

CERCLE DE DOCUMENTATION ET D'INFORMATION

"CLUB DU TEMPS LIBRE"

Mardi 12 Avril 1983

L'Univers ; sa structure ; son expansion

PRESENTATION.-

Depuis cinquante ans environ, l'astronomie a changé de visage : ses méthodes, le domaine de ses investigations, les problèmes rencontrés sont nouveaux et nombreux. L'astronomie contemporaine diffère de celle qu'illustrèrent Newton, Laplace et Le Verrier plus que cette dernière ne différerait des premiers balbutiements de l'astronomie grecque.

Les principaux facteurs de cet essor qui remonte aux environs de 1910 furent la découverte de la photographie, de l'analyse spectrale, des télescopes et enfin des satellites. Cette dernière technique va nous permettre de franchir un grand pas dans la connaissance de l'Univers, sur sa structure, son évolution, son origine, et quelque peu sur son futur.

La conférence sur l'Univers vient après :

- trois conférences sur la Terre : structure, tectonique des plaques, observation de la Terre par satellite,
- Une conférence sur le système solaire,
- Une conférence sur la planète Saturne.

Le mardi 12 avril, Monsieur LE QUEUX, astrophysicien à l'Observatoire de Meudon et depuis peu Directeur de l'Observatoire de Marseille, est venu nous entretenir de l'Univers.

I.- LES DEBUTS DE L'ASTRONOMIE ET LES INSTRUMENTS.-

Au milieu du XIVème siècle, la pensée grecque commence à pénétrer l'Occident. On recherche et on traduit les textes anciens, principalement en Italie. La découverte de la civilisation hellénique amène une renaissance non seulement des lettres et des arts, mais aussi de la science.

En astronomie, ce renouveau est principalement attribuable à Copernic (1473-1543) bien que quelques précurseurs comme Nicolas de Cues (1401-1464), Regiomontanus (1436-1476) ou Calcagnini (1479-1541) soient dignes d'être cités.

Ce n'est qu'en 1543, année de la mort de Copernic, que parut l'ouvrage dans lequel il expose sa conception du monde. C'est la première fois depuis Aristarque que l'on propose un système héliocentrique. Le soleil devient le centre du monde.

Copernic est, par son intuition et par la précision de ses calculs, l'initiateur de l'astronomie moderne. Mais les observations dont il disposait ne lui permettaient pas de découvrir les lois exactes qui régissent le mouvement des planètes.



JOHANNES KEPLER (1571-1630) astronome allemand, fut influencé par Copernic. Il découvrit que les orbites des planètes étaient elliptiques et que leur vitesse orbitale s'accroît lorsqu'elles sont proches du Soleil et diminue lorsqu'elles s'en éloignent.



NICOLAS COPERNIC (1473-1543), astronome polonais, révolutionna le monde scientifique, religieux et culturel en démontrant que le Soleil se trouvait au centre de notre système et que la Terre, comme les autres planètes, tournait autour de lui.

Cet honneur devait revenir à Kepler (1571-1630) qui put disposer des merveilleuses observations de Tycho Brahé (1546-1601).

Kepler établit des lois qui rendent compte du mouvement des planètes autour du Soleil.

Galilée (1564-1642) est peut-être un des hommes de science les plus complets qui aient existé.

Mathématicien, physicien et astronome, on ne peut oublier qu'il fut le véritable fondateur de la physique.

Mais, pour l'astronomie, Galilée restera célèbre en vertu des deux raisons suivantes :

- d'une part, comme héros et martyr de la lutte de l'esprit scientifique contre les forces d'obscurantisme qui, à cette époque, étaient très vives dans une partie au moins de l'Eglise catholique.
- d'autre part, pour avoir introduit en 1610 l'usage de la lunette pour l'observation astronomique.

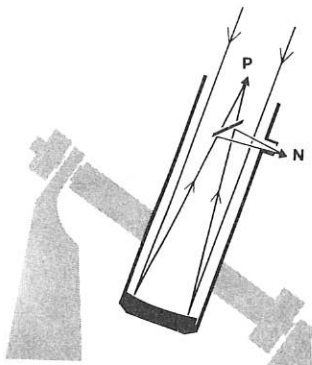


GALILEO GALILEE (1564-1642) astronome italien, dont les observations au télescope confirmèrent la théorie de Copernic sur notre système solaire. L'Inquisition, redoutant ses découvertes, le força à renoncer à ses travaux astronomiques.

