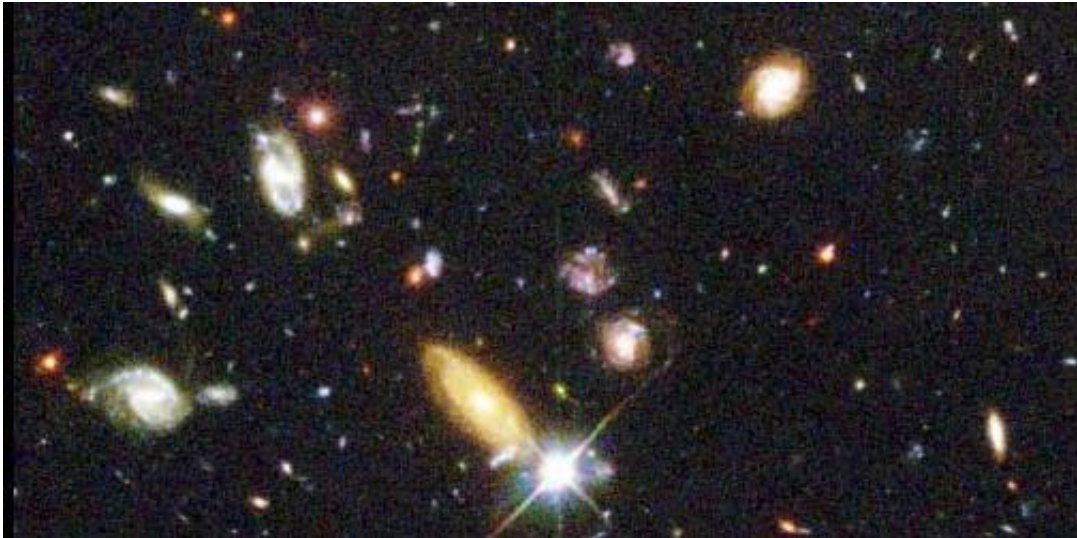


L'univers extragalactique et la Cosmologie

La cosmologie est l'étude de l'Univers dans son ensemble : de sa structure, de son évolution et de son histoire. L'Univers est peuplé de galaxies comparables à notre Voie Lactée. Celles-ci se regroupent en amas, en filaments ou en gigantesques murs, qui sont les plus grandes structures aujourd'hui connues.

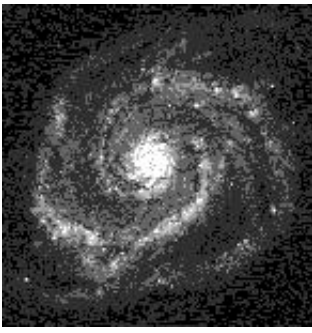


Extrait du "Hubble Deep Field", image profonde obtenue avec le télescope spatial Hubble (HST)

C'est Hubble qui apporta la preuve décisive, en 1924, que les "nébuleuses" spirales ou elliptiques étaient des objets très éloignés, extérieurs à notre Galaxie. En utilisant le télescope de 2,54 m du Mont Wilson, il réalisa en effet l'observation cruciale d'étoiles variables céphéides dans plusieurs "nébuleuses" (M31, M33, NGC 6822), ce qui lui permit d'évaluer leur distance (supérieure au million d'années de lumière) et de les placer bien au-delà des limites de notre Voie Lactée. En mesurant le "décalage vers le rouge" des galaxies et en l'interprétant comme un effet Doppler, c'est encore Hubble qui montra en 1936 que l'Univers était en expansion, les galaxies s'éloignant les unes des autres avec une vitesse proportionnelle à leur distance. Dans le même temps, Einstein élaborait une nouvelle théorie de la gravitation, la relativité générale, apte à décrire le contenu et l'évolution de l'Univers tout entier en reliant sa structure géométrique à son contenu en matière et en énergie.

