

Le modèle cosmologique Janus : une réponse à la crise profonde de la cosmologie d'aujourd'hui.

J.P.Petit¹, G.d'Agostini² Nathalie Debergh³

Manaty Research Group

Keywords : Negative energy, negative mass, dark matter, dark energy, Janus cosmological model.

Résumé : Après avoir évoqué la crise profonde que connaissent la cosmologie et la physique, nous examinons les différentes tentatives d'introduction de masses négatives dans le modèle cosmologique. Seul le modèle cosmologique de Janus présente à la fois une cohérence mathématique et physique, ainsi que de nombreuses confirmations observationnelles. Se présentant comme une extension géométrique de la relativité générale, il représente une solution possible à la crise de la cosmologie.

1 - Introduction :

La physique et la cosmologie sont en complète crise depuis 1970. En 2006, le physicien Lee Smolin publie un livre intitulé "Rien ne va plus en Physique" [1] ; la même année, Peter Woit publie "Même pas fausse !" [2]. Entre 1900 et 1970, la physique théorique, la physique expérimentale et les techniques d'observation ont progressé main dans la main. Parfois, l'expérience ou l'observation soulevait une question à laquelle les théoriciens répondaient ensuite, éventuellement en introduisant un profond changement de paradigme dans notre façon de concevoir l'espace, le temps, la matière, l'univers. Parfois, les modèles théoriques ont devancé l'observation, comme ce fut le cas avec la prédiction de l'existence de l'antimatière par Dirac. A travers une anecdote, nous pouvons évoquer le fait que les avancées théoriques étaient parfois reçues avec ironie. Ainsi Niels Bohr avait dit, après cette annonce faite par Dirac, que "cette théorie était bonne pour capturer les éléphants". Et il expliquait : "La théorie de Dirac est accrochée à un arbre en Afrique. Les éléphants la lisent et sont tellement sidérés qu'ils peuvent être facilement capturés".

Dans les années soixante, la cosmologie, où un large consensus s'était dégagé, qui se traduisait par l'idée que la constante cosmologique devait être soit nulle soit négligeable, se réduisait pratiquement à la mesure de la densité de l'univers, en la comparant à une densité critique de 10-29 grammes par centimètre cube. Selon les cas, on choisissait l'un des trois modèles dérivés des solutions de Friedmann

La théorie des quarks avait permis l'émergence d'un modèle standard dont on admirait l'élégance et la cohérence. La physique des particules a ajouté de nouveaux

1 Jean-pierre.petit@manaty.net

2 gilles.dagostini@manaty.net

3 Nathalie.Debergh@manaty.net

membres au bestiaire avec la supersymétrie mais, tout à coup, la Nature refusa de confirmer ces prédictions. Les nouvelles superparticules n'apparaissent pas. La crise s'est étendue à la cosmologie et à l'astrophysique. La dynamique des galaxies et les forts effets de lentille gravitationnelle observés ne pouvaient plus fonctionner avec de la matière visible. On dut conjecturer l'existence d'une autre, de nature inconnue, à laquelle on donna le mot matière noire. Mais pour l'instant, ce n'est qu'un nom, qui cache notre ignorance. Pour expliquer l'extraordinaire homogénéité de l'univers primitif, on a considéré que l'univers aurait pu connaître une phase d'expansion extrêmement brutale, sous l'effet du champ, immédiatement associée à une nouvelle particule : l'inflaton. Mais il existe aujourd'hui autant de modèles d'inflatons que de chercheurs travaillant sur ce sujet.

Comme si ce problème ne suffisait pas, la mise en évidence de l'accélération de l'expansion cosmique imposait de considérer une nouvelle forme d'énergie, noire elle aussi.

Les années passent. Toutes les tentatives pour identifier ces composants, aussi importants par leurs effets que mystérieux par leur nature, sont des échecs.

S'il faut des années avant de pouvoir donner une identité à toutes ces composantes inconnues, peut-on vraiment parler d'un modèle cosmologique standard ?

Pendant quarante ans, la théorie des cordes a semblé représenter un nouveau changement de paradigme. Historiquement, elle ne sera sans doute qu'un interlude. Après une courte période de scepticisme, la majorité des théoriciens se sont lancés dans l'aventure, ce qui a donné l'occasion de publier des milliers d'articles et de présenter des centaines de thèses. Mais lorsqu'on construit un modèle, il est toujours souhaitable que celui-ci propose des explications aux phénomènes, ou qu'il les prédise. Un demi-siècle plus tard, une conclusion s'impose. La théorie des cordes n'est rien de plus qu'une gesticulation mathématique⁴.

Dans leurs ouvrages, Smolin et Woit appellent à l'émergence de nouvelles idées⁵. Dans ce qui suit, nous proposons d'étudier l'avantage et le coût de l'introduction dans le modèle de particules ayant une masse et une énergie négatives.

2 – Tentatives d'introduction de masses négatives en cosmologie.

L'article principal est paru en 1957 [5]. L'auteur, Herman Bondi, introduit alors deux types de masses, inertielles et gravitationnelles, qui sont évoquées dans la relativité

⁴ Mais les quatre représentants de la physique théorique, en poste au Advanced Studies Institute of Princeton, auquel appartinrent Einstein et Kurt Gödel sont des spécialistes des cordes. Parce qu'il n'y a Personne d'autre.

