondi H. Negative mass and General relativity. Review of Modern Physics **29**(3) 423, 1957

PHENOMENE «RUNAWAY»

La masse positive (grise), repoussée, s'enfuit.
La masse négative (blanche), attirée par celle-ci, lui court après !!



Et l'énergie cinétique du couple est conservée ! $\frac{1}{2} m_{(1)} V_{(1)}^2 + \frac{1}{2} m_{(2)} V_{(2)}^2 = \text{Cst}$

Ce travail a eu pour effet de dissuader complètement tous les chercheurs d'imaginer une seule seconde de faire interagir ces masses négatives dans un quelconque modèle. Et cela va durer jusqu'à la publication de notre travail, en 2014²,

c'est à dire **pendant 57 ans !**

Mais comment contourner cet écueil puisque c'est une propriété émergeant de l'équation de champ d'Einstein, pierre de touche de toute la cosmologie ?

Le saut à envisager est considérable. Il consiste à envisager que l'univers ne soit pas géré par une équation de champ, mais deux, qui s'écrivent alors :

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi \left[T_{\mu\nu}^{(+)} + \sqrt{\frac{g^{(-)}}{g^{(+)}}} T_{\mu\nu}^{(+)} \right]$$

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = -\chi \left[\sqrt{\frac{g^{(+)}}{g^{(-)}}} T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(+)} \right]$$

² J.P.Petit et G.D'Agostini : Negative mass hypothesis in cosmology and the nature of dark energy. *Astrophysics and Space Science A* **29**, 145-182 (2014)

On a vu que l'équation d'Einstein reposait sur l'idée que l'univers était une hypersurface dont les géodésiques servaient de pistes empruntées par les particules dotées de masses ou par les photons.

L'écriture barbare ci-dessus est la matérialisation de l'idée selon laquelle cette hypersurface possède tout simplement *un endroit et un envers*.

L'idée qu'une surface ordinaire, qui pour nous est un objet à deux dimensions, possède un endroit et un envers nous paraît évidente. Ça l'est beaucoup moins si on envisage de passer à des hypersurfaces à trois dimensions, et encore moins quand on en rajoute une quatrième.

Je ne vous étonnerai pas si je vous dis que ce formalisme déconcerte même les physiciens théoriciens, et n'est accueilli comme quelque chose de normal que par des mathématiciens géomètres, pour qui la chose peut alors sembler comme quelque chose de tout à fait naturel.

Mais pourquoi avoir envisagé quelque chose d'aussi sophistiqué ?

Je vous ai dit que la technique de l'approximation Newtonienne, où on s'attache à des régions faiblement courbées et où on ne considère que des particules se déplaçant à des vitesses faibles devant la vitesse de la lumière faisait apparaître les lois d'interaction.

Si on se limite à une seule équation de champ : c'est alors une hypersurface où on ne considère qu'une seule de ses deux faces. Alors, si on envisage de faire cheminer des masses positives et des masses négatives sur cette face, comme l'a montré Herman Bondi en 1957, on tombe sur des lois d'interaction qui conduisent au paradoxe ingérable Runaway, évoqué plus haut.

Si on envisage de faire cheminer les particules de masse positive sur une des faces de l'hypersurface et les particules de masse négative sur l'autre, la technique de l'approximation Newtonienne donne un résultat totalement différent :

Les masses positives s'attirent selon la loi de Newton

Les masses négatives s'attirent selon la loi de Newton

Les masses de signes opposés se repoussent selon "anti – Newton"

Ce schéma, appliqué à l'astrophysique, se révèle extrêmement fécond. Mais nous évoquerons cela plus loin.

Au même endroit, mais sans se rencontrer

Qu'est-ce qu'une rencontre entre particules ? C'est essentiellement une interaction par le biais des forces électromagnétique. Or, dans cette façon de concevoir la cosmologie et au delà la physique et l'astrophysique, deux particules situées sur deux faces différentes de l'hypersurface n'interagissent pas par le biais des forces électromagnétiques. Elles s'ignorent donc totalement.

Les messages lumineux cheminent à l'aide de quantas d'énergie électromagnétique. Ainsi, les structures constituées de masse négative sont-elles fondamentalement invisibles pour un être qui serait un assemblage de masses positives, en l'occurrence nous ou nos instruments d'observation.

Et vice versa.

La seule interaction est gravitationnelle, ou plutôt *antigravitationnelle*. Mais elle joue un rôle très important. Vous l'avez deviné, cette masse négative, c'est tout simplement à la fois la matière sombre et l'énergie noire.

La magie de la théorie des groupes dynamiques

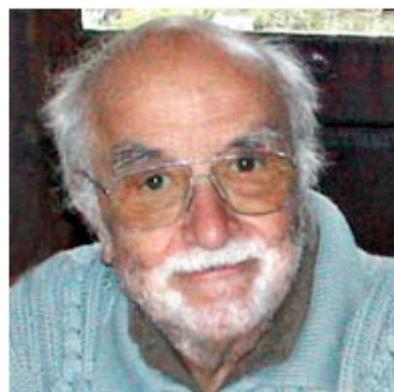
C'est un domaine mal connu, créé par trois mathématiciens : le Russe Alexandre Kirillov, l'Américain Bertram Kostant et le Français Jean-Marie Souriau.



B. Kostant



A. Kirillov



J.M.Souriau

Jean-Marie nous a quitté en 2012. J'ai bénéficié de son enseignement pendant une vingtaine d'années. On peut consulter ses travaux sur le site que nous lui avons créé, son fils Jérôme et moi.

<http://www.jmsouriau.com>

Les deux premiers se sont attachés à développer une branche de la géométrie, dite symplectique. On doit au troisième l'application de ces concepts étonnants à la physique, avec le développement de la théorie des systèmes dynamiques.

http://www.jmsouriau.com/structure_des_systemes_dynamiques.htm

Souriau replace alors les particules en tant que *mouvements particuliers* dans un « espace des mouvements. On pourrait résumer cette démarche en disant :

- *Dis-moi comment tu te meus, je te dirai quoi tu es*

Cette phrase est, finalement, très près des choses de la physique. En effet, qu'est-ce qu'un électron ? C'est un objet qui inscrit sa trace dans une « chambre à bulles »³, en provoquant une minuscule apparition de micro-bulles sur son passage. Un électron, c'est « un mouvement », celui d'une particule chargée dans un champ magnétique. Il possède un attribut appelé « charge électrique », qui l'amène à spiraler dans un certain sens. Si on observe une trajectoire spirale s'enroulant en sens inverse il s'agira d'*antimatière*.

Ainsi, dans l'espace des mouvements des particules de masses et d'énergie positive ($E = m c^2$), est divisé en deux « secteurs ». L'un correspond aux mouvements de la matière et l'autre aux mouvements de l'antimatière.

Au passage, la masse des particules d'antimatière est identique à celle de ses sœurs, les particules de matière.

Quand on approche cette idée d'antimatière à travers la théorie des groupes dynamiques, l'idée que le passage de la matière à son antimatière entraîne l'inversion de la masse ne tient pas. Les masses de la matière et de l'antimatière sont de même signe, dans les deux secteurs.

Le travail de Souriau (1970) montre que cette carte des mouvements possibles peut être dédoublée et étendue aux mouvements des particules dotées de masses et d'énergies négatives.

Matière sombre et énergie noire :

de simples particules de masse et d'énergie négative

Ainsi le bestiaire s'enrichit, mais cela se fait de la manière la plus simple qui soit. Que sont ces mystérieuses particules qui révèlent leur présence sans se laisser voir ?

Tout simplement des électrons, des protons, des neutrons de masse négative et des photons d'énergie négative. Nous verrons que cette physique cadre avec les phénomènes que nous avons évoqués plus haut.

A propos de l'invisibilité de la matière de signe opposé, elle s'exprime à travers ce concept géométrique. Les photons d'énergie positive cheminent sur une des faces de l'hypersurface, tandis que les photons d'énergie négative empruntent l'autre face.

En Relativité Générale on avait introduit l'idée que les particules suivaient des géodésiques, elles mêmes calculées à partir d'une « métrique » $g_{\mu\nu}$. Ici nous aurons deux ensembles de géodésiques, disjoints, donc deux « métriques »

$$g_{\mu\nu}^{(+)} \quad \text{et} \quad g_{\mu\nu}^{(-)}$$

³ Antérieurement, on utilisait une « chambre de Wilson » où cette trace était matérialisée par de la condensation.

Des métriques⁴ qui sont présentes dans les deux équations, que nous présentons une nouvelle fois :

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi \left[T_{\mu\nu}^{(+)} + \sqrt{\frac{g^{(-)}}{g^{(+)}}} T_{\mu\nu}^{(+)} \right]$$

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = -\chi \left[\sqrt{\frac{g^{(+)}}{g^{(-)}}} T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(+)} \right]$$

Les phénomènes que les observateurs avaient découvert durant un demi-siècle : la « masse manquante », les courbes plates des galaxies, les effets anormaux de lentille gravitationnelle et enfin l'accélération cosmique se trouvent ainsi expliqués et décrits avec précision et non de manière semi-empirique comme c'est le cas avec

Le modèle de concordance Λ CDM :

Constante cosmologique Λ plus "Dark Matter" DM

Au passage tout ce qui a été dit explique pourquoi nous avons appelé ce modèle « Janus ». Comme le dieu du même nom, il offre deux visages (*faciès*) différents. Une particule suivra « les courbes de son visage » différemment, selon qu'elle possède une énergie et une masse positives ou une énergie et une masse négatives.

La raison suffisante de l'accélération cosmique

Commençons par ce problème-là. Il se gère par une solution exacte du système des deux équations ci-dessus. Cela a été publié en 2014 dans l'article cité plus haut, puis étendu en 2015⁵ à une modélisation où les deux vitesses de la lumière, celle des photons d'énergie positive et celle des photons d'énergie négative sont différentes.

