

L'expansion de l'Univers

Elisa di pietro*

Voici plus de 70 ans, les astronomes faisaient la plus grande découverte du siècle passé : l'univers dans lequel nous vivons est en expansion, il a une histoire ! Mais jusqu'il y a peu, impossible de savoir si cette expansion sera éternelle ou si l'univers finira par s'effondrer sur lui-même. Depuis quelques années, les astronomes ont leur petite idée... mais avant de comprendre comment ils y sont parvenus, faisons un retour en arrière dans le temps pour découvrir comment l'expansion de l'univers a été mise en évidence.

La plus grande découverte du siècle passé

Les astronomes de l'Antiquité avaient déjà remarqué que l'immuabilité du ciel nocturne n'était qu'apparente : des planètes nous rendent régulièrement visite, des comètes viennent parfois nous surprendre, ... Mais hormis ces astres perturbateurs, l'univers dans son ensemble était considéré comme une arène intemporelle et statique. Ce préjugé profondément enraciné dans les esprits jusqu'au début du vingtième siècle a même influencé Einstein. En 1917, ce dernier modifie les équations de sa théorie de la relativité générale en introduisant une constante. Son but ? Construire un modèle mathématique décrivant un univers statique. En effet, sans cette *constante cosmologique* et sans un ajustement fin de sa valeur,

l'univers ne pouvait demeurer immobile.

En 1927, le chanoine belge Georges Lemaître propose un autre modèle relativiste dans lequel le rayon de l'univers est croissant au cours du temps. Ce travail passe inaperçu jusqu'à ce que, deux ans plus tard, des observations astronomiques le propulsent sur le devant de la scène. En 1929, Edwin Hubble met en évidence le phénomène de fuite en avant des galaxies : toutes les galaxies semblent s'éloigner de nous. Il est même allé plus loin en constatant que la vitesse de fuite est d'autant plus importante que la galaxie est éloignée de nous : distance = $H_0 \times$ vitesse, où H_0 est appelée *constante de Hubble*. En réalité, ce qu'Hubble avait découvert était l'existence d'un décalage vers le rouge (effet Doppler) systématique des spectres des galaxies proportionnel à la distance.

Lemaître fournit une explication à ce phénomène à partir de son modèle d'univers à rayon croissant. Einstein ne peut pas en faire de même avec son modèle statique... La théorie du « Big Bang » était en train de naître... D'après celle-ci, le mouvement des galaxies n'est qu'apparent : ces dernières sont fixes dans un espace qui gonfle. Une image à deux dimensions de l'expansion de l'univers consiste à prendre un ballon sur lequel sont collées des pastilles symbolisant les galaxies et qui est ensuite gonflé (Fig.1) : les pastilles se fuient les unes des autres, sans pour autant se déplacer sur le ballon. Notons que l'existence de l'expansion signifie que l'univers était dans le passé plus petit, plus dense et plus chaud

qu'aujourd'hui : il a évolué avec le temps.

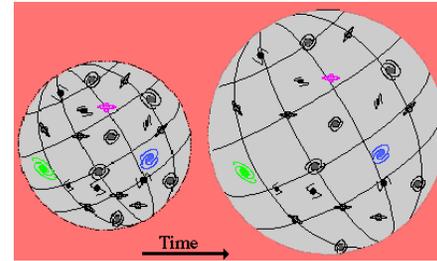


Fig.1 - Un ballon sur lequel ont été collé des pastilles est une analogie à deux dimensions du phénomène d'expansion de l'univers : lorsqu'on souffle dans le ballon, toutes les pastilles s'éloignent les unes des autres. A noter l'absence de centre d'expansion.

Le destin de l'univers

Une fois l'expansion de l'univers mise en évidence... et acceptée, une question se pose : va-t-elle se poursuivre éternellement ou finira-t-elle par s'arrêter pour rebrousser chemin et provoquer un effondrement de l'univers sur lui-même ? Une autre analogie permet de comprendre comment il est possible de répondre à cette question. Considérons le lancement d'un véhicule spatial hors de l'atmosphère terrestre. Si l'impulsion conférée à celui-ci est trop faible, il s'élèvera dans les airs un moment puis retombera. Plus sa vitesse initiale est importante, plus haut il montera avant de s'écraser au sol. Cependant, si la vitesse de lancement est supérieure à 11,7 km/s, il échappera à l'attraction terrestre. Cette valeur limite de la vitesse est fixée par la masse de la Terre.

La situation est similaire en cosmologie : est-ce que la vitesse d'expansion de

l'univers est suffisante pour contrer l'attraction gravitationnelle engendrée par la matière qu'il contient ? La réponse à cette question demande donc une estimation de la quantité de matière présente dans l'univers, qu'elle soit visible ou non. Comme la taille de l'univers est inconnue, sa masse l'est tout autant. Les cosmologistes préfèrent parler en termes de densité : la densité de matière présente dans l'univers est-elle suffisante pour stopper son expansion ? Les cosmologistes introduisent alors le paramètre Ω_m , proportionnel à la densité totale de matière dans l'univers, et ils tentent d'estimer sa valeur.

