

Société Astronomique de Bourgogne

LES GALAXIES



INTRODUCTION

Lors d'une belle nuit sans lune, nous pouvons apercevoir une traînée de lumière diffuse qui traverse le ciel. Dans l'antiquité, les Grecs pensaient que c'était le lait perdu par Héra, la mère des dieux. Ils lui donnèrent le nom de « galaxie », que l'on a traduit par « Voie Lactée ».

Au 17^{ème} siècle, Galilée pointe sa lunette vers cette région du ciel et découvre qu'elle est composée milliards d'étoiles, qui lui donnent cet aspect compact et lumineux. Lorsqu'il regarde dans une direction perpendiculaire, le nombre d'étoiles diminue. Peu à peu, les astronomes sont convaincus que les étoiles ne sont pas réparties de façon aléatoire dans le ciel, mais qu'elles sont ordonnées dans une structure bien particulière.

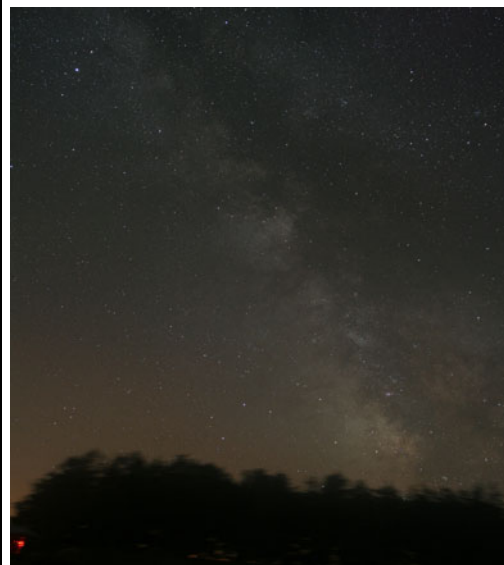
Cette supposition fut confirmée par W.Herschel, au 18^{ème} siècle. En décomptant les étoiles de la Voie Lactée observée sous différents angles, il met en évidence sa structure aplatie. Il démontre ainsi que notre soleil, et toutes les étoiles que nous voyons, font parti de cet immense ensemble, à la structure si particulière, appelé galaxie.

Depuis la fin des années 1920, les astronomes savent que notre galaxie est composée de gaz, de poussières et de centaines de milliards d'étoiles, liées entre elles par la force de gravité¹ et tournant autour du centre du disque, appelé bulbe.

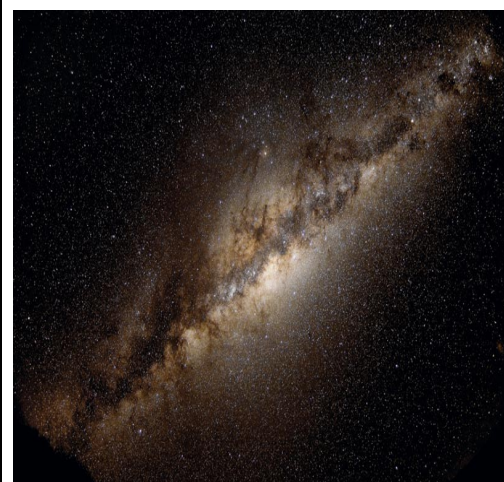
Résumé :

- ⇒ Une galaxie est un immense regroupement d'étoile, de gaz et de poussière, lié par la force de gravité.
- ⇒ Le soleil et toutes les étoiles que nous voyons font parti d'une même galaxie, appelée Voie Lactée.

La voix lactée : notre galaxie



Le centre de la voix lactée



Notes :

1. Force de gravité :

Au 17^{ème} siècle, Newton démontre que tous les corps s'attirent mutuellement. Cette force d'attraction est appelée force d'attraction gravitationnelle. Elle est proportionnelle aux masses des corps en présence et à l'inverse du carré de la distance qui les séparent. $F = G \frac{mM}{d^2}$ où G est la constante de gravitation.

LA VOIE LACTEE : NOTRE GALAXIE

Forme, structure et composition :

La forme de la Voie Lactée est celle d'un disque aplati, formé d'un noyau central, appelé bulbe, et de bras spiraux.

