

Inconstante cosmologique, supernovæ 1a et décélération de l'expansion

Russell Bagdoo

mberbag@videotron.ca

rbagdoo@gmail.com.

© DÉPÔT SARTEC No 26940 – 18 août 2011

RÉSUMÉ

En 1998, deux équipes américaines constatèrent que les supernovæ 1a (SNe 1a) qu'ils observaient étaient moins brillantes que prévu dans un univers en expansion décélérée. Ils en déduisirent que l'univers connaissait une expansion accélérée sous la pression négative d'une mystérieuse énergie noire. Les astronomes ressortirent des oubliettes la constante cosmologique, positive cette fois, pour justifier cette accélération, ce qui cadre avec l'image d'un univers inflationnaire. Pour expliquer la trop faible luminosité des SN1a les plus lointaines, ils misèrent essentiellement sur leur distance qui était à revoir à la hausse. Nous considérons qu'une expansion accélérée conduit droit à une « catastrophe de l'énergie noire » et nous supposons plutôt que l'univers connaît une expansion décélérée sous la pression positive d'une énergie noire, à savoir une constante cosmologique variable. La luminosité noire de cette dernière serait celle d'une « lumière fatiguée » qui aurait perdu de l'énergie avec la distance. Quant au faible rayonnement des SNe 1a, il s'expliquerait par un double processus physique : le premier concerne leur luminosité intrinsèque – censée ne pas varier au cours du temps – qui dépendrait des conditions chimiques qui changent avec l'évolution temporelle ; le second regarderait leur lumière apparente. Au surplus des arguments sérieux déjà apportés, nous conjecturons que leur luminosité faiblit sans cesse par des interactions avec des champs magnétiques cosmiques, à l'instar de l'expérience terrestre PVLAS dont le laser perd beaucoup plus de photons qu'attendu en parcourant un champ magnétique. Cela va dans le sens d'une « lumière fatiguée » qui aurait perdu de l'énergie avec la distance et, donc, d'une décélération de l'expansion de l'univers.

ABSTRACT

In 1998, two groups of astronomers set out to determine the deceleration of the universe by measuring the recession speeds of type Ia supernovæ (SN1a), came to an unexpected conclusion: its expansion rate has been speeding up. To justify this acceleration, they suggested that the universe does have a mysterious dark energy and they have proposed a positive cosmological constant consistent with the image of an inflationary universe. To explain the observed dimming of high-redshift SN1a they have bet on their distance revised upwards. We consider that an accelerated expansion leads right to a «dark energy catastrophe» and we suppose rather that the universe knows a slowdown expansion under the positive pressure of a dark energy, otherwise called a variable cosmological constant. The dark luminosity of the latter would be that of a «tired light» which has lost energy with distance. As for the low brilliance of SN1a, it is explained by two physical processes: The first relates to their intrinsic brightness – supposedly do not vary over time – which would depend on the chemical conditions which change with the temporal evolution; The second would concern their apparent luminosity. Besides the serious arguments already known, we

strongly propose that their luminosity continually fades by interactions with cosmic magnetic fields, like the earthly PVLAS experiment which loses much more laser photons than expected by crossing a magnetic field. It goes in the sense of a «tired light» which has lost energy with distance and, therefore, a decelerated expansion of the universe.

INTRODUCTION

Le but de cet article est de proposer l'expérience terrestre *Polarizzazione del Vuoto con LASer* (PVLAS) amalgamée au rayonnement des SNe 1a, et de montrer qu'elle corrobore l'interprétation de la théorie de la Relation selon laquelle l'observation des SNe 1a lointaines conduit à une décélération de l'expansion et à une constante cosmologique variable.

Nous considérons que la lumière des SNe 1a perd de sa luminosité en traversant les champs magnétiques intergalactiques, de la même manière que le laser de l'expérience terrestre PVLAS perd des photons en parcourant un champ magnétique. Cette expérience tend à démontrer que la luminosité apparente faiblissante des SNe 1a est due à un processus physique plutôt qu'à une distance à revoir à la hausse comme l'exige la théorie de l'inflation. Ce processus physique s'ajoute à quelques unes des principales propositions déjà connues à l'encontre d'une accélération de l'expansion. Il penche vers une densité de matière très faible et d'un univers plat, en concordance avec les résultats du pesage des amas de galaxies et ceux issus du fond diffus cosmologique. Il implique une décélération de l'expansion et fait appel à une constante cosmologique « variable » qui découle de la théorie de la Relation dont nous présentons quelques aspects. L'hypothèse de base de cette nouvelle théorie se passe de la phase originelle de croissance exponentielle de l'inflation cosmique et fait plutôt appel à un big bang relativiste [1], issu d'un univers antérieur, avec une l'énergie noire primordiale d'une densité d'au moins 10^{60} fois plus grande que l'énergie du vide actuel, dont la « substance » à haute température aurait commencé rapidement à se désintégrer en matière ordinaire et noire, désintégration qui se serait poursuivie durant l'histoire de l'univers, surtout à chaque brisure de symétrie, chaque fois que les forces d'interaction entre particules changent de nature. Le plein quantique initial devient donc le vide quantique de l'espace à travers une constante cosmologique variable qui n'est pas autre chose que l'énergie noire qui se transforme en matière ordinaire et noire. De cette façon, la « catastrophe de l'énergie noire » est jugulée et s'opère la réconciliation entre les physiciens des particules et les cosmologistes.

SCÉNARIO INFLATIONNAIRE

Avant d'aborder l'inflation, la théorie qui prévaut actuellement, mentionnons que la cosmologie, qui n'existe guère que depuis le XX^e siècle, en s'appuyant sur les lois de la physique telles que nous les connaissons, et sur les observations que nous faisons des échelles les plus petites aux échelles les plus grandes, a constitué le modèle standard. Celui-ci est une archéologie de l'univers par la pensée qui remonte au big bang, et qui apparaît comme une apothéose de la physique. Cependant à la fin des années 70, certaines pièces s'emboîtaient très mal dans le puzzle de la théorie du big bang standard. Par exemple, les observations montrent qu'à grande échelle la matière est répartie de façon plutôt homogène. Comment dès lors comprendre la formation des grandes structures (amas de galaxies, superamas), qui, elles, témoignent d'une hétérogénéité extrême de l'univers actuel ? Le processus physique à l'origine de petites fluctuations de densité manquait. Il y avait aussi les énigmes d'un univers trop plat, des brisures de symétries, des monopoles magnétiques [2].

