EXPANSION DE L'UNIVERS : L'hypothèse du graviton

LE MAGAZINE DE L'ASTRONOMIE

CIEL & ESPACE

Numéro 475 / décembre 2009

NOËL
VOS CADEAUX ASTRO

Vu de la Station
Les villes la nuit

Le climat est-il en train de réveiller les volcans ?

VIE dans le Système solaire
LES NOUVELLES OASIS

M 01362 - 475 - F: 4,90 €

Dom : 6,90 € - Tom : 1500 XPF - Bel : 5,60 € - Ch : 10 FS - And : 4,90 € - Can : 7,95 $ Can - Esp : 5,60 € - Gr : 5,60 € - Ital : 5,90 € - Lux : 5,60 € - Aut : 6,20 € - May : 7,30 € - Port. Cont. : 5,60 € - Spm : 6,60 € - Mar : 30 Dh - Tun : 4400 Tnm

Nasa/ESA/STSCI/Aura/C&E Photos

Cette image du télescope Hubble montre l'amas de galaxies Abell S0740, situé à 450 millions d'années-lumière, dans la constellation du Centaure. Au centre, la galaxie elliptique géante ESO 325-G004, de quelque 100 milliards de masses solaires. Les gravitons de cet amas contribuent-ils à accélérer l'expansion de l'Univers ?

Une particule encore inobservée, le graviton, pourrait expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers. C'est la conclusion étonnante à laquelle aboutit une équipe de physiciens brésiliens. Une alternative à l'énergie sombre qui, si elle était un jour confirmée, bouleverserait le destin de l'Univers.

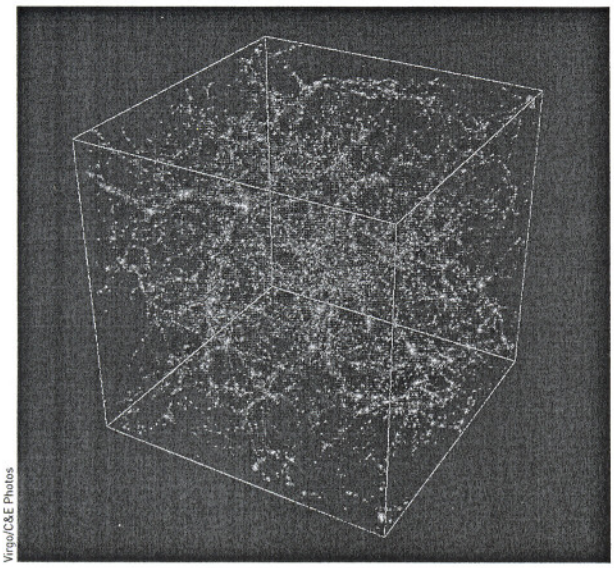
Expansion accélérée : et si on la devait au graviton ?

Stéphane Fay

L'EXPANSION de l'Univers s'accélère. Depuis 1998, par la mesure des distances de supernovae lointaines, les astronomes en ont acquis la certitude. Une certitude qui pourtant leur pose un sérieux problème : compte tenu des propriétés de l'Univers observable, cette expansion ne devrait pas s'emballer. Au mieux, elle devrait rester constante. Alors, pour expliquer ce qu'ils observent, les cosmologistes invoquent une composante aussi mystérieuse qu'insaisissable : l'énergie sombre. Celle-ci agirait comme une antigravité qui donnerait un coup de pouce à l'expansion amorcée voici plus de 13 milliards d'années, lors du big bang... Mais si la solution était ailleurs ?

C'est la démarche choisie par M. E. S. Alves et ses collaborateurs de l'Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de Sao Jose dos Campos (Brésil). Ils ont suivi la piste d'une particule censée véhiculer l'interaction gravitationnelle, le graviton. Seul problème : elle n'a encore jamais été détectée. Malgré tout, l'équipe brésilienne arrive à une conclusion peut-être lourde de conséquences : si le graviton a une masse de l'ordre de 10^{-65} gramme (soit un 1 précédé de 64 zéros après la virgule), il suffirait à expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers.

Ce résultat peut paraître paradoxal. En effet, ce n'est pas en ajoutant de la masse à l'Univers que l'on accélère son expansion. Bien au contraire ! En fait, s'il en est ainsi, c'est que le graviton n'a rien d'une particule ordinaire. Une première difficulté était donc de prendre en compte sa masse dans les équations de la relativité générale, décrivant la gravitation à l'échelle de l'Univers. Aussi, pour traiter décemment les effets cosmologiques de sa masse, les chercheurs se sont servis d'une idée émise en 1998 par un de leurs collègues, Matt Visser. Elle repose sur l'utilisation de ce que les physiciens appellent des champs. Par exemple, la température d'une pièce peut être caractérisée en chaque endroit par un nombre. L'ensemble de ce "champ de nombres" est qualifié de *champ scalaire*. Une onde radio traversant une pièce est, elle, caractérisée en chaque endroit de la pièce par une liste de nombres représentant l'amplitude de l'onde et sa direction de propagation. On parle alors de *champ de vecteurs*. Quant à l'interaction gravitationnelle, elle est décrite par un tableau de nombres en chaque endroit de la pièce. On parle cette fois de *champ de tenseurs*. C'est avec de tels champs qu'Einstein décrit la gravitation dans tout l'Univers.