Elle est habitée par des centaines de milliards d'étoiles, de tous âges. Certaines étoiles sont récentes (moins de 10 millions d'années) et d'autres ont presque l'âge de l'univers (13 ou 14 milliards d'années).

Mais ces étoiles, d'âges différents ne cohabitent pas.

Les plus jeunes et les plus massives logent dans le disque aplati (plan galactique), coexistant avec des nuages de gaz et de poussières. Ces étoiles, très massives et très chaudes donnent la couleur bleue des bras spiraux. Dans ces bras, se déroulent les cycles incessants de vie et mort des étoiles : les nuages de gaz s'effondrent et se transforment en étoile, puis les étoiles meurent, dispersant gaz et poussière. Ces débris se rassemblent à nouveau et forment une nouvelle génération d'étoiles.

La forme spiralée de la galaxie est due à cette activité stellaire : la naissance des étoiles crée des ondes de haute température et de pression qui se propagent vers l'extérieur. En se propageant, ces ondes compriment les nuages gazeux, provoquent leur effondrement et engendrent la naissance des étoiles chaudes et massives. A l'endroit où passe l'onde de choc, la matière est donc condensée et elle dessine les bras spiraux que nous observons.

Les vieilles étoiles se regroupent dans une sorte de halo ellipsoïdal entourant le disque. Contrairement aux étoiles des bras, qui tournent sagement autour du centre galactique, les vieilles étoiles suivent un mouvement plus désordonné, traversent ce halo et aussi parfois le disque.

Vers le centre, la densité d'étoiles augmente et le disque s'épaissit pour former un bulbe. Ce sont de vieilles étoiles et leur nombre peut dépasser le millier dans un rayon d'une année lumière. La densité est parfois si importante au centre de la galaxie que les astronomes pensent qu'il peut abriter un trou noir super-massif.

Mouvement :

Tout comme la terre subit l'influence gravitationnelle du soleil, les étoiles subissent l'influence gravitationnelle des autres étoiles qui composent la galaxie. La majorité des étoiles étant concentrée au centre de la galaxie, l'attraction « globale » s'effectue vers le centre. Le mouvement des étoiles, même s'il peut être ponctuellement irrégulier, s'effectue globalement autour du centre de la galaxie. Ainsi, le soleil tourne autour du centre galactique avec une période de révolution de 220 millions d'années.

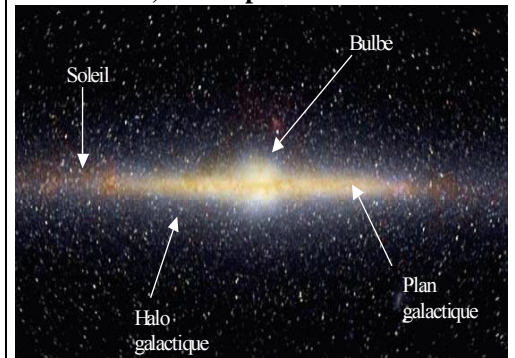
Plus l'étoile est éloignée du centre, plus sa vitesse de rotation est faible, ce qui permet d'expliquer pourquoi les bras sont plus fins à leur extrémité et semble laisser une traînée dans le ciel.

D'autre part, tout comme les étoiles se déplacent dans la Voie Lactée, celle-ci se déplace dans l'univers (voir chapitre « Répartition et mouvement des galaxies »)

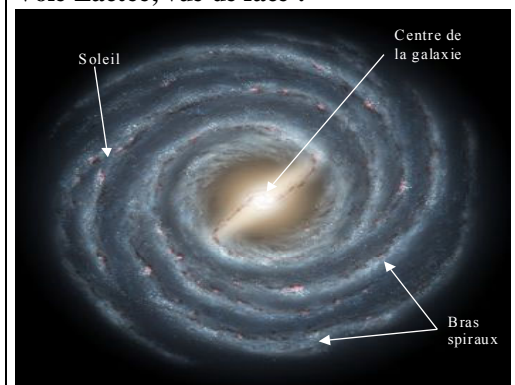
Masse :

Pour calculer la masse de la galaxie, on utilise le même principe que pour calculer la masse du soleil. En effet, la troisième loi de Kepler² nous permet de relier la vitesse de la terre (ou sa période de révolution) à la masse du soleil. De la même manière, les astronomes évaluent les vitesses des étoiles, qui dépend de la masse globale de la galaxie. Les mesures actuelles donnent entre 750 et 1 000 milliards de masse solaire.