En 1980, une nouvelle hypothèse, issue de la théorie des particules, revendiqua sa capacité à résoudre ces difficultés, tout en conservant les succès de la théorie standard. L'univers aurait connu très tôt dans la chronologie cosmique une fulgurante phase d'expansion, l'inflation. On imagine, il y a plusieurs dizaines de milliards d'années, un univers dont l'énergie était portée par un champ, lequel était perché loin au-dessus de son état de plus basse énergie. Du fait de sa pression négative, ce champ engendra un énorme sursaut d'expansion inflationnaire. L'espace, poussé par quelque chose s'apparentant à l'actuelle énergie sombre, se serait dilaté d'un facteur gigantesque, disons de 10^{100} . Puis, 10^{-35} sec plus tard, alors que ce champ glisse vers le fond du bol d'énergie potentielle, cette explosion toucha à sa fin et le champ libéra son énergie prisonnière pour produire la matière et le rayonnement ordinaires. Pendant des milliards d'années, ces constituants bien connus de notre univers exercèrent une attraction gravitationnelle tout à fait ordinaire, elle aussi, qui ralentissait continuellement l'expansion spatiale. Mais, à mesure que l'univers croissait et se diluait, l'attraction gravitationnelle diminuait. Tant et si bien que l'attraction gravitationnelle ordinaire, voici sept milliards d'années, devint suffisamment faible pour que la répulsion due à la constante cosmologique devienne dominante et, depuis lors, le rythme de l'expansion spatiale de l'univers n'a cessé d'augmenter [3, 4].

Après vingt ans de travaux, le scénario de l'univers inflatoire parvenait à rendre macroscopiques les fluctuations aléatoires d'énergie, inévitables à l'échelle quantique. Grâce à cette théorie, les plus infinitésimales irrégularités initiales dans la répartition de l'énergie peuvent être grandies démesurément et constituer les futurs centres de condensation de la matière. Ceux-ci deviendront à leur tour les germes à partir desquels la matière pourra progressivement se structurer sur des échelles de plus en plus grandes.

Malgré cette esquisse de l'évolution cosmique, à la fin du XX^e siècle, les idées sur l'inflation n'étaient pas parvenues à arrêter un scénario satisfaisant et encore moins définitif. Certains astrophysiciens étaient prêts à lever les bras et à déclarer fausse la théorie de l'inflation (et même celle du big bang). La plupart des astronomes qui avaient mesuré la masse des amas de galaxies lointaines étaient convaincus que la matière ne représentait que 20 à 40 % de la densité critique de l'univers, et que ce dernier devait être proche de la densité critique qui le rend plat, mais n'arrivaient pas à trouver les 80 à 60 % restants [5].

SUPERNOVÆ

Or, en 1998, une petite révolution a eu lieu dans le monde de la cosmologie. Les astronomes du Projet cosmologique Supernova (Supernova Cosmology Project) et de l'Équipe de recherche des supernovæ à grand décalage spectral (High-z Supernova Search Team) annoncèrent que le rythme de l'expansion cosmique accélère au lieu de ralentir [4]. Dans le but de démontrer la décélération de l'expansion, ralentie par la force de gravité attractive du contenu matériel de l'univers, les astronomes utilisèrent des explosions thermonucléaires d'étoiles âgées – celles des « SNe Ia » – pour mesurer le taux d'expansion de l'univers. Ils furent tout ébahis de constater que le mouvement de fuite des galaxies, au lieu de ralentir de plus en plus à mesure que l'univers avance en âge, semblait s'accélérer.

Cette annonce était en accord avec les mesures des études précédentes, qui évaluaient la densité de la matière à 27 %, dont la plus grande part (~22%) provient de la matière noire, encore inconnue mais qui exerce une influence gravitationnelle observable sur les galaxies et leurs amas [6]. Une fois cette valeur déterminée, les chercheurs n'eurent plus qu'à tenir compte des apports du satellite Cobe et du ballon Boomerang, et bien sûr du cadre théorique

des modèles de big bang. Ceux-là stipulent que la somme des trois paramètres cosmologiques (densité de matière, notée Ω , densité de courbure, notée Ω_K et constante cosmologique, notée Λ) doit être égale à l'unité. Or, les résultats de Boomerang ont fixé la densité de courbure. Sa valeur est nulle.

L'analyse minutieuse des données porta les astronomes à raisonner ainsi : la vitesse de récession d'une supernova dépend de la différence entre l'attraction gravitationnelle de la matière ordinaire et la poussée gravitationnelle de l' « énergie noire » émanant de la constante cosmologique ; en prenant la densité de matière, qu'elle soit visible ou invisible, égale à environ 27 % de la densité critique, ils conclurent que l'expansion accélérée qu'ils avaient mise en évidence pouvait s'expliquer grâce à une poussée vers l'extérieur due à une constante cosmologique dont l'énergie noire contribuerait à environ 73 % de la densité critique.

Ces deux valeurs combinées amènent la densité totale de masse/énergie de l'univers exactement à la valeur de 100 % prédite par la cosmologie inflationnaire ! [7] Les mesures de SNe 1a et la théorie de l'inflation se complétaient et se confirmaient l'une l'autre, indépendamment.

LA « CATASTROPHE DE L'ÉNERGIE NOIRE »

Cependant, la concordance de toutes les expériences qui mène à un espace presque plat, en expansion perpétuelle, fait sursauter plus d'un cosmologiste. À l'aube du XXI^e siècle, les astrophysiciens s'aperçoivent que toutes leurs théories ne se fondent que sur l'observation de 5 % visibles de l'énergie totale et que 95 % de l'univers leur est totalement étranger. Cela ne les empêche pas de continuer à bâtir leur édifice théorique. Si les indications expérimentales d'une valeur non nulle pour la constante cosmologique proviennent non seulement des SNe 1a, mais aussi de mesures indépendantes sur les fluctuations du rayonnement de fond cosmologique, quelle en est la valeur ?

L'accélération est très lente, ce qui indique que la valeur de l'énergie du vide, quoique différente de zéro, est extrêmement petite. Le problème théorique avec l'énergie du vide observée est qu'elle est beaucoup plus petite que n'importe quelle estimation. Selon les estimations des théoriciens des particules, l'énergie devrait être beaucoup plus importante. Mais si elle l'était, elle ne pourrait justement pas conduire à cette accélération des SNe 1a tellement difficile à mesurer. Avec une énorme énergie du vide, l'univers se serait depuis longtemps effondré (si négative) ou aurait rapidement pris de l'expansion vers le grand vide (si positive). C'est ce que nous appellerons la « catastrophe de l'énergie noire ».

Ainsi, ces mesures passionnantes présentent aussi une énigme significative. À cela s'ajoute le défi de dévoiler la nature de cette énergie noire, caractérisée par la constante cosmologique. L'énergie du vide est justement le candidat favori, mais effectivement, si c'est le cas, les physiciens quantiques préféreraient la voir multipliée par au moins 10^{60} pour que cette vision du cosmos cadre avec le modèle standard de la physique des particules [8]. Plusieurs modèles sont possibles, mais la valeur prédite dans la plupart des cas est 10^{122} fois supérieure aux limites prescrites par l'observation astronomique. La constante cosmologique est assimilable à l'inverse du carré d'une longueur. Pour les physiciens de l'infiniment petit, cette longueur s'interprète comme l'échelle de distance à laquelle les effets gravitationnels dus à l'énergie du vide deviennent manifestes sur la géométrie de l'espace-temps. Ils estiment que cette échelle est la longueur de Planck, soit 10^{-33} cm. Pour les astronomes, la constante

cosmologique est une force de répulsion cosmique qui affecte le taux d'expansion à l'échelle du rayon de l'univers observable, soit 10^{28} cm. Le rapport des deux longueurs est 10^{61} , qui est bien la racine carrée de 10^{122} .