Virgo/C&E Photos

La distribution de matière dans l'Univers s'organise de façon hiérarchique en galaxies, amas de galaxies et superamas. C'est à cette échelle, celle des grandes structures (ici, simulée par ordinateur), que les effets du graviton pourraient se faire sentir.

Courtesy M.E.S. Alves

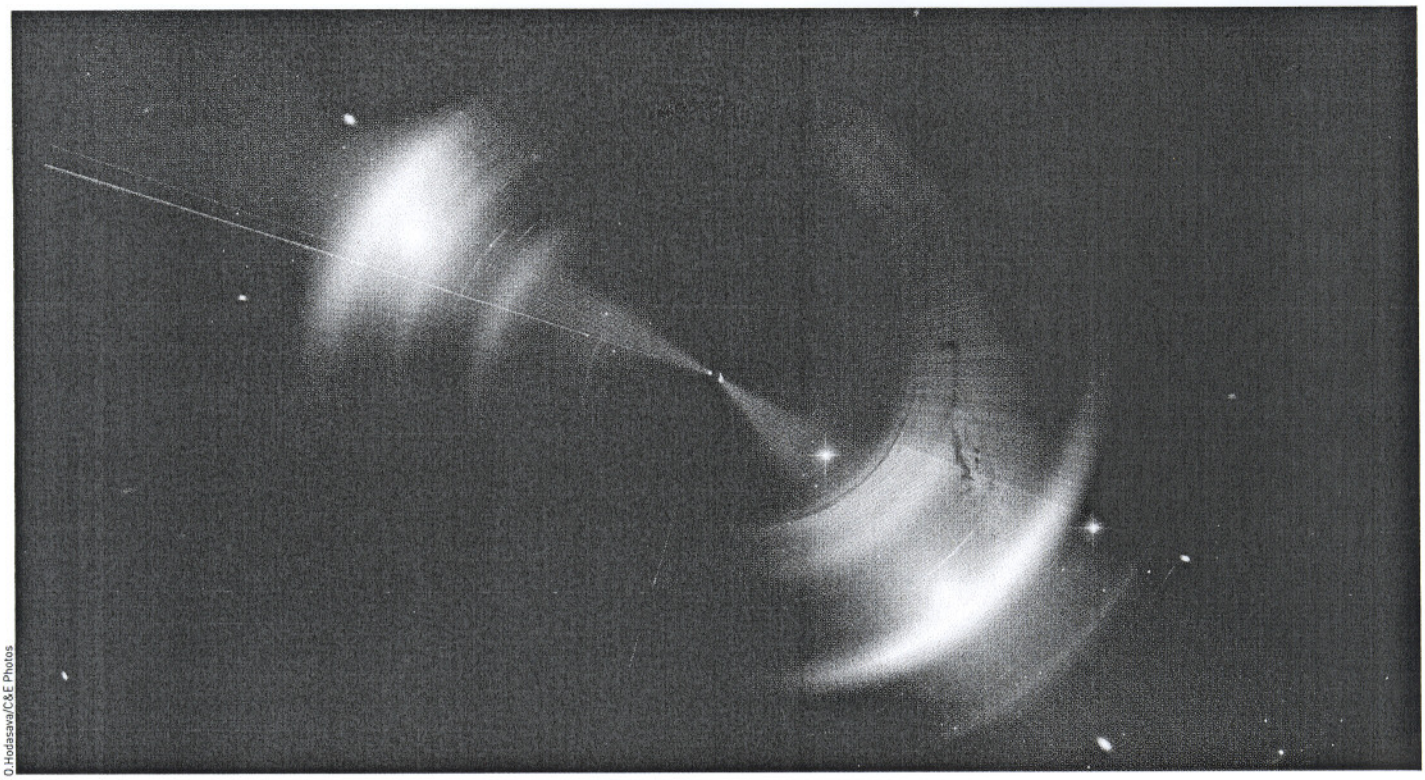
Pour expliquer l'accélération de l'expansion de l'Univers, l'équipe du Brésilien M. E. S. Alves a exploré la piste du graviton, cette particule censée véhiculer l'interaction gravitationnelle.

Masse du graviton et relativité

L'idée de Visser consiste à considérer un autre champ de tenseurs dans les équations d'Einstein pour décrire l'interaction gravitationnelle véhiculée par un graviton ayant une masse. Cette masse n'a aucun effet au niveau du Système solaire. Ainsi, elle ne modifie pas l'avance du périhélie de Mercure, prédite par la relativité générale, et est donc en accord avec les observations. Ses effets sont également négligeables pour des champs gravitationnels d'intensité moyenne comme ceux des pulsars. En revanche, pour les champs gravitationnels forts, les effets de l'existence d'une masse pour le graviton sont radicaux, en particulier en cosmologie.

