

**En rouge, des passages de cet article paru en 2014 dans la revue
Modern Physics Letters A.**

Aucun commentaire nulle part !!

Cosmological bimetric model with interacting positive and negatives masses and two different speeds of light, in agreement with the observed acceleration of the universe

Modèle cosmologique bimétrique avec des masses positives et négatives en interaction et deux vitesses de la lumière différentes, en accord avec les observations de l'accélération de l'expansion cosmique .

J. P. Petit^{1*}

BP 55, 84122 Pertuis, France

and G. d'Agostini

110 route du Castellar, 06500 Menton, France

PACS number : 98.80

Keywords : Dark energy, bimetric model, negative mass, **interstellar travel**

An extension of a previously published model of bimetric universe is presented, where the speeds of light associated to positive and negative mass species are different. As presented earlier, the dissymetry of the model explains the acceleration of the positive species, while the negative one slows down. Dissymetry affects scale factors linked to lengths, times and speeds of light, so that if craft's mass inversion could be achieved interstellar travels could become non-impossible, at a velocity less than the speed of light corresponding to the negative sector, possibly much higher than the one of the positive sector.

Une extension d'un modèle déjà présenté d'un univers bimétrique, doté de deux vitesses de la lumière, associées à des espèces de masse positive et négative. Comme déjà présenté le modèle rend compte de l'accélération de l'expansion des espèces positives, tandis que celle des espèces négatives se ralentit. Une dissymétrie des facteurs d'échelle a un effet sur les distances, les vitesses de la lumière et les temps. **Grâce à une inversion de masse les voyages interstellaires pourrait devenir non-impossibles, à une vitesse proche de celle de la lumière dans le monde négatif, bien au delà de celle du secteur positif**

1 Corresponding author: jppetit1937@yahoo.fr

--	--

Introduction

Il y a seulement quelques décennies nombreux étaient les scientifiques qui doutaient qu'une vie intelligente puisse exister dans l'univers ailleurs que sur Terre. Certains doutaient de la possibilité de présence de vie sur d'autres planètes, sous le seul angle des probabilités. Cette position pouvait être résumée par la célèbre formule de Drake qui s'exprime sous la forme d'un produit de multiples probabilités. Et les sceptiques de dire " supposez qu'un seul de ces facteurs soit nul, alors cette probabilité tomberait alors à zéro". Allant même plus loin, on trouvait des scientifiques qui se demandaient si l'existence d'un système planétaire autour d'une étoile pouvait être une chose fréquente.

Les observations des dix dernières années ont complètement bouleversé ce panorama. En fait on assiste à une sorte de combat d'arrière-garde visant à récuser l'existence de planètes porteuses d'une vie intelligente, pouvant avoir le même niveau d'organisation que celui qu'on trouve sur Terre. Ainsi, quand la première exo-planète fut découverte par M.Mayor et D.Queloz en 1995 à 40 années lumière de la Terre. Il s'agissait de toute évidence d'une planète géante, impropre à héberger la vie. Les sceptiques demandèrent si des systèmes planétaires comportant des planètes telluriques pouvaient exister. Et, quand bien même, il semblait encoire très improbable qu'une planète tellurique puisse se situer dans des conditions propices à l'apparition de la vie "dans la bande de l'eau". Au rayon des arguments luttant contre cette éventualité se situait l'exigence de l'accompagnement de la planète par un satellite, lui permettant de stabiliser son mouvement de rotation. En effet les tenants de la théorie du chaos déterministe avaient montré, à l'aide de simulations effectuées sur ordinateur, que l'axe de rotation d'une planète pouvait s'avérer instable et basculer complètement, ce qui rendrait le processus d'apparition de la vie bien problématique. Mais ces simulations traitaient la Terre comme une sphère rigide, ce qu'elle est loin d'être, à l'échelle des phénomènes considérés.

Revenant à cette question de ce qu'on appelle maintenant des exo-planètes, leur nombre a rapidement explosé, et celui-ci croitra de manière accélérée comme il convient pour tout objet existant dans le cosmos, en fonction des progrès des systèmes de détection. Des planètes telluriques furent rapidement découvertes, y compris celles se situant "dans la bande de l'eau", vis à vis des étoiles autour desquelles elles gravitent.

Tous les préjugés sur lesquels on pouvait s'appuyer pour dissenter de l'existence de vie sur une planète s'effondrèrent les uns après les autres. Il ne devint pas exemple plus évident que seules les étoiles semblables au Soleil puissent s'avérer

propices à l'émergence de vie dans un système planétaire associé.

Aujourd'hui la position d'un scientifique comme Drake s'est trouvée totalement inversée et il est vraisemblable que sa formule finira dans l'oubli. Dans [42] la Nasa, se fondant sur le fait que 1500 planètes avaient été détectées dans un rayon de 50 années lumières autour de la Terre se basa sur ce chiffre pour estimer que le nombre minimal de planètes dans la Milky Way devait être de 100 milliards. Ce chiffre devrait alors être pondéré par coefficient d'habitabilité, sur lequel il conviendra de se mettre d'accord. Mais ceci incite à penser que la probabilité pour que la Terre soit la seule planète habitée dans notre galaxie ne peut être nulle. Une estimation de ce nombre étant faite, si on multiplie ensuite celui-ci par le nombre des galaxies recensées dans l'univers observable on obtiendrait alors, de toute façon, un chiffre considérable.

On peut résumer ceci en une phrase "la probabilité pour qu'il n'existe, non seulement dans l'univers, mais dans notre seule galaxie, aucune autre planète que la nôtre, qui soit porteuse de vie organisée, intelligente, doit être considérée comme nulle". Force a été de reconnaître que la position des sceptiques ne faisait que traduire un géocentrisme ridicule.

Ceci étant, on trouve encore des scientifiques pour douter que le niveau d'organisation de la vie, telle qu'il existe sur Terre puisse être trouvé ailleurs, sur d'autres planètes. Certains disent "la vie, ailleurs, oui, mais sous forme bactérienne".

Les hommes se trouvent en effet confrontés à une prise de conscience sans précédent dans l'histoire terrestre, avec les impacts évidents sur toutes les croyances religieuses. Certains précurseurs, comme Andreï Sakharov avaient affiché une position très avancées, qui se trouve résumée dans les dernières lignes de son discours de réception de son prix Nobel de la Paix, en 1975. Etant donnée l'envergure de ce scientifique et la qualité de ses contributions dans des domaines scientifiques extrêmement variés, allant de la physique des plasmas chauds (il fut le concepteur de la première bombe à hydrogène soviétique), à la magnétohydrodynamique (dont il fut dans les années cinquante, un des pionniers), puis à la cosmologie il nous a paru important de citer ses propres mots :

Thousands of years ago tribes of human beings suffered great privations in the struggle to survive. In this struggle it was important not only to be able to handle a club, but also to possess the ability to think reasonably, to take care of the knowledge

Il y a des milliers d'années, les tribus humaines souffraient de grandes privations dans leur lutte pour l'existence.