⁴ Il existe, dans la littérature, des travaux concernant des modèles « bimétriques », qui n'ont rien à voir avec le nôtre. Dans ce cas la seconde métrique se réfère à des « gravitons » dotés d'une masse, et même dans certains cas d'un « spectre de masse »

⁵J.P.Petit, G.D'Agostini : Cosmological Bimetric model with interacting positive and negative masses and two different speeds of light, in agreement with the observed acceleration of the Universe. Modern Physics Letters A, Vol. 29, N° 34, 2014 November 10th

Mais qu'est-ce qui produit cette dissymétrie ?

Elle apparaît quand on construit une solution cosmologique décrivant la prime enfance de l'univers. En 1988-1989⁶ j'avais publié dans la revue *Modern Physics Letters A*, puis en 1995 dans *Astrophysics and Space Science*⁷ le premier modèle cosmologique « à vitesse de la lumière variable ».

Cette démarche a été reprise en 1992 par le Portugais Joao Magueijo et par le Canadien John Moffat. Mais nos approches sont totalement différentes. D'emblée j'ai considéré des « variations conjointes de toutes les constantes de la physique, à savoir :

- La vitesse de la lumière c
- La constante de la gravitation G
- La masse m
- La charge électrique e
- La constante de Planck h
- La perméabilité magnétique du vide μ

Qu'est-ce qui relie ces variations ? On demande que toutes les équations de la physique, équation de champ, équations de Maxwell, équations quantiques restent invariantes. On obtient ainsi des outils théoriques pour s'aventurer au-delà de ce mur qui se dresse quand l'univers est âgé de 380.000 ans et, qu'antérieurement à cette date la lumière ne peut plus se propager, l'univers était un gaz ionisé, un plasma.

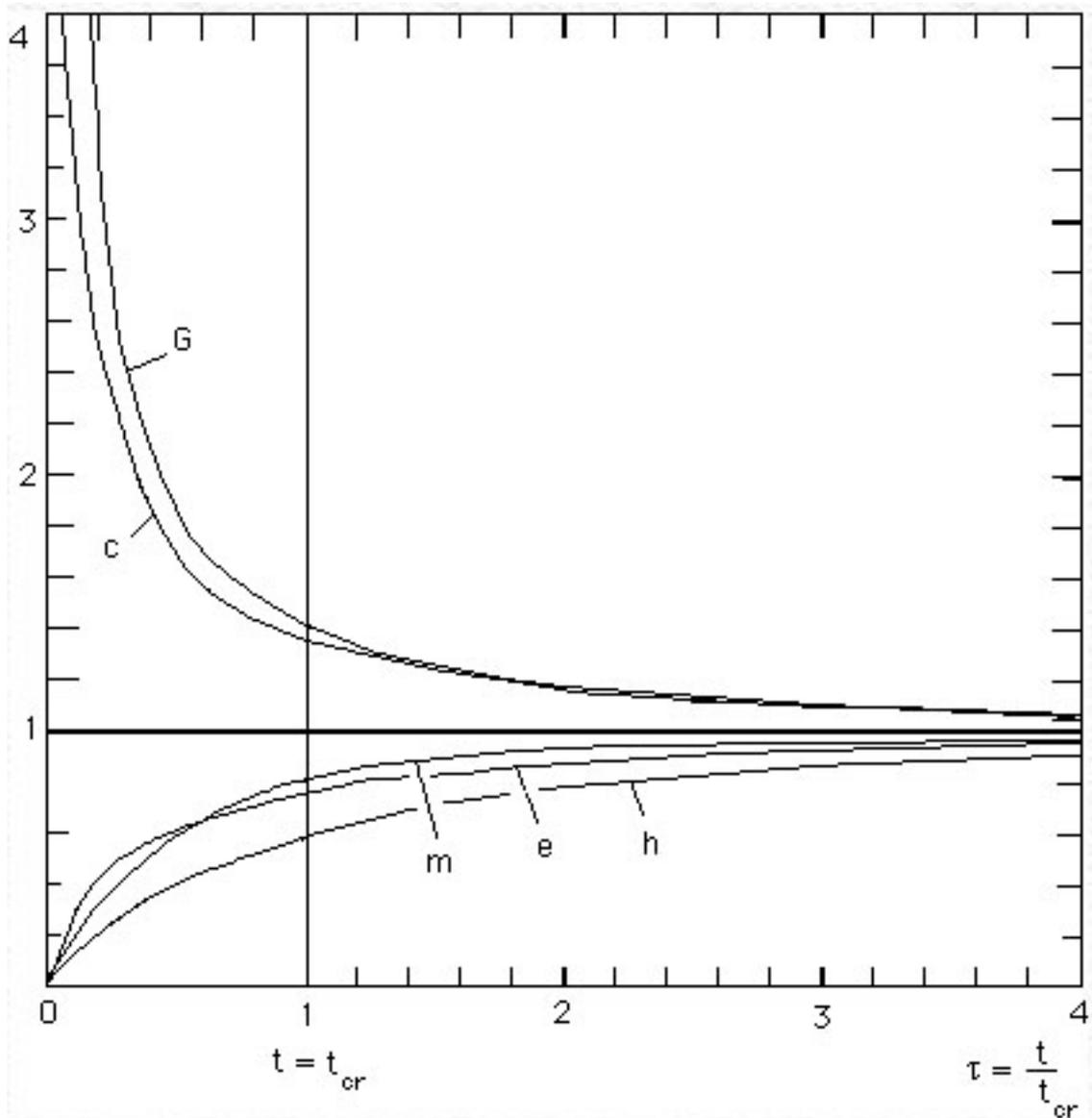
Cette approche évite les écueils qui se dressent immédiatement sur la route de ceux qui ne veulent envisager qu'une variation de la vitesse de la lumière. Alors, des tas d'ennuis surgissent. Dans l'espace temps, l'action du « groupe de Lorentz » représente « des rotations à quatre dimensions ». Si on ne fait pas varier toutes les constantes, ces rotations deviennent impossibles.

Personnellement je limite cette dérive des constantes de la physique à l'ère radiative, aux deux ères radiatives des deux populations constituant la soupe cosmique primitive.

Ci-après la façon dont ces constantes évoluent :

⁶ J.P.PETIT : Cosmological model with variable velocity of light. *Modern Phys Letters A3*, 1988, pp. 1527 et : J.P.PETIT, *Mod. Phys. Lett. A4* (1989) 2201

⁷ J.P.PETIT, *Twin Universe Cosmology, Astrophys. and Sp. Science*, **226**, 273-307, 1995



Quand on se rapproche de « l'instant zéro » la vitesse de la lumière s'envole vers l'infini. Cela résout le paradoxe de l'extrême uniformité de l'univers primitif. Si on désigne par la lettre R la dimension caractéristique de l'univers, la vitesse de la lumière suit la loi :

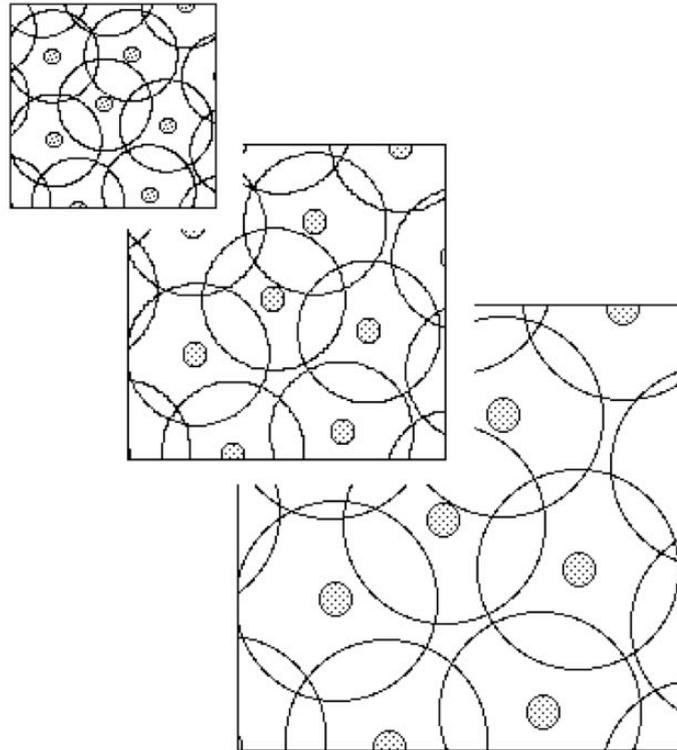
$$c \sim \frac{1}{\sqrt{R}}$$

L'horizon cosmologique, au passage, c'est plus ct , mais se calcule par une intégrale, et on trouve :

$$\text{horizon cosmologique} = \int_0^{t_h} c(\tau) d\tau = R(t)$$

ce qui assure l'homogénéité du cosmos à toutes les époques. Plus besoin d'invoquer l'action des inflatons, et la théorie de l'inflation cosmique. L'image ci-après évoque un

univers en expansion où l'horizon (signant la propagation d'une onde électromagnétique) s'accroît de concert avec la distance qui sépare les particules.



Le temps, c'est quoi ?

Vous avez sans doute lu une collection d'articles où on parle d'époques surréalistes où le temps est censé correspondre à dix moins quelque chose, l'exposant atteignant quatre trois, au « temps de Planck ».

Or, ce temps, comment pourrait-on le mesurer ?

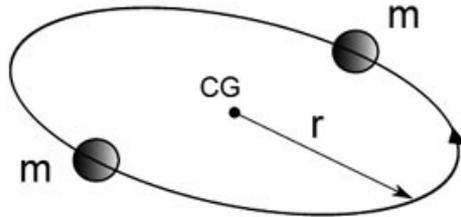
Quand on remonte l'histoire de l'Univers, on décrit un gaz qui s'échauffe. On qui dit température dit vitesse d'agitation thermique des composants. Or il arrive un moment où ces vitesses s'approchent de plus en plus de celle de la lumière. Que se passe-t-il alors ?