Sa première lunette, bien que très modeste (elle grossissait trois fois) lui révéla un nombre considérable de phénomènes insoupçonnés : des multitudes d'étoiles invisibles à l'oeil nu, qui lui firent comprendre la vraie nature de la Voie Lactée, les satellites de Jupiter et les phases de Vénus, qui témoignaient en faveur du système de Copernic.

Puis ce furent les taches et la rotation solaires, les cratères de la Lune, etc ... Toutes ces observations sont à la base de nouvelles conquêtes de l'astronomie.

Mais la synthèse tentée pendant tant de siècles entre les phénomènes terrestres et célestes devait être l'oeuvre, un demi-siècle plus tard, d'Isaac Newton, (1642-1727).



Le foyer de Newton (point N) est un dispositif dans un réflecteur grâce auquel la lumière est renvoyée d'un miroir parabolique à un point focal dans le haut du tube où un petit miroir plat la fait dévier vers l'extérieur par un trou percé dans la paroi du tube.



SIR ISAAC NEWTON (1642-1727), physicien anglais, influença profondément la pensée du XVIIIe siècle, formula les lois sur la gravitation, inventa le télescope à réflecteur et découvrit comment un prisme décomposait la lumière blanche en un spectre aux couleurs multiples.

Tous les télescopes utilisés jusqu'à cette époque n'avaient pas beaucoup renseigné sur l'Univers.

En 1845 un astronome irlandais William Parsons, comte de Rosse, construisit un télescope dont le miroir avait un diamètre de 1,82m. Il remarqua qu'un objet céleste, la Nébuleuse des Chiens de Chasse, présentait une forme spiralee. Après lui, un nombre important de ces spirales célestes fut observé.

Mais il a fallu attendre cependant trois siècles depuis Galilée, en dépit de nombreux efforts, pour réaliser que la Voie Lactée - aussi nommée la Galaxie - est un vaste système d'étoiles plat, de 100 000 années-lumière de diamètre ($9,7 \cdot 10^{17}$ km = 0,97 milliards de milliards de km) où le Soleil et son système planétaire occupent une position excentrique.



LE COMTE DE ROSSE (1800-1867)
astronome britannique lui aussi, principalement connu par ses constructions de grands miroirs pour télescopes à réflecteur. Le plus grand avait 1,82 mètre de diamètre. Cet appareil permit de résoudre des nébuleuses en associations d'étoiles.

Déjà à la fin du XVIIIe siècle, l'astronome anglais William Herschel s'était rendu compte que les millions d'étoiles qui peuplent le ciel forment un système aplati, dont la Voie Lactée proprement dite marque le plan de symétrie.