Il était alors important, non seulement de manier une matraque, mais de posséder la capacité de penser intelligemment, de tenir

and experience garnered by the tribe, and to develop the links that would provide cooperation with other tribes. Today the entire human race is faced with a similar test. In infinite space many civilizations are bound to exist, among them civilizations that are also wiser and more "successful" than ours. I support the cosmological hypothesis which states that the development of the universe is repeated in its basic features an infinite number of times. In accordance with this, other civilizations, including more "successful" ones, should exist an infinite number of times on the "preceding" and the "following" pages of the Book of the Universe. Yet this should not minimize our sacred endeavors in this world of ours, where, like faint glimmers of light in the dark, we have emerged for a moment from the nothingness of dark unconsciousness of material existence. We must make good the demands of reason and create a life worthy of ourselves and of the goals we only dimly perceive.

compte du savoir et de l'expérience engrangés par la tribu et de développer des liens qui établiraient les bases d'une coopération avec d'autres tribus.

Aujourd'hui la race humaine doit affronter une épreuve analogue. Plusieurs civilisations pourraient exister dans l'espace infini, parmi lesquelles des sociétés qui pourraient être plus sages et plus 'performantes' que la nôtre.

Je soutiens l'hypothèse cosmologique selon laquelle le développement de l'univers se répète un nombre infini de fois sur les pages 'suivantes' ou 'précédentes' du livre de l'univers.'

Néanmoins nous ne devons pas minimiser nos efforts sacrés en ce monde, où comme de faibles lueurs dans l'obscurité, nous avons surgi pour un instant du néant de l'inconscience obscure à l'existence matérielle. Nous devons respecter les exigences de la raison et créer une vie qui soit digne de nous-mêmes et des buts que nous percevons à peine.

Andréi Sakharov

Dans ce texte se trouve explicitement évoqué le fait que les Terriens pourraient ne pas être l'espèce intelligente la plus avancée au plan des sciences et des techniques. C'est la position logique que tout scientifique raisonnable devrait prendre. Mais elle débouche immédiatement sur une question : des civilisations plus avancées que les nôtres auraient-elles été en mesure de nous rendre visite, y compris à des moments reculés de notre histoire ? Si de telles visites étaient techniquement et scientifiquement possibles, se poursuivraient-elles actuellement ?

Face à cette question les sceptiques déploient deux arguments. Primo, comme le fit jadis Enrico Fermi, ils s'étonnent qu'il n'y ait pas contact. Secundo ils évoquent l'impossibilité des voyages interstellaires, liée à la sévère limitation de la vitesse associée aux lois, maintes fois vérifiées à toutes les échelles, de la Relativité Restreinte.

A propos du premier argument, nous dirons que tout contact entre civilisations

présentant des états d'évolution technico-scientifiques très différents s'accompagne inmanquablement d'un choc des cultures. Différents scénarios se présentent alors. Dans l'un la civilisation à bas niveau scientifique et technique s'effondre, tout simplement. Dans le second la civilisation la plus avancée "phagocyte" celle avec laquelle elle entre en contact. Elle peut l'assimiler, ou l'asservir (colonisation). Dans un troisième scénario un puissant transfert scientifique et technique s'opère, qui se trouve immédiatement converti en priorité, comme dans tout progrès fondamental des techniques, en armements nouveaux.

Si on table sur l'idée que toute avancée dans les domaines scientifique et technique s'accompagne inévitablement de progrès dans les capacités de destruction on peut imaginer que la maîtrise d'une techno-science, encore inconnue de nous, permettant de réaliser des voyages interstellaires pourrait avoir pour corollaire le pouvoir de détenir des moyens de destruction vis à vis desquels nos modernes armes thermonucléaires feraient figure d'allumettes.

Je ne pense pas être contredit en disant que la sagesse est loin de poindre sur Terre où, en dépit des drames passés on se demande si l'humanité ne pourrait pas basculer dans une troisième guerre mondiale. Ainsi, tout transfert technologique ne pourrait qu'accentuer le déséquilibre mortifère dont nous souffrons, et qui ne va pas en s'arrangeant avec le temps.

Le présent article est centré sur le second argument.

Un modèle bimétrique

Le modèle cosmologique de la Relativité Générale représente une extension de la révolution que représenta l'apparition de la Relativité Restreinte. Il convient de réfléchir un instant sur l'essence de ces profonds changements paradigmatiques. Ainsi le passage d'une physique Newtonienne à une physique relativiste trouve sa base dans une modification du paradigme géométrique. La Relativité Restreinte peut se résumer à la seule phrase "nous vivons dans un espace-temps, qui est une variété M4, associée à une métrique hyperbolique, de Lorentz, de signature (+ - - -)". La Relativité Générale s'énoncera d'une manière analogue : "L'univers est une variété M4, munie d'une métrique riemannienne, de signature (+ - - -) qui est solution de l'équation d'Einstein :

(1)

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = \chi T_{\mu\nu}$$

Tout voyage, quel qu'il soit, dans un tel contexte, ne peut être effectué qu'en

cheminant sur les géodésiques associée à la métrique $g_{\mu\nu}$, solution de cette équation. Ces géodésiques comportent deux sous-ensembles : celles de longueur non-nulle, qu'empruntent les particules dotées d'une masse et les celles de longueur nulle, que suivent les photons. Cet énoncé implique une limitation incontournable des vitesses à une vitesse c , celle de la lumière. Par ailleurs la simple approche du domaine des vitesses relativistes implique la mise en oeuvre d'une énergie énorme et cette limitation à une vitesse c peut se traduire par le fait que, selon cette vision de l'univers, il faudrait une énergie quasi infinie simplement pour l'atteindre.

Tout le reste en découle et tous ceux qui ont tenté de modéliser le voyage interstellaire sont conduits à des temps de voyage incompatibles avec la durée de la vie humaine. La conclusion est donc la suivante : si le voyage interstellaire est scientifiquement et techniquement possible, c'est à dire compatible avec la durée de vie humaine, alors cela implique un bouleversement profond du paradigme cosmologique actuel, lequel interdit cette éventualité.