Voie Lactée, vue de profil :



Voie Lactée, vue de face :



Quelques données sur la Voie Lactée:

Type : Galaxie spirale barrée

Age : 12 à 14 milliards d'années

Diamètre : 100 000 années lumière

Épaisseur du bulbe : 10 000 années lumière
Épaisseur au niveau du soleil : 700 années lumière

Nombre de bras spiraux : 5

Masse : 1 000 milliards de masse solaire

Nombre d'étoiles : 200 à 300 milliards

Galaxies satellites : 8, dont le petit et le grand Nuage de Magellan

Distance du soleil au centre : 25 000 années lumière

Vitesse « dans l'univers » : 550 km/s

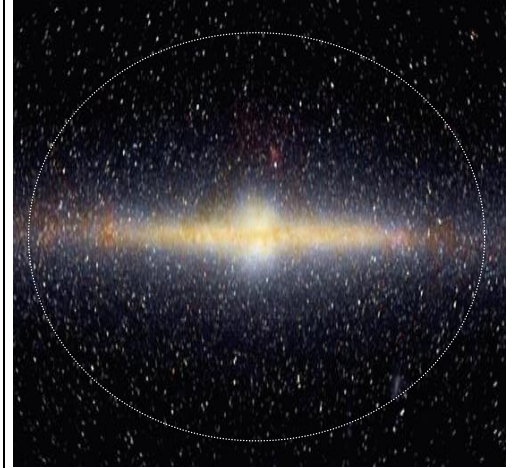
Les astronomes ont pensé à une autre méthode pour calculer cette masse : ils ont tout simplement compté le nombre d'étoile et additionner leur masse respective (ainsi que la masse des nuages de gaz). A leur grande surprise, ils se sont aperçus que la masse résultante de l'addition de « toute la matière » de la galaxie était 10 fois inférieure à celle évaluée par la méthode cinématique (lien vitesse/masse).

Pour expliquer ce phénomène de « masse manquante », les astronomes pensent qu'il existe, autour du halo stellaire visible, un vaste halo de matière invisible, dont la masse est dix fois supérieure à celle de la galaxie visible. Ne connaissant pas la nature de cette matière, ils l'appellent « matière noire ».

Résumé :

- ⇒ **La Voie Lactée, notre galaxie, a la forme d'un disque aplati. Elle est formée de bras spiraux, qui contiennent les étoiles jeunes, du bulbe central, où sont concentrées de vieilles étoiles et d'un halo entourant les bras spiraux et contenant de vieilles étoiles comme le soleil.**
- ⇒ **Comme la terre tourne autour du soleil, les étoiles de la galaxie tournent autour du centre de la galaxie.**
- ⇒ **La masse de la Voie Lactée est d'environ 1000 milliards de masse solaire. 10% de cette masse est constitué par la matière visible (étoiles, gaz, ...) et 90% est constitué par de la matière de nature inconnue , appelée « matière noire ».**

En pointillé : le probable halo de « matière noire » qui entoure notre galaxie :



Notes :

2. 3^{ème} loi de Kepler :

Connaissant la période de révolution T de la terre autour du soleil et la distance d qui les séparent, la 3^{ème} loi de Kepler permet d'accéder à la masse du soleil par la relation : $T^2/d^3 = 4\pi^2/GM_{\text{soleil}}$, où G est la constante de gravitation. On procède de la même manière pour déterminer la masse des étoiles binaires.