Le vide des physiciens est plein d'énergie. Ses fluctuations d'énergie donnent naissance à des paires de particules. Durant l'histoire de l'univers, chaque fois que les forces d'interaction entre particules changent de nature, donc à chaque brisure de symétrie, le vide a encaissé de l'énergie. Aujourd'hui, l'énergie du vide, qui constitue l'essence de la constante cosmologique, devrait être bien plus grande que la valeur prédite par les cosmologistes.

Les SNe Ia observées semblent dire que ces deux tiers restants de la densité critique semblent exister sous la forme d'une mystérieuse « énergie noire » et conforter la cosmologie inflationnaire. Mais leur taux d'accélération a beau vouloir dire que la contribution de l'énergie noire à la densité critique est d'environ 73 %, soit les deux tiers qui manquaient pour que l'univers soit plat, comme l'avait prédit la théorie de l'inflation, il n'empêche que cette dernière, ainsi que le modèle des particules ou celui des cordes, ont à expliquer pourquoi l'énergie du vide de l'univers est aussi petite que nous savons qu'elle doit être. Leurs meilleurs modèles d'unification, censés faire des prédictions correctes dans le domaine des particules élémentaires, conduisent à des conséquences cosmologiques aberrantes, et ils n'ont aucune réponse à ce problème. Ainsi, pour les physiciens théoriciens, l'espoir de concilier leurs modèles et ceux de leurs collègues cosmologistes s'est envolé. Certains physiciens pensent qu'il n'y a pas de véritable explication.

Les théories dites de la quintessence naquirent pour dissiper cette conception : la constante cosmologique est remplacée par un champ variable au cours du temps, très élevé dans les phases de l'univers primordial, en accord avec les calculs des physiciens, mais qui tombe très bas au cours de l'évolution cosmique, conformément à la valeur aujourd'hui mesurée par les astronomes. Le champ de quintessence évoluerait naturellement vers « un attracteur » lui conférant une valeur basse, quelle que soit sa valeur d'origine. Les physiciens estiment ainsi qu'un grand nombre de conditions initiales différentes conduiraient à un univers semblable – celui qui est précisément observé ! Mais ces théories exigent des dimensions supplémentaires [3, 9].

Même si les astronomes et les cosmologistes ont sans doute raison sur la faible valeur prédite de l'énergie du vide, et qu'il revient surtout aux physiciens des particules de mieux comprendre les théories d'unification ainsi que la vraie nature de l'énergie du vide, nous estimons que les deux groupes se trompent conceptuellement. Les physiciens se leurrent en croyant, que s'il y a eu une grande énergie au début, il doit y avoir encore une grande énergie aujourd'hui. D'autre part, les cosmologistes errent également en croyant que l'énergie du vide a toujours été la même, c'est-à-dire presque nulle. Pour eux, il n'existe pas de vrai vide dans la nature : en permanence, des particules sont créées et disparaissent plus ou moins virtuellement, d'où la présence d'énergie. Pour être reliés à cette faible densité d'énergie du vide qui n'a jamais changé, il leur faut une densité d'énergie constante qui modélise la présence d'une constante cosmologique constante.

UNE CONSTANTE COSMOLOGIQUE VARIABLE DANS LE CADRE DE LA THÉORIE DE LA RELATION

A) SCÉNARIO DE LA THÉORIE DE LA RELATION

La question de savoir pourquoi la densité d'énergie est si minuscule trouve réponse dans le cadre de la théorie de la Relation [10]. Cette nouvelle théorie utilise une « constante cosmologique », ou une constante cosmologique variable, ce qui veut dire une densité d'énergie variable au cours du temps cosmologique. Elle n'exige pas la présence de dimensions supplémentaires : l'univers possède deux structures complémentaires et interpénétrées et quatre dimensions (une de temps et trois d'espace). La structure de la condensation a l'aspect de l'espace-temps gravifique et de la matière électromagnétique d'Einstein, tandis que la structure de l'expansion possède des aspects de l'espace-temps électromagnétique plat et de la matière ordinaire de Lorentz-Maxwell.

Depuis le big bang, la structure électromagnétique de l'expansion – avec la constante cosmologique variable – est en baisse, ayant abandonné son énergie au profit de la structure croissante de la condensation, positive et gravitationnelle. Tout au long du temps cosmologique, une annihilation perpétuelle d'énergie/masse négative se transforme en une création continue d'énergie/masse positive. La structure de la condensation représente la solution positive de l'équation d'énergie de Dirac, tandis que la structure de l'expansion exprime sa solution d'énergie négative qui a été éliminée par une astuce mathématique [8].

L'énergie/masse négative est assimilée à la constante cosmologique ou l'énergie noire. La densité d'énergie noire variable prend la forme d'une constante cosmologique variable reliée directement à l'énergie du plein qui deviendra l'énergie du vide. On peut dire qu'elle part avec l'énergie des physiciens des particules, avec 10^{120} , et aboutit à l'énergie quasi nulle des astronomes, soit $\sim 10^0$.

À travers le « principe de compensation », l'énergie négative perdue se transforme en énergie positive. En permanence, des particules positives véritables (et non virtuelles) sont créées et ne disparaissent pas toutes (notamment celles correspondant à une énergie positive), d'où la présence d'une matière positive croissante et d'une énergie du vide faiblissante. Le principe dit que durant l'expansion la diminution de l'énergie/masse électromagnétique négative induit proportionnellement et inversement une croissance de l'énergie/masse positive gravitationnelle. L'onde électromagnétique d'espace-temps est supportée par un vide non homogène rempli d'énergie négative « minimale » perpétuellement en interaction avec la matière positive.

B) CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DE LA THÉORIE DE LA RELATION

I) Pour la théorie de la Relation, ce n'est pas une matière noire qui dominait dès le début mais une énergie noire expansive. (96) Sous quelle forme se manifeste cette anti-gravité dans la théorie de la Relation ? Elle est dès le big bang liée à la densité du « plein quantique » qui existait dans les tout premiers instants de l'univers. Cette énergie noire varie au cours du temps, d'où le terme de « constante cosmologique variable ». L'action répulsive de l'énergie du plein lance l'univers à ses tout débuts, entre 10^{-35} et 10^{-32} sec, dans une folle phase d'annihilation d'énergie noire et de création de matière ordinaire et noire. Sa colossale énergie noire négative se transforme ainsi en énergie masse positive. Elle est à la fois énergie, constante cosmologique négative et flèche du temps, car elle crée du même coup l'espace-temps et la matière. Elle est associée aux défauts topologiques de l'espace liés aux différentes brisures de symétrie que l'univers a connues dans le passé. Elle se vide de son énergie pour aboutir à l'actuel « vide quantique » ou « énergie du vide » cosmologique. Ce qui réconcilie le physicien des particules et le cosmologiste.