On pourrait dire que la situation actuelle appelle, en quelque sorte, un tel changement de point de vue. L'astrophysique théorique s'est pratiquement arrêtée au début des années soixante-dix quand les théoriciens, délaissant l'approche initiée par S.Chandrasehar en 1941 [1] ont abandonné toute tentative de construire un modèle self-consistent des galaxies et de leur structure spirale, quand elles en possèdent, ceci au profit de simulations numériques sur ordinateur, sur lesquelles on fondait de grands espoirs et qui n'ont strictement rien donné en un demi-siècle. L'amélioration des données observationnelles concernant les courbes de vitesse de rotation du gaz dans les galaxies qui en possèdent, puis la découverte des arcs gravitationnels, rapidement imputés à un effet de lentille gravitationnelle, incompatible avec la quantité de matière évaluée dans les galaxies et les amas de galaxies à partir des observations photométriques, a fait naître un *deus ex machina*, la dark matter. Mais toutes les tentatives pour identifier ce nouveau composant, qu'ils s'agissent de MACHOs ou d'astroparticules ont été des échecs. Et voici que depuis dix ans se trouve confirmé que l'univers, au lieu de décélérer sous l'effet des forces attractives de la matière visible et de la dark matter, contre toute attente, accélère (references [2] to [10]) Face à ce nouveau dilemme les astrophysiciens n'ont rien su faire d'autre que de créer un nouveau mot : dark energy, sans avoir la moindre idée de la nature de cet autre composant qui, cette fois, devait représenter 70 % du contenu cosmique. De nombreuses tentatives ont été faites dans le but d'expliquer la nature d'un tel phénomène. Parmi celles-ci, citons les references [12] à [15].

En 1967 A.Sakharov proposa une description gémellaire de l'univers, à l'aide de deux entités reliées par la singularité Big Bang, dotées de flèches du temps antiparallèles ([16],[17],[18]). Si on excepte nos travaux, qui furent initiés en 1977 ([19],[20]), en utilisant les outils de cosmologie newtonienne, non relativiste, dans l'ignorance de l'existence des siens, cette approche n'eut pas de suite. En 1994 [21] nous avons précisé

cette approche en proposant une description bimétrique de l'univers. Celle-ci n'a rien à voir avec des modèles bimétriques qui se trouvent recensés dans [22], [23] où la seconde métrique se réfère à des gravitons qui seraient dotés d'une masse non nulle. Ces modèles n'ont strictement rien produit de tangible.

Dans notre modèle l'univers est une variété M_4 associée, non à une unique métrique, mais à deux : $g_{\mu\nu}^{(+)}$ et $g_{\mu\nu}^{(-)}$, la première étant liée à des espèces de masses et d'énergies positives, la seconde à des espèces de masses et d'énergies négatives. A partir de ces métriques on pouvait alors construire les tenseurs de Ricci associés, $R_{\mu\nu}^{(+)}$ et $R_{\mu\nu}^{(-)}$. Un système de deux équations de champ couplées fut alors proposé [21] :

(2a)

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi (T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(-)})$$

(2b)

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = -\chi (T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(-)})$$

les tenseurs $T_{\mu\nu}^{(+)}$ et $T_{\mu\nu}^{(-)}$ représentant des contenus en énergies positives et négatives (et en masses positives et négatives). Antérieurement, en 1957 H.Bondi [24] avait étudié la possibilité d'introduire des masses négatives dans le modèle Einsteinien, doté d'une unique métrique. Au résultat les masses positives attiraient tout et les masses négatives repoussaient tout. On débouchait alors sur un phénomène qui fut baptisé "runaway" : quand une masse $+m$ rencontrait une masse $-m$, la masse positive s'enfuyait, poursuivie par la masse négative, les deux subissant une accélération continue, avec conservation de l'énergie, puisqu'une des énergies était positive et l'autre, négative.

Cette idée de cohabitation de masses de signes opposés fut donc abandonnée pendant trente sept années.

La QFT s'oppose à l'existence d'états à énergie négative, estimant qu'aucun état ne peut exister dont l'énergie serait inférieure à celle attribuée au vide. Cette argumentation est développée par S.Weinberg dans son ouvrage [25] dans sa section 2.6. C'est plus une hypothèse qu'une démonstration au sens où tout repose sur le choix qu'on décide de faire concernant l'opérateur T , d'inversion du temps. Si celui-ci est unitaire et linéaire, alors la QFT rend possible l'existence d'énergies négatives, l'inversion du temps étant synonyme d'inversion de l'énergie (ce qui est le cas dans la théorie des groupes dynamiques, construits avec des coefficients réels [26]). Pour éviter (avoid) cette "disastrous situation la QFT impose alors le choix d'un opérateur T anti-unitaire et anti-linéaire, qui n'inverse plus l'énergie.

Le travail de 1994 [21] fut complété par une autre publication, l'année suivante [27] et par une communication dans un colloque international [28]. Cette description théorique a été récemment complétée [29]. Les grandes lignes de ce modèle sont les suivantes.

- Les particules de masse positive suivent les géodésiques non nulles, issues de la métrique $g_{\mu\nu}^{(+)}$.
- Des photons d'énergie positive suivent les géodésiques de longueur nulle, issue de la métrique $g_{\mu\nu}^{(+)}$.
- Les particules de masse négative suivent les géodésiques non nulles, issues de la métrique $g_{\mu\nu}^{(-)}$.
- Des photons d'énergie négative suivent les géodésiques de longueur nulle, issue de la métrique $g_{\mu\nu}^{(-)}$.
- Ces deux familles de géodésiques, l'une où cheminent les particules d'énergie positive et l'autre où cheminent des particules d'énergie négative sont a priori disjointes.
- Les particules de masse positive émettent des photons d'énergie positive, qui peuvent à leur tour être capturés par des moyens observationnels constitués également par des masses positives.
- Les particules de masse négative émettent des photons d'énergie négative, non susceptibles d'être captés par nos dispositifs observationnels.