D'AUTRES GALAXIES DANS L'UNIVERS

D'autres galaxies dans l'univers :

La découverte de la structure de la Voie lactée engendra bientôt une autre question dans la communauté scientifique : Qu'y a-t-il au-delà de celle-ci ? Un vide infini ? Ou existe-t-il d'autres systèmes semblables à la Voie Lactée, disséminées dans l'espace intergalactique ? Les télescopes qui grandissent sans cesse révèlent de plus en plus de « tâches diffuses » dans le ciel. Sont-elles dans la Voie Lactée ou en dehors ?

En 1923, E.Hubble résout ce problème en mesurant la distance de la nébuleuse d'Andromède : Il trouve une distance de 2,3 millions d'années lumière, distance considérablement supérieure à celle de la Voie Lactée : il existe donc d'autres galaxies. Nous savons aujourd'hui que l'univers contient plusieurs dizaines de milliards de galaxies.

Les différents types de galaxies :

Les galaxies ont des formes et des propriétés différentes. Elles se répartissent en trois catégories principales :

Galaxies spirales : (Voir le chapitre « Voie Lactée : notre galaxie »)

Les galaxies spirales sont les plus nombreuses dans l'univers.

Les galaxies spirales peuvent présenter une variante : si la forme du bulbe ressemble à une barre, la galaxie est appelée galaxie spirale barrée. Exemple, NGC 1300, ci-contre.

Notre galaxie, la Voie lactée est une galaxie spirale barrée, dont le disque atteint 100 000 années lumière de diamètre et contient plus de 200 milliards d'étoiles.

Galaxie elliptique :

Ces galaxies ne possèdent, ni disque, ni poussières, ni gaz, ni étoiles jeunes. Elles sont généralement constituées de vieilles étoiles, qui suivent des orbites plus ou moins ordonnées. On en trouve de toutes tailles, des géantes aux naines. Les géantes peuvent atteindre la taille de quelques millions d'années lumière et héberger quelques mille milliards d'étoiles, tandis que les naines, ne dépassant guère 3000 années lumières et abritent quelques millions d'étoiles.

Les galaxies elliptiques sont aussi entourées d'un halo de matière noire.

Galaxie irrégulière :

Dans cette catégorie, on y met toutes les galaxies ni spirales, ni elliptiques. Elles sont aussi riches en gaz, poussières et étoiles jeunes que les galaxies spirales, mais à l'inverse de celles-ci, elles ne possèdent pas de bras et de bulbe. Elles recèlent également des vieilles étoiles, mais pas aussi âgées que celles des galaxies elliptiques. Elles sont naines, mesurant entre 15 et 30 000 années lumières et contenant entre 100 millions et 10 milliards d'étoiles.

Résumé :

- ⇒ L'univers contient des dizaines de milliards de galaxies
- ⇒ Il existe 3 catégories principales de galaxies : Spirales, elliptiques et irrégulières.
- ⇒ Les galaxies spirales sont très majoritaires.

Hubble :



Galaxie spirale :



Galaxie spirale barrée :



Galaxie elliptique :



Galaxie irrégulière :



REPARTITION ET MOUVEMENT DES GALAXIES

Répartition des galaxies dans l'univers :

Après la découverte des galaxies par Hubble, les astronomes se sont mis à cartographier le ciel, en calculant les distances des galaxies. Ils s'aperçoivent ainsi qu'elles ne sont pas distribuées de façon aléatoire dans l'univers. Gouvernée par la force de gravité, elles se regroupent et forment des groupes de galaxies. Ainsi, notre Voie Lactée fait partie d'un groupe d'une trentaine de galaxies, appelé « Groupe Local ». Il comprend entre autre la galaxie d'Andromède et la galaxie du Triangle. Le Groupe Local s'étend sur environ 10 millions d'années lumière, soit 100 fois le diamètre d'une galaxie.

Les groupes de galaxies exercent entre eux la même force d'attraction et se regroupent en amas de galaxies. Ils rassemblent quelques milliers de galaxies et s'étendent sur quelque 60 millions d'années lumière.

Les amas se regroupent en même en « Superamas » de galaxies. Notre « Groupe Local » fait ainsi partie du « Superamas Local », qui rassemble en son sein une dizaine d'autres groupes et amas, dont l'amas de la Vierge.