Le monde des galaxies

Les galaxies sont de gigantesques amas d'étoiles, de poussières et de gaz. Elles contiennent en moyenne 100 milliards d'étoiles comme notre Soleil et leurs diamètres s'échelonnent entre 30000 et 150000 années-lumière. On a l'habitude de classer les galaxies en trois grandes catégories, selon leur morphologie (classification de Hubble). Les galaxies spirales (classiques ou barrées) sont des systèmes plats comme notre Galaxie, avec un bulbe central plus ou moins proéminent, et dont les étoiles, le gaz, et les poussières, sont distribués le long de bras spiraux qui s'enroulent autour du bulbe. Ces bras sont le lieu de la naissance en continu de nombreuses étoiles. Les spirales représentent près de 70% de la population totale des galaxies. Les galaxies elliptiques sont des systèmes sphéroïdaux plus ou moins aplatis, dépourvus de gaz et de poussières, et contiennent une population d'étoiles vieilles formées très tôt dans l'histoire de notre univers. Elles sont généralement plus massives que les spirales et se trouvent principalement regroupées dans les amas. Les galaxies irrégulières ont comme leur nom l'indique une structure chaotique. De petite taille et de faible brillance, elles contiennent beaucoup de gaz et de poussières et évoluent très lentement.



galaxie spirale



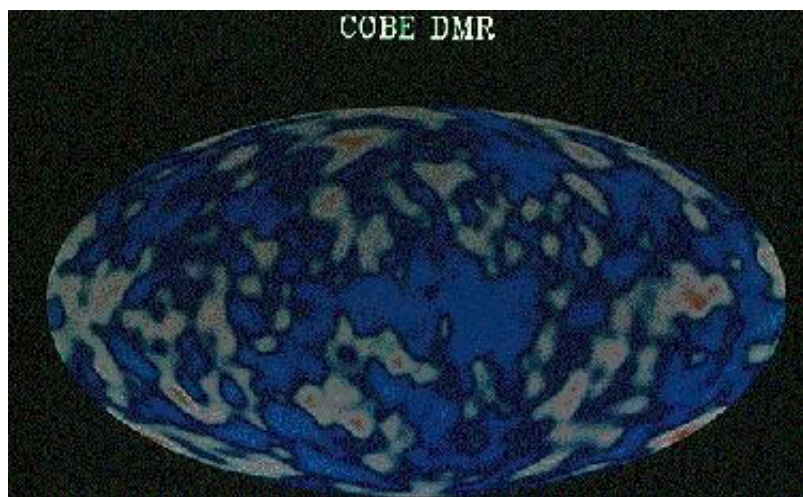
galaxie elliptique



galaxie irrégulière

Les grandes structures de l'univers

Les galaxies sont regroupées en amas et superamas, formant eux-mêmes de gigantesques murs, bulles, ou filaments. Ce n'est qu'aux très grandes échelles que l'univers devient homogène et isotrope et donc conforme au principe cosmologique (qui est à la base de la plupart des théories cosmogoniques). La formation des galaxies et des grandes structures est encore aujourd'hui un problème non résolu ou deux grandes théories s'affrontent: dans le modèle "des crêpes" (de l'anglais "pancakes scénario") sont d'abord apparues les très grandes structures à partir des fluctuations de densité primordiales de la matière, puis par morcellement les sous-structures telles que amas et galaxies; dans le modèle "hiérarchique", les amas d'étoiles et les galaxies se sont formés très tôt dans l'histoire de l'univers et se sont ensuite regroupés par interaction purement gravitationnelle pour former les grandes structures que l'on observe aujourd'hui. Le satellite COBE a fourni il y a quelques années un premier "spectre de puissance" des fluctuations primordiales, c'est à dire l'amplitude relative des fluctuations aux différentes échelles. Il a permis de vérifier la très grande homogénéité de l'univers à l'époque du découplage entre matière et rayonnement (mesure du "fond diffus cosmologique"), alors que l'univers n'avait que quelques millions d'années. Les astronomes attendent beaucoup de la prochaine mission spatiale "Plank Surveyor" (2008) qui devra rapporter des données beaucoup plus précises que COBE et permettre de trancher entre les deux grandes théories. A noter que les découvertes récentes de galaxies et d'amas de galaxies à très grand décalage vers le rouge, c'est à dire d'objets très lointains et témoins d'une époque très ancienne, confrontées aux modèles de synthèse de populations stellaires tendent à nous rapprocher de la seconde hypothèse.