Dans les articles [27] et [28] figurent des résultats de simulations numériques 2D effectuées en Allemagne, avec les capacités de calcul de l'époque, au laboratoire Daisy, qui signalèrent la fécondité d'une telle approche (structure à grande échelle de l'univers, confinement des galaxies, structures spirales durables). Ces travaux ne purent être poursuivis, faute d'un accès à des moyens de calcul adéquats. Au delà, le but est évidemment de construire un modèle cosmologique complet, avec une radiation dominated era et une matter dominated era. Le schéma inclut alors une phase radiative "à constantes variables" exempte de redshift. Nous avons publié le premier article se référant à un modèle cosmologique à vitesse de la lumière variable dans la présente revue, en 1988 ([30], [31]) puis en 1995 [27]. Par la suite nous avons modifié ce modèle [28] en faisant l'hypothèse que cette dérive séculaire des constantes cessait quand le rayonnement n'était plus la composante dominante. Des lois d'évolution ont été données pour ces différentes constantes, qui ne sont pas semi-empiriques, mais dérivent d'une relation de jauge universelle assurant l'invariance des équations de la physique (Equation de champ, equations de Maxwell, Equation de la physique quantique). Si a est le scale factor associé aux longueurs, l'évolution de c est alors [30] :

(3)

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

Elle conduit à un horizon cosmologique variant comme a , ce qui assure l'homogénéité cosmique, sans avoir besoin de faire recours à la théorie de l'inflation, ce qui avait déjà été au centre des conclusions de l'article [31]. Par ailleurs cette évolution était "Lorentz invariant". Ceci est une simple remarque. La formulation de l'évolution cosmique, dans sa phase radiative, en régime de "constantes variables" fera l'objet d'un futur article. C'est à l'issue de cette phase que des deux ensembles cosmique, l'un d'énergie positive, l'autre d'énergie, négative se trouve dotés chacun de vitesses de la lumière $c^{(+)}$ et $c^{(-)}$, constantes, mais très différentes.

Nous mentionnerons les travaux de F.Henry Couannier [32] et de S.Hossenfelder [33] ainsi que celui de M.Milgrom [34] qui traduisent également le souhait de construire une description bimétrique de l'univers.

Un modèle avec deux vitesses de la lumière différentes.

Le présent article étend à un régime où les deux vitesses de la lumière diffèrent un travail un travail a été présenté en [29]. On reprend le système des deux équations de champ couplées.

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi^{(+)} (T_{\mu\nu}^{(+)} + \phi T_{\mu\nu}^{(-)}) \quad (4a)$$

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = -\chi^{(-)} (\phi T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(-)}) \quad (4b)$$

For sake of brevity we will sometimes use the notation : $f \in \{ +, - \}$. In mixed form, we will write the tensors :

(5)

$$T_{\nu}^{(f)\mu} = \begin{pmatrix} \rho^{(f)}(c^{(f)})^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -p^{(f)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -p^{(f)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -p^{(f)} \end{pmatrix} \text{ with } \begin{matrix} \rho^{(f)} > 0 & \rho^{(f)} < 0 \\ p^{(f)} > 0 & p^{(f)} < 0 \\ \text{For } f = "+" & \text{For } f = "-" \end{matrix} \quad ($$

ϕ and ϕ are functions are determined from conservation energy requirement. Positive energy photons cruise along null geodesics of metric $g_{\mu\nu}^{(+)}$ and negative energy photons

along null geodesics of metric $g_{\mu\nu}^{(-)}$. Note that the speeds $c^{(+)}$ and $c^{(-)}$ on one hand and the constants $\chi^{(+)}$ and $\chi^{(-)}$ on another hand may be different..

We assume this bimetric universe is homogeneous and isotropic, so that the Riemanian metrics become :

$$(ds^{(f)})^2 = (c^{(f)})^2 dt^2 - (a^{(f)})^2 \frac{du^2 + u^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)}{(1 + k^{(f)} \frac{u^2}{4})^2} \quad (6)$$

Introducing these metrics in the system (3a) + (3b), with we get classical systems :

$$\frac{3}{(c^{(+)})^2 (a^{(+)})^2} \left(\frac{da^{(+)}}{dt} \right)^2 + \frac{3k^{(+)}}{(c^{(+)})^2 (a^{(+)})^2} = -\chi^{(+)} \left[\rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \varphi \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (7a)$$

$$\frac{2}{(c^{(+)})^2 (a^{(+)})^2} \frac{d^2 a^{(+)}}{dt^2} + \frac{1}{(c^{(+)})^2 (a^{(+)})^2} \left(\frac{d a^{(+)}}{dt} \right)^2 + \frac{k^{(+)}}{(c^{(+)})^2 (a^{(+)})^2} = 0 \quad (7a)$$

$$\frac{3}{(c^{(-)})^2 (a^{(-)})^2} \left(\frac{da^{(-)}}{dt} \right)^2 + \frac{3k^{(-)}}{(c^{(-)})^2 (a^{(-)})^2} = +\chi^{(-)} \left[\phi \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (7b)$$

$$\frac{2}{(c^{(-)})^2 (a^{(-)})^2} \frac{d^2 a^{(-)}}{dt^2} + \frac{1}{(c^{(-)})^2 (a^{(-)})^2} \left(\frac{d a^{(-)}}{dt} \right)^2 + \frac{k^{(-)}}{(c^{(-)})^2 (a^{(-)})^2} = 0 \quad (8b)$$

Applying classical mathematical methods [35] the compatibility conditions of sets (7a+8a) and (7b+8b) gives :

$$3 \frac{da^{(+)}}{a^{(+)}} + \frac{d \left[\rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \varphi \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right]}{\left[\rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \varphi \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right]} = 0 \quad (9a)$$

$$3 \frac{da^{(-)}}{a^{(-)}} + \frac{d \left[\phi \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right]}{\left[\phi \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right]} = 0 \quad (9b)$$

The conservation of the energy:

$$E = \rho^{(+)}(c^{+})^2(a^{+})^3 + \rho^{(-)}(c^{-})^2(a^{-})^3 \quad (10)$$

is ensured if :

$$\varphi = \left(\frac{a^{(-)}}{a^{(+)}} \right)^3 \quad \phi = \left(\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}} \right)^3 \quad \phi = \varphi^{-1} \quad (11)$$

So that our coupled field equation system becomes :

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi^{(+)} \left[T_{\mu\nu}^{(+)} + \left(\frac{a^{(-)}}{a^{(+)}} \right)^3 T_{\mu\nu}^{(-)} \right] \quad (12a)$$

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = -\chi^{(-)} \left[\left(\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}} \right)^3 T_{\mu\nu}^{(+)} + T_{\mu\nu}^{(-)} \right] \quad (12b)$$

as previously established in [29]. Let :

$$(a^{+})^2 \frac{d^2 a^{(+)}}{dt^2} = \frac{\chi^{(+)}}{2} E \quad (13a)$$

$$(a^{-})^2 \frac{d^2 a^{(-)}}{dt^2} = -\frac{\chi^{(-)}}{2} E \quad (13b)$$

$$\chi^{(+)} = -\frac{8\pi G}{c^4} \quad \text{with} \quad c^{(+)} = c \quad \text{and} \quad G^{(+)} = G \quad (14)$$