Imaginez que vous suiviez une des particules dans son mouvement⁸, votre vitesse croit jusqu'à devenir relativiste. Selon les lois de la Relativité Restreinte le mouvement de la trotteuse de votre montre-bracelet se ralentit. Quand votre vitesse atteint pratiquement c celle-ci s'immobilise carrément. On pourrait dire que quand la température d'un fluide dépasse une certaine valeur et que, corrélativement, la vitesse d'agitation de ses molécules atteint la vitesse de la lumière « le temps gèle dans les chronomètres ».

⁸ Ce qu'avait fait Albert Einstein quand il a conçu sa théorie de la relativité Restreinte

Bref, dans ce cosmos hyper-chaud quel sens donner à un temps qu'on est incapable de mesurer, faute de pouvoir envisager, ne serait-ce que conceptuellement, un quelconque instrument de mesure ?

Dans mon modèle « à constantes variables » les choses deviennent différentes. On peut envisager une « horloge élémentaire » constitué par un couple de particules qui orbitent autour de leur centre de gravité commun



Qu'est-ce qu'une mesure de temps, en règle générale ?

Ca n'est rien autre qu'un angle.

Une heure, c'est le temps qui s'écoule quand la grande aiguille de votre montre bracelet tourne de 360° . Une année c'est une rotation de la Terre autour du Soleil. Eh bien nous déciderons de concentrer cette idée de temps sur le nombre de tours faits par notre horloge élémentaire. Je l'ai donc calculé, dès 1989, depuis le Big Bang jusqu'à l'époque actuelle. Et là une surprise énorme est apparue. Cette horloge a fait un nombre infini de tours !

Du grain à moudre pour les philosophes et une version moderne du paradoxe de Zénon.

Ainsi, quand on remonte le temps, « plus on s'approche de l'instant origine, plus la trotteuse de la montre s'emballe ». Donc ... y a-t-il une origine à toute cette histoire ?

En feuilletant à rebours « le grand livre de l'univers⁹ » on cherche à atteindre la première page où l'auteur de l'ouvrage, dans une préface, aurait consigné ses intentions. Mais, alors que le livre est d'épaisseur finie, quand on se rapproche de cette fichue première page, les pages de deviennent de plus en plus fines.

Un livre d'épaisseur finie, mais avec un nombre de pages infinies....

Physiquement parlant cela signifierait qu'entre un passé déjà assez reculé et le prétendu « instant zéro » se situeraient un nombre infini d'évènements élémentaires.

Une idée passée totalement inaperçue.

Revenons à cette solution instationnaire. A partir d'un Big Bang les deux populations entrent en expansion. Mais ce processus s'avère instable, une des populations prenant le pas sur l'autre. Chacun possède son propre jeu de « constantes variables ». A cela il faut

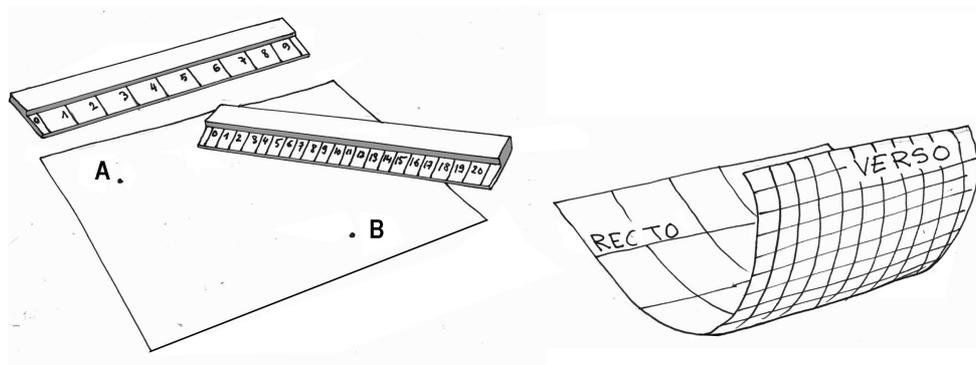
⁹ Comme l'appelle Andréi Sakharov dans son discours de réception de prix Nobel de 1995

ajouter des « jauges d'espace », ou « mesures des distances », qui diffèrent. Comme ces variations s'effectuent selon

$$R c^2 = Cst$$

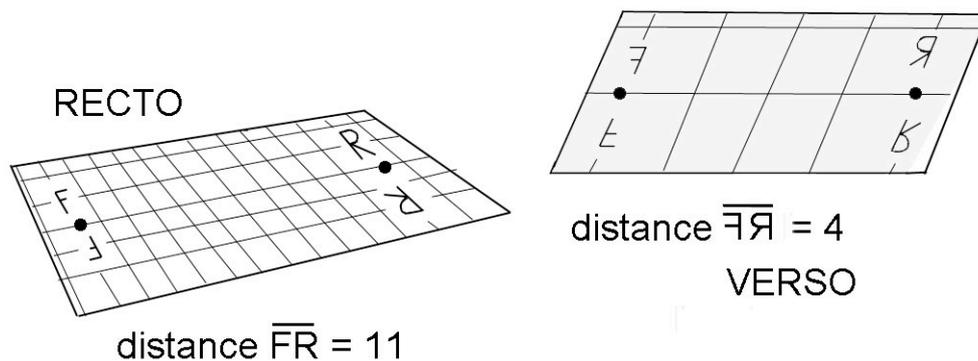
L'expansion est plus prononcée dans une des populations (notre secteur d'univers), à laquelle on confèrera, arbitrairement, un signe « plus ».

Ici intervient ce qui est le plus difficile à envisager : qu'entre deux points de l'espace il puisse exister deux distances différentes. On peut essayer de suggérer cela en imaginant doter une surface de deux quadrillages, l'un inscrit sur le recto et l'autre sur le verso. Faisons deux trous avec une épingle, matérialisant deux points distants F et R. On peut imaginer qu'on puisse mesurer différemment la distance qui les sépare, selon qu'on se réfère au quadrillage figurant sur le recto ou sur celui figurant sur le verso.



Deux opérations métriques différentes

Dans l'image ci-après nous reprenons cette idée en faisant en sorte que les longueurs entre deux points (ici R et F) soient bien apparentes. Au passage les lettres R et F se trouvent inversées, ce qui évoque l'idée que ces deux faces sont *énantiomorphes*.



En se fondant sur la relation invoquée ci-dessus on voit que si on envisage de cheminer sur le « verso » de l'univers, après avoir « inversé sa masse » on a une distance plus courte et une vitesse limite plus importante, aspect qui remet en question l'impossibilité de réaliser des voyages interstellaire, en invoquant des temps de voyage excessifs.

Lorsque les pressions, dans les deux secteurs, descendent au dessous d'un certain seuil et qu'en même temps (comme c'est le cas dans le schéma classique) l'énergie matière se trouve se présenter principalement sous forme de matière et plus de rayonnements (en mettant ces mots cette fois au pluriel) les jeux de constantes se stabilisent. Comme ce phénomène n'intervient que durant l'ère radiative et que celle-ci échappe à l'observation ce phénomène de variation des constantes ne peut pas non plus être mis en évidence observationnellement.

On a alors deux « univers de poussière » qui évoluent conjointement. On dispose alors de solutions exactes. L'univers des masses positives obéit alors à une équation trouvée par mon ami le mathématicien anglais William Bonnor, récemment décédé¹⁰.



W.B.Bonnor 1920 – 2015

Donnons cette solution, qui se présente sous une forme paramétrique, que nous citons pour mémoire :

$$R^{(+)} = \alpha^2 ch^2u$$

$$t^{(+)} = \alpha^2 \left(1 + \frac{sh2u}{2} + u \right)$$

L'univers des masses négatives, par contre, décélère et suit un des modèles de Friedmann.

On voit que notre perception de la mécanique cosmique échappe de plus en plus à l'intuition et se trouve gérée par des jeux d'équations échappant à toute schématisation sous forme d'images mentales.

¹⁰ Bonnor W.B. Negative Mass and General Relativity. Review of Modern Physics. **21**(11) (1989)

On compare alors ce modèle aux données issues des 740 supernovae et on obtient ceci :