II) La structure de l'expansion va de pair avec l'énergie sombre. Globalement, dans la théorie de la Relation, notre complexe univers est double : positif et négatif. La partie négative, qui est un univers en soi, se désintègre, et « crée » notre univers réel positif. Le principe de compensation affirme que la perte permanente de l'énergie négative de la longueur d'onde d'espace-temps électromagnétique en expansion induit l'espace-temps-matière gravifique positif. L'espace-temps plat peut procurer une gravité induite à la matière ordinaire. L'espace-temps-matière gravifique produit peut aplatir l'espace-temps électromagnétique. La signification profonde du principe de compensation est que lorsque la force répulsive de la structure de l'expansion – qui suit la flèche du temps cosmologique – se départit de sa masse/charge, il y a davantage de matière, de masse et de force attractive dans l'autre structure [10].

Cela dit, selon la relativité générale, même en l'absence de particules, l'univers peut transporter l'énergie connue comme l'énergie du vide, et cette énergie a une conséquence physique : elle étend ou rétrécit l'espace. L'énergie positive du vide accélère l'expansion de l'univers, tandis que l'énergie négative la fait s'effondrer [11]. Nous ne contestons pas cette classification, mais dans la théorie de la Relation l'énergie positive du vide et l'énergie négative du vide ont une autre signification. La première structure de condensation représente la solution positive de l'équation de l'énergie de Dirac, tandis que la seconde structure de l'expansion exprime sa solution d'énergie négative [8]. (Disons que dans l'expression $E = \pm mc^2$, $E = + mc^2$ représente l'énergie positive, tandis que $E = - mc^2$ représente l'énergie négative. $E = - mc^2$ est considéré uniquement comme une énergie virtuelle, ce qui est faux, à notre avis).

Dans notre théorie, l'énergie négative du vide signifie l'énergie noire autrement appelée constante cosmologique, tandis que l'énergie positive du vide veut dire la structure de la condensation, avec la matière positive qui croît et l'espace qui rétrécit. C'est l'inverse de la classification einsteinienne.

III) La constante cosmologique provoque l'expansion de l'espace et en même temps sa pression positive exercée vers l'intérieur freine son expansion. Ce n'est pas la pression positive qui induit la décélération mais la transformation de l'énergie négative de la matière noire en énergie positive qui produit une force gravitationnelle « attractive ». La force gravitationnelle répulsive de l'univers primordial est une énergie négative colossale qui proviendrait du big crunch présumable d'un pré-univers. Dès 10^{-35} sec, on peut dire que la pleine énergie noire se transformait en énergie « blanche » du vide primordial.

L'énergie totale de la matière augmente à mesure que l'univers grossit. De même l'énergie totale du graviton croît avec l'expansion décélérée de l'univers parce qu'il prend de l'énergie à la constante cosmologique. Avec l'expansion de l'univers, la perte d'énergie des photons devient directement observable, car leur longueur d'onde s'allonge – ils subissent un « redshift » – et plus longue est la longueur d'onde d'un photon, moins celui-ci a d'énergie. Les photons micro-ondes du rayonnement de fond cosmique se sont ainsi « décalés vers le rouge » durant près de quatorze milliards d'années, ce qui explique leur grande longueur d'onde (dans le domaine des micro-ondes) et leur faible température. En ce sens, nous avons une énergie noire « fatiguée » et les gravitons auraient extrait de l'énergie à l'énergie noire qui s'est désintégrée. En somme, à mesure que l'expansion de l'univers décélère, l'énergie noire négative de la constante cosmologique cède son énergie à la gravitation de la matière positive, tandis que le graviton prend de l'énergie à la matière et au rayonnement [4].

IV) Il y a transformation de l'énergie négative (l'onde d'espace-temps électromagnétique, ou l'énergie noire dite la constante cosmologique) en énergie positive (matière ordinaire + matière noire), et nous avons une gravitation (énergie/masse) qui accélère avec le temps cosmologique de l'expansion. La matière augmente, de même l'énergie totale liée à la masse des particules varie. Il y a création de particules et donc d'énergie/masse. (Cela ne contrevient pas au principe d'équivalence : l'« énergie propre » des particules est équivalente à leur masse lorsqu'elles sont au repos). Ce qui ne reste pas constant c'est la masse globale qui croît avec l'expansion. Ainsi, si R_U , t_0 et M° sont le rayon, le temps et la masse de notre univers :

$$R_U = t_0 c = GM^\circ/c^2 \quad (1),$$

R_U et M° augmentent avec le temps. La masse globale continue d'augmenter parce que la désintégration du pré-univers issue du big bang n'est pas encore achevée.

V) Quelle est la contribution de l'énergie noire à la densité critique dans le cadre théorique de la Relation ? La « pleine » énergie noire transformée en énergie « blanche » du vide, née à environ 10^{-32} sec après le big bang, a laissé des empreintes sur le rayonnement fossile sous la forme de minuscules fluctuations de densité se traduisant par d'infimes variations de température (de l'ordre de 0,001 %) de ce rayonnement. En scrutant ces infimes fluctuations de température avec des télescopes juchés à bord de ballons ou de satellites (en particulier, le satellite WMAP lancé en 2001 par la NASA), les astronomes ont pu déduire que la quantité d'énergie noire qui en était responsable représentait plus des deux tiers de la densité critique. En plus de cette évaluation de la densité de l'énergie, de façon indépendante, les physiciens ont établi la densité de matière (visible et noire) de l'univers. La taille apparente des hétérogénéités du fond cosmologique sur le fond du ciel est déterminée en partie par la géométrie globale de la tranche d'espace qui nous en sépare. Cette taille apparente fournit une mesure indirecte de la densité totale de l'univers et il apparaît que les quantités de matière noire et ordinaire représentent moins du tiers de la valeur trouvée [4, 5].

Des chercheurs français, consciencieux, déclarèrent que pour expliquer que l'univers est euclidien, tel que l'a prédit le satellite WMAP, nous n'avons nul besoin de l'hypothèse de l'énergie noire et que la densité de matière, à elle seule, suffit. Reste qu'il faut mettre la main sur cette matière manquante. Cette prétention ne correspond pas à la théorie de l'inflation. Dans son cadre, la concordance des expériences incline vers une densité de matière très faible et l'apparente fuite anormale des SNe Ia conduit à une constante cosmologique positive, signe d'une accélération de l'expansion. Son cadre théorique est compatible avec les résultats du pesage des amas, issus de l'étude du fond cosmologique : une densité d'énergie de 73 % et une densité de matière de 27 %. Ce qui donne

$$73 \% + 27 \% = 100 \% \quad (2)$$

et implique une densité d'énergie noire constante, c'est-à-dire une constante cosmologique positive au fil du temps, du moins à partir de 6 milliards a-l.