We assume . Assume $E < 0$. Then $a^{(+)}'' > 0$ and $a^{(-)}'' < 0$. If we suppose that our visible part of the universe corresponds to positive mass, then it accelerates, while the negative species decelerates. As in [29] we find that evolution equation (13b) identifies to Friedman equation, while (13a) identifies to Bonnor's solution [36] :

$$\begin{aligned} a^{(+)}(u) &= \alpha^2 c h^2 u \\ t^{(+)}(u) &= \alpha^2 \left(1 + \frac{sh2u}{2} + u \right) \end{aligned} \quad (15)$$

Let us now develop the Newtonian approximation. The universe owns a global non zero curvature. In steady state or quasi steady state condition the universe can be considered as a large 3d hypersurface where very small regions contain matter, which are surrounded by large empty places, where the metric corresponds to Lorentz solution of $R_{\mu\nu} = 0$ equation. Consider a portion of space, with finite extent, which would be empty. If we consider phenomena occurring over a characteristic time small compared to the one corresponding to the evolution of the universe, the description through time-

independent metrics holds. Introduce a finite space extension perturbation, corresponding to terms $\gamma_{\mu\nu}^{(+)}$ and $\gamma_{\mu\nu}^{(-)}$.

$$\mathbf{g}^{(+)} = \eta^{(+)} + \varepsilon \eta^{(+)} \quad \mathbf{g}^{(-)} = \eta^{(-)} + \varepsilon \eta^{(-)} \quad (16)$$

More explicitly :

$$(ds^{(+)})^2 = (c^{(+)})^2 dt^2 - (a^{(+)})^2 \left[(d\xi^1)^2 + (d\xi^2)^2 + (d\xi^3)^2 \right] \quad (17a)$$

$$(ds^{(-)})^2 = (c^{(-)})^2 dt^2 - (a^{(-)})^2 \left[(d\xi^1)^2 + (d\xi^2)^2 + (d\xi^3)^2 \right] \quad (17b)$$

In quasi steady-state conditions the two scale factor and are considered as constants. Then, field equations are expanded into a series. Neglecting the second order terms, we find :

$$\varepsilon \gamma_{00|\beta|\beta}^{(+)} = -\chi^{(+)} \left[\delta \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \left(\frac{a^{(-)}}{a^{(+)}} \right)^3 \delta \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (18a)$$

$$\varepsilon \gamma_{00|\beta|\beta}^{(-)} = \chi^{(-)} \left[\left(\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}} \right)^3 \delta \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \delta \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (18b)$$

Defining the potentials :

$$\varphi^{(+)} = \varepsilon \gamma_{00}^{(+)} \frac{(c^{(+)})^2}{2} \quad \varphi^{(-)} = \varepsilon \gamma_{00}^{(-)} \frac{(c^{(-)})^2}{2} \quad (19)$$

we get :

$$\sum_{\alpha=1}^3 \frac{\partial^2 \varphi^{(+)}}{\partial \xi^\alpha \partial \xi_\alpha} = -\frac{\chi^{(+)} (a^{(+)})^2}{2} \left[\delta \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \left(\frac{a^{(-)}}{a^{(+)}} \right)^3 \delta \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (20a)$$

$$\sum_{\alpha=1}^3 \frac{\partial^2 \varphi^{(-)}}{\partial \xi^\alpha \partial \xi_\alpha} = \frac{\chi^{(-)} (a^{(-)})^2}{2} \left[\left(\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}} \right)^3 \delta \rho^{(+)} (c^{(+)})^2 + \delta \rho^{(-)} (c^{(-)})^2 \right] \quad (20b)$$

which are Poisson-like equations et représentent une extension de [29] quand les deux vitesses de la lumière sont différentes. Using the two forms of geodesic equations we get for positive mass particles :

$$\frac{d^2 \xi^\alpha}{dt^2} = -\frac{1}{(a^{(+)})^2} \frac{\partial \varphi^{(+)}}{\partial \xi_\alpha} \quad (21a)$$

For negative mass particles :

$$\frac{d^2 \xi^\alpha}{dt^2} = - \frac{1}{(a^{(-)})^2} \frac{\partial \varphi^{(-)}}{\partial \xi_\alpha} \quad (21b)$$

Building the dynamics from this set of equations would require a more refined solution, involving time scale factors $T^{(+)}$ and $T^{(-)}$ that will be developed in a future paper. Anyway, it is possible to derive those laws in the simplified case $a^{(+)} = a^{(-)}$ $c^{(+)} = c^{(-)}$. Then :

$$\Delta \varphi^{(+)} = - \Delta \varphi^{(-)} = 4\pi G (\delta \rho^{(+)} + \delta \rho^{(-)}) \quad (22)$$

$$\frac{d^2 x^\alpha}{dt^2} = - \frac{\partial \varphi^{(+)}}{\partial x_\alpha} \quad \frac{d^2 x^{(-)\alpha}}{dt^2} = - \frac{\partial \varphi^{(-)}}{\partial x_\alpha} = \frac{\partial \varphi^{(+)}}{\partial x_\alpha} \quad (23)$$

Referring to the previous works of H.Bondi [24] and G.W.Bonnor [36] the puzzling problem of runaway phenomenon is eliminated. This model fits classical verification associated to GR. As the two species repel each other, where positive mass is present, negative mass is almost absent and the coupled field equations system reduces to :

$$R_{\mu\nu}^{(+)} - \frac{1}{2} R^{(+)} g_{\mu\nu}^{(+)} = \chi^{(+)} T_{\mu\nu}^{(+)} = - \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}^{(+)} \quad (24a)$$

$$R_{\mu\nu}^{(-)} - \frac{1}{2} R^{(-)} g_{\mu\nu}^{(-)} = - \chi^{(-)} \left(\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}} \right)^3 T_{\mu\nu}^{(+)} \quad (24b)$$

On another hand, considering portions of space containing a sphere filled by constant density matter (positive or negative), surrounded by void makes “internal” and “external” Schwarzschild solutions features clearer, as firstly presented in [27], introducing negative gravitational lensing effect.

To give the relative size of parameters and we need to develop the non-steady solution applying to radiative era, with variable speeds of light that will be presented in a future paper.

The basic features of the bimetric model, interaction laws, negative lensing effect, was developed in [21], [27] and [28]. In [29]. From dynamic groups theory [26] the particles of the second sector are CPT-symmetrical with respect to positive energy particles (protons, neutrons, electrons, photons, and so on), which gives them negative energy and mass. The matter-antimatter duality holds in the two sectors.