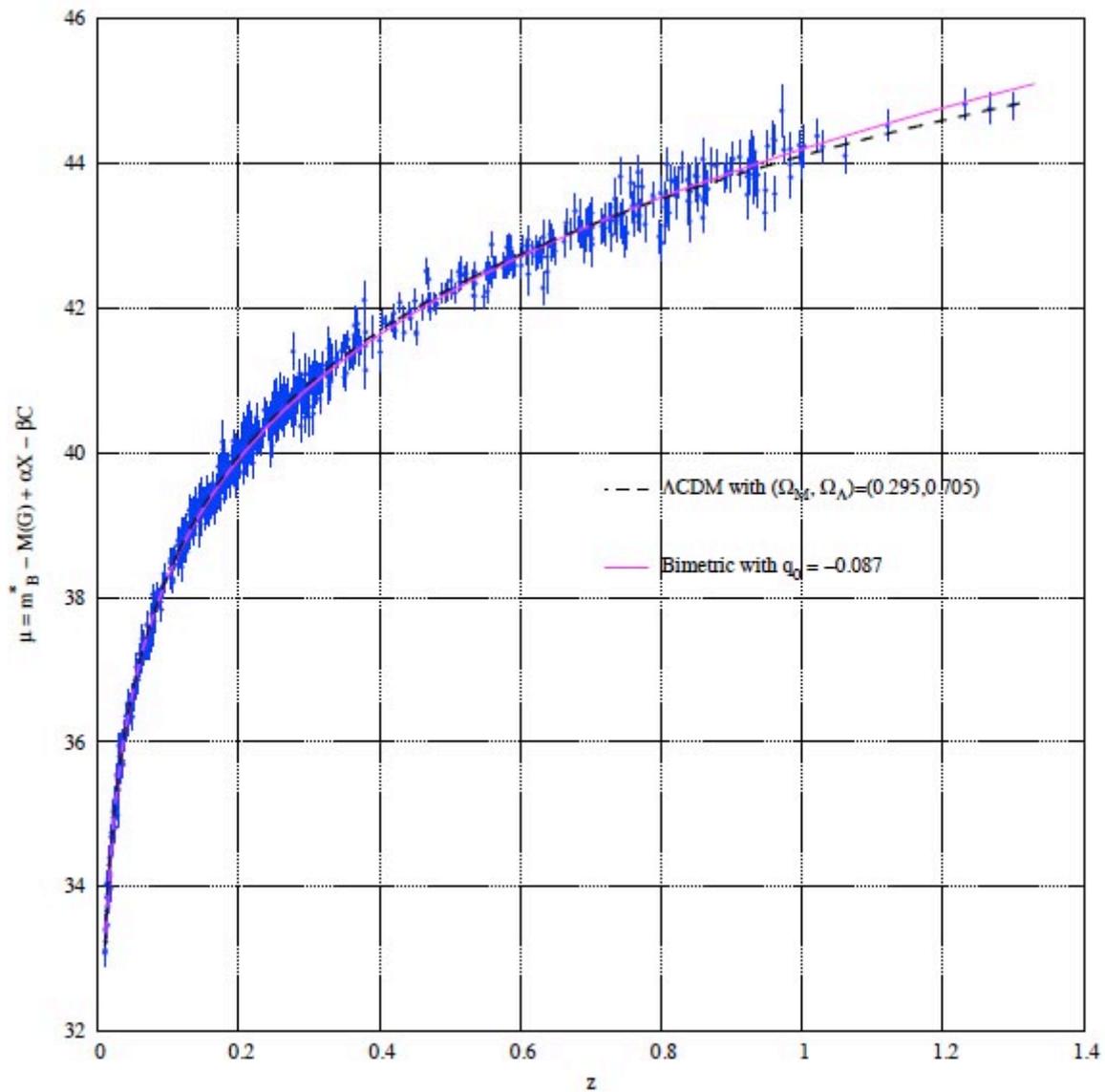


FIG. 5. Hubble diagram compared with the 2 models (linear redshift scale)

Comparaison entre les données observationnelles, le modèle Janus (courbe noire) et le modèle Λ CDM (courbe pointillée)

La courbe (en rouge) se superpose pratiquement à celle issue du modèle Λ CDM (ligne tiretée), lequel, à différence de la solution exacte du modèle Janus requiert un ajustement ad hoc de nombreux paramètres libres.

La réponse à la question de l'absence avérée d'antimatière primordiale.

Ce modèle théorique prévoit qu'il y a deux espèces d'antimatières.

- L'antimatière de masse positive, celle qu'on observe dans les laboratoires.

- L'antimatière de masse négative.

En effet la théorie des groupes dynamiques prévoit que cette dualité matière-antimatière est également présente dans le secteur négatif.

Actuellement la seule théorie qui tend à expliquer pourquoi on n'observe pas d'antimatière primordiale dans l'univers repose sur une idée du Russe Andréi Sakharov.



A. Sakharov 1921 - 1989

Le modèle standard prescrit que la matière se forme à partir de quarks et l'antimatière à partir d'antiquarks. On observe, expérimentalement, une dissymétrie entre les phénomènes mettant en jeu de la matière et « l'image en miroir de ces mécanismes, mettant en jeu des particules d'antimatière ». Ceci a amené Andrei Sakharov à envisager que les synthèses des particules de matière à partir des quarks auraient été plus rapides que celles des particules d'antimatière à partir des antiquarks. Quand la baisse de température de la soupe cosmique atteint un certain seuil les synthèses de particules dotées d'une masse, à partir de photons, ne parviennent plus à compenser les annihilations, et la composition de l'univers change drastiquement. L'énergie-matière se trouve convertie principalement sous forme de photons (qui après refroidissement constitueront le fond de rayonnement diffus à 3°Kelvin). Sakharov, se fondant sur cette dissymétrie, imagine que notre univers, qui contient une majorité de photons issus des annihilations, plus un infime reliquat de matière, contiendrait un reliquat correspondant d'anti-quarks à l'état libre (dans un rapport 1 à 3, puisqu'il faut 3 quarks pour constituer un baryon et 3 antiquarks pour créer un antibaryon).

Il postule en outre la coexistence d'un « univers jumeau » qui aurait présenté une dissymétrie inverse, et qui contiendrait au contraire un excès d'antimatière et un excès de quarks à l'état libre.

Le lien avec la théorie d'Andréi Sakharov, des « univers jumeaux ».

Le Russe avait proposé ce modèle en 1967. Dans ce que nous proposons, cet « univers jumeau » n'est que ce « secteur des masses négatives ». Mais Sakharov dotait ce second univers d'une flèche du temps opposée, antiparallèle¹¹.

Ceci cadre avec le modèle, si on invoque les groupes dynamiques et le théorème de Souriau, comme quoi l'inversion de la coordonnées temporelle est synonyme d'inversion de la masse et de l'énergie. Voir dans son ouvrage

Structure des systèmes dynamiques (1970)¹², Dunod éditeur, chapitre III, page 98 équation (14.67)

On dans l'édition anglaise « Structure of dynamical systems », Birkhauser Ed, 1997, Ch. III page 90, equation (14.67).

Cette inversion du temps a quelque chose de très déconcertant. Les particules qui se situent dans ce secteur négatif vivent-elles à « rebrousse-temps » ?

C'est une question de nature philosophique. Il n'y a pas de réalité cosmique sans observateur, constitué d'un type de matière, laquelle fixe la direction de la flèche du temps. Dans ce modèle les seuls êtres conscients, capables à la fois de participer au jeu cosmique et d'en être conscients sont des êtres constitués par des particules de masse positive. Cette question d'observation de particules « rétrochrones » perd alors son sens. Il est plus satisfaisant pour l'esprit, au lieu d'imaginer qu'on est face à des particules de masse m qui remontent le temps, de les voir comme des particules diachrones, de masse $-m$ et d'énergie $-m c^2$

Des travaux additionnels, que nous évoquerons dans une autre présentation, conduisent à une configuration PT-symétrique, et même CPT-symétrique de ce secteur négatif. Ceci permet d'éclairer l'idée de Feynman, assimilant les mouvements PT-symétriques de particules à ceux de particules d'antimatière. Il faut ajouter que ces particules ont alors des masses négatives.

La PT-symétrie d'une particule est l'antiparticule du secteur négatif.

Le problème du « théorème CPT ».

Ceci nous renvoie à la théorie quantique des champs et à l'ouvrage de base exposant cette théorie. On notera que celle-ci exclut, arbitrairement, la possibilité d'existence d'états d'énergie négative

¹¹ Ignorant ses travaux, j'avais moi-même proposé cette idée :
J.P.Petit Univers énantiomorphes à flèches du temps opposées. Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, CRAS 1977, math,t.284,pp.1217-1221

¹² Dunod Editeur. Téléchargeable sur le site de Jean-Marie Souriau.
<http://www.jmsouriau.com/Publications/JMSouriau-SSD-Ch3.pdf>,
page 198, équation (14.67)

S.Weinberg, un des fondateurs de la théorie quantique des champs, exclut d'emblée ces état d'énergie négative¹³. Dans son ouvrage, véritable Bible dans le domaine¹⁴.

La seule justification à un tel a priori est une justification donnée à postériori, en arguant du fait que la nécessité de décrire de tels états ne s'est jamais imposée. Or les choses ont changé depuis la découverte du phénomène de l'accélération cosmique. Celle-ci implique l'action d'une *pression négative*. Or, attendu qu'une pression est avant tout une densité volumique d'énergie, ce point de vue restrictif devra être reconsidéré.

Passons maintenant à l'exploitation du modèle dans ses aspects non relativistes, émergeant de son approximation newtonienne.

Structure à grande échelle de l'univers

On dispose maintenant d'un véritable modèle qui peut faire l'objet de simulations numériques 3D. Nous ne pouvons présenter que des simulations 2D, effectuées en 1992 et publiées en 1995¹⁵, avec 5000 points-masses positives et 5000 points-masses négatives.

A l'issue des deux phases radiatives les deux entités cosmiques émergent avec des densités différentes, celle régnant dans le secteur négatif étant plus importante. L'instabilité gravitationnelle peut alors jouer son rôle. En fait un mécanisme « d'instabilités gravitationnelles conjointes », dont nous avons établi les équations, similaires à la célèbre équation de Jeans. Les temps d'accrétion diffèrent :

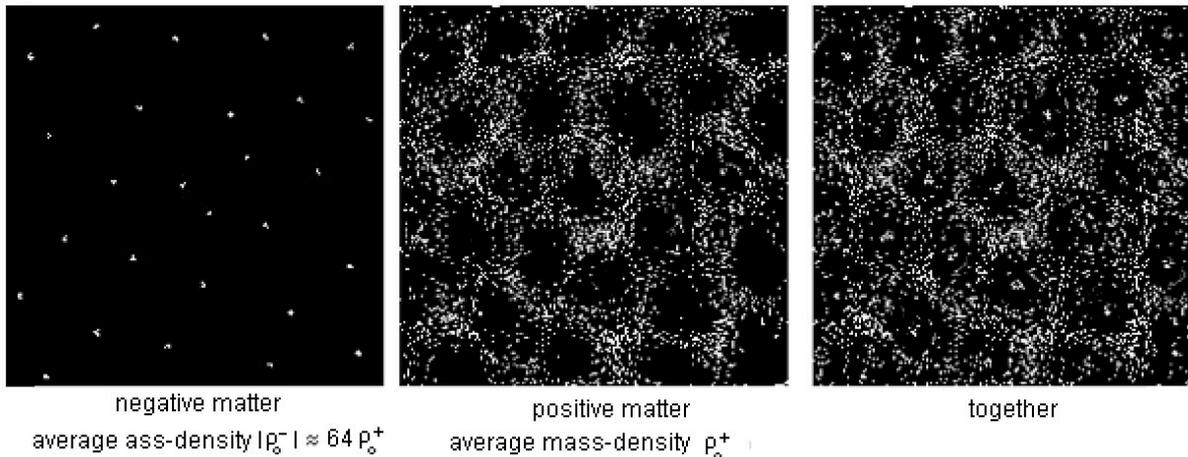
$$\rho^{(-)} \gg \rho^{(+)} \quad \rightarrow \quad t_J^{(-)} = \frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho^{(-)}}} \ll t_J^{(+)} = \frac{1}{\sqrt{4\pi G \rho^{(+)}}}$$

C'est donc la matière de masse négative qui forme les premiers « conglomerats », qui se constituent en un réseau régulier, en repoussant la masse positive dans l'espace interstitiel.