⁵ Smolin ne voyait qu'une justification au lancement d'une « gravitation quantique » où ce seraient l'espace et le temps eux-mêmes qui seraient quantifiés. Mais pour le moment ça ne donne rien. Sans doute parce que l'approche envisagée (Carlo Rovelli) c'est pas la bonne. En dehors de cela Smolin refusa toute autre approche, refusant de répondre à nos envois, transmis par le mathématicien Alain Connes, médaille Field et préfacier de son ouvrage.

générale⁶. Toute tentative d'introduire ces masses négatives dans le modèle de la relativité générale se heurte alors au phénomène dit runaway : que l'on peut résumer par ces deux phrases :

- Les masses positives attirent tous les types de masses.
- Les masses négatives repoussent tous les types de masses.

Dans ces conditions, si deux masses de signes opposés sont mises en présence, la masse négative s'enfuit, poursuivie par la masse positive. Dans ce phénomène d'accélération mutuelle, l'énergie est conservée puisque l'énergie cinétique de la masse négative est négative. Un physicien peut difficilement imaginer qu'un tel comportement puisse faire partie d'une nouvelle physique. Cet article a suscité quelques commentaires ([6]-[12]).

Des années plus tard, cette possibilité est à nouveau envisagée [13] , sans plus de succès. Citons la conclusion de l'auteur anglais W.Bonnor :

- En effet, ce que j'écris peut être qualifié de science-fiction, et le lecteur pressé a tout à fait le droit de tourner la page. Si je continue, c'est pour voir si les propriétés de l'univers hypothétique permettent de comprendre pourquoi l'univers réel ne contient que des masses positives. Mon intention est résumée par la phrase métaphorique d'Einstein : "Ce qui m'intéresse, c'est de savoir si Dieu a eu le choix dans la création du monde" .

Pour être complet, citons deux autres tentatives, l'une dans la théorie des cordes [29] et l'autre dans une approche plus classique [30], mais où le saut paradigmatique essentiel, le passage à deux équations de champ couplées, n'est pas fait, ce qui fait que les auteurs se heurtent au paradoxe runaway, inévitable pour toute tentative d'introduction des masses négatives dans l'équation d'Einstein.

Toujours en essayant d'introduire ces masses négatives dans la relativité générale, c'est-à-dire dans l'équation de champ d'Einstein, on trouve la suggestion que l'énergie négative de ces masses pourrait mimer la constante cosmologique [14]. Mais, dans ces conditions, la densité de cette masse négative doit rester constante au cours de l'évolution cosmique. L'auteur, l'Anglais Jamie Farnes, propose alors un mécanisme de création continue de ces masses négatives, non décrit, qui ne clarifie pas le problème..

Nous effectuons alors une tentative heuristique ⁷ [15] dans laquelle les lois d'interaction suivantes sont données, sans justifications théoriques.

- Les masses de même signe s'attirent selon la loi de Newton.
- Les masses de signes opposés se repoussent selon "l'anti-Newton".

Un tel modèle heuristique revient à rétablir les principes d'action-réaction et d'équivalence dans cet ensemble de masses. En prenant des densités et des

⁶ Leur identité traduit le « principe d'équivalence ».

⁷ Approche heuristique : on formule une hypothèse sur les lois d'interaction, sans justifications théoriques, et on regarde ce qui en découle, à travers des simulations numériques.

températures égales en valeur absolue pour les deux entités, on obtient alors un phénomène de percolation (voir Fig. 1).

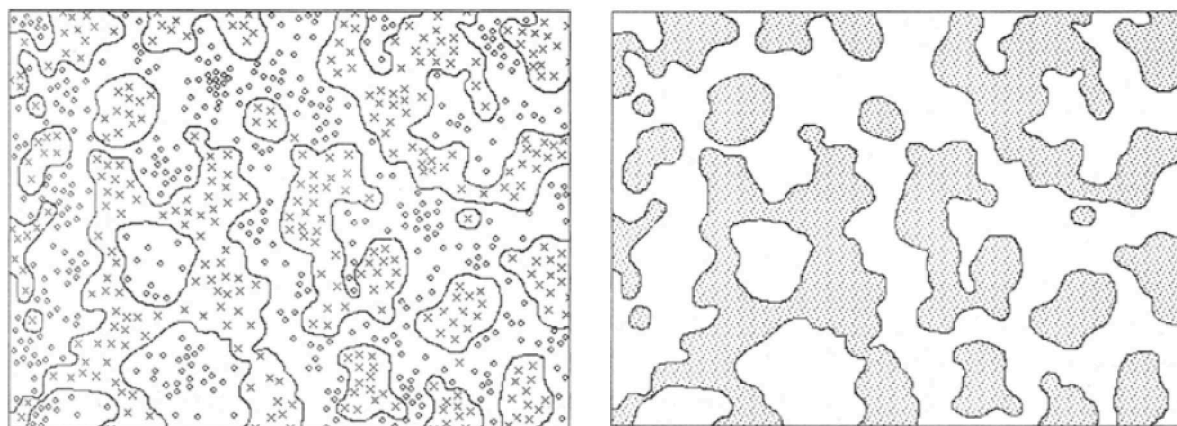


Fig.1 : Percolation, reproduction des figures 7 et 8 de [15].