Vus de face, les « Superamas » ont la forme de crêpes aplaties de quelque 200 millions d'années lumière de diamètre. Vus de profil, ils apparaissent comme de longs et minces filaments, de 40 millions d'années lumière d'épaisseur.

L'univers est identique à une gigantesque toile cosmique dont les Superamas constituent la texture, les amas les plus denses, les nœuds et les grands vides sphériques, les mailles.

La fuite des galaxies :

En étudiant les galaxies qu'il vient de découvrir, Hubble réussit à déterminer leur mouvement, grâce à une propriété particulière de la lumière. Tout comme le son d'une ambulance devient plus aigu quand elle s'approche et plus grave quand elle s'éloigne, la lumière de la galaxie bleuit quand elle s'approche de nous et rougit quand elle s'éloigne. Ce changement de couleur est d'autant plus prononcé que la vitesse d'approche ou d'éloignement est plus élevée : ce phénomène porte le nom d'effet Doppler.

En utilisant cette propriété, Hubble fit en 1929 une découverte qui changea le visage de l'univers : il remarqua que la majorité des galaxies s'éloignent de la Voie Lactée et que ce mouvement de fuite est d'autant plus accentuée que la galaxie est éloignée.

La conséquence de cette loi qui révèle la proportionnalité entre la distance et la vitesse est que chaque galaxie a mis le même temps pour parvenir de son point d'origine à sa position actuelle. Au temps 0 de l'univers, toutes les galaxies se retrouvent donc au même endroit. Cette conclusion a donné naissance à une théorie de l'histoire de l'univers : le Big-Bang. Cette théorie suppose que toute la matière est concentrée en un point et qu'une gigantesque « explosion » la disperse et donne naissance à l'univers. Les effets de cette explosion se font encore sentir aujourd'hui par le mouvement d'expansion³ des galaxies.

Les galaxies sont donc soumises à deux mouvements contradictoires : d'une part, elles ont tendances à se regrouper, sous l'action de la force de gravité. Mais d'autre part, le mouvement global d'expansion de l'univers a tendance à les séparer.

Les astronomes se sont aperçus que le mouvement d'expansion ne se fait sentir qu'au niveau des « Superamas ». Ainsi, dans notre toile cosmique, tout se passe comme si les filaments de Superamas s'étendaient peu à peu, ou que les vides sphériques s'élargissaient.

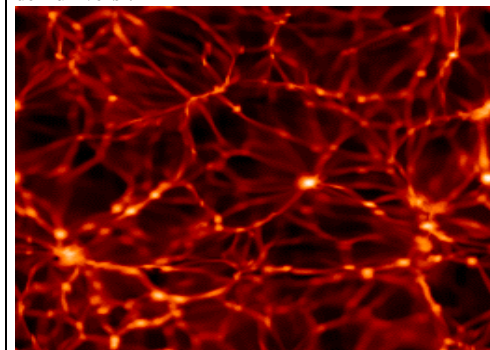
Groupe de galaxies :



Amas de galaxies :

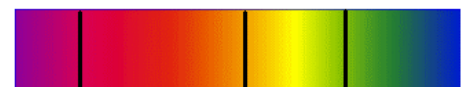


Répartition des Superamas de galaxies et structure de l'univers :



L'effet Doppler et le « décalage vers le rouge » :

Lorsqu'une galaxie s'éloigne de nous, les bandes d'absorption sont prévues aux positions suivantes :



On obtient en fait celui-ci :



Notes :

3.Expansion :