Comme les masses de signes opposés se repoussent ce composant responsable des forts effets de lentille gravitationnelle autour des galaxies et des amas de galaxies se trouve dans un état ultra-raréfié dans les galaxies et dans le système solaire (où celui-ci pourrait être à l’origine de la décélération des sondes Pioneer, ce qui demanderait à être examiné). Si le modèle proposé s’avérait correct, alors les tentatives de mettre en

évidence l'existence d'astroparticules seraient vouées à l'échec.

The article [29] was centered on the explanation of the acceleration of the universe, caused by negative pressure associated to the negative energy component. Le présent article a permis de montrer qu'un modèle bimétrique pouvait être associé à deux vitesses de la lumière différentes.

Back to the problem of interstellar travel

Revenons sur le problème des voyages interstellaires

The present work needs to be completed. A study of the radiation dominated era, with "variable constants" [] must be carried out in order to justify the difference between $c^{(+)}$ and $c^{(-)}$. As evoked above, time scale factors should be added, which is not taken into account in the present paper.

Species with positive and negative mass behave differently, the whole being fully dissymmetric. A.Sakharov [] firstly imagined a dissymmetry about characteristic times of production of baryons from quarks and antibaryons from antiquarks. He suggested that the two owned opposite arrows of time (notice that after dynamic groups theory time goes with mass inversion). Sakharov suggested that different rates of baryon production could explain the absence of cosmological antibaryons in our orthochron universe, while "primeval baryons" would be absent in the twin universe. This would go with remnant free antiquarks in our fold and remnant quarks, with negative energy, in the twin.

The absence of primeval antimatter is the first smoking gun of such dissymetry.

The second is the Very Large Structure of the Universe, looking like joint soap bubbles ([37] to [40]). Negative mass would form a set of clumps, located at the centre of each bubble.

As evoked [29] a new cosmic cartography could be built, based on recent idea published by japanese group [41], which could make possible to size the ratio between averaged densities $\rho^{(+)}$ and $\rho^{(-)}$ of the two species. Another information could come from the analysis of magnitude of distant galaxies, considered classically as dwarfs. We think they are "normal" galaxies whose signal is weanened by negative gravitational lensing effect. Those galaxies emit positive energy photons (which can cross negative mass clumps).

As shown through former 2D simulations [27] macroscopic structure are different in positive and negative worlds. Negative mass forms spheroidal clumps, similar to huge proto-stars whose colling time is great with respect to the age of the Universe. So that fusion cannot occur. In the negative world there are no stars, no galaxies, no heavy elements, no planets. Life is absent.

Scale factors are different : $a^{(+)} > a^{(-)}$ so that to go from a point A to a point B we find two possible itineraries along two geodesic paths, whose length are different. Depends if the mass of the object is positive or negative.

The evolution of bimetric universe, with $a^{(-)} < a^{(+)}$ implies $c^{(-)} > c^{(+)}$ with, in variable constants adiation dominated era :

(25)

$$c^{(+)} \sim \frac{1}{\sqrt{a^{(+)}}} \qquad c^{(-)} \sim \frac{1}{\sqrt{a^{(-)}}}$$

soit :

(26)

$$\frac{c^{(-)}}{c^{(+)}} \sim \sqrt{\frac{a^{(+)}}{a^{(-)}}} > 1$$

If mass inversion could be carried out feasibility of interstellar travel should be reconsidered. In effect a transferred vehicle would cruise along geodesics of metric $g^{(-)}$, with several gains.

- The limit speed ($c^{(-)} > c^{(+)}$) is higher.
- Distances are shorter : $a^{(-)} < a^{(+)}$
- In a future work, addition of different time gauge could reduce the travel duration.

Two questions remain

- Is it possible to achieve mass inversion of a craft plus passengers ?
- How to give the craft a relativistic velocity, with respect to the new value $c^{(-)}$?

<ul style="list-style-type: none"> - Is it possible to achieve mass inversion of a craft plus passengers ? - How to give the craft a relativistic velocity, with respect to the new value $c^{(-)}$? 	<ul style="list-style-type: none"> - Est-il possible d'opérer l'inversion de la masse du vaisseau et de ses passagers ? - Comment donner au véhicule une vitesse relativiste par rapport à cette nouvelle valeur $c^{(-)}$ de la vitesse de la lumière dans le second secteur ?
--	--

--	--

<p>Mass inversion goes with local modification of geometry. It implies disconnection of geodesics and their reconnection to the geodesics of the other system. We think that such process occurs in nature. We will give a theoretical description of such process in a future paper and show the subsequent observations. As we will show, if a mass is inverted it does not imply it goes backwards in time and could emerge at distance, in its own past. This because the proper time is not modified by the process.</p>	<p>L'inversion de la masse implique une modification locale de la géométrie avec une déconnexion puis une reconnexion des géodésiques avec les géodésiques du second système. Nous pensons que ce phénomène se rencontre dans la nature et nous montrons les observations qui en découlent. Comme nous le montrerons si une masse est inversée, cela ne signifie pas que son temps soit inversé et qu'elle puisse émerger, à distance, dans son propre passé. Ceci parce que son temps propre n'est pas modifié.</p>
---	---

<p>Misho Kaku, theoretician physicist, when he thinks about possible interstellar travels evokes types I, II, III civilizations, the last being able to use energies defying imagination to achieve such purpose.</p> <p>It is necessary, for example to ensure mass inversion of a given mass M to use an energy comparable to $M c^2$? Should we create a "wormhole" and jump into? We believe that the energy we can handle today, through nuclear technique and, in future, matter antimatter annihilation, could be enough.</p> <p>We believe that our today's science and technique have reached the required</p>	<p>Misho Kaku, physicien théoricien, envisage, à propos de voyages interstellaires, des civilisations de type I, II, III, les dernières étant censées mettre en oeuvre des énergies défiant l'imagination. Il dit qu'il est nécessaire, pour assurer l'inversion d'une masse M, de mettre en oeuvre une énergie de l'ordre de $M c^2$. Devrions-nous alors créer des trous de vers pour sauter dedans? Nous estimons que les énergies que nous savons aujourd'hui mettre en oeuvre, à travers des techniques nucléaires, et plus tard en utilisant l'annihilation d'antimatière, pourraient s'avérer suffisantes. Nous pensons que notre science et notre technique d'aujourd'hui représentent l'accession à un seuil,</p>
--	---

threshold, if used in an new geometric context.	modulo le recours à un nouveau contexte géométrique.
---	---