On constate que les deux types de masses ont tendance à se séparer, donnant un schéma qui ne semble pas pouvoir être relié à une quelconque observation astronomique. Ce résultat de 1990⁸ était basé sur 250 points de masse positive et 250 points de masse négative. En voyant ce résultat, nous avons eu l'idée de donner aux points négatifs une masse d'un ordre de grandeur supérieur à celle des points positifs. L'effet de cette approche heuristique a été immédiat. Les masses négatives ont immédiatement formé un réseau régulier de clusters, confinant la masse positive dans l'espace résiduel. (voir Fig. 2 et Fig. 3)

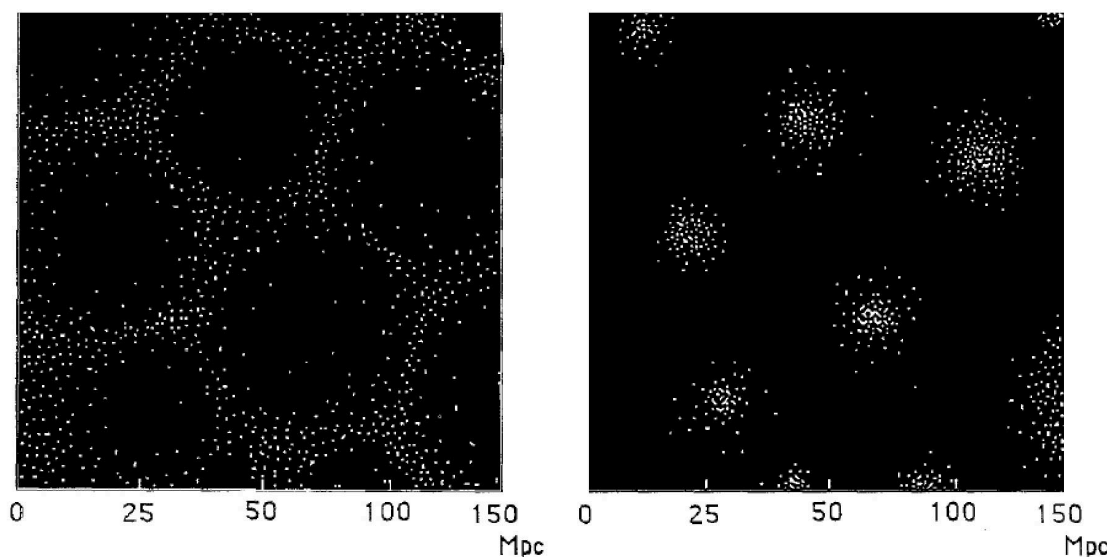


Fig.2 : Simulation (2D) [17]. A droit la masse negative forme une suite régulière de conglomérats A gauche la masse positive se trouve confine dans l'espace intersticiel. Le rapport des densité est 50.

⁸ Utilisant la « Rolls » des calculateurs de l'époque, un Cray-one ! Aujourd'hui n'importe quel PC fait dix fois mieux (mais ne peut gérer du 3D)

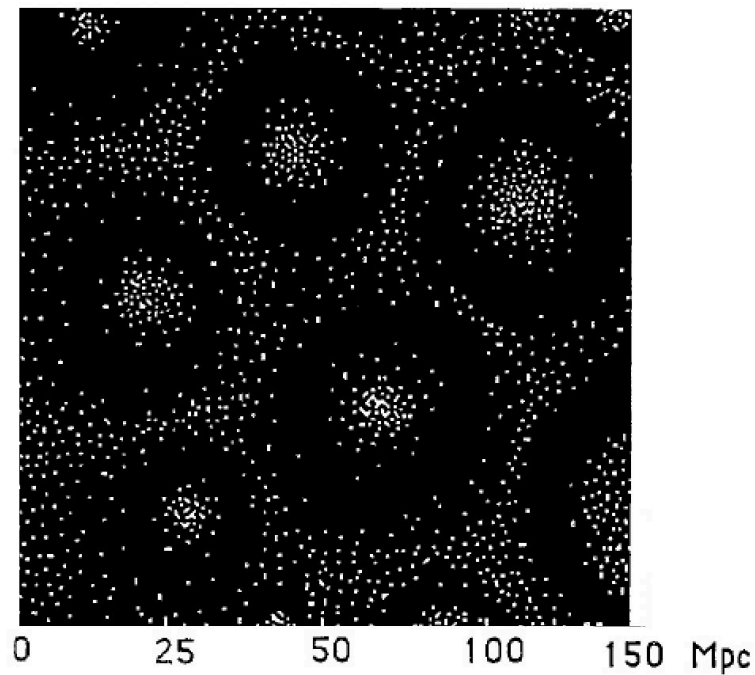


Fig.3 : Ces deux images, superposées.

Cela suggère que la clé de la structure à grande échelle de l'univers pourrait provenir d'une situation très dissymétrique. De plus, le fait que les masses positives aient été les premières à donner naissance aux amas pourrait s'expliquer par le fait que le temps de Jeans qui leur était associé était alors plus faible:

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

Dans une extension tridimensionnelle (3D) (que nos moyens de calcul de l'époque ne permettaient pas), cela suggère une structure de l'univers à grande échelle (VLS) sous la forme de bulles de savon jointes (voir Fig. 4).