Néanmoins, il nous apparaît que l'inflation ne correspond pas à la théorie de la Relation, pas plus qu'un univers dominé par la matière qui sonnerait le glas de l'énergie noire. Il existerait une « constante » cosmologique « variable », négative, de laquelle la densité de l'énergie noire diminue continuellement au profit de la densité de la matière compatible avec les résultats du pesage des amas galactiques. On obtient

$$\begin{array}{l} (73 \% - 20 \%) \\ \text{Énergie noire} \end{array} + \begin{array}{l} (27 \% + 20 \%) \\ \text{Matière ordinaire \& noire} \end{array} = 100 \% \quad (3).$$

Cette expression signifie que l'énergie sans masse (sans masse positive, on s'en doute) de la constante cosmologique qui contribue supposément pour environ 73 % de la densité critique décroîtrait au fil du temps vers 50 %. Ce qui est perdu de l'immatérielle énergie noire devient masse, se joint au 27 % provenant de la matière ordinaire et noire, et fait croître la matière positive. Cet équilibre compensatoire maintient constamment à 100 % la masse/énergie totale de l'univers. Un tel processus implique une création continue de matière dans le temps cosmologique, traduit un ralentissement de l'expansion et explique une constante cosmologique variable ($\sim 73 \% \rightarrow 50 \%$) qui continue d'emmagasiner la masse manquante ($\sim 27 \% \rightarrow 50 \%$).

L'énergie noire dans le cadre de la théorie de la Relation – avec une constante cosmologique variable ayant au début un maximum d'énergie noire et un minimum de matière/masse – peut non seulement concilier le modèle des physiciens avec celui des cosmologistes, mais résout aussi les mêmes difficultés endémiques que la constante cosmologique positive prétend résoudre.

Par exemple, la présence d'une constante cosmologique négative valant environ 73 % de la masse critique permet aussi bien qu'une constante positive de régler un agaçant paradoxe : l'univers actuel est très hétérogène si l'on en juge par la répartition de la matière, pourtant l'expansion, elle, semble parfaitement uniforme dans toutes les directions. En utilisant les deux constantes, la contradiction disparaît avec une énergie distribuée de façon homogène et qui gouvernerait l'expansion... Sauf qu'en parallèle, l'énergie noire de la constante positive recule dans le passé le début de l'expansion cosmique. Si sa valeur était assez grande, elle pourrait même le repousser à l'infini (plus de big bang). Tandis que l'énergie noire de la constante variable négative peut reculer jusqu'au temps et à l'espace de Planck en partant du vide d'énergie des cosmologistes jusqu'au plein d'énergie des physiciens. Le principe de compensation révèle une symétrie cachée, évolutive, variable, qui explique la valeur au-dessus mais non loin du zéro de la constante cosmologique actuelle.

DISTANCE À LA HAUSSE OU PROCESSUS PHYSIQUE POUR EXPLIQUER LA FAIBLE LUMINOSITÉ DES SNe 1a ?

Pour expliquer la faible luminosité des SNe 1a lointaines, nous considérons que les scientifiques avaient deux choix : ou un processus physique affaiblissait leur rayonnement, ou bien leur distance était à revoir à la hausse.

En 1998, les résultats du pesage des amas de galaxies, ceux issus de l'étude du fond diffus cosmologique et les derniers résultant de l'observation des SNe 1a lointaines, formèrent les pièces d'un puzzle cosmique qui concordaient pour présenter l'image d'un univers presque plat avec une matière, qu'elle soit noire ou ordinaire, qui ne représentait que $\sim 27 \%$ de la densité critique de l'univers. Deux équipes internationales venaient de clamer que la luminosité des SNe 1a lointaines étaient 25 % plus faible que celle de leurs consœurs proches. Lorsqu'on observe une telle supernova dans une autre galaxie, il suffit de comparer sa magnitude apparente avec sa magnitude intrinsèque (brillance si elle était proche de la Terre) pour connaître sa distance. En décomposant grâce à un spectrographe la lumière de ces astres emportés par l'expansion de

l'univers, les astronomes déterminent le décalage vers le rouge (ou redshift), et conséquemment leur vitesse d'éloignement. Ces deux valeurs, liées par l'expansion qui elle-même dépend du contenu de l'univers, montrèrent un décalage vers le rouge supérieur aux prédictions. Les astronomes s'empressèrent de conclure qu'elles sont plus lointaines que ce que l'on attendait : c'était une question de distance [12, 13].

Les résultats sur les supernovæ collaient avec la cosmologie inflationnaire. Tout se tenait pour que l'expansion accélère grâce à une constante cosmologique positive. Bien que l'affaire semble entendue pour la plupart des astronomes, elle nous paraît cependant problématique sinon erronée. Les astronomes avaient considéré a priori que la luminosité des SNe Ia est toujours quasiment la même : 5 milliards de fois celle du Soleil. Seulement voilà : la magnitude intrinsèque des SNe Ia est-elle vraiment constante ?

Celle-ci n'est en effet connue que grâce aux modèles d'explosions élaborés par les astrophysiciens. Or, certains mécanismes présidant leur explosion restent encore incompris et des caractéristiques restent encore imprécises, ce qui pourrait modifier la fragile valeur de la magnitude intrinsèque qu'ils prédisent. On ne sait trop, par exemple, si l'explosion est due à une déflagration se propageant moins vite que le son ou à une détonation supersonique. Une telle incertitude incite certaines théories cosmologiques à postuler une variation des constantes de la nature, dont la constante de gravitation, bien qu'aucune observation ou expérience n'ait montré une quelconque variation de G . Une constante cosmologique variable serait cependant plus susceptible de modifier la valeur de l'énergie (et donc de la magnitude intrinsèque) relâchée par une supernova. En effet, cette énergie dépend entre autres de la vitesse de réaction de certains éléments synthétisés pendant l'explosion tel le nickel. Si la constante cosmologique, ou la densité de l'énergie noire, n'a pas la même valeur à l'instant de la supernova qu'aujourd'hui (au contraire de ce qui est habituellement supposé), la vitesse de réaction et la composition chimique impliquant le nickel ne seraient pas celles envisagées par les astrophysiciens. Il y aurait une évolution du système dans le temps et les mesures de luminosité des supernovæ devraient alors être corrigées.

D'autre part, le résultat des observations du satellite XMM-Newton de L'European Space Agency's X-ray observatory (ESA) vers 2003-2004 implique une expansion décélérée et exclut une distance à la hausse pour expliquer la pâleur excessive des SNe Ia lointaines [14, 15]. Ce qui cadre avec la théorie de la Relation.