¹³ En optant pour un opérateur d'inversion de temps qui soit *anti-unitaire* et *anti-linéaire*, alors qu'un opérateur *linéaire* et *unitaire* lierait inversion du temps et inversion de l'énergie.

¹⁴ Cambridge University Press, édition 2005 : The Quantum Theory of Fields, pages 75-76

¹⁵ J.P.Petit : Astrophysics and Space Science. Twin Universe Cosmology. , **226**, 273-307, 1995



Ces simulations ont été faites en 1992 par Frédéric Decamps, qui était alors étudiant, sur le puissant ordinateur du centre allemand DAISY, situé à Hambourg, à l'insu de la direction du laboratoire. A l'époque seul un gros système pouvait faire ce genre de travail, alors qu'aujourd'hui c'est à la portée de simple PC. Ce résultat a pu être publié en 1995 dans *Astrophysics and Space Science*.

Une telle approche a-t-elle pu être poursuivie avec des moyens de calcul conséquents ? La réponse est non, car je n'ai jamais eu accès à ces outils de recherche. L'observatoire de Marseille, où j'étais affecté, fut bien doté au fil des années d'un système (GRAPE) permettant de procéder à des simulations de plus en plus sophistiquées. Mais je ne pus y avoir accès, ces moyens étant entièrement focalisés sur la détermination du profil des halos de matière noire dans les galaxies, qui permettent de reconstituer leurs courbes de rotations (A.Bosma) et sur des tentatives (infructueuses) de simulation de la structure spirale galactique (L.Athanassoula).

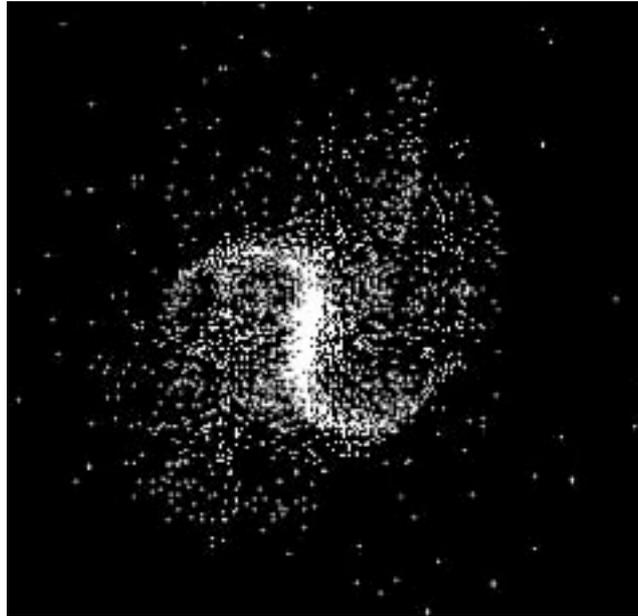
Faute d'avoir accès à des moyens de calculs appropriés je me suis donc consacré, dans les décennies suivantes, à l'étude du contexte purement théorique et mathématique du modèle Janus.

Pendant 35 ans je n'ai également jamais pu présenter mes travaux dans un colloque international, faute de crédits de mission. En 2000, j'ai pu le faire dans un colloque qui se tint à Marseille. Mais l'approche ne suscita aucun intérêt, les chercheurs étant entièrement concentrés sur le thème de la matière noire. Pendant le colloque, avant une séance, je disposais sur les tables des congressistes (un pour chacun des soixante-dix participants) un mémoire de 70 pages où je présentais mon travail, en ajoutant que j'étais ouvert à toute collaboration. Aucun écho.

Aujourd'hui, en 2016, 25 années après ces premiers essais (qui furent par la suite repris, sur de simples PC) ce problème reste entièrement vierge et je serais très heureux que des chercheurs disposant de moyens de calculs suffisants proposaient une collaboration.

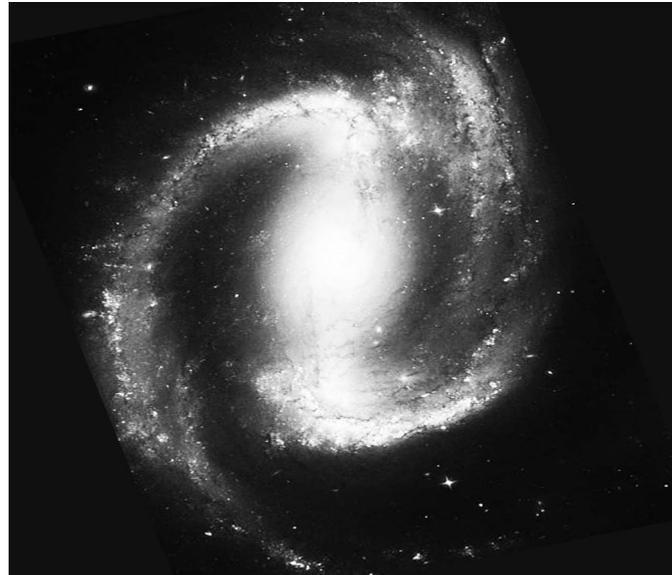
Après ce premier succès concernant la structure à grande échelle, pendant les quelques semaines pendant lesquelles le jeune Frédéric Decamps pu utiliser la machine, à l'insu de sa hiérarchie, la tentation était forte d'étudier l'interaction d'une « galaxie 2D » tournant à l'intérieur d'un environnement de masses négatives, assurant son confinement.

Immédiatement apparut une splendide galaxie barrée qui perdurait pendant des dizaines de tours.



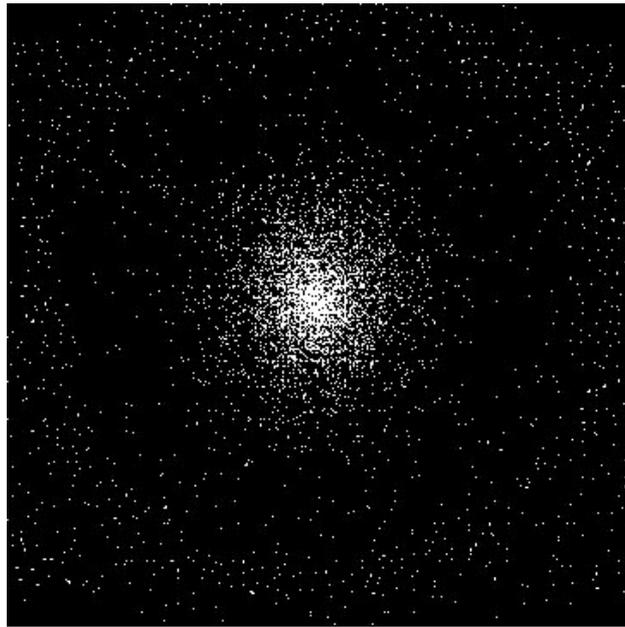
Simulation 2D d'une galaxie barrée, 1992.

A comparer avec l'image (redressée) de la galaxie NGC1300 (télescope spatial Hubble)



Galaxie spirale barrée NGC 1300 (redressée)

Ci-après les conditions initiales du calcul, fondées sur une solution exacte d'un système de deux équations de Vlasov 2D, couplées (le succès de cette simulation vient peut être de ce point de départ, tenant compte du caractère non collisionnel des points-masses dans une galaxie.



Conditions initiales

Je dois dire que toutes les tentatives que j'ai pu faire, dans les années qui suivirent pour publier ce résultat-là dans une revue se sont soldées par la même réponse, en coupé-collé :

- *Sorry, we don't publish speculative works*

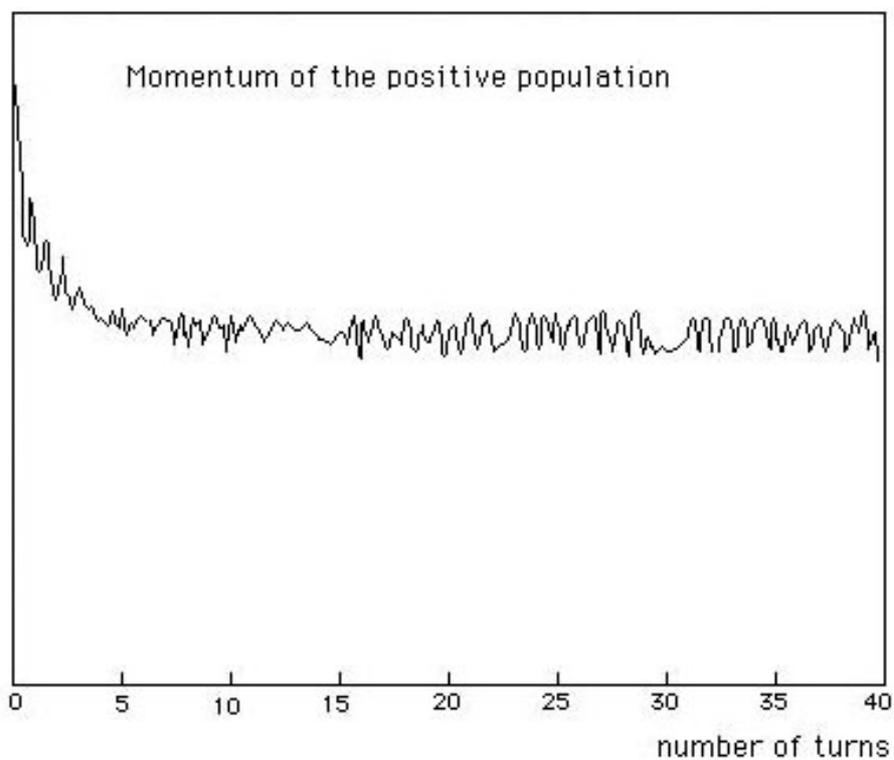
Un tel accueil, décourageant peut avoir deux explications.