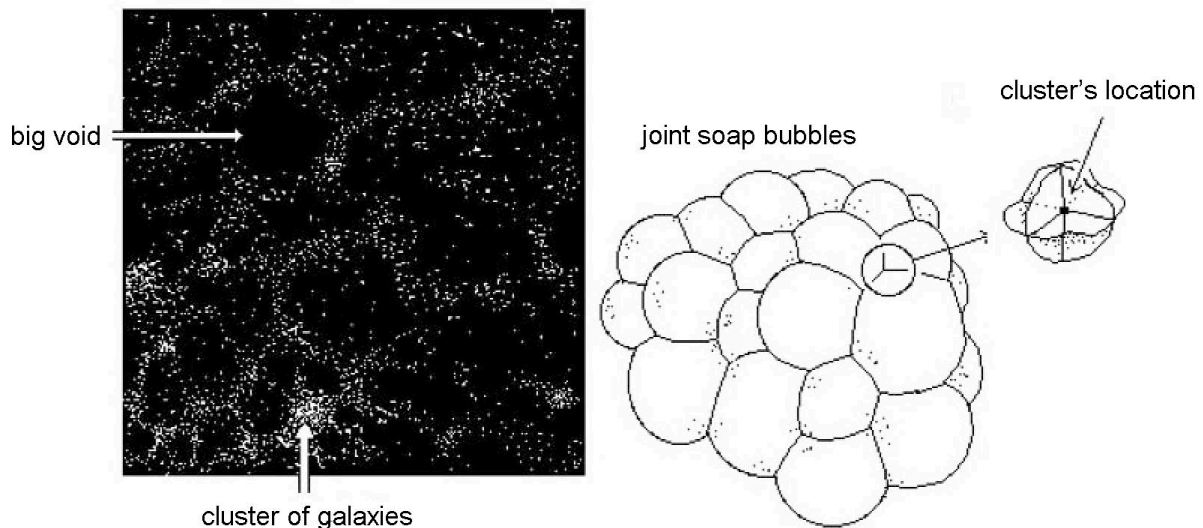


Fig.4 : Le modèle des bulles de savon jointives.

Au centre de chaque cellule, il y a un amas de masse négative. Trois cellules se rencontrent le long d'un segment, susceptible, toujours par instabilité gravitationnelle, de donner naissance à une structure filamentaire. Quatre cellules se rencontrent le long d'un point au voisinage duquel nous aurons alors un amas de galaxies. Au moment de la constitution de cette structure à très grande échelle, la matière est brutalement comprimée selon des plaques, qui permettent un refroidissement radiatif rapide, déstabilisant, générant la naissance des galaxies.

Cette idée est renforcée par la découverte, en 2017, du phénomène du Dipôle Repeller [16]. Un amas de masse négative, occupant le centre de ce grand vide, est alors responsable de l'effet de répulsion produit, sur les galaxies voisines.

Un autre aspect observationnel donne du crédit à ce modèle de structure à grande échelle de l'univers. Nous savons que les galaxies à haut redshift⁹ ($z > 7$) ont des luminosités très faibles. Elles sont alors considérées comme des naines. Ce modèle fournit une interprétation différente : des objets de masse négative, produisant sur des photons d'énergie positive une lentille gravitationnelle négative [17], [18]), ce seraient des galaxies de taille normale dont la luminosité serait atténuée par ce phénomène. En combinant ces deux aspects, des mesures plus fines de l'atténuation de cette luminosité des galaxies en arrière-plan permettraient alors d'évaluer la taille de l'objet.

⁹ A grande vitesse de fuite, donc très distantes et donc très jeunes.

3 – Vers un nouveau modèle basé sur un nouveau paradigme géométrique.

Il est clair que si l'on reste dans le cadre géométrique proposé par Einstein, où les trajectoires des masses et des photons sont interprétées comme des solutions métriques¹⁰ $g_{\mu\nu}$ d'une seule équation de champ, le phénomène *runaway* est inévitable.

La seule façon d'échapper à ce paradoxe, difficilement acceptable pour un physicien, est de considérer que les trajectoires des masses positives et des photons d'énergie positive d'une part, et des masses négatives et des photons d'énergie négative d'autre part, se déduisent de deux métriques différentes:

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

Cela conduit à un nouveau modèle géométrique dans lequel l'unique variété¹¹ M_4 est équipée non pas d'une, mais de métriques¹². La première tentative dans cette direction présente cette situation comme résultant de l'interaction entre deux "branes". Dans ce modèle, les éléments des deux populations sont supposés interagir par l'intermédiaire de gravitons de masse non nulle ([19], [20]). Cette masse non nulle des gravitons signifie que ce modèle appartient également à la "gravité massive"¹³, et est donc présenté comme une "bigravité massive". Une hypothèse¹⁴ qui ne fait que compliquer le modèle, en donnant naissance à l'instabilité fantôme classique¹⁵. Ci-après l'action¹⁶ correspondant à ce modèle:

(2)

$$S = \int d^4x \sqrt{-g_R} (M_R^2 R(g_R) - \Lambda_R) + \int d^4x \sqrt{-g_L} (M_L^2 R(g_L) - \Lambda_L) + \int d^4x \sqrt{-g_R} L(\Phi_R, g_R) \\ + \int d^4x \sqrt{-g_L} L(\Phi_L, g_L) - \mu^4 \int d^4x (g_R g_L)^{1/4} V(g_L, g_R)$$

Tout point de la première "brane", la brane "droite", marquée par la lettre R , est en interaction avec un point conjugué de la deuxième "brane", la "brane gauche", marquée par la lettre L .

¹⁰ Trajectoires calculées à l'aide de ces fonctions $g_{\mu\nu}$, solutions de l'équation de champ.

¹¹ Un « variété » (en anglais « Manifold ») est simplement un espace continu, constitué de points (sur la base duquel on peut construire des dérivées, premières et secondes).

¹² L'outil mathématique permettant de calculer les distances. Dans ce modèle, entre deux points il y a donc deux distances différentes.