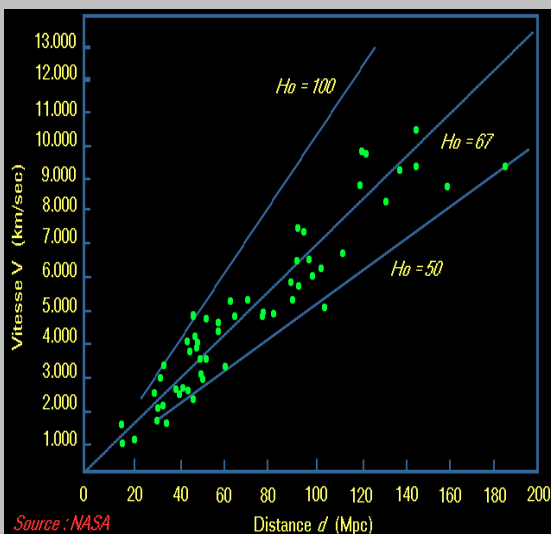
Imaginez un pudding avec des grains de raisins secs. En cuisant, la pâte gonfle et les grains de raisins s'éloignent les uns des autres. Ce comportement est identique pour les galaxies dans l'univers. Les galaxies sont en fait immobiles. C'est l'espace qui les séparent qui se dilate et les entraîne dans son mouvement d'expansion. Utiliser l'expression « les galaxies s'éloignent » est donc un abus de langage.

Résumé :

- ⇒ Sous l'action de la gravité, les galaxies forment des « groupes de galaxies » qui forment à leur tour des « amas de galaxies » puis des « Superamas ».
- ⇒ La grande majorité des galaxies s'éloignent de nous et ce, d'autant plus vite que leur distance est importante (Loi de Hubble⁴). Cette loi qui traduit l'expansion de l'univers, constitue l'une des preuves de la théorie du Big-Bang.
- ⇒ La force de gravité permet de regrouper localement les galaxies dans les groupes et les amas de galaxies, mais, à l'échelle de l'univers, sous l'effet de l'expansion de son expansion, les superamas s'éloignent les uns des autres. La structure de l'univers est le résultat de ces deux forces opposées et peut se comparer à une sorte de toile cosmique dont les Superamas constituent la texture, les amas les plus denses, les nœuds et les grands vides sphériques, les mailles.

Notes:

4.Loi de Hubble :



- ⇒ $V = H_0 * D$
 H_0 est la constante de Hubble.
Lorsque $D = 0$, toutes les galaxies, donc toute la matière est au même endroit, c'est le « début » de l'univers.
- ⇒ Puisque $V = D/T$, la constante de Hubble s'apparente à l'inverse d'un temps. $H_0 = 1/T$
- ⇒ La vitesse V a une valeur limite, celle de la lumière C . La distance D correspond alors à la limite de l'univers observable et T correspond à l'âge de l'univers. Suivant la valeur de H_0 choisie, on trouve entre 10 et 20 Milliards d'années.

FORMATION DES GALAXIES

Le Fond Diffus Cosmologique « FDC »

La théorie du Big-Bang nous apprend que toute la matière devait être concentrée en un point infiniment petit. Les propriétés de la matière, telle que la température et la densité, devaient donc être parfaitement homogènes.

Après l'explosion primordiale, l'univers est entré en expansion, répartissant cette matière homogène dans toutes les directions de l'espace. Cette matière s'est peu à peu refroidie. Si cette théorie est juste, l'univers devrait avoir aujourd'hui une température homogène.

En 1963, deux astronomes américains découvrent que l'univers est baigné par un rayonnement qui est caractéristique d'un corps qui a été homogène et très chaud et qui est maintenant homogène et froid. Ce rayonnement est appelé le « Fond diffus cosmologique ». Il indique que la température est la même dans tout l'univers et égal à 3K.

Alors comment expliquer qu'un univers aussi homogène ait pu créer par endroit des structures comme les étoiles et les galaxies où règnent des températures de plusieurs millions de degrés ?

Variations de températures du FDC : La naissance des galaxies

Des instruments de plus en plus sophistiqués ont pu mesurer la température de l'univers avec une précision extrême. Ils ont révélé qu'elle varie par endroit de l'ordre de 0,001%. Ces fluctuations de températures impliquent l'existence de zones un peu plus chaudes et donc un peu plus denses en matière dans l'univers primordial, c'est à dire quand l'univers était dix millions de milliard de milliard de fois plus petit qu'un atome d'hydrogène. Ces zones de densité vont servir de semence aux galaxies. Elles vont peu à peu grandir en attirant la matière environnante.