- Soit les idées, celle d'introduire des masses négatives dans un modèle, ayant subi la condamnation proférée par Herman Bondi dans son papier de 1957, plus celle de fonder ce phénomène sur le recours à un contexte mathématico-géométrique autre que celui de l'équation d'Einstein, ne passaient pas (et c'est toujours le cas)
- Soit aucun système existant ne permettait l'introduction de masses négatives dans les simulations, ceci n'ayant pas été prévu dans la programmation.

Cette galaxie-là ne perdait pas ses bras, du fait de la barrière de potentiel que représentait, à sa périphérie, la présence de masse négative, la repoussant. La structure apparaissait avec la plus grande facilité, et perdurait pendant des milliards d'années. Ce calcul apportait donc une réponse concernant ces formations et leur permanence. Ce n'étaient donc pas des structures transitoires (transient). Elles résultaient de la friction dynamique de la galaxie avec son environnement, et on pourrait dire que l'image didactique qui vient à l'esprit serait celle de la spirale de crème apparaissant à la surface d'une tasse de café.



La barre centrale résulte du phénomène de résonance bien connu. La courbe ci-après représente l'évolution du moment cinétique en fonction du nombre de tours.

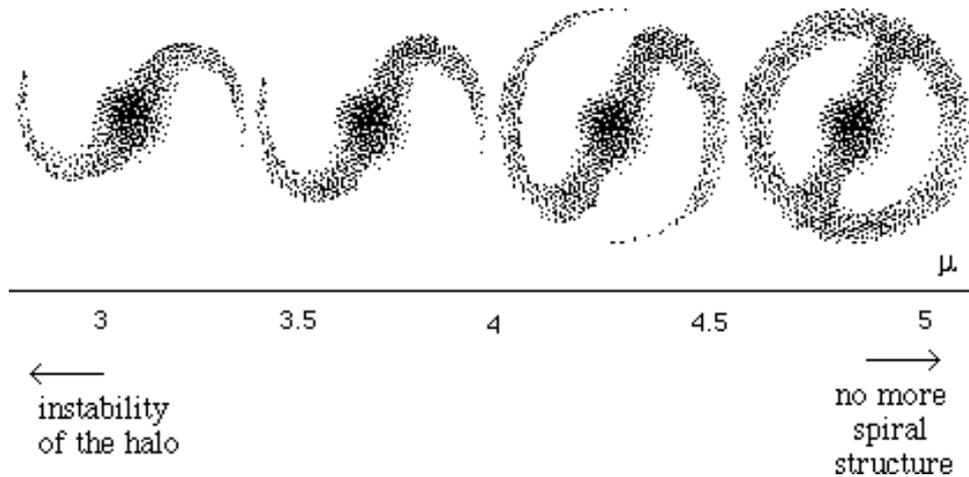


de

Evolution du moment cinétique de la galaxie

On constate un freinage assez important dans les quelques premiers tours, au moment où la structure se forme. Puis celui devient pratiquement nul.

Pendant *les quelques semaines* où nous avons pu utiliser le gros système du centre allemand DAISY, à l'insu des responsables, il a été possible d'effectuer plusieurs simulations qui ont montré qu'en accroissant le rapport de la densité de matière négative sur celle de la matière positive la structure spirale barrée « se refermait » en donnant la classique structure en volant de voiture :



A comparer avec :



NGC 1010

Il est certain que si nous avions pu poursuivre ces travaux, en 1992, nous aurions pu obtenir des informations intéressantes sur la formation et l'évolution des galaxies. En effet, en combinant ces deux types de simulations, celle conduisant à la structure à grande échelle (VLS, very large structure) et celle gérant les galaxies, il est possible de déboucher sur un scénario de formation des premières galaxies qui résoudrait les problèmes que les théoriciens connaissent actuellement.

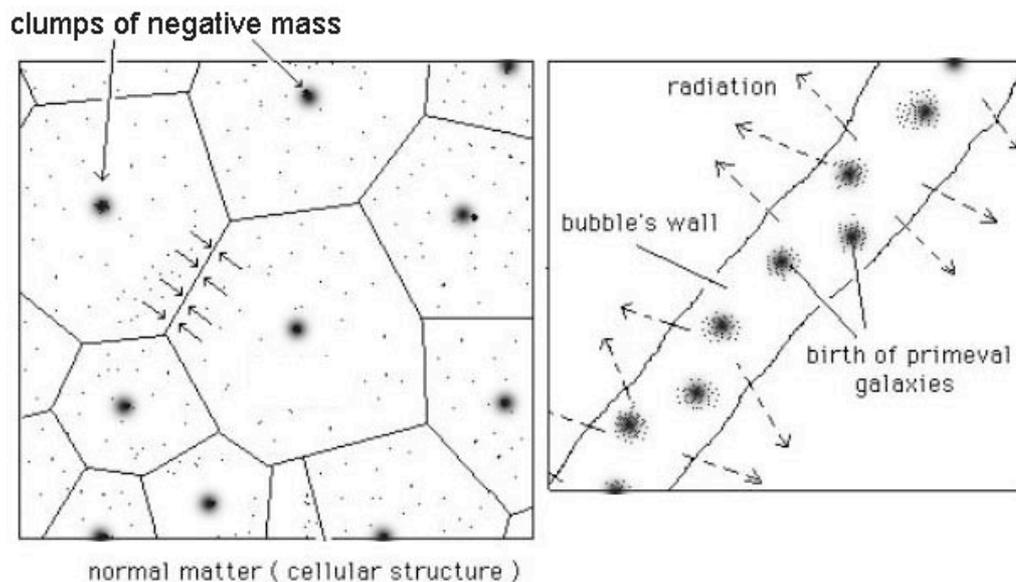
Les jeunes galaxies se forment par instabilité gravitationnelle. Or quand la matière se contracte, elle s'échauffe et cet échauffement contrarie le processus de condensation susceptible de produire des étoiles, en créant des forces de pression qui s'opposent à la force de gravité.

Nous avons dit que la masse négative était la première à produire des structures sphéroïdales, localisées au centre des grands vides de la structure lacunaire de la masse positive. Ces formations se présentent alors comme de gigantesques proto-étoiles, constituées d'hydrogène et d'hélium de masse négative. La contraction fait monter la

température à $1000-2000^{\circ}$, et les forces de pression stoppent immédiatement ce processus de condensation. Pour que celui-ci puisse se poursuivre ces formations doivent évacuer cette énergie thermique (négative) par rayonnement, en émettant des photons (d'énergie négative). Si un voyageur évoluait dans cet envers de l'univers, il distinguerait alors ces formations, émettant faiblement dans le rouge et l'infrarouge.

Toutes les proto-étoiles ont un *cooling time*, d'autant plus long que leur masse est importante. En effet la quantité de chaleur à évacuer varie comme le cube du rayon de l'objet alors que la surface du « radiateur » varie comme le carré. Ainsi ces conglomerats primitifs de matière négative peuvent être assimilés à d'immenses proto-étoiles dont le cooling time excède l'âge de l'univers et où la fusion, point de départ d'une nucléosynthèse, ne se produira pas. Ainsi ce secteur des masses négatives ne sera composé que d'hydrogène et d'hélium de masse négative. On n'y trouvera ni galaxies, ni planètes, ni vie.

Revenant sur cette question du mécanisme pouvant stimuler la naissance des galaxies il faut se dire que dès que le découplage matière-rayonnement s'est effectué dans les deux systèmes et que les conglomerats de matière négative se forme, en confinant brutalement la matière positive dans l'espace interstitiel, celle-ci se trouve comprimée et échauffée selon des plaques, ce qui constitue la configuration optimale pour opérer un refroidissement radiatif.



A gauche, les forces de pression gravitationnelle qui compriment la masse positive disposée selon des plaques. A droite, la formation des jeunes galaxies dans cette matière, ainsi déstabilisée par un intense refroidissement radiatif. Cette image est extraite d'un article que j'ai publié en 1994 dans la revue *Nuovo Cimento*, intitulé « The Missing mass effect ».

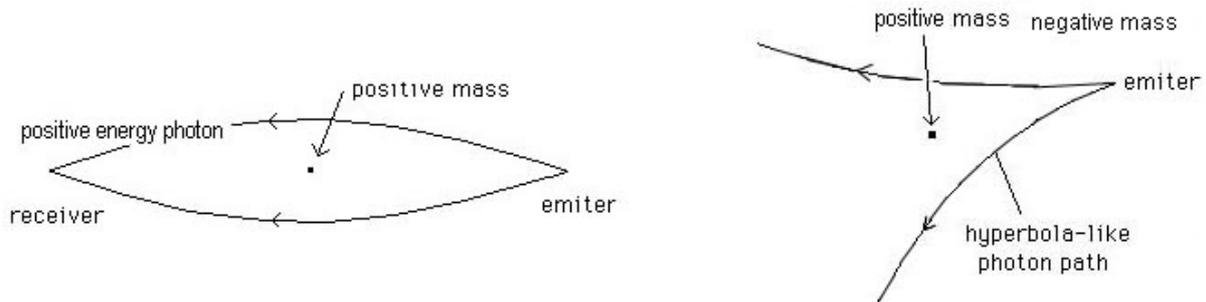
L'effet de lentille gravitationnelle négatif.