¹³ « Massive gravity ».

¹⁴ Exempte de tout fondement.

¹⁵ « Ghost instability » qui découle du fait que les gravitons contribueraient au champ de gravité, ce qui rend le système auto-instable (...).

¹⁶ Cette idée « d'action » dérive du principe de moindre action du Français Pierre de Maupertuis (1698-1759). Les trajectoires sont des chemins « optimaux » le long desquels l'intégrale définie par le scalaire S est minimale. Cette contrainte débouche sur « un calcul de variation » (C'est la métrique $g_{\mu\nu}$, qui devient alors l'inconnue).

Ils introduisent des densités Lagrangiennes dans l'action : les termes de Ricci $\sqrt{-g_R} R(g_R)$ et $\sqrt{-g_L} R(g_L)$, puis $\sqrt{-g_R} L(\phi_R, g_R)$ aux ensembles, matière positive et matière négative $\sqrt{-g_L} L(\phi_L, g_L)$ ¹⁷.

Tous ces éléments sont pondérés par les hypervolumes quadridimensionnels correspondants. $\sqrt{-g^R} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3$ and $\sqrt{-g^L} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3$. Ils introduisent un terme d'interaction : basé sur un "facteur de volume moyen"¹⁸ $(g_R g_L)^{1/4}$. L'intérêt de cet article est que la dérivation lagrangienne montre pour la première fois la forme du système de deux équations de champ couplées, liées à un tel modèle bimétrique¹⁹:

(3)

$$\begin{aligned} 2M_L^2 \left(R_{\mu\nu}(g^L) - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}^L R(g^L) \right) + \Lambda_L g_{\mu\nu}^L &= t_{\mu\nu}^L + T_{\mu\nu}^L \\ 2M_R^2 \left(R_{\mu\nu}(g^R) - \frac{1}{2} g_{\mu\nu}^R R(g^R) \right) + \Lambda_R g_{\mu\nu}^R &= t_{\mu\nu}^R + T_{\mu\nu}^R \end{aligned}$$

Dans cette équation, les tenseurs²⁰ $T_{\mu\nu}^L$ and $T_{\mu\nu}^R$ représentent les champs de matière des deux types de masses, tandis que les termes $t_{\mu\nu}^L$ and $t_{\mu\nu}^R$ sont alors responsables de ce que l'on peut appeler un "effet de géométrie induite", c'est-à-dire la façon dont la géométrie de l'une des deux populations est influencée par le champ de matière de la

¹⁷ La façon d'aborder le problème, qui a été définie par David Hilbert pour conforter l'approche, teintée d'empirisme, d'Albert Einstein, revient à composer l'action (devenue « l'action d'Hilbert-Einstein »). Ca a un côté « cuisine » indéniable. Dans l'intégrale on met « le scalaire de Ricci » R , qui est un scalaire lié à la courbure de l'espace. Il est nul si l'espace est plat. C'est la présence de ce terme qui, donne le premier membre de l'équation d'Einstein, à l'issue d'un « calcul de variation » (de la métrique et du tenseur de Ricci qui s'en déduit). Comme il y a deux scalaires de Ricci, chacun attaché à chacune de ces deux « géométries », le calcul des variations donnera les deux premiers membres de deux équations de champ. Et on rajoute des « densités Lagrangiennes ». Dans la Relativité Général il n'y a qu'un terme L , qui donne le tenseur du second membre. Ici il y en a deux. Les coefficients $\sqrt{-g^R} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3$ et $\sqrt{-g^L} dx^0 dx^1 dx^2 dx^3$ sont les éléments de volume dans ces espaces Riemaniens.

¹⁸ Une hypothèse heuristique de Damour et Kogan, sans justification géométrique.

¹⁹ Ainsi Damour et Kogan produisent le premier modèle « bimétrique » débouchant sur deux équations de champ couplées. Pour eux les deux entités sont censées « habiter » des « branes » différentes.

²⁰ Le formalisme « tensoriel » fait que les équations et solutions obtenues ne dépendent pas du système des coordonnées choisi. Les seuls objets invariants sont les géodésiques et les longueurs mesurées le long de celles-ci (penser à la sphère S2).

seconde. Mais leur essai ne conduit à aucun modèle, car ils ne parviennent pas à spécifier la nature des termes d'interaction²¹.

Une tentative plus sophistiquée, celle de l'Allemande Sabine Hossenfelder [18] est basée sur le Lagrangien suivant²²:

(4)

$$S = \int d^4x \left[\sqrt{-g} ({}^{(g)}R / 8\pi G + L(\Psi)) + \sqrt{-h} P_h(\underline{L}(\Phi)) \right] \\ + \int d^4x \left[\sqrt{-h} ({}^{(h)}R / 8\pi G + \underline{L}(\Phi)) + \sqrt{-g} P_g(L(\Psi)) \right]$$

Les métriques sont alors repérées à l'aide des lettres g et h. On retrouve les deux densités Lagrangiennes. L'auteur gère l'interaction entre les deux populations à l'aide d'applications auxquelles elle donne le nom de "pull over". Son système d'équations de champ couplé est alors²³:

(5)

$${}^{(g)}R_{\kappa\nu} - \frac{1}{2}g_{\kappa\nu}({}^{(g)}R) = T_{\kappa\nu} - V\sqrt{\frac{h}{g}}a_{\nu}^{\nu}a_{\kappa}^{\kappa}\underline{T}_{\nu\kappa} \\ {}^{(h)}R_{\nu\kappa} - \frac{1}{2}h_{\nu\kappa}({}^{(h)}R) = \underline{T}_{\nu\kappa} - W\sqrt{\frac{g}{h}}a_{\kappa}^{\kappa}a_{\nu}^{\nu}T_{\kappa\nu}$$

