



La saga des constantes cosmologiques

1. UNIVERS STATIONNAIRE / UNIVERS EN EXPANSION

La cosmologie a émergé en tant que science il y a moins d'un siècle, après la publication des premiers articles d'Einstein, Friedmann et de Sitter vers 1920, puis la découverte de l'expansion de l'Univers par Lemaître et Hubble. Beaucoup pensaient jusque dans les années 1920 que l'Univers se limitait à la Voie lactée et que les « nébuleuses spirales » étaient de simples nuages de gaz qui en faisaient partie ! Depuis, on a découvert que l'Univers – du moins celui que nous

pouvons observer – a une dimension un million de fois plus grande que la Voie lactée, qu'il est né il y a quatorze milliards d'années et qu'il est en expansion depuis, qu'il a une géométrie quasiment euclidienne, et qu'après s'être ralentie, son expansion s'accélère depuis quelques milliards d'années. Mais toutes ces découvertes ne se sont pas faites sans mal, et elles ont été accompagnées de violentes controverses et de remises en cause parfois douloureuses.

Une naissance compliquée

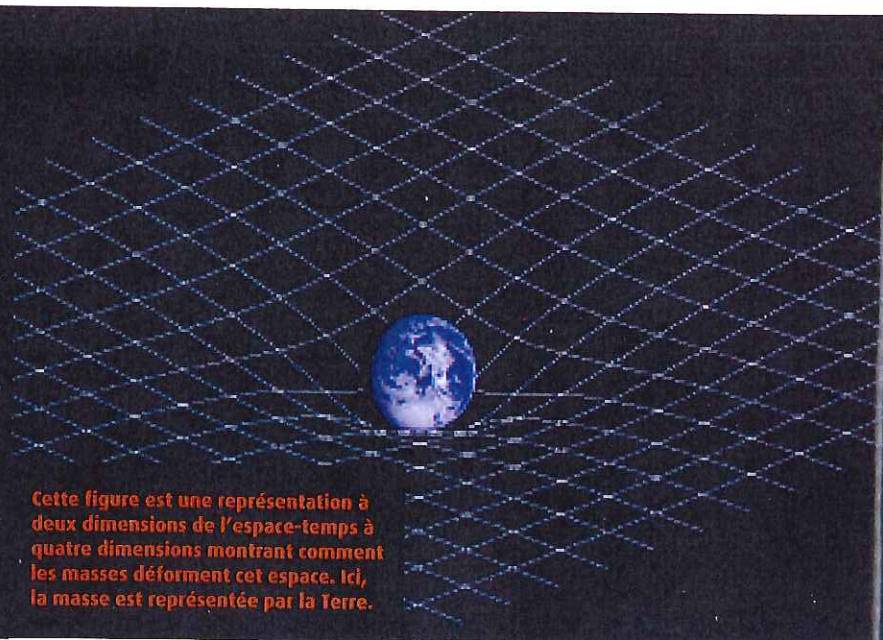
1915 Albert Einstein invente la « relativité générale » : l'espace, le temps et la gravitation ne sont plus séparés, seul existe un espace-temps à quatre dimensions courbé par les masses et l'énergie qu'il contient.

1917, Einstein applique sa théorie à l'Univers, en faisant l'hypothèse qu'à grande échelle celui-ci est identique en tout point de l'espace.

« c'est le principe cosmologique. »

Il est corroboré beaucoup plus tard par la découverte du rayonnement le plus lointain que l'on puisse observer, le « rayonnement fossile », qui est pratiquement uniforme dans toutes les directions.

Cette figure est une représentation à deux dimensions de l'espace-temps à quatre dimensions montrant comment les masses déforment cet espace. Ici, la masse est représentée par la Terre.



La cosmologie est née ! Mais elle est née avant terme...

À l'époque, on pense que l'Univers est statique et éternel. Or, d'après les équations d'Einstein, il aurait dû s'effondrer sous l'effet de sa propre gravité.

Comment éviter cela ?

Einstein rajoute dans ses équations un terme, « la constante cosmologique », Λ , qui correspond à une force répulsive jouant un rôle opposé à la gravité. Pour que l'Univers soit statique, Einstein attribue à Λ une valeur telle que les deux effets s'annulent exactement (lire l'encadré p. 49).

Einstein a des raisons scientifiques de penser que l'Univers est statique, car les vitesses des astres que l'on connaît à l'époque sont minuscules (au maximum un millième de celle de la lumière).

Années 1920 : deux médecins au chevet de l'Univers : Friedmann et Lemaître

Quelques années plus tard, un scientifique soviétique, Alexandre Friedmann, commence à prendre au sérieux l'idée d'appliquer les équations d'Einstein à l'Univers réel. Mais ce faisant, il découvre que...