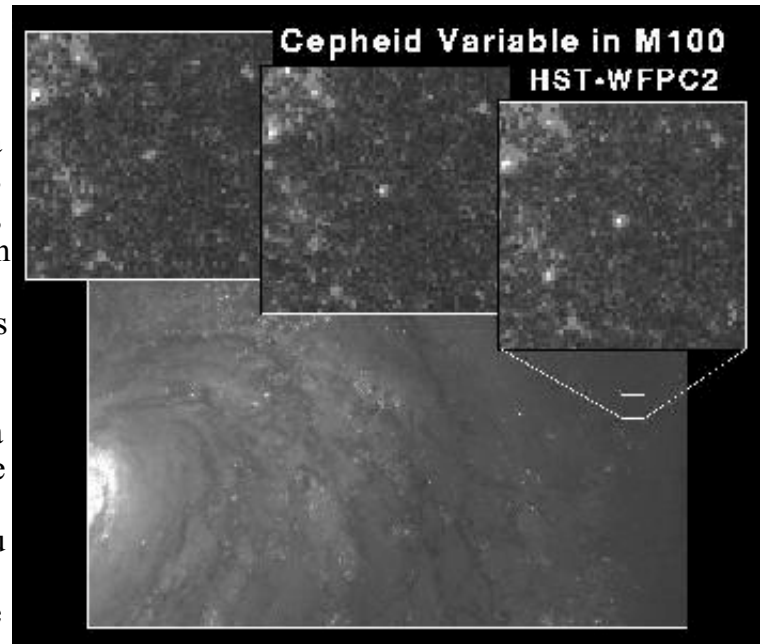


Rayonnement du fond diffus cosmologique mesuré par le satellite COBE

L'échelle des distances

Un autre domaine essentiel pour la cosmologie est la question de la mesure des distances. L'échelle des distances extragalactique est une construction fragile, établie en plusieurs étapes avec une succession d'indicateurs basés sur des propriétés géométriques ou des propriétés physiques de certaines catégories d'objets. Ainsi l'observation de la période de variabilité d'éclat d'une étoile cépheide permet d'estimer sa luminosité moyenne et donc sa distance; c'est la relation période-luminosité des céphéides (avec une portée d'une centaine de millions d'années de lumière, soit 30 mégaparsecs). La mesure de l'éclat au maximum d'émission d'une supernova de type Ia (étoile en fin de vie qui explose en libérant d'un coup toute son énergie) et la mesure de sa décroissance lumineuse