La matière positive et la matière négative se séparent par effet d'instabilités gravitationnelles conjointes, ce que confirment les simulations. Quand les jeunes

galaxies se forment, la masse négative envahit aussitôt tout espace interstitiel et celles-ci se trouvent ainsi confinées par cet environnement répulsif.

Dans le schéma classique les masses positives dévient les rayons lumineux et celles-ci provoquent un effet de lentille gravitationnelle positif.

Si des photons d'énergie positive, émis par des galaxies, rencontrent des lieux où se situent des conglomérats de masse négative, ceux-ci produiront un effet de lentille gravitationnelle négatif (présenté dans notre papier de 1995 dans *Astrophysics and Space Science*).

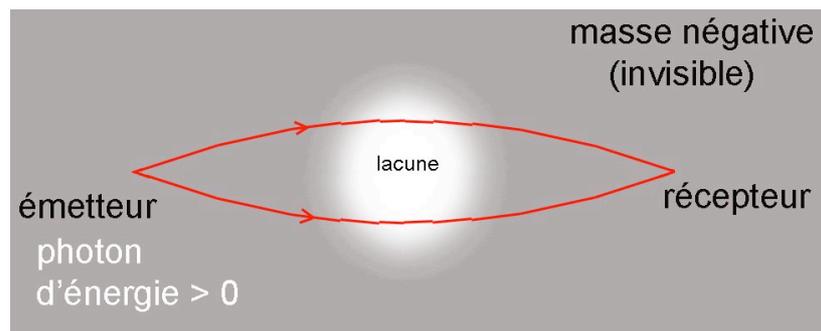


Les géodésiques correspondant aux trajectoires des photons d'énergie positive, déviés par une masse négative se calculent sans problème à partir de la métrique de Schwarzschild, en inversant tout simplement la masse m .

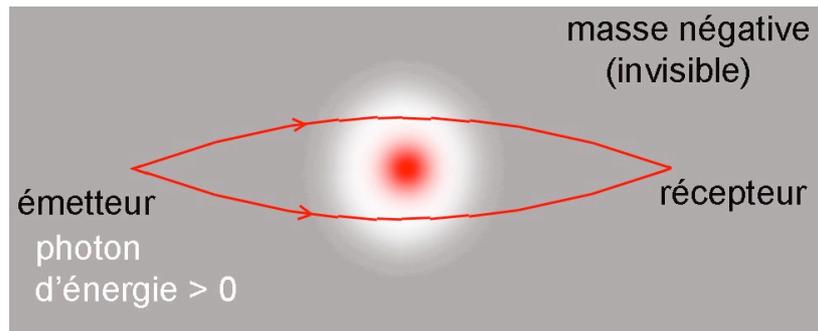
Dans l'approche mainstream on superpose à une masse m visible un halo de matière noire, de masse également positive.

Dans le modèle Janus la masse négative se situe à l'extérieur (des galaxies), lesquelles sont donc logées dans une lacune, et assure leur confinement.

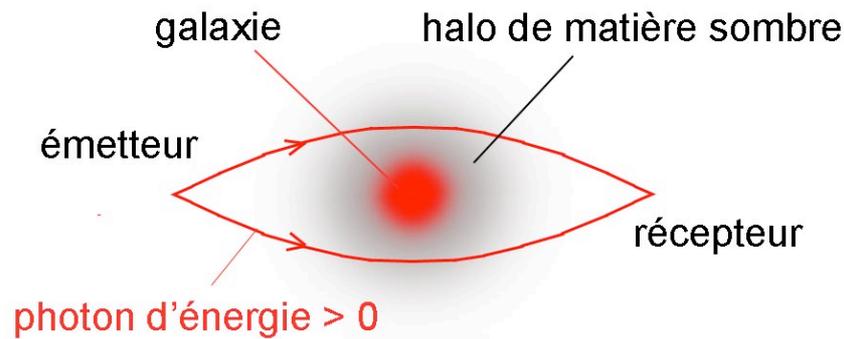
Une lacune, dans une distribution de masse négative, courbe les trajectoires des photons comme ci-après :



La contribution de la masse positive, visible (en rouge) modifiera peut ce schéma.

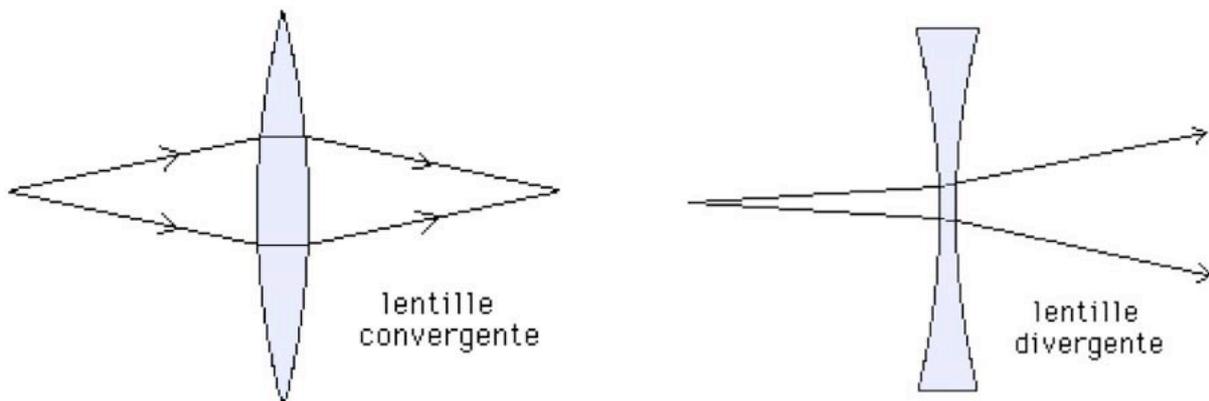


C'est une interprétation alternative des effets de lentille gravitationnelles « anormaux » observés, qui sont aujourd'hui imputée à un halo de matière sombre de masse positive :

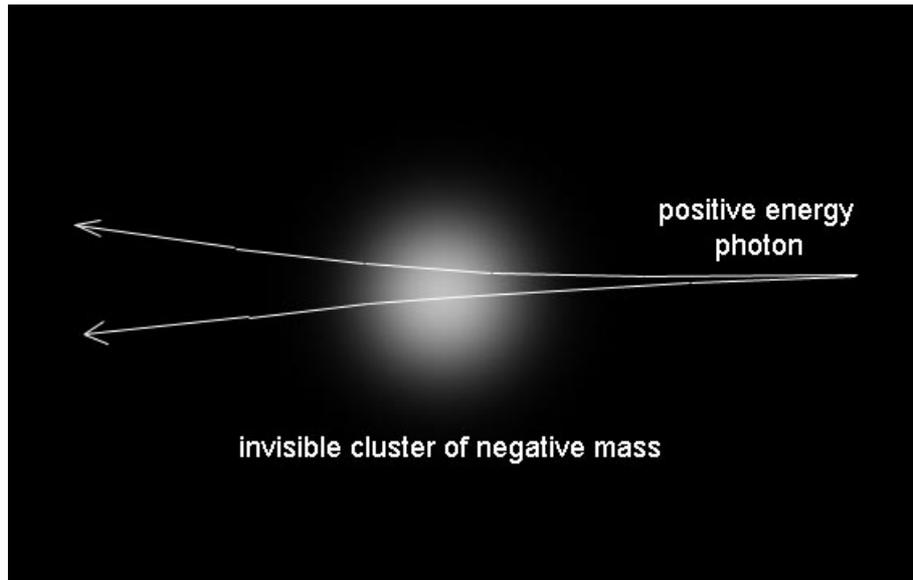


Le problème des galaxies primitives naines

Cet effet de lentille gravitationnel modifie la magnitude des objets lointains. L'effet de lentille gravitationnelle la renforce, l'effet négatif l'atténue, comme c'est le cas pour les lentilles optiques :