L'application a correspond à l'hypothèse faite sur le mode de couplage entre les deux métriques²⁴:

(6)

$$\delta h_{\kappa\lambda} = -\left[a^{-1}\right]_{\kappa}^{\mu}\left[a^{-1}\right]_{\lambda}^{\nu}\delta g_{\mu\nu}$$

La conservativité des deux équations, résultant de la forme de leurs deux premiers membres, est alors assurée. Si la méthode mathématique est rigoureuse, le bénéfice qui résulte de la démarche, en termes de comparaison avec les observations, découle du choix, évidemment libre, du signe des termes présents dans l'action (4). Au moment où elle compose son article, en 2008, la communauté scientifique n'est pas encore d'accord sur le fait que l'expansion de l'univers n'est pas ralentie, mais accélérée ([21], [3], [4]). En particulier, son hypothèse de Sabine Hossenfelder la conduit à une violation du principe d'équivalence dans la population de masse négative, et elle conclut qu'il s'agit

²¹ Damour et Kogan échoueront à les définir, dans un papier de 45 pages de 2004.

²² Seconde tentative, de 2008, également dans Physical Review D, celle de Sabine Hossenfelder. On retrouve les deux métriques, les deux scalaires de Ricci et les « densités Lagrangiennes »

²³ Qui donne cette fois encore les deux équations de champ couplées avec les termes d'interaction.

²⁴ C'est la clé de la construction de sa solution : une application reliant les différentielles des deux métriques. Entre crochets des tenseurs, à définir.

d'une propriété générique des modèles bimétriques²⁵. Dans notre travail non publié²⁶ [22] sa méthode est reprise, avec des choix de signes différents, rétablissant le principe d'équivalence dans cette population de masse négative. Ce travail représente alors la justification des différents travaux, évoqués ci-dessus, jusqu'alors fondés sur une hypothèse heuristique. Ce modèle, nommé Janus Cosmological Model (JCM), repose sur l'hypothèse fondamentale d'une dissymétrie profonde entre les populations de masse et d'énergie négative et les populations de masse et d'énergie positive. Voici le système d'équations qui résulte de cette approche, ici en notation mixte²⁷:

(7)

$$\begin{aligned} R^{(+)\nu}_{\mu} - \frac{1}{2} \delta_{\mu}^{\nu} R^{(+)} &= \chi^{(+)} \left[T^{(+)\nu}_{\mu} + \sqrt{\frac{g^{(-)}}{g^{(+)}}} \hat{T}^{(-)\nu}_{\mu} \right] \\ R^{(-)\nu}_{\mu} - \frac{1}{2} \delta_{\mu}^{\nu} R^{(-)} &= -\chi^{(-)} \left[\sqrt{\frac{g^{(+)}}{g^{(-)}}} \hat{T}^{(+)\nu}_{\mu} + T^{(-)\nu}_{\mu} \right] \end{aligned}$$

Les lois d'interaction sont dérivées de l'approximation Newtonienne, et sont celles qui ont été choisies heuristiquement. La forme des tenseurs responsables des effets de la géométrie induite est déterminée par les relations de conservativité et d'équilibre dans les deux équations, dérivées des identités de Bianchi. Lorsque l'on étudie, par exemple, la géométrie induite d'une espèce, sous l'action du champ créé par la seconde espèce, présente dans une sphère de densité constante, la relation traduit simplement le fait que dans cette masse, positive ou négative, la force de pression équilibre la force de gravité [23]. Ceci est assuré sur le tenseur de la forme²⁸:

(8)

$$\hat{T}^{(+)\nu}_{\mu} = \begin{pmatrix} \rho^{(+)} c^{(+2)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p^{(+)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p^{(+)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p^{(+)} \end{pmatrix} \quad \hat{T}^{(-)\nu}_{\mu} = \begin{pmatrix} \rho^{(-)} c^{(-2)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p^{(-)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p^{(-)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p^{(-)} \end{pmatrix}$$

²⁵ Pour coller avec les données observationnelles de l'époque elle viole le *principe d'équivalence* de la RG (égalité entre masse inertielle-la façon dont une particule se comporte dans un champ- et masse gravifique-la façon dont elle contribue à ce champ). Ce faisant elle perd tout le bénéfice que lui donnait la rigueur de son approche mathématique et ne parvient pas à coller avec des observations

²⁶ Refus de quatre revues de simplement soumettre ce papier à la critique de referees (ou aveu d'échec des revues à trouver un referee acceptant de faire ce travail d'analyse).

²⁷ Damour, dans sa lettre recommandée de janvier 2019 croyait avoir trouvé une faille rédhibitoire dans ce modèle, qui a été rapidement éliminée par retouche (les « chapeaux »), des seconds tenseurs des seconds membres qui traduisent « les effets de courbure induite ». Il ne s'agit pas d'un rafistolage du modèle. En fait c'est la satisfaction des « conditions mathématiques de Bianchi » qui déterminent la forme de ces tenseurs Mais il n'a jamais lu notre réponse.

²⁸ On explicite la remarque de la note précédente.