Visser a montré voici plus de dix ans qu'elle devrait exercer une influence sur l'expansion. Une influence contre-intuitive car l'on pourrait penser que tenir compte d'une masse supplémentaire dans l'Univers tendrait à ralentir son expansion. Or, selon les physiciens brésiliens, la manière particulière dont cette masse doit être prise en compte tend au contraire à accélérer l'expansion.

Mais pour préciser les effets cosmologiques de cette masse, encore faut-il la déterminer. Plusieurs mesures ont déjà été tentées •••



O.Hodasava/C&E Photos

Si la masse du graviton est à l'origine de l'accélération de l'expansion de l'Univers, ce dernier finira par se contracter dans quelques milliards d'années. Toute la matière se retrouvera alors concentrée en un point ; un événement baptisé "big crunch".

••• dans le passé. *"La plus fine d'entre elles vient de l'étude du mouvement des planètes dans le Système solaire*, raconte Oswaldo Miranda, membre de l'équipe d'Alves. *Ces observations donnent une masse du graviton inférieure à $7{,}8.10^{-55}$ g. L'analyse du mouvement des galaxies au sein des amas de galaxies fournit une limite encore plus basse, 2.10^{-62} g, mais plus incertaine compte tenu d'erreurs de mesure plus grandes."* Grâce à la vitesse des étoiles dans les galaxies, une limite supérieure de 10^{-59} g a été trouvée. Quant à la décroissance de l'orbite des pulsars doubles, elle indique $1{,}4.10^{-52}$ g.

Si ces valeurs sont si différentes, c'est parce que les observations pour les obtenir portent sur des astres également différents. Malgré cela, il existe un point commun à toutes ces mesures : aucun d'entre elles n'exclut une masse pour le graviton. Alves s'est alors demandé si les observations cosmologiques permettraient, elles aussi, de déterminer une limite à cette masse. Et la réponse est oui ! Grâce à une relation entre la masse du graviton et… la quantité de matière noire et ordinaire de l'Univers, ainsi que son âge. Résultat des calculs : 10^{-65} gramme ! Une masse minuscule aux effets colossaux…

En introduisant cette valeur dans les équations de la relativité générale, les Brésiliens ont réussi à décrire le passé et le futur de l'expansion. Le passé ne diffère guère de la description habituellement admise. Au début de l'Univers, l'expansion est d'abord décélérée, comme si la masse du graviton n'avait eu aucune influence. Puis, voici quelques milliards d'années, cette influence commence à se faire sentir en accélérant l'expansion. Le futur de l'Univers est lui bien différent de ce que les cosmologistes imaginent généralement, c'est-à-dire un cosmos avec une expansion infinie.

Le retour du big crunch

C'est même tout le contraire qui se passe : la masse du graviton provoquerait une contraction de l'Univers, d'abord accélérée, puis décélérée. Autrement dit, tout ce qu'il contient finira son existence en un point de densité infini : un big crunch, en somme. Cette évolution de l'expansion semble relativement la même quelle que soit la masse du graviton. En revanche, les temps de l'accélération de l'expansion comme de sa contraction dépendent de cette masse. La valeur trouvée par Alves est bien en accord avec une accélération ayant débuté il y a quelques milliards d'années et une contraction qui s'amorcera dans quelques milliards d'années.

Restait un dernier test à passer pour la théorie du graviton massif. Si celle-ci décrit bien une expansion qui s'accélère au bon moment, l'amplitude de cette accélération est-elle en accord avec celle obtenue en observant les supernovae ? Ces explosions d'étoiles permettent d'établir une relation entre leur luminosité et leur vitesse d'éloignement due à l'expansion (redshift). Plus l'expansion accélère, plus leur luminosité décroîtra quand leur redshift augmentera. Encore un test passé avec succès ! Les valeurs que peuvent prendre la masse du graviton permettent de déduire la relation entre luminosité et redshift des supernovae à partir de la théorie élaborée par Visser, et cette relation colle parfaitement avec les observations.

Ainsi, le fait que le graviton ait une masse semble expliquer l'accélération de l'expansion, aussi bien que l'énergie sombre. Cependant, le succès n'est pas encore assuré. Car l'énergie sombre concorde avec bien d'autres observations que celle de la nature de l'expansion. *"Nous aimerions désormais étudier l'effet de la masse du graviton sur l'évolution des perturbations de la densité de matière lorsque l'Univers était jeune et qui sont à l'origine de ses grandes structures"*, explique Oswaldo Miranda. Ces perturbations ont laissé des traces dans le rayonnement de fond cosmologique qui pourraient constituer un test définitif quant à l'existence d'une masse pour le graviton. Les chercheurs attendent ainsi avec impatience les observations du satellite Planck, dont la première lumière semble prometteuse. ●