Einstein a fait une erreur !

L'Univers ne peut pas être statique, car cette situation est instable : il doit automatiquement être soit en expansion, soit en contraction¹.

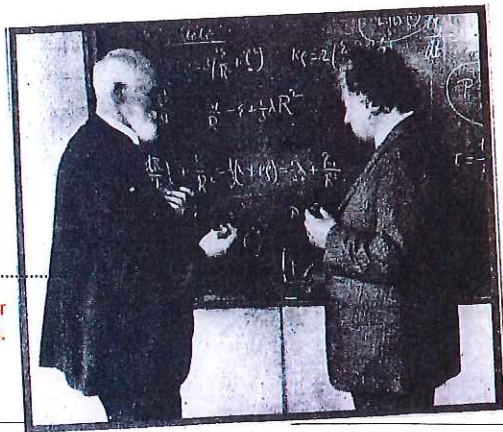
Friedmann meurt peu de temps après, ayant contracté une fluxion lors d'une ascension en ballon, sans savoir que les observations lui donneront raison.

Presque en même temps et indépendamment, le chanoine belge Georges Lemaître s'intéresse aussi à la cosmologie, et aboutit aux mêmes conclusions que Friedmann.

« C'est la plus grande erreur de ma vie ! » dira Einstein, lorsqu'il aura – difficilement – admis sa faute.

Einstein propose alors un modèle cosmologique avec Willem de Sitter.

Einstein et de Sitter en train de discuter les équations de leur modèle d'Univers.



Le modèle « Einstein-de Sitter »

L'Univers est en expansion, plat et infini, sans constante cosmologique.

Il va plomber la cosmologie pendant soixante ans !

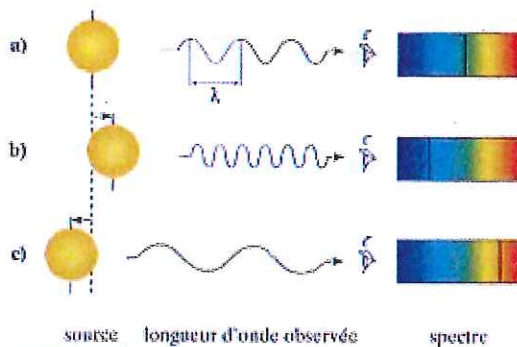
Einstein se désintéressera ensuite de la cosmologie, se consacrant surtout à son grand œuvre, la recherche de l'unification de l'électromagnétisme et de la gravité et laissant ses collègues s'étriper sur le sujet.

Une découverte qui suscite peu d'intérêt :

la fuite des « nébuleuses spirales »

Vesto Slipher, directeur de l'observatoire Lowell à Flagstaff en Arizona, a à sa disposition un spectrographe et une caméra performants, montés sur le télescope de 60 centimètres de l'observatoire.

1912 : il commence à observer les raies spectrales sombres des « nébuleuses spirales ». Avec des temps de pose de plusieurs nuits, il parvient à mesurer leur décalage spectral dû à l'effet Doppler et à en déduire leur vitesse par rapport à nous.



CI-DESSUS : En a) la source lumineuse est immobile, un observateur immobile voit les raies spectrales à leur longueur d'onde habituelle. En b) la même source se déplace en direction de l'observateur, les longueurs sont tassées dans le sens du mouvement, et l'observateur observe les raies spectrales à des longueurs d'onde plus courtes que celles du laboratoire (elles sont décalées vers le bleu). En c) la source s'éloigne de l'observateur, les ondes sont étirées, l'observateur observe les raies spectrales à des longueurs d'onde plus longues (elles sont décalées vers le rouge).

La première nébuleuse spirale dont Slipher mesure le décalage spectral est Andromède, dont les raies sont décalées vers le violet, ce qui signifie qu'elle se rapproche de nous.

Andromède et la Voie lactée sont soumises à leur interaction mutuelle, qui domine l'expansion de l'Univers : elles vont entrer en collision dans quatre milliards d'années.

1915 : Slipher obtient les spectres de quatorze autres nébuleuses : douze présentent des décalages vers le rouge (*redshift*), donc elles s'éloignent de nous avec des vitesses allant jusqu'à 1 100 km/s, bien plus grandes que celles des étoiles de la Voie lactée !

Les deux galaxies qui se rapprochent de nous sont M32 et M33 ; M32 est un satellite d'Andromède.

C'est inexplicable ! Aussi, peu de gens croient à la découverte de Slipher, et il est la cible d'attaques mettant en cause sa méthode de mesure.