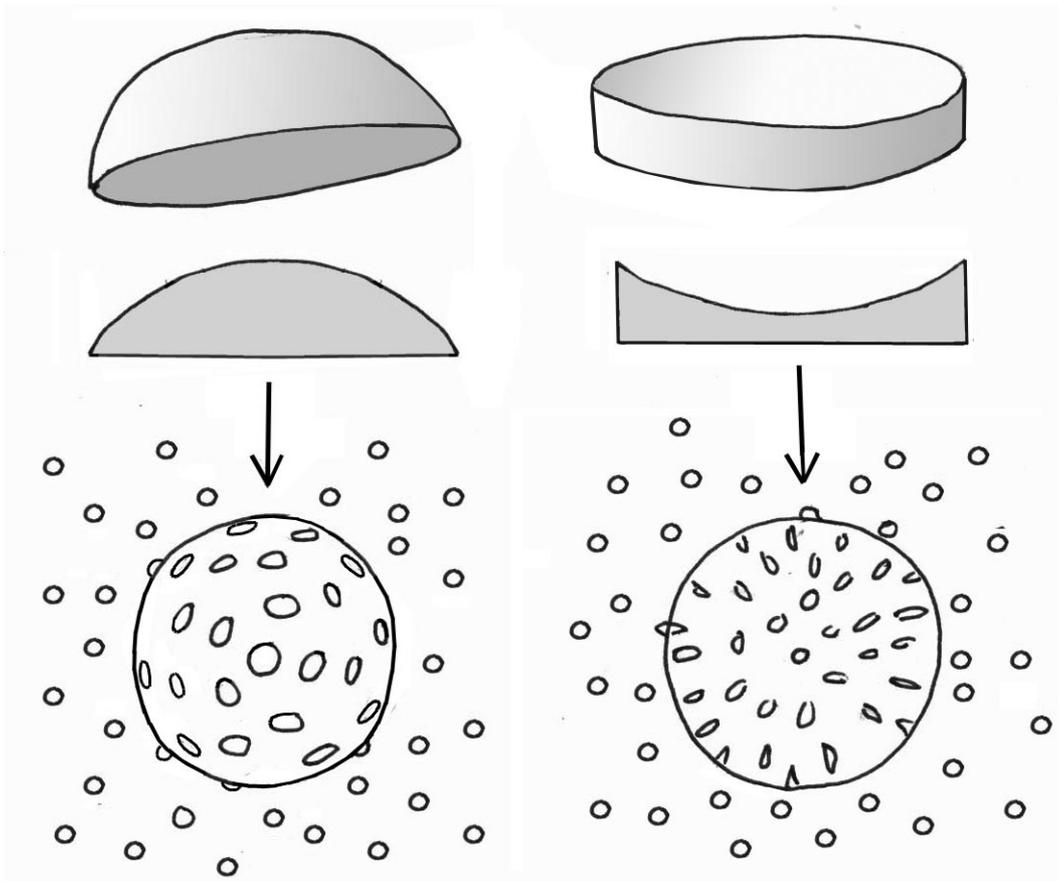
Une précision : les photons d'énergie positive sont interceptés par tout objet de masse positive. Par contre, en dehors du fait que la trajectoire de ces photons sera influencée par le champ (anti) gravitationnel créé par un objet de masse négative, en l'occurrence les conglomérats situés au centre des grands vides, ceux-ci seront traversés sans encombre.



Ainsi les objets à fort redshift verront ils leur magnitude réduite, ce qui amènera les observateur à les confondre, s'agissant des jeunes galaxies, avec des naines. Or la thèse mainstream, pour cadrer avec l'observation, consiste à penser que ce sont des galaxies naines qui se formeraient d'abord.

Réenvisager la cartographie de la matière invisible

La cartographie du cosmos repose actuellement sur l'analyse des effets de weak lensing » en mobilise d'énormes moyens. Si ce modèle prévaut, cette technique de cartographie devrait être ré envisagé. En effet ; si un effet de weak lensing positif déforme les images des galaxies en créent une ellipticité telle que le petit axe est dirigé vers la source de l'effet, si on impute celui-ci à des concentrations de masses négatives, c'est alors le grand axe qui se trouve orienté vers la source :



On peut appliquer cette technique, par ordinateur, pour décoder les images provenant des illustrations. C'est ce qui a été suggéré par une équipe japonaise¹⁶

En toute logique cette méthode devrait fournir une cartographie 3D totalement différente. Mais, si le présent modèle, qui impute alors ces distorsions à de la « matière noire négative » cette technique pourrait permettre de retrouver les conglomérats. Des structures qui sont également localisées par un scientifique israélien Tsvi Piràn

¹⁶ Izumi K. Hagiwara C. Nakajima K. Kitamura T. Asada H. Gravitational lensing by exotic lens with negative convergence or negative mass. Phys. Rev. D 88 (2013)

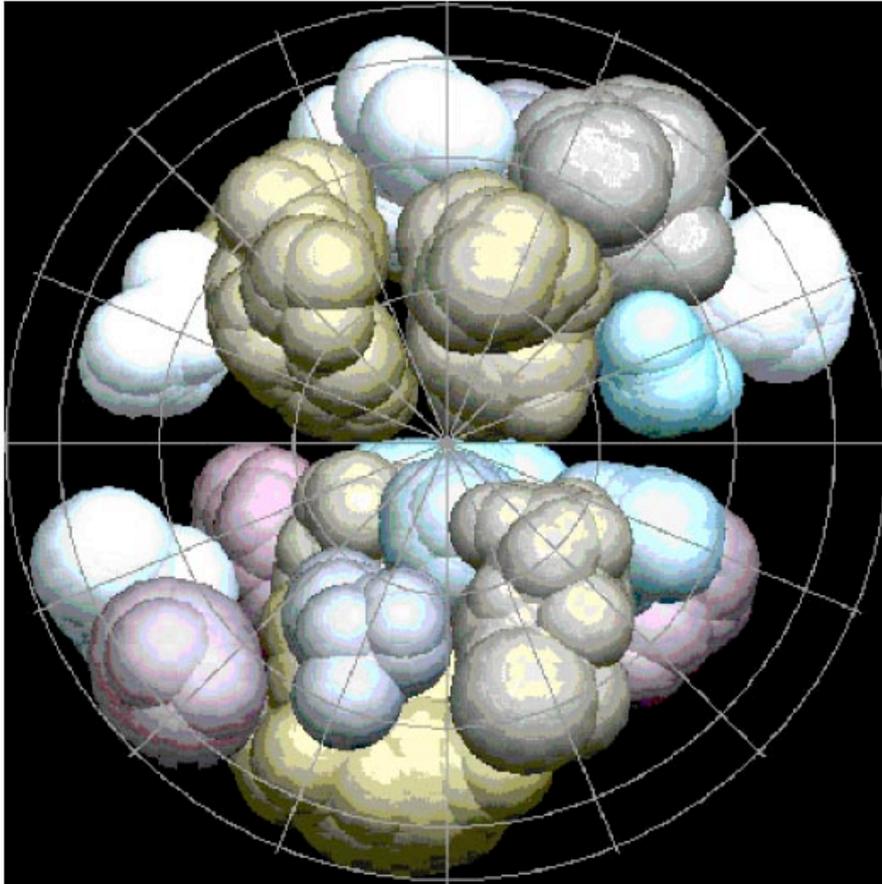


Figure 2. Three-dimensional view of the voids in the IRAS survey. The ZOA, caused by the Galaxy, runs horizontally across the image. The area at the left, near the ZOA, with no voids, corresponds to the Great Attractor. The absence of voids from the lower, right-hand part of the image, is due to the Cetus wall and the Perseus-Pisces supercluster.

Le décodage des données d'observation de la matière à très grande échelle par Tsvi Piràn¹⁷ situant les différentes bulles de cent millions d'années-lumière de diamètre.

Si une telle analyse confortait cette vision de la structuration de la matière à très grande échelle ceci constituerait un argument fort en fonction du modèle Janus.

Les implications au plan de la physique théorique.

Elle sont nombreuses et trouvent leur point de départ dans une nécessité d'étendre la théorie quantique des champs au domaine des états d'énergie négative, en considérant un opérateur d'inversion du temps qui soit linéaire et unitaire. Vaste programme.

¹⁷ El Ad & T. Piràn Monthly Notices, Astrn. Soc. **287**, 790 (1997)

La question des voyages interstellaires.

Des temps de voyage prohibitifs sont depuis longtemps un obstacle à l'idée que des exploration en direction d'autres systèmes puissent être un jour possible, et s'oppose à l'idée que notre planète ait pu être visité ou le soit actuellement.

Le travail que nous avons publié en 2014¹⁸ impose de remettre cette question sur le métier. En effet nous avons étendu le modèle Janus, non seulement à un contexte où les facteurs d'échelle soient différents, entre deux points distants, c'est à dire que les distances à couvrir soient nécessairement plus courtes quand on chemine le long de géodésiques empruntées par les masses négatives, mais on a montré que les deux vitesses de la lumière étaient différentes dans ces deux secteurs, sur le « recto » et sur le « verso » de l'hypersurface espace-temps, celle associée à versant négatif étant plus élevée.

Comme évoqué dans l'article, si une technique d'inversion de masse pouvait un jour émerger, un véhicule voyagerait alors à une vitesse automatiquement relativiste, et des temps de voyage compatibles avec la durée de vue humaine pourraient être envisagés.

Une recherche à 180 degrés par rapport au modèle mainstream actuel.

Il est clair, en considérant tout ce qui précède, que cette approche mériterait des développements très importants, en particulier à travers des simulations numériques.

Qui est impliqué dans cette recherche ?

Uniquement deux personnes : Gilles d'Agostini, mon coworker depuis vingt années et moi-même. Quant au matériel dont nous disposons : de simples PC.

En dépit des nombreux articles publiés dans des revues au plus haut niveau, depuis 1988 jusqu'aux plus récents, 2015, l'intérêt suscité par cette direction de recherche est resté totalement nul.

Il y a plusieurs raisons à cela.

Les concepts de base nécessitent de solides connaissances en mathématiques et spécialement en géométrie différentielle. L'approche proposée bouleverse aussi totalement toute la vision mainstream. Il existe par exemple actuellement des projets visant à déterminer expérimentalement la masse de l'antimatière. Si ce modèle prévaut, alors l'issue de telles expériences se résume au constat que l'antimatière observable a une masse strictement positive.

Cela vaut aussi pour toute tentative de mise en évidence des particules de « matière sombre ». Selon ce modèle ces constituants ont une masse négative et sont donc chassés par la matière, où qu'elle se trouve. Cela vaut pour les galaxies, et a fortiori pour le voisinage du système solaire.

¹⁸ J.P.Petit et G.D'Agostini : Cosmological bimetric model of interacting positive and negative masses and two different speeds of light, in agreement with the observed acceleration in the universe. Mod. Phys. Lett. A Vol 29 n° 34, 2014

Par ailleurs la mise en évidence de particules de masse et d'énergie négative ne pourrait être envisagé à travers des interactions de type électromagnétique. Et, quand bien même un phénomène à découvrir permettrait cette détection, les appareillages devraient être installé ... entre les galaxies.

Une telle prédiction met en mauvaise posture tous les chasseurs d'exoparticules. Si notre vision prévaut, alors tous les travaux sur la structure à grande échelle de l'univers, sur la structure spirale, sur l'histoire même de l'univers se trouveront mis à mal.

Jean-Pierre Petit, septembre 2016