Ce modèle confirme alors les nombreux résultats ayant découlé de l'approche heuristique :

- Explication du confinement des galaxies et des amas ainsi que de l'aplatissement des courbes de rotation des galaxies en périphérie.
- Explication des forts effets de lentille gravitationnelle au voisinage des galaxies et des amas de galaxies.
- Structure spirale résultant de l'interaction entre les galaxies et leur environnement de masse négative.
- Comme les deux types de masses s'excluent mutuellement, la densité de masse négative, très faible dans les galaxies, est négligeable dans le voisinage du Soleil. La première équation du système est alors identifiée à l'équation d'Einstein. Les vérifications relativistes locales, avance du périhélie de Mercure, déviation des rayons lumineux par le Soleil, sont ainsi assurées.

Au-delà de la construction d'une solution exacte, l'exploitation de la dissymétrie entre les deux populations a conduit à un excellent accord avec les données issues des observations des supernovae de type Ia [24] (voir Fig 5).

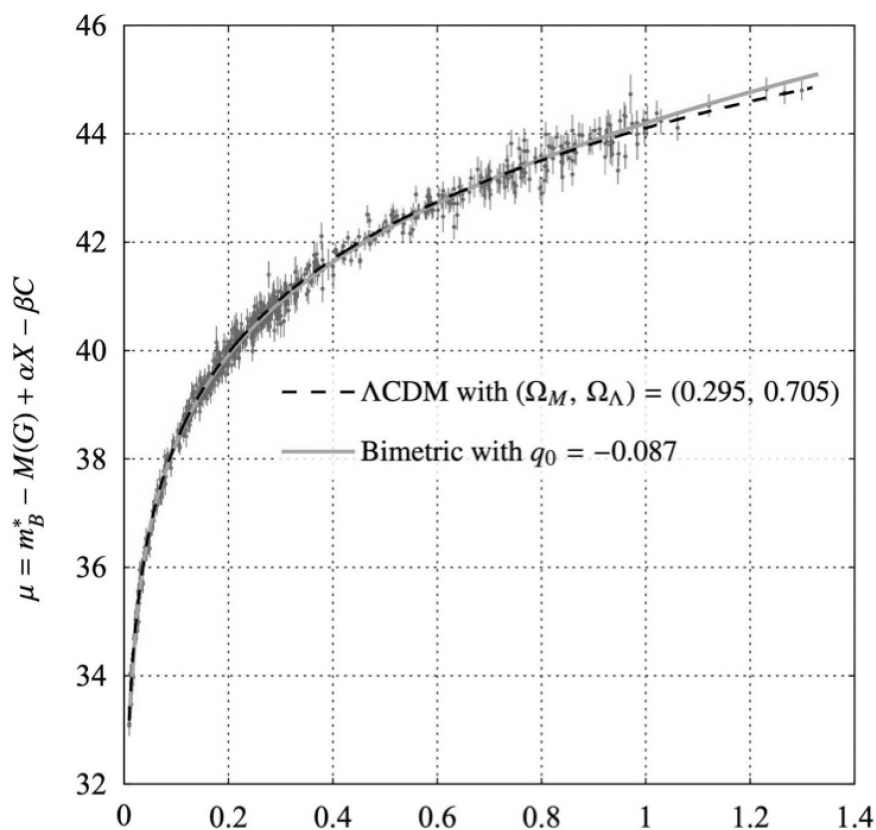


Fig. 5 : Diagramme de Hubble diagram pour deux modèles (échelle linéaire pour le redshift) [24]

4 – Conclusion.

La question de l'introduction de masses négatives a été fortement invalidée par l'émergence du phénomène *runaway* ([5], [13]), impossible à intégrer en physique et en cosmologie. Ce concept de masse négative a également été invoqué dans une réinterprétation de certains phénomènes de la physique des particules [25]. Il est mentionné dans la théorie des cordes [26], ou dans une réinterprétation de la géométrie associée à la solution de Schwarzschild ([27], [28]). L'intégration dans un modèle cosmologique Janus mathématiquement et physiquement cohérent, conduisant à un grand nombre de confirmations observationnelles, fait de cette approche, qui implique un profond saut paradigmatique concernant la géométrie de l'univers, une solution à la crise actuelle de la cosmologie et de l'astrophysique.

References :

- [1] L.Smolin « The Trouble With Physics. The Rise of String Theory, the Fall of Science, and What Comes Next ». 2006 Houghton Mifflin Ed. Edition française : Dunod 2006
- [2] P. Woit « Not Even Wrong ». 2006 Jonathan Cape ed. London. Edition français Dunod 2006.
- [3] Perlmutter, S., et al. 1999, ApJ, 517, 565
- [4] Riess A. G. 2000, PASP, 112, 1284
- [5] H. Bondi: Negative mass in General Relativity : Negative mass in General Relativity. Rev. of Mod. Phys., Vol 29, N°3, july1957
- [6] P.Morisson- Am. J. Phys. **26**,358 (1958)
- [7] Matz and Kaempffer Bull. American Phys. Soc. **3**,317(1958)
- [8] L.I.Shiff Proc. Nat. Acad. Sci. **45**, 69 (1959)
- [9] C. de Beauregard. Comptes Rendus Acad. Sc. 252, 1737 (1961)
- [10] Winterberg. Nuovo Cimento **19**, 186 (1961)
- [11] Ya. Terlertsty. Int. Conf. Theory of Gravit. King's College (1961)
- [12] A. Inomata and D. Peak Nuovo Cimento **63**, 132 (1969)
- [13] H.Bonnor Negative mass and general relativity. Gen. Relat. And Gravit. Nov 1989 vol **21** pp 1143-1157