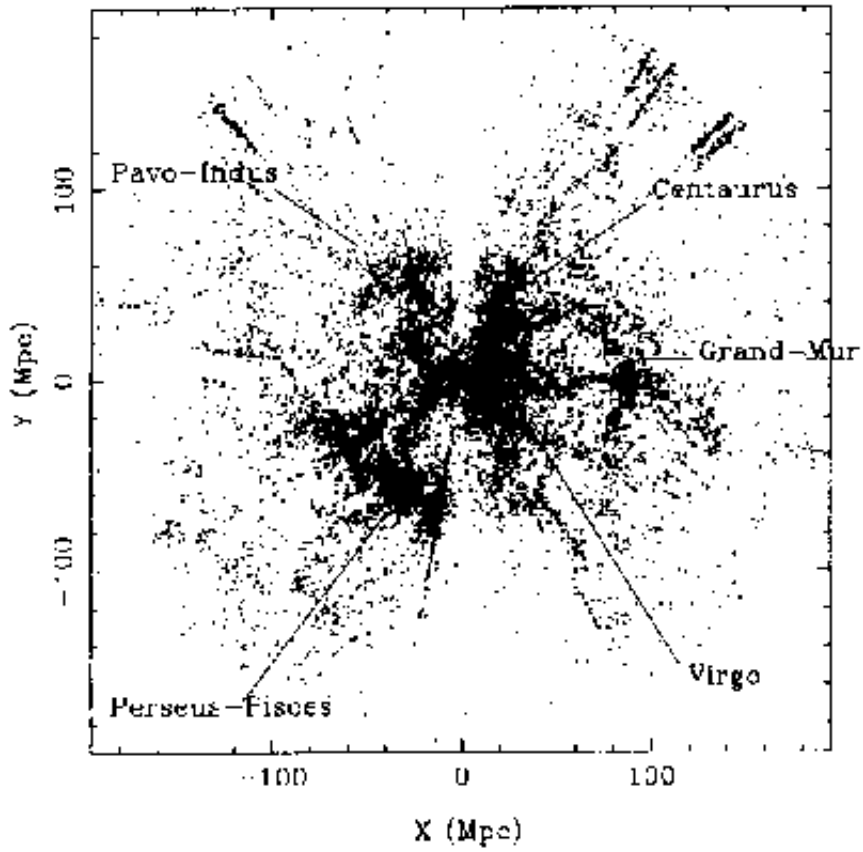
en fonction du temps permettent aussi une mesure très précise de la distance de la galaxie hôte (l'explosion de ce type de supernova étant presque aussi brillante qu'une galaxie toute entière, c'est un des indicateurs à plus longue portée). La taille apparente des régions HII (nébuleuses brillantes) observées dans les bras spiraux d'une galaxie spirale peut aussi servir d'indicateur de distance. Ces indicateurs, dits "primaires" parce qu'ils font référence à des objets "proches" étudiés dans notre Galaxie, permettent de calibrer des indicateurs "secondaires" qui eux font appel à des propriétés globales des galaxies. Par exemple, la mesure de la vitesse de rotation du gaz dans le disque d'une galaxie spirale permet d'estimer sa masse et donc sa taille (ou sa luminosité), et finalement sa distance (pour une portée d'un milliard d'années de lumière, soit 300 mégaparsecs); c'est la relation dite de Tully-Fisher. Une relation équivalente, la relation de Faber-Jackson, existe pour les galaxies elliptiques; c'est cette fois la dispersion des vitesses des étoiles mesurée dans leur coeur qui permet d'évaluer leur masse et leur luminosité totale. Au bout de la chaîne, les indicateurs tertiaires comme la (ou les) galaxie(s) plus brillante(s) d'un amas, ou même la taille caractéristique d'un amas de galaxie, permettent d'atteindre les distances les plus importantes.



L'expansion et le paramètre de densité

Le calcul du rapport moyen entre la vitesse d'éloignement d'une galaxie et sa distance nous donne le taux d'expansion H_0 de l'Univers et permet de fixer son âge limite. Les valeurs actuelles, entre 50 et 70 km/s/Mpc indiquent un âge de l'ordre de 15 milliards d'années en bon accord avec ce que trouvent les théoriciens de l'évolution stellaire pour l'âge des plus vieilles étoiles de notre Galaxie. L'étude de la distribution spatiale des galaxies dans l'univers local et la mise en évidence de leurs mouvements systématiques (écarts à l'expansion ou "vitesses particulières") permet d'estimer la densité moyenne de l'univers et mieux comprendre formation des grandes structures. Une énigme a été posée il y a dix ans par découverte d'un "Grand Attracteur" caché derrière les poussières le gaz du disque notre Galaxie contenant selon estimations d'ordre 10 à 100 fois plus matière que modèles ne pouvaient en justifier. On sait maintenant cette masse était surévaluée amplifiée par des phénomènes biais statistiques. Cependant, observe effectivement dans les fluctuations de mouvements cohérents sur des échelles supérieures à Mpc (300 millions d'années lumière), l'analyse de ce champ nous donne une valeur critique $\Omega_0 > 0.3$; cette valeur critique sépare un univers ouvert en éternelle expansion d'un univers fermé qui se recontractera un jour).

Structure autour du Superamas Local



*Vue en coupe de l'univers local à partir d'un échantillon de plus de 100 000 galaxies
(base de données extragalactiques LEDA, Observatoire de Lyon)*