Dans le cadre de la théorie de l'inflation, la concordance des expériences va dans le sens d'une densité de matière très faible et l'apparente fuite anormale des SNe Ia conduit à une constante cosmologique positive. Le choix d'un processus physique qui affaiblit le rayonnement des SNe Ia fut vite écarté et on opta pour le scénario attrayant d'une l'énergie noire accélérée qui aurait pris le dessus au cours de la seconde moitié de l'histoire de l'univers. Ce scénario demeure difficile à vérifier, sauf si on observe les amas de galaxies aujourd'hui et dans le passé, lorsque l'univers n'avait que la moitié de son âge actuel. En effet, dans un monde dominé par cette étrange énergie qui accélère l'expansion, les amas auraient beaucoup de mal à se former. Les galaxies trop éloignées les unes des autres ne parviendraient même pas à s'assembler. Très tôt, dans l'histoire d'un tel univers, plus aucun amas de galaxies ne se constituerait. Ceux que l'on voit aujourd'hui se seraient formés dans un passé lointain. La question à laquelle il fallait répondre pour trancher sur l'existence de l'énergie noire était simple : oui ou non, des amas de galaxies se sont-ils constitués dans la deuxième moitié de la vie de l'univers ? Or, les observations de XMM-Newton montrèrent que, lorsque l'univers était moitié plus jeune qu'aujourd'hui, le nombre d'amas de galaxies était bien moindre que ce que l'on croyait

jusqu'alors. Cela supposait que ces structures ont continué à se former jusqu'à nos jours et que nous vivons dans un univers largement dominé par la matière, en claire contradiction avec le « modèle de la concordance ». Une telle mesure, qui indique que les amas de galaxies de l'univers actuel sont supérieurs à ceux qui existaient il y a environ sept milliards d'années, mène logiquement, elle aussi, vers une expansion décélérée.

De son côté, l'astrophysicien américain Bradley Schaefer, dont les recherches portent sur l'étude photométrique des sursauts gamma et des supernovæ d'intérêt cosmologique, a obtenu un résultat de la relation distance – luminosité qui détermine une inconstance de la densité d'énergie noire. Son idée a consisté à utiliser certains sursauts gamma comme des indicateurs de distance qui jalonnent l'univers lointain. Des centaines de fois plus brillants que les supernovæ, les sursauts gamma peuvent en effet être détectés à des distances beaucoup plus grandes que celles-ci. Du coup, ils permettraient de sonder la dynamique de l'expansion à une époque de l'univers très ancienne et encore assez mal connue. Dans ce but, il a entrepris d'analyser les sursauts gamma détectés par les satellites Swift et Hete 2. Il affirme avoir établi la distance de 52 sursauts gamma jusqu'à environ 12,8 milliards d'années-lumière. Il a comparé l'intensité intrinsèque des 52 flashes gamma avec leur intensité perçue depuis la Terre, déterminé leur distance et établi une relation entre celle-ci et leur luminosité. Il trouva bien que les sursauts aux mêmes distances que les lointaines SNe 1a sont moins brillants et donc plus loin que si l'expansion actuelle de l'univers était décélérée, confirmant ainsi l'accélération enregistrée à l'aide des SNe 1a. En revanche, les sursauts les plus lointains, à des distances très supérieures à celles où les SNe 1a peuvent être observées avec les techniques actuelles, semblent au contraire plus brillants et donc plus près que prévu si l'accélération était due à une constante cosmologique. Puisque l'éclat de 52 sursauts gamma mesurés jusqu'aux confins de l'univers est trop intense pour que l'accélération de l'expansion soit due à la constante cosmologique, Schaefer en a déduit que la densité d'énergie sombre, au lieu d'être constante, devait varier [16].

Ce constat ne semble pas se démarquer du cadre actuel d'expansion accélérée et de hausse de distance pour expliquer la faible luminosité des SNe 1a lointaines [17]. Il n'en demeure pas moins cependant que les astronomes savent – tout en reconnaissant ne pas connaître assez les secrets de l'explosion des supernovæ pour être sûrs de leur luminosité – que la synthèse d'éléments lourds dans les étoiles était différente dans le passé par rapport à ce qu'elle est aujourd'hui. Il est donc probable que les sursauts les plus anciens dus aux étoiles aient eu à leur disposition un plus grand réservoir d'énergie à cette époque. En définitive, si les plus lointains sursauts sont les plus brillants, ce serait dû plutôt à l'évolution d'objets qui en sont à l'origine qu'à l'expansion.

Soulignons que Jayant V. Narlikar montra au début de la décennie que les observations de SNe 1a très lointaines, qui se sont révélées moins brillantes qu'elles ne devraient si l'expansion ralentissait, pouvait s'expliquer par la présence dans les galaxies où elles se trouvent d'un certain type de poussières, formant des aiguilles [1]. Il s'agirait de poussières galactiques produites par condensation du fer rejeté par des générations précédentes de supernovæ. Explication qui a le mérite de s'appuyer sur des faits, puisque des expériences de laboratoire montrent qu'effectivement ce type de condensation produit de la poussière en forme d'aiguilles [18, 19].

Si la question de l'absorption de lumière par la poussière métallique éjectée des explosions des supernovæ est généralement ignorée dans l'approche standard, celle d'un processus de la « lumière fatiguée » qui affaiblirait la luminosité est complètement écartée. La lumière

fatiguée est une théorie proposée par Albert Einstein pour réconcilier son hypothèse d'univers statique avec l'observation de l'expansion de l'univers. Einstein avait émis l'hypothèse que la lumière pouvait, pour une raison non précisée, perdre de l'énergie proportionnellement à la distance parcourue, d'où le nom de « lumière fatiguée ». L'expression a été inventée d'après Richard Tolman – comme une interprétation alternative de Georges Lemaître et d'Edwin Hubble qui crurent que le décalage vers le rouge cosmique était provoqué par l'étirement des ondes lumineuses lors de leur voyage dans l'espace en expansion. Fritz Zwicky en 1929 a proposé, comme explication alternative à une expansion déduite de l'observation d'un décalage vers le rouge proportionnel à la distance pour les galaxies, que le décalage était causé par des photons qui perdent graduellement de l'énergie au fil de la distance, probablement en raison de la résistance aux champs de gravitation entre la source et le détecteur. Évidemment, les idées d'Einstein et de Zwicky, dans un univers supposé statique, furent vite abandonnées.

Avec la théorie de la Relation, une forme de « lumière fatiguée » est indistinguable de l'hypothèse de l'expansion décélérée de l'univers avec une constante cosmologique variable. Nous parlons ici de la radiation actuellement indétectable de l'énergie noire. Notons que la lumière fatiguée de cette théorie n'a rien à voir avec le modèle traditionnel de la lumière fatiguée de l'univers statique en contradiction irrécyclable avec l'univers en expansion. Dans le cas des photons primordiaux, la lumière fatiguée est aussi liée à l'expansion de l'univers. La distribution de ces photons présente aujourd'hui un spectre de corps noir issu de la phase dense et chaude qu'a connue l'univers primordial. Du fait de l'expansion, d'un déséquilibre thermique avec une température qui décroît au cours du temps cosmique, le spectre de corps noir du fond diffus cosmologique observé par le satellite COBE au début des années 1990 est semblable sans être identique à celui de la recombinaison, environ 380 000 ans après le big bang. Les photons au cours de l'expansion auraient perdu de l'énergie (récupérée ailleurs), changés de fréquence sans être déformés, comme évoluent les cellules d'un corps vivant entre la prime jeunesse et l'âge avancé.