- [14] J.Farnes : A unifying theory of dark energy and dark matter : Negative mass and matter creation within a modified Λ CDM framework. *Astronomy and Astrophysics* (2018)
- [15] J.P.Petit : [The missing mass problem](#). *Il Nuovo Cimento B* Vol. **109** July 1994, pp. 697-710
- [16] The Dipole Repeller : Y Hoffman, D.Pomarède, R.B.Tully, H.Courtois. *Nature Astronomy* 2017 1 , 0036
- [17] J.P.PETIT, Twin Universe Cosmology, *Astrophys. and Sp. Science*, **226**, 273-307, 1995.
- [18] S. Hossenfelder : A bimetric Theory with Exchange Symmetry. *Phys. Rev. D* 78, 044015, 2008 and arXiv : 0807.2838v1 (gr-qc) 17 July 2008
- [19] Damour T. , Kogan I I. Effective Lagrangians and universality classes of nonlinear bigravity *Phys. Rev. D* **66** (2002) 104024. hep-th/0206042.
- [20] Damour T. , Kogan I. I. , Papazoglou A. Non-linear bigravity and cosmic acceleration *Phys. Rev. D* **66** (2002) 104025. hep-th/0206044.
- [21] Riess, A. G., et al. 1998, *ApJ*, 116, 1009
- [22] J.P.Petit, G,d'Agostini, N.Debergh : The Janus Cosmological Model : (2021)
<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03285671/document>
- [23] J.P.Petit, G. D'Agostini, N.Debergh : Physical and mathematical consistency of the Janus Cosmological Model (JCM). *Progress in Physics* **15** issue 1 (2019)
- [24] G. D'Agostini and J.P.Petit : Constraints on Janus Cosmological model from recent observations of supernovae type Ia, *Astrophysics and Space Science*, 363:139 (2018).
<https://doi.org/10.1007/s10509-018-3365-3>
- [25] Theory of negative mass cyclotron resonance. D.C.Mattis M.J.Stevenson *Phys. Rev. Lett.* 3 , 19 (1959)
- [26] Negative energy in string theory? D.Brill, G.T.Horowitz, *Phys. Lett. B* Vol. 262 issue 4 (1991)
- [27] J.P.Petit, G.D'Agostini : Cancellation of the singularity of the Schwarzschild solution with natural mass inversion process. *Mod. Phys. Lett. A* vol. **30** n°9 (2015)
- [28] Negative mass scenario and Schwarzschild spacetime in general relativity. S.Bondarenko, *Mod. Phys. Lett. A* vol. — **34** n°11 (2019)
- [29] F.Winterberg : Planck Mass Rotors as Cold Dark Matter and Quintessence. *Verlag der Zeitschrift für Naturforschung*. Tübingen. 2003.
- [30] J.Belletête and M.J.Paranjape : On negative mass. *Int. Jr. of Mod. Phys. Voo.* 22 n°12,

1341017 (2013). arXiv:1304.1566v1 [gr-qc] A apr. 2013.
Doi/10.1142/50218271813410174

Rapport des referees :

Titre :

Le modèle cosmologique Janus : une réponse à la crise actuelle de la cosmologie.

Manuscript ID: 793564

Authors: Nathalie Debergh, J.-P Petit and G D'agostini

Journal: **Frontiers in Physics, section Cosmology**

Article type: Original Research

Submitted on: 12 Oct 2021

Rapport d'examen indépendant, examinateur 1

L'auteur éclaircit l'idée de masse négative dans les modèles cosmologiques. Après avoir passé en revue les différentes tentatives d'exploration de cette idée controversée, l'auteur affirme que le modèle cosmologique de Janus est un bon candidat pour la modélisation de la masse négative. Il souligne que l'argument de base en faveur du modèle cosmologique de Janus provient à la fois de la supposition heuristique et de la confirmation observationnelle définitive. Le résultat majeur de cet article est la justification détaillée de divers travaux soutenant l'idée de masse négative en cosmologie. Les résultats de cet article sont nouveaux et physiquement intéressants. Cet article, en dépit de sa présentation formelle, peut être utile à une large communauté scientifique en raison de son importance fondamentale dans la compréhension des détails physiques de l'expansion cosmologique. Le manuscrit est bien organisé, clairement écrit et peut être publié tel quel. Je recommande de publier cet article dans Frontiers in Physics.

Bilan global :

a. La qualité des figures et des tableaux est-elle satisfaisante ?

Oui

b. La liste des références couvre-t-elle la littérature pertinente de manière adéquate et impartiale ?

Oui

c. Les méthodes statistiques sont-elles valides et correctement appliquées ? (par exemple, taille de l'échantillon, choix du test)

Oui

d. Les méthodes sont-elles suffisamment documentées pour permettre des études de réplication ?

Oui

ÉVALUATION DE LA QUALITÉ :

Rigueur

4

Qualité de la rédaction

3

Qualité globale du contenu

3

Intérêt pour un public général

4

Second referee :

L'introduction des masses négatives en physique est généralement considérée comme un problème. Cependant, certains courants, minoritaires mais faisant autorité, émettent l'hypothèse de cette possibilité. L'article constitue un tour d'horizon du sujet, et doit être salué pour son honnêteté intellectuelle.

Par honnêteté intellectuelle ce second referee évoque probablement le fait d'avoir signalé la crise majeure de la physique théorique (et/ou) le fait d'avoir bien situé les travaux antérieurs.