



LA COSMOLOGIE

L'objet de la **cosmologie** est la formation et l'évolution de l'Univers et de ses grandes structures.

Ces questions sont liées au **Big Bang** et aux premiers instants de l'Univers, alors que celui-ci était une soupe dense et chaude de particules élémentaires. La cosmologie doit donc prendre en compte à la fois les interactions de ces particules et les effets gravitationnels. Il faut recourir à des théories unifiant effets quantiques et relativité générale, comme les théories dites de cordes.

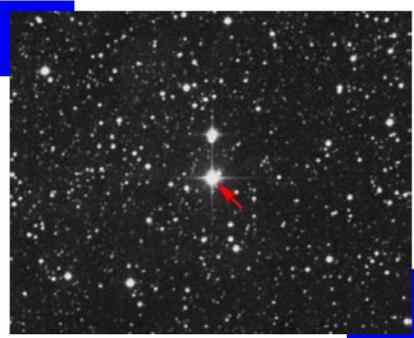
Les observations astronomiques des télescopes et des satellites sont cruciales pour bien modéliser la naissance de l'Univers et son évolution jusqu'à nos jours.



Le Grand Attracteur, un gigantesque amas de galaxies vers lequel se dirige notre galaxie.

AU LPT

Au Laboratoire de Physique Théorique d'Orsay, le groupe de cosmologie vise à relier les observations et expériences concernant l'univers primordial avec les idées les plus récentes en physique théorique.



Cygnus X-1, une source de rayons X très intense qui doit abriter un trou noir dix fois plus massif que le Soleil en orbite autour d'une géante bleue.

• Longtemps considérés comme une bizarrerie de la relativité générale, les **trous noirs** sont à présent très étudiés. En effet, lorsqu'une étoile plus massive que le Soleil n'a plus assez de combustible pour alimenter les réactions de fusion nucléaire en son cœur, elle s'effondrerait sur elle-même pour former un trou noir. Les galaxies abriteraient ainsi un grand nombre de trous noirs de masse supérieure à celle du Soleil. Par ailleurs, les grandes galaxies contiendraient chacune en leur centre un trou noir hyper-massif, qui aurait joué un rôle essentiel dans leur formation. Plus généralement, les trous noirs sont souvent invoqués pour expliquer de nombreux phénomènes astrophysiques, bien qu'ils n'aient jamais été directement observés.

• La théorie de la relativité générale proposée par Einstein pour décrire la gravitation s'est montrée en excellent accord avec les observations cosmologiques. Il se peut toutefois que nous soyons amenés à modifier cette théorie aux échelles très petites mais aussi très grandes. A très petites distances, l'influence de la gravité, souvent négligée, redevient comparable aux autres forces fondamentales et doit être incluse, par exemple grâce à des théories dites « de cordes ». A très grandes distances, les récentes observations qui montrent que l'expansion de notre univers est en accélération peuvent inciter à reconsidérer la description fournie par la relativité générale.

• Certaines études cosmologiques complètent de manière intéressante les résultats obtenus en physique des particules. En effet, les phénomènes cosmologiques sont souvent associés à des processus d'énergies très élevées, décrits par la physique des particules. En combinant physique des particules et cosmologie, on peut ainsi obtenir des informations utiles sur diverses questions. Ainsi, quelle est la nature de la **matière noire**, cette matière invisible mais nécessaire pour maintenir la structure des galaxies ? quel rôle ont joué les neutrinos dans les premiers instants de l'Univers ?

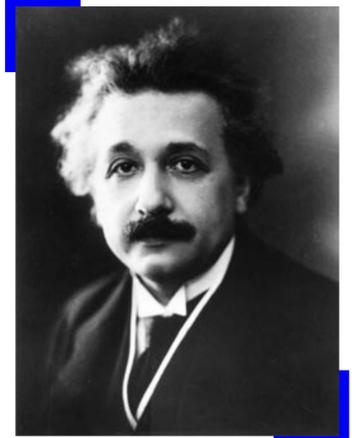


La galaxie NGC 4414, dans la constellation de la Chevelure de Bérénice, est une galaxie spirale typique. On pense que ces galaxies sont entourées de matière invisible, appelée matière noire, dont l'influence gravitationnelle permet de maintenir leur structure.

L'HISTOIRE

Toutes les sociétés se sont interrogées sur l'origine de l'Univers et son évolution, et y ont le plus souvent répondu par des mythes ou des constructions philosophiques. L'investigation scientifique débute au XVII^e siècle avec les progrès des observations astronomiques, en particulier grâce à Tycho Brahé et Képler, mais aussi avec les travaux de Newton qui décrivent la gravitation dans un cadre mathématique précis. C'est le début de la « mécanique céleste » auxquelles obéissent les planètes et les satellites de notre système solaire.