26 février 1920 : Le « Grand Débat »

L'Académie des sciences de Washington organise une journée de débat pour décider si les nébuleuses spirales font ou non partie de la Voie lactée. Deux astronomes connus, Harlow Shapley et Heber Curtis, jouent le rôle d'avocats en présentant les arguments de chacune des parties. À la fin d'une journée épuisante, la balance penche légèrement en faveur de Shapley, qui défend que l'Univers ne s'étend pas au-delà de la Voie lactée ; celle-ci aurait un diamètre de 300 000 années-lumière.

L'un des arguments les plus forts de Shapley est la prétendue découverte par le Hollandais Van Maanen de mouvements dans la nébuleuse d'Andromède (que Maanen détectait en comparant des plaques photo prises à vingt ans d'intervalle), tandis que les mesures plus précises de Slipher, qui auraient dû jouer en faveur de la nature extragalactique des nébuleuses spirales, ne sont pas prises en compte !

Le Grand Débat ne tranche donc rien

1922 : Slipher a trouvé maintenant une quarantaine de nébuleuses spirales qui s'éloignent toutes de nous à grande vitesse. Modeste, il ne publie ses résultats que dans les très peu lus *Comptes rendus de l'observatoire Lowell*, et c'est Eddington qui va finalement les faire connaître.

Slipher restera plus tard complètement inconnu du grand public ! Mais Hubble arrive et prouve que... les « nébuleuses spirales » sont des galaxies comme la Voie lactée ! C'est la naissance de l'astronomie extragalactique.



Le télescope Hooker sur le mont Wilson, le plus grand du monde en 1920, avec lequel Humason et Hubble ont mesuré les distances et les décalages spectraux des galaxies.

1917 : le télescope de 2,50 mètres Hooker de l'observatoire du Mont Wilson en Californie, le plus grand du monde à cette époque, est inauguré. Il permet de distinguer des étoiles brillantes dans les nébuleuses spirales. Nommé en 1919 astronome dans cet observatoire, Edwin Hubble utilise ce télescope pour déterminer leur distance en observant des céphéides, étoiles dont l'éclat varie périodiquement. En effet, vingt ans auparavant, Miss Henrietta Leavitt avait découvert une relation remarquable entre leur période et leur luminosité. En comparant l'éclat apparent de céphéides situées dans des nébuleuses spirales avec la luminosité déduite de leur période, Hubble détermine leur distance.

Henrietta Leavitt travailla gratuitement pendant plusieurs années à l'observatoire d'Harvard avant d'en faire partie officiellement. Elle ne pouvait pas observer ces étoiles qu'elle étudiait car les femmes étaient interdites de télescope. Elle n'eut jamais le grade de docteur.

30 décembre 1924 : Hubble annonce qu'il a mesuré la distance de NGC 6822 : 600 000 années-lumière, c'est bien supérieur au diamètre de la Voie lactée ! Puis, avec l'aide du mulotier Milton Humason qu'il a élevé au rang d'assistant, il obtient les distances d'autres nébuleuses spirales qui sont, elles aussi, toutes à l'extérieur de la Voie lactée.



NGC 6822, appelée aussi « galaxie de Barnard », dans la constellation du Sagittaire, la première « nébuleuse spirale » dont la distance fut déterminée par Hubble.

En fait, la galaxie NGC 6822 est distante de 1,6 million d'années-lumière.

Le Suédois Knut Linderholm avait déjà montré en 1919, grâce à l'étude de la brillance d'une nova, qu'Andromède est située en dehors de la Voie lactée, mais personne n'y avait prêté attention.

**En 1927, l'abbé Georges Lemaître prouve
L'EXPANSION DE L'UNIVERS.**

mais presque personne ne le sait... et Einstein n'y croit pas ! Georges Lemaître a pris connaissance des mesures des distances des galaxies publiées par Hubble et par d'autres. Par ailleurs, ses calculs théoriques plaident en faveur d'un Univers en expansion dont la vitesse doit être proportionnelle à la distance. Utilisant la relation magnitude-distances des galaxies de Hubble et les redshifts connus en 1927, il publie dans la peu connue revue *Annales de la Société scientifique de Bruxelles* un article intitulé :

« Un Univers homogène de masse constante et de rayon croissant rendant compte de la vitesse radiale des nébuleuses extra-galactiques ».

Il y montre que la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à leur distance,

la constante de proportionnalité étant de 570 km/s/Mpc.

Le mégaparsec (Mpc) vaut 3 millions d'années-lumière, donc une galaxie distante de 3 millions d'années-lumière s'éloigne avec une vitesse de 570 km/s, et une autre située à 30 millions d'années-lumière doit s'éloigner avec une vitesse de 5 700 km/s.

Et il conclut que :

« L'éloignement des nébuleuses extragalactiques est un effet cosmique dû à l'expansion de l'espace. »