Quelques centaines de millions d'années après le Big-Bang, l'univers se présente comme un réseau enchevêtré de filaments composés de matière ordinaire et de matière noire. Au nœud de ses filaments, la matière ordinaire se condense peu à peu en une sorte de disque aplati autour duquel gravite la matière noire : un embryon de galaxie est né. On l'appelle « Protogalaxie ».

Le disque de matière ordinaire ainsi condensée n'est pas homogène. Certaines zones sont plus denses que d'autres et vont se condenser encore davantage. Lorsque la température atteint 10 millions de degrés, les réactions nucléaires déclenchent la fusion de l'hydrogène en hélium : les premières étoiles s'allument. Les étoiles de cette première génération sont très massives, très lumineuses, très chaudes.

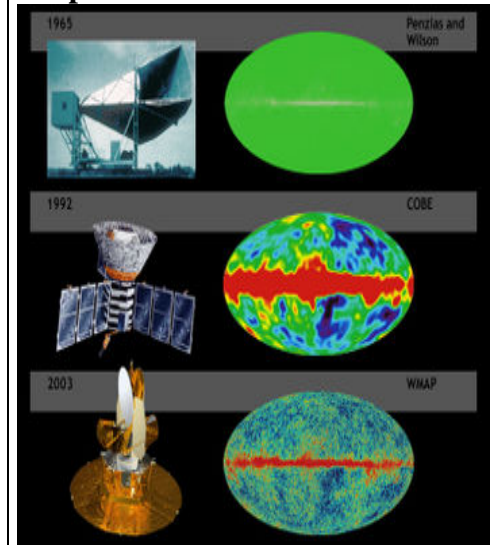
Parmi elles, les moins massives finissent leur vie en supernovae et répandent dans l'espace les éléments lourds fabriqués durant leur courte vie.

Les plus massives n'explorent pas mais s'effondrent pour devenir des trous noirs. Ceux-ci s'agglutinent aux autres trous noirs engendrés par les autres étoiles massives. Peu à peu un gigantesque trou noir se forme au centre de la galaxie : nous le retrouvons aujourd'hui dans la plupart des galaxies, y compris la nôtre.

Sous l'action de la gravité, ces protogalaxies, encore proches les unes des autres, fusionnent et donnent naissance à une galaxie naine. Puis ces galaxies naines fusionnent à leur tour.

Dans le même temps l'expansion de l'univers éloigne les structures qui se forment. Même si la gravité se fait encore sentir et permet la création des groupes, des amas et des superamas, elle n'est plus assez forte pour vaincre la force d'expansion et condenser davantage les galaxies. L'horloge cosmique indique alors 1 à 2 milliards d'années après le Big-Bang.

Le FDC et les variations de température de l'univers :



Résumé :

- ⇒ **Il existe dans l'univers un rayonnement caractéristique, homogène dans toutes les directions, résultant d'un passé chaud et homogène.**
- ⇒ **Les faibles variations de températures détectées indiquent la présence de zones de matière plus denses dans l'univers primordial : ces zones sont les embryons de galaxies.**
- ⇒ **Ces embryons se sont développés, pour former les « protogalaxies », puis les galaxies naines et enfin, un à deux milliards d'années après le Big-Bang, les gigantesques structures galactiques que nous connaissons.**

EVOLUTION DES GALAXIES

L'évolution des galaxies dépend de deux facteurs :

- les propriétés intrinsèques de la galaxie, c'est à dire les propriétés résultant du processus de formation initial (densité, masse...)
- les propriétés acquises lors des interactions avec le milieu extérieur (collision...)

Influence des propriétés intrinsèques :

Les qualités innées de chaque galaxie dépendent de son efficacité à convertir la réserve de gaz qu'elle possède en étoiles. Pour les galaxies les plus denses, la gravité n'a aucune peine à comprimer le gaz. Ainsi, tout le gaz est converti en étoiles, en quelques centaines de millions d'années. La galaxie évolue ainsi rapidement en galaxie elliptique. Il n'y a alors plus de gaz pour les générations futures d'étoiles et ces galaxies ne contiennent donc aujourd'hui que des vieilles étoiles.