<p>If a technology would make possible a craft's mass inversion, it would seem to dematerialize, if observed by a witness. Negative mass particles, and atoms, molecules no longer interact with surrounding positive molecules of the surrounding air. We conjecture that mass inversion process would be symmetrical. If positive mass would be inverted in a given volume, this would affect the few negative masses present in this volume. So that in that volume would take place a highly rarefied medium. For a positive mass observer the volume occupied by the crafts would look empty. The air would fill it immediately. Such process would produce a fluid dynamics perturbation. If a plane would fly too close to a large craft that would invert its mass, the subsequent gas perturbation could break it.</p>	<p>Si on disposait d'une technologie permettant d'inverser la masse d'un véhicule, celui-ci semblerait se dématérialiser, aux yeux des témoins. Les particules, atomes et molécules du véhicule, ayant inversé leur masse, n'interagiraient plus avec les molécules de l'air ambiant qui l'entouraient. Nous conjecturons que le phénomène d'inversion de masse aurait un caractère de symétrie, au sens où si une masse positive, présente dans un certain volume, était inversée, les quelques très rares masses négatives présentes dans ce volume le seraient aussi. Ainsi ce volume se présenterait alors comme ultra-raréfié. L'air environnant l'emplit immédiatement, ce qui engendrerait une perturbation aérodynamique. Si un avion volait à proximité de cette nef inversant sa masse, cette perturbation aérodynamique pourrait le briser.</p>
---	---

<p>Further we will think about a possible modification of crafts' kinetic parameters, very conjectural, going with mass inversion process. On another hand, an inverted mass is repelled by the Earth, so that "it falls upward". Adequate cyclic mass inversion could cancel weight. In</p>	<p>Nous allons maintenant évoquer la modification des paramètres cinétiques de la machine, de manière conjecturale, qui accompagnerait cette inversion de sa masse. En d'autres termes, un véhicule ayant inversé sa masse serait repoussé par la Terre et "tomberait vers le haut". Une modulation cyclique de cette inversion de</p>
--	---

<p>effect, values of the craft's weight would be alternatively $P = M g$ and $P = - M g$, in average zero. So that witness would think that force of gravity is cancelled. Combined to adequate modification of kinetic parameters that would ensure the craft movement.</p>	<p>masse pourrait supprimer le poids, celui-ci étant alternativement $P=Mg$ et $P=-Mg$, avec un poids moyen nul. Ainsi la force de gravité serait annihilée. En combinant cela avec une modification des paramètres cinétiques, on assurerait le mouvement du véhicule.</p>
--	--

Particles with mass m own characteristic length, the Compton's length :

(27)

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

If mass inversion follows gauge laws, as defined in reference (&&&) then :

(28)

$$c \sim \frac{1}{\sqrt{a}} \qquad h \sim a^{\frac{3}{2}} \qquad m \sim a$$

It is an "apparent mass", concept that will be developed in a future paper. This leads :

(29)

$$\lambda_c \sim a$$

Then mass inversion would go with some "Gulliver effect". Transferred in the new frame of reference particles would own Compton's length larger than the one of their sisters because $a^{(-)} < a^{(+)}$. The subsequent energy is ;

(30)

$$E = \frac{hc}{\lambda}$$

<p>Such transfer would go with loss of energy. If we assume that mass transfer implies energy conservation, the transferred particles must have</p>	<p>Ainsi un tel transfert s'accompagnerait d'une perte d'énergie. Si on suppose que ce processus s'effectue avec conservation de l'énergie, alors les particules inversées</p>
---	---

<p>Compton's length equal to the one of their "sisters", owing negative mass. It would be possible if, after mass inversion, particles would gain relativistic velocity, so that their Compton's length shortening would be assured by Lorentz contraction. But something should make those velocities to be oriented in the same direction. If not, craft and passengers would be splitted. If such process would be possible, interstellar crafts would not need propeller. The words "acceleration" and "deceleration" would loose meaning.</p>	<p>devront posséder une longueur de Compton égale à cette de leurs "soeurs" dotées d'une masse negative. Cela sera possible si l'inversion de masse s'accompagne d'une apparition à vitesse relativiste, qui produira un effet de "contraction de Lorentz" sur ces particules. Encore faut-il que ce gain en vitesse s'effectue dans les mêmes directions. Si cela n'est pas le cas, tous les composants de la nef et de ses passagers seraient dispersés. Mais, en supposant qu'on puisse doter les composants de vitesses parallèles, alors la nef n'aurait nullement besoin de propulseur. Les mots "accélération" et "décélération" perdraient leur sens.</p>
--	--

<p>If a huge amount of energy is necessary to accelerate a mass at relativistic velocity, a similar amount is required to decelerate it until immobility, similarly a huge amount of energy would be required to slow down when the craft cruises in the negative frame of reference. After mass inversion a craft would go so fast that it could not brake. But, arriving at it's destination, a new mass inversion would give it its former kinetic parameters.</p>	<p>Si en règle générale une énergie énorme est requise pour accélérer un objet à vitesse relativiste, une énergie comparable le serait aussi pour ralentir la nef lorsqu'elle évolue dans le système de référence négatif. Après son inversion de masse la nef ne pourrait tout simplement pas freiner. Arrivée à destination, une nouvelle inversion de masse la stopperait instantanément.</p>
---	---

<p>We evoke, in a very primitive way, travels' techniques that would have nothing to do with rocket propulsion. All will be based on mass manipulation, joined to the manipulation of other parameters, for example spin, quite easy to manage</p>	<p>Nous évoquons ainsi, d'une manière primitive, des techniques de voyages qui n'ont plus rien à voir avec une propulsion par fusées. Tout serait basé sur une manipulation de la masse, jointe à celle d'autres paramètres, par exemple le spin, ce qu'on peut opérer avec un champ</p>
--	---

<p>with a magnetic field. We suggested that energy conservation could go with a modification of dynamic parameters that defies imagination. After mass inversion, a new modification of parameters, when the crafts owns a negative mass, could give it a velocity vector oriented in another direction, while the lenght of the vector, the kinetic momentum would be conserved. If such thing was possible, a positive mass observer would think that the craft could perform turns at sharp angles, incompatible with laws of mechanics.</p>	<p>magnétique. Nous avons suggéré que ce mécanisme de conservation de l'énergie pourrait entraîner une modification des paramètres dynamiques défiant l'imagination. Si on opérât une manipulation de ces paramètres, quand la nef a sa masse inversée, lorsque qu'elle réapparaîtrait cela se produirait avec un vecteur vitesse dont le module serait conservé, mais qui serait orienté dans une direction différente. En utilisant ceci, la nef pourrait effectuer des changements de route à angle droit, violant les lois de notre physique.</p>
---	--