Puis la cosmologie s'intéresse progressivement à des objets de plus en plus lointains. A partir de la première moitié du XIX^e siècle, la distance aux étoiles proches est mesurée, tandis que la répartition spatiale des étoiles au sein de notre galaxie a été étudiée jusqu'au début du XX^e siècle. Dans les années 1920, l'astronome Edwin Hubble découvre que certains objets, alors appelés « nébuleuses » et maintenant nommés galaxies, sont situés bien au-delà de notre propre galaxie. Peu après, celui-ci découvre l'expansion de l'Univers : les galaxies s'éloignent les unes des autres, et ce d'autant plus vite qu'elles sont éloignées.



Peu de temps auparavant, **Einstein** avait proposé sa théorie de la relativité générale. Grâce à cette nouvelle description de la gravitation, on peut décrire l'évolution à grande échelle de l'Univers. Plusieurs physiciens, dont de Sitter, Lemaître et Friedmann, montrent que les observations d'Hubble peuvent être alors expliquées : l'Univers, initialement extrêmement chaud et dense, se serait progressivement dilaté et refroidi. Cette théorie du Big Bang marque les débuts de la cosmologie moderne.

ZOOM SUR...

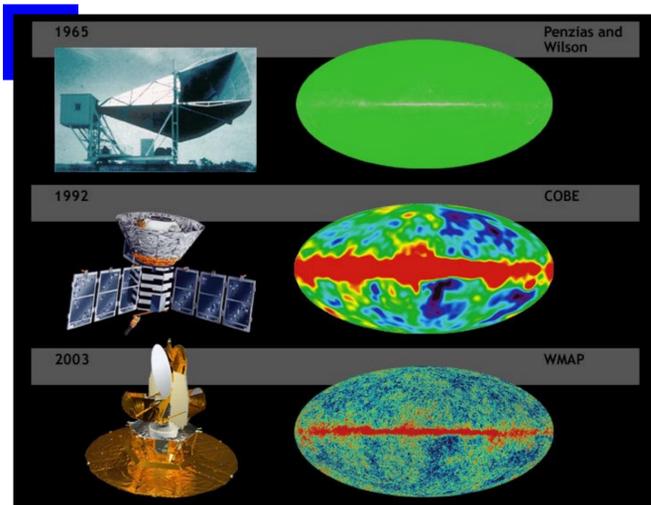
Mesuré pour la première fois en 1965 par Penzias et Wilson, le **fond diffus cosmologique** est un rayonnement électromagnétique (dans le domaine des ondes radio) qui est capté sur Terre de façon quasi uniforme dans toutes les directions. Il est un témoignage de l'époque dense et chaude qu'a connue l'Univers il y a environ 13 milliards d'années, conformément aux prédictions des modèles de Big Bang.

Les astronomes ont utilisé des radiotélescopes terrestres puis des satellites pour analyser le fond diffus cosmologique. Il semble quasiment « isotrope », c'est-à-dire uniforme dans toutes les directions. Toutefois, certains écarts à cette uniformité, ou « anisotropies », sont observables : la longueur d'onde du rayonnement n'est pas parfaitement identique dans toutes les directions. Les plus importantes inhomogénéités proviennent de déplacements de la Terre par rapport à la surface d'émission du fond diffus cosmologique : mouvement de la Terre par rapport au Soleil, mouvement du Soleil dans notre galaxie, mouvement de notre galaxie par rapport aux autres galaxies...

Toutefois, les progrès des observations ont permis de mettre en évidence d'autres anisotropies, plus discrètes et plus intéressantes sur le plan cosmologique. En effet, ces anisotropies nous éclairent

sur les événements qui se sont produits peu de temps après le Big Bang. Comment la matière, uniformément répartie, a-t-elle commencé à se regrouper en des amas de gaz, qui étaient les premiers embryons des galaxies ? Quels étaient les principaux phénomènes à l'œuvre ?

En 2008, le satellite Planck devrait mesurer avec une précision accrue ces inhomogénéités. Grâce à lui, les chercheurs pourront proposer des modèles plus raffinés du Big Bang en accord avec l'ensemble des mesures actuellement connues.



En quarante ans, notre connaissance du fond diffus cosmologique a progressé de façon remarquable, en particulier grâce aux satellites Cobe et Wmap. Les couleurs correspondent à des variations infimes, inférieures à une part pour cent mille.