Pour d'autres galaxies moins denses, la conversion du gaz est moins efficace. Seulement quatre cinquième de ce gaz donnera naissance à différentes générations d'étoiles. Le cinquième restant se dispose en un disque où le gaz continuera d'être transformé graduellement en étoiles dans les milliards d'années à venir. Ce sont ces étoiles des générations futures qui traceront les fameuses structures spirales.

Pour les galaxies les moins denses, la moitié seulement du gaz est convertie en étoiles. Ce sont les galaxies naines irrégulières.

Influence du milieu extérieur :

Comme nous l'avons vu, les galaxies sont soumises à la gravité et s'associent en groupes et en amas de galaxies. Dans les groupes les plus denses, la séparation moyenne entre deux galaxies voisines est seulement d'un million d'années lumière, soit dix fois le diamètre d'une galaxie. A cause de cet encombrement et parce que les galaxies ne sont pas immobiles, les collisions sont inévitables. Dans un amas de galaxies, ces « accidents » cosmiques se produisent en moyenne tous les cents millions à un milliard d'années.

Fusion de deux galaxies :

Dans les petits groupes, les galaxies bougent de façon relativement lente. Lorsque deux galaxies entre en collision, la gravité permet de stopper leur élan et les galaxies fusionnent. L'onde de choc provoquée par cette collision engendrera la naissance de nouvelles générations d'étoiles. Ainsi, la galaxie d'Andromède se dirige vers notre Voie Lactée à près de 100 kilomètres par seconde. Elles entreront en collision dans 6 milliards d'années et fusionneront pour donner une galaxie elliptique deux fois plus massive.

« Cannibalisme » :

Lorsqu'une galaxie naine est en orbite autour d'une grosse galaxie, les forces gravitationnelles exercées sur elle sont très intenses : la matière de son halo est arrachée, sa vitesse diminue et elle finit par tomber en spirale sur la grosse galaxie, qui finit par la dévorer. Ainsi, la Voie Lactée engloutit peu à peu le petit et le grand Nuage de Magellan.

Résumé :

- ⇒ **L'évolution d'une galaxie est déterminée par ses propriétés intrinsèques, et principalement sa densité (qui va influencer l'évolution de sa structure) et par le milieu extérieur, et principalement les interactions et collisions avec les autres galaxies environnantes.**

Collisions de deux galaxies



Naissance d'étoiles suite à la collision de deux galaxies :



CONCLUSION

L'observation et l'étude des galaxies par les astronomes du début du 20^{ème} siècle marquent un tournant décisif dans la compréhension de l'univers qui nous entoure.

La découverte par Hubble de l'existence d'autres galaxies que la Voie Lactée repousse les limites de l'univers. De quelques milliers d'années lumière, la dimension de l'univers observable passe à des dizaines, des centaines de millions d'années lumière. Actuellement, les astronomes l'évaluent à près de 14 milliards d'années lumière!

L'étude de la répartition des étoiles de notre Voie Lactée et celle des galaxies a aussi donné un nouveau visage à notre univers. Nous savons que la matière n'est pas distribuée de façon aléatoire mais au contraire bien organisée : ainsi la terre tourne autour du soleil, qui tourne lui-même autour du centre de la galaxie. Celle-ci est liée à un groupe de galaxies, lui-même lié à un amas, puis à un superamas.

Mais la découverte la plus extraordinaire dans l'histoire de la cosmologie moderne (science qui étudie la structure et l'histoire de l'univers) est sans doute celle du mouvement de « fuite » des galaxies. Lorsque Hubble énonce cette loi, preuve d'un univers en expansion, il apporte sans s'en rendre compte, les premières « preuves » de la théorie du Big-Bang, pressentie quelques années auparavant par G.Lemaître et reconnue par la grande majorité des scientifiques.

Aujourd'hui, les propriétés des galaxies (distance, composition, répartition, mouvement, évolution) permettent aux astronomes d'avoir une idée de plus en plus précise des dimensions, de la structure et de l'histoire de l'univers.