<p>In a distant future if technical progress makes possible to travel from star in a craft along travel duration compatible with human life what passengers could see through the windows when they travel over this negative world ? They no longer could see the universe of positive mass. So they could not see planets, stars. But, far away, they could have a sight of negative mass fuzzy spheroidal clusters, weakly etting, like proto-stars , reddish and infrared light.</p>	<p>Dans un future lointain, si les progrès technique rend possible les voyages d'étoile à étoile avec une durée compatible avec celle de vies humaines, que pourraient voir les passager à travers les hublots de leur nef lorsqu'ils voyagent dans ce monde négatif ? Ils ne pourraient plus observer d'objets de masse positive. Ainsi ils ne pourraient voir ni planètes, ni étoiles. Mais, au loin, ils apercevraient les masses floues de ce qui apparaîtraient comme des proto-étoiles, émettant dans le rouge et dans l'infrarouge.</p>
--	---

References :

- [1] Chandrasekhar S.: Principles of stellar dynamics. Dover publications. 1941
- [2] Riess, A. G., et al. 1998, AJ, 116, 1009
- [3] Perlmutter, S., et al. 1999, ApJ, 517, 565
- [4] Riess A. G. 2000, PASP, 112, 1284

- [5] Filippenko, A. V., & Riess, A. G. 2001, in AIP Conf. Proc. 540, Particle
- [6] Leibundgut, B. 2001, ARA&A, 39, 67
- [7] Knop, R., et al. 2003, ApJ, 598, 102
- [8] Tonry, J. T., et al. 2003, ApJ, 594, 1
- [9] Barris, B., et al. 2004, ApJ, 602, 571
- [10] Riess, A. G. 2004. Apj : 607:665–687, 2004 June 1
- [11] P. H. Frampton and K. J. Ludwick, Cyclic cosmology from the little rip, Mod. Phys. Lett. A 28, 1350125 (2013) DOI: 10.1142/S0217732313501253
- [12] S. del Campo, V. H. Cárdenas, and R. Herrera, Presence of anisotropic pressures in Lemaître-Tolman-Bondi cosmological models, Mod. Phys. Lett. A 27, 1250213 (2012) DOI: 10.1142/S0217732312502136
- [13] D. Savickas, Kinematic repulsions between inertial systems in an expanding inflationary Universe, Mod. Phys. Lett. A, 28, 1330025 (2013) DOI: 10.1142/S0217732313300255
- [14] I. Haranas and I. Gkigkitzis, Bekenstein bound of information number n and its relation to cosmological parameters in a Universe with and without cosmological constant, Mod. Phys. Lett. A 28, 1350077 (2013) DOI: 10.1142/S0217732313500776
- [15] Sakharov A. D., ZhETF Pis'ma 5 : 32 ; JETP Lett. 5 : 24 (1967)
- [16] Sakharov A. D. , ZhETF Pis'ma 76 : 1172 (1979) ; JETP 49 : 594 (1979)
- [17] Sakharov A. D. (1980). Cosmological Model of the Universe with a Time Vector Inversion. ZhETF (Tr. JETP 52, 349-351) (79): 689–693
- [18] Petit J. P. : "Univers énantiomorphes à flèches du temps opposés", CRAS du 8 mai 1977, t.285 pp. 1217-1221
- [19] Petit J.P. : "Univers en interaction avec leur image dans le miroir du temps". CRAS du 6 juin 1977, t. 284, série A, pp. 1413-1416
- [20] J. P. Petit (July 1994). The Missing Mass Problem. Il Nuovo Cimento B, 109: 697–710
- [21] Damour T. , Kogan I I. Effective Lagrangians and universality classes of nonlinear bigravity Phys. Rev. D **66** (2002) 104024. hep-th/0206042.
- [22] Damour T. , Kogan I. I. , Papazoglou A. Non-linear bigravity and cosmic acceleration Phys. Rev. D **66** (2002) 104025. hep-th/0206044.
- [23] Bondi H. : Negative mass in General Relativity : Negative mass in General Relativity. Rev. of Mod. Phys., Vol 29, N°3, july1957
- [24] Weinberg S. : The quantum theory of fields, Cambridge University Press, Vol.1, 2005.
- [25] Souriau J. S. : Structure des systèmes dynamiques. Dunod Ed. France, 1970 and Structure of Dynamical Systems. Boston, Birkhäuser Ed. 1997
- [26] J. Petit J. P. : Twin Universe Cosmology. Astrophysics and Space Science (226): 273–307. 1995
- [27] Petit J. P. , MidyP. and Landhseat F. Twin matter against dark matter. In. Conf. on Astr. and Cosm. "Where is the matter ?" , Marseille, une 2001.
- [28] Petit J.P. and D'Agostini G. : Negative mass hypothesis in cosmology and nature of dark energy. Astrophysics and Space Science, 2014, to be published. Accepted in 14 august 2014.
- [29] Petit J. P. : An interpretation of cosmological model with variable light velocity. Modern Physics Letters A, Vol. 3, n°16, nov 1988, p.1527
- [30] Petit J. P. : Cosmological model with variable light velocity: the interpretation of red shifts. Modern Physics Letters A, Vol.3 , n° 18, dec. 1988, p.1733
- [31] Henry Couannier F. , Int. J. Mod. Phys. A20 2341, 2005
- [32] Hossenfelder S. : A bimetric Theory with Exchange Symmetry. Phys. Rev. D78, 044015, 2008
- [33] Milgrom M. : Matter and twin matter in bimetric MOND. arXiv : 1001.4444v3 [astrop-ph.CO] 18 april 2010
- [34] Adler R. , Bazin R. , Schiffer M. : Introduction to General Relativity, McGraw Hill Book, 1967
- [35] Bonnor W. B. : Negative mass and general relativity. General Relativity and Gravitation Vol. 21, N°11, 1989
- [36] Piran T. : On Gravitational Repulsion, Gen. Relat. and Gravit. Vol. 29, N° 11, (1997)
- [37] El-Ad H. , Piran T. , and da Costa L. N. , (1996) Astrophys. J. Lett. 462 L13

[38] El-Ad H. , Piran T. , and da Costa L. N. , (1997) Mon. Not. R. Astro. Soc.

[39] El-Ad H. , Piran T. (1997) Astrophys. J.

[40] Koki Izumi, Chizaki Hagiwara, Koki Nakajima , Takao Kitamura and Hideki Asada : Gravitational lensing shear by an exotic lens with negative convergence or negative mass. Physical Review D **88**, 024049 (2013)

[41] <http://www.nasa.gov/topics/Universe/features/micro20120111.html>