SUPERNOVÆ ET EXPÉRIENCE PVLAS

Cela dit, nous présentons un argument non encore exposé, quoique effleuré [20], lui aussi appuyé par une expérience terrestre, susceptible d'expliquer l'affaiblissement de la luminosité apparente des SNe Ia par un processus physique. L'idée générale est qu'elles perdent de leur luminosité par des interactions avec les champs magnétiques cosmiques, tout comme le laser de l'expérience PVLAS perd des photons en traversant un champ magnétique [21-22].

D'une part, on a les physiciens italiens de l'expérience «PVLAS» qui étudièrent en 2000, dans un dispositif laser, la manière dont un champ magnétique affecte la propagation d'un faisceau de lumière « polarisée ». Les ondes de ce type de lumière oscillent sur un même plan, caractérisé par un angle. Les modèles théoriques prévoyaient une légère modification de cet angle, parce qu'un petit nombre de photons sont déviés par le champ magnétique et disparaissent ainsi du faisceau. Sauf que la variation que les physiciens italiens observèrent fut dix mille fois plus importante que prévue. Ils passèrent les cinq années suivantes à vérifier ce résultat, tant les enjeux étaient potentiellement importants. Ils acquirent en 2006 la certitude que le phénomène étrange qu'ils avaient observé au début du millénaire ne résulte pas d'un biais.

D'autre part, on peut sommairement dire qu'une supernova a à peu près le volume de la Terre, la masse du Soleil et une luminosité cinq milliards de fois celle de ce dernier. Et dès lors, on peut concevoir facilement que la lumière émise par une SNe Ia puisse être aussi brillante et cohérente que celle du laser, sinon plus.

La lumière du laser possède des qualités particulières et exceptionnelles qui la classent dans une catégorie à part. D'abord, cette lumière est extrêmement intense : beaucoup plus que celle du Soleil. Elle est monochromatique et pure, c'est-à-dire d'une seule couleur et d'une même énergie pour tous les photons du faisceau. Elle est temporellement et spatialement « cohérente », car l'intervalle de temps entre le passage d'une crête d'une onde et celui de la suivante est toujours identique. Finalement, elle est directive : le faisceau laser est très étroit et se disperse fort peu. Les SNe Ia constituent le candidat, malgré des différences, qui peut le mieux s'apparenter la lumière du laser [23].

En 1916, Einstein remarqua qu'un électron situé dans un niveau énergétique fondamental peut absorber une énergie quantifiée $h\nu$ et sauter dans un niveau supérieur ; si une même énergie $h\nu$ est alors reçue par l'atome, elle ne peut plus être absorbée puisque l'électron est déjà dans le niveau à énergie élevée ; Einstein prévoit alors que l'atome se comportera comme s'il voulait quand même absorber cette énergie : ne le pouvant pas, il verra l'électron excité revenir à l'état fondamental en émettant l'énergie $h\nu$: on dit que cette énergie est stimulée – l'énergie totale émise par l'atome est donc $h\nu$ non captée + $h\nu$ stimulée = $2 h\nu$ [24, 25, 26]. On peut comparer une SNe Ia, qui correspond à l'explosion d'une étoile de type naine blanche suite à l'accrétion de matière et onde portant l'énergie $nh\nu$ arrachées à une étoile géante proche, à un système atomique avec « échelles » d'énergie.

Les SNe Ia forment une classe d'objets relativement homogènes, tant dans leurs mécanismes d'explosion que dans les caractéristiques spectroscopiques et photométriques observées. Leur caractère standardisable a permis de les utiliser pour construire un diagramme de Hubble permettant la détermination des paramètres cosmologiques [27].

De par la faible dispersion de leur maximum de luminosité dans la bande spectrale B et leur luminosité importante qui permet de les observer à de grands décalages vers le rouge, elles sont devenues des « chandelles standards » permettant de mesurer les lointaines distances et de contraindre les paramètres cosmologiques. Leur luminosité au maximum présente une dispersion de 40 %, ce qui représente quand même une grande homogénéité. À l'instar du laser, qui est un objet macroscopique quantique, une SNe Ia émet des photons qui ont presque tous la même longueur d'onde, sont presque tous en phase, se déplacent tous selon des trajets parallèles. Leurs ondes lumineuses seraient des ondes où les radiations émises par les atomes sont synchronisées entre elles [28].

La lumière des supernovæ, assimilée à un rayon laser, conduit à penser à une supernova-amplificatrice d'ondes électromagnétiques basée sur l'émission stimulée, qui traverserait les champs magnétiques cosmiques en perdant de l'énergie-luminosité, à la manière des lasers du PLVAS. Le rayonnement des supernovæ qui traverse inmanquablement le champ magnétique des galaxies, des étoiles, des espaces intersidéraux, cède des photons, qui seraient transformés en matière noire. La luminosité d'une énergie électromagnétique qui perd des photons et de la fréquence à la longue, sans que sa vitesse de la lumière en soit affectée, ne peut que pâlir.

Nous obtiendrions ainsi, corroborée par les expériences PVLAS, une sorte de lumière fatiguée qui affaiblit la luminosité des SNe Ia. Si les plus lointaines sont moins brillantes que prévu, ceci proviendrait du fait qu'à de telles distances, des pertes de luminosité par « énergie

fatiguée » ont pu enfin être détectées. Et c'est ce biais observationnel qui pourrait constituer une méthode pour établir une relation distance-luminosité dans l'univers lointain, prédire une variation de la densité d'énergie noire et jouer un rôle crucial dans la détermination de la constance ou non de la densité d'énergie sombre.

Depuis la confirmation de l'expérience PVLAS, les physiciens ont surtout été obsédés par la création d'axions afin de démontrer l'existence de cette matière noire. Est-ce la crainte d'une mauvaise incidence sur leurs conclusions qui a empêché les astronomes d'imaginer qu'un processus physique semblable puisse affaiblir la luminosité des « sondes cosmiques » ?

DISCUSSION ET CONCLUSION

Depuis sa découverte au cours de la fin des années 90, la faiblesse de la luminosité apparente des SNe Ia éloignées a été surtout attribuée à l'influence d'une mystérieuse énergie noire. La découverte a pu confirmer les idées d'inflation et l'accélération de l'expansion. La cosmologie a réalisé sa version inflationniste d'un modèle standard, appelé la « concordance cosmique », dans le cadre fortement testé du modèle big bang chaud. Toutefois, dans ce papier nous soutenons que la déclaration officielle des astronomes en 1998, à savoir que l'expansion de l'univers accélère, a été précipitée et erronée. En outre, un inconvénient à leur conclusion : la composante énergie noire ou constante cosmologique positive représente, dans l'actuel modèle de « concordance », environ 73 % de la densité d'énergie de l'univers. Néanmoins, une constante cosmologique est généralement interprétée comme l'énergie du vide et la physique des particules en cours ne peut pas expliquer une telle amplitude frisant le zéro. Aucun modèle théorique, pas même les plus modernes, comme la supersymétrie ou la théorie des cordes, n'est en mesure d'expliquer la présence de cette énergie noire mystérieuse dans la quantité que les observations exigent. Par contre, si l'énergie noire était de la taille que ces théories prédisent, l'univers se serait étendu à une vitesse si fantastique qu'il aurait empêché l'existence de tout ce que nous connaissons dans le cosmos. Ce fluide à pression négative reste une faiblesse sérieuse connue comme le problème de la constante cosmologique. Nous l'avons surnommé la « catastrophe d'énergie noire » [29, 30].