Les choses sont cependant plus compliquées... Depuis les développements de la mécanique quantique, les physiciens savent que le vide n'est pas réellement vide : il est constitué de particules qui sans cesse se créent puis s'annihilent, lui conférant une énergie. Or, Einstein nous a enseigné l'équivalence entre la matière et l'énergie : le fameux $E = mc^2$! Aussi, le vide influence la dynamique de l'univers, au même titre que la matière. L'ironie du sort veut que la prise en compte de l'énergie du vide dans la théorie du Big Bang revient à introduire une constante cosmologique dans les équations de la relativité générale, comme l'avait fait Einstein au début du siècle...

Les astronomes introduisent alors un second paramètre cosmologique, Ω_Λ , associé à la constante cosmologique, Λ , et donc à l'énergie du vide. Par consé-

truction, les ordres de grandeur des paramètres Ω_m et Ω_Λ avoisinent l'unité. Mais ce sont leurs valeurs exactes qui importent pour connaître le destin de l'univers.

Les supernovae à la rescousse

Les astronomes disposent de différentes méthodes pour estimer la valeur des paramètres Ω_m et Ω_Λ . L'une d'entre elles consiste à prolonger les observations de Hubble sur de plus grandes distances. En effet, pour des objets plus lointains, la relation linéaire trouvée par Hubble entre le décalage spectral et la distance est modifiée, à cause de la courbure de l'espace et de la variation de la vitesse d'expansion au cours du temps. L'amplitude des écarts à la linéarité dépend de la valeur des paramètres Ω_m et Ω_Λ .

Ainsi, si l'on parvient à mesurer le décalage spectral d'étoiles situées à des distances de plus en plus grandes, on pourra en déduire les valeurs de Ω_m et Ω_Λ . Mais la distance qui nous sépare d'une source est une donnée difficile à acquérir en astronomie. Si, par chance, il existait dans l'univers une source-étalon de luminosité intrinsèque connue, alors une mesure de sa luminosité apparente permettrait de déterminer sa distance. Les cosmologistes pensent que les supernovae peuvent jouer ce rôle de chandelles cosmiques nécessaires pour scruter l'univers.

Une supernova est une étoile qui termine sa vie en une gigantesque explosion : elle devient alors aussi brillante

qu'une petite galaxie tout entière (Fig.2). Les supernovae peuvent donc être visibles sur des distances cosmologiques. De plus, la distribution des luminosités absolues d'un certain type d'entre elles, le type Ia, s'est révélée particulièrement homogène, faisant de ces supernovae les meilleures chandelles cosmiques connues à ce jour.

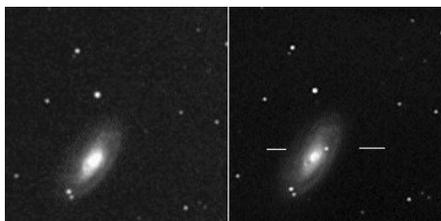


Fig.2 - En mai 1999, un nouveau point lumineux apparaît dans la galaxie M88 : une supernova !

Plus d'un millier de supernovae sont répertoriées à ce jour. Il s'en produit en moyenne une par siècle et par galaxie. Autant dire qu'un très grand nombre de galaxies doivent être surveillées pour espérer en détecter quelques-unes. Depuis quelques années, plusieurs équipes guettent en permanence des milliers de galaxies dans l'espoir final de préciser notre compréhension de l'univers dans lequel nous vivons. Leurs observations ont dévoilé des supernovae moins brillantes et donc plus lointaines que prévus par un modèle cosmologique sans constante cosmologique. Plus concrètement, ces résultats pointent vers un univers dont l'expansion serait éternelle et actuellement accélérée. Pour préciser leurs conclusions, les cosmologistes ont besoin d'observer de nouvelles supernovae encore plus lointaines.

La prudence reste cependant de mise face à ces conclusions : comment être certain que les supernovae lointaines sont effectivement identiques aux proches ? Comment s'assurer que la plus faible luminosité des supernovae n'est pas due à l'absorption de son rayonnement par des nuages interstellaires ou intergalactiques ? La comparaison des spectres des supernovae proches et lointaines ne révèle aucune différence majeure de composition chimique, ni aucune trace d'absorption importante. Mais pour plus de sécurité, l'étude de ces incertitudes systématiques occupera une place aussi importante dans les futurs programmes d'observation de supernovae que celle accordée à la détection de nouvelles supernovae lointaines.

* Cet article est le résumé de la conférence présentée par Elisa le 10 octobre dernier. Elisa Di Pietro a réalisé un doctorat en cosmologie à l'Institut d'Astrophysique de l'ULg avec les professeurs J. Demaret, J.-P. Swings et Le-maire.