Nous proposons la théorie de la Relation avec une constante cosmologique variable, qui explique l'univers du début ainsi que l'état de l'univers actuel, et qui aboutit à une décélération de l'expansion, ce qui a le mérite de résoudre le paradoxe de la constante cosmologique. L'expansion de l'univers est ainsi assimilée à une pression positive et à une constante cosmologique négative. Elle a constamment décéléré au cours du temps grâce à la présence d'une énergie noire qui varie à la baisse au profit d'une matière/masse qui ne cesse de croître depuis le début.

L'accélération de l'expansion de l'univers est basée sur la pâleur des lointaines SNe Ia. Deux moyens s'offraient pour expliquer cette pâleur : revoir les distance à la hausse, ce qui veut dire une accélération, et le processus physique qui signifie une décélération. Les astronomes s'empressèrent d'accréditer la distance à la hausse qui cadrait avec la théorie de l'inflation. Ils firent fi des arguments apportés par plusieurs physiciens-théoriciens et par des expérimentateurs (XXM-Newton) qui favorisent le processus physique.

Nous soumettons un argument susceptible d'expliquer l'affaiblissement de la luminosité apparente des SNe Ia par un processus physique. Il s'agit de l'expérience PVLAS qui révéla une perte d'intensité de la luminosité du rayonnement laser dans un champ magnétique. Suite à cette expérience, les physiciens se sont acharnés à découvrir la particule mystérieuse de la

matière noire qui expliquerait la perte des photons. Ils ont semblé n'être obnubilés que par ce seul problème, sans même envisager que la lumière provenant des lointains quasars et des supernovæ pouvait aussi perdre de la luminosité lorsqu'elle traverse les incontournables champs magnétiques cosmiques. Si la perte de photons de l'expérience PVLAS fut dix mille fois plus grande que prévue, et qu'il est approprié de comparer cette expérience laser au rayonnement des SNe Ia, on ne peut dès lors guère douter qu'il s'agit là d'un processus physique de « lumière fatiguée » qui augmente le décalage vers le rouge, affaiblit la luminosité apparente des SNe Ia, ce qui indique une décélération de l'expansion qui exclut la hausse de distance. Ne pas tenir compte de cette forte possibilité dès maintenant tiendrait autant de la bêtise que de la malhonnêteté intellectuelle.

Références

- [1] Russell Bagdoo, *ÉMISSION EXTRAGALACTIQUE D'ARCADE 2 ET MATIÈRE NOIRE VUES PAR LA THÉORIE DE LA RELATION*, Scribd, Issuu (2009).
- [2] Gilles Cohen-Tannoudji, Michel Spiro, *La matière-espace-temps*, Fayard, p. 316, 325 (1986).
- [3] Brian Greene, *La magie du Cosmos*, Robert Laffont, folio essais, p. 503, 504, 519 (2005).
- [4] Patrick Peter, *De quoi est fait l'Univers ? Dossier Pour la Science*, N° 62, jan-mars, p. 75-6 (2009).
- [5] Serge Jodra, *La tyrannie de l'énergie sombre*, Ciel & Espace, N° 370, mars, p. 44-46 (2001).
- [6] Trinh Xuan Thuan, *Origines*, Éditions Fayard, folio essais, p. 95, 96 (2003).
- [7] Azar Khalatbari, *L'expansion de l'Univers s'accélère*, Ciel & Espace, N° 384, Mai, p. 30 (2002).
- [8] Jacques-Olivier Baruch, *Et pourtant il accélère*, La Recherche, N° 361, février, p. 37 (2003).
- [9] Jean-Pierre Luminet, *L'Univers chiffonné*, Éditions Fayard, folio essais, p. 87, 320-322 (2005).
- [10] Russell Bagdoo, *The Pioneer Effect: a new Theory with a new Principle*, Scribd (2008).
- [11] Lisa Randall, *Warped Passages*, Harper Perennial, p. 198 (2006).
- [12] Jean-François Haït, *L'Univers accélère*, Ciel & Espace, N° 429, février, p. 34 (2006).
- [13] Stéphane Fay, *Des chandelles fiables pour mesurer l'Univers ?* Ciel & Espace, N° 443, avril, p. 44-45 (2007).
- [14] Azar Khalatbari, *L'énergie sombre remise en question*, Ciel & Espace, N° 405, février, p. 34 (2004).
- [15] S. Fay, P. Henarejos, *Sale temps pour l'énergie sombre*, Ciel & Espace, N° 422, juillet, p. 27 (2005).
- [16] Bradley E. Schaefer, *The Hubble Diagram to Redshift >6 from 69 Gamma-Ray Bursts*, arXiv: astro-ph/0612285 v1, 11 Dec (2006)
- [17] Stéphane Fay, *Des sursauts gamma pour sonder l'énergie sombre*, Ciel & Espace, Mai, p. 35-37 (2006).

- [18] Jayant V. Narlikar, *Croire au Big Bang est un acte de foi*, La Recherche, N° 372, février, p. 66 (2004).
- [19] R. G. Vishwakarma, J. V. Narlikar; *QSSC re-examined for the nearly discovered SNe Ia*; arXiv: astro-ph/0412048 v1, Dec (2004).
- [20] Linda Östman, Edward Mörtzell; *Limiting the dimming of distant type Ia Supernovae*; arXiv:astro-ph/0410501 v1, Feb (2005).
- [21] Zavattini *et al.*, *Photons et masse manquante*, LA RECHERCHE, N° 397, mai, p. 12 (2006).
- [22] E. Zavattini *et al.*, *Phys. Rev. Lett.*, 96,110407, (2006).
- [23] M. Brotherton, *Fonctionnement et utilisation des masers et lasers*, Dunod, Paris, p. 3, 56 (1970).
- [24] Bernard Maitte, *La lumière*, Édition du Seuil, 296, 1981.
- [25] Francis Hartmann, *Les Lasers*, Presses Universitaires de France, Que sais-je ? p. 16 (1974).
- [26] Ronald Brown, *Les Lasers*, Larousse, Paris, p. 19 (1969).
- [27] Jérémy Le Du, *Standardisation spectroscopique des supernovæ de type Ia dans le cadre du sondage supernovæ legacy survey*, Thèse, Université de la Méditerranée, U.F.R. M.I.M. (2008).
- [28] D. Park, *Aspects de la physique contemporaine, Les lasers*, Dunod, Paris, p. 43-146 (1968).
- [29] David Appell, *Scientific American*, p. 100-102, May (2008).
- [30] Marie-Noëlle Cérèlier; *The Accelerated Expansion of the Universe Challenged by an Effect on the Inhomogeneities*; arXiv:astro-ph/0702416v2; (2007).