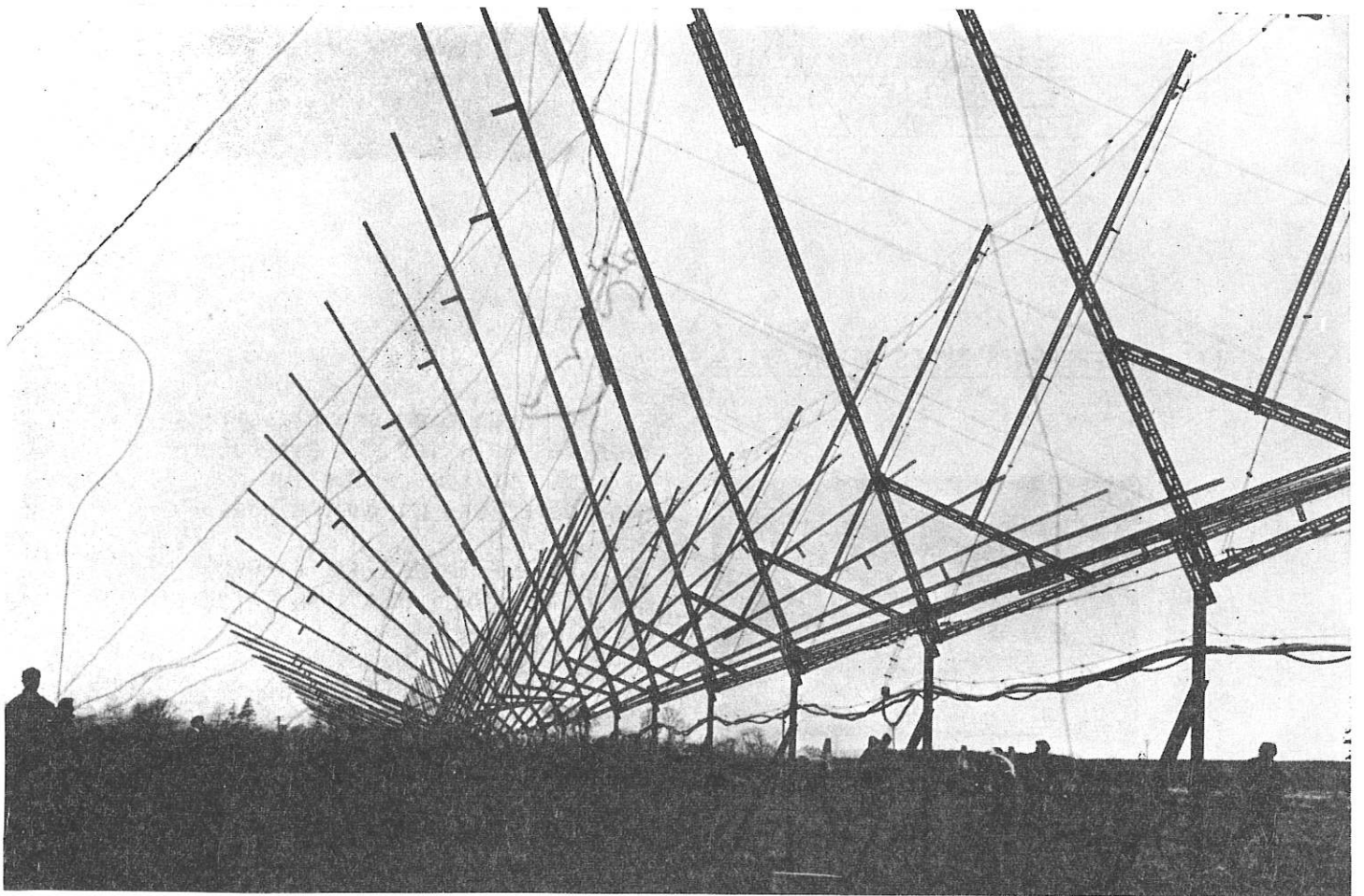
SIR WILLIAM HERSCHEL (1738-1822)
astronome anglais d'origine allemande, construisit de puissants télescopes pour l'exploration systématique du ciel. Il découvrit Uranus et deux satellites de Saturne ; il catalogua de nombreuses étoiles doubles et des nébuleuses.

C'est seulement en 1916-1917 que l'Américain Harlow Shapley fit le pas final; mais son modèle de la Galaxie, le premier correct du moins dans les grandes lignes, ne fut accepté qu'après plusieurs années.

La lenteur de l'histoire de l'astronomie galactique n'est pas du tout surprenante. Les observations optiques des parties éloignées de notre Galaxie sont, en fait, presque impossibles à cause de l'extinction de la lumière due aux poussières interstellaires.

L'espace qui sépare les étoiles n'est pas vide, en effet, mais rempli de gaz distribué très irrégulièrement, mélangé à de très petits grains de poussière. Cette matière interstellaire rend totalement invisible le centre galactique. Par bonheur, la poussière n'affecte que la lumière visible et ultraviolette, mais très peu le reste du spectre électromagnétique.

Par exemple, la Galaxie est pratiquement transparente aux ondes radio et infrarouges, aux rayons X assez durs et aux rayons gamma. Mais hélas, rien n'est parfait : l'atmosphère terrestre est opaque à ces longueurs d'ondes, sauf dans le domaine radio qui est accessible du sol (radiotélescopes)



Un radiotélescope

Le triomphe de l'astronomie spatiale est donc d'avoir ouvert les observations aux longueurs d'ondes jusque là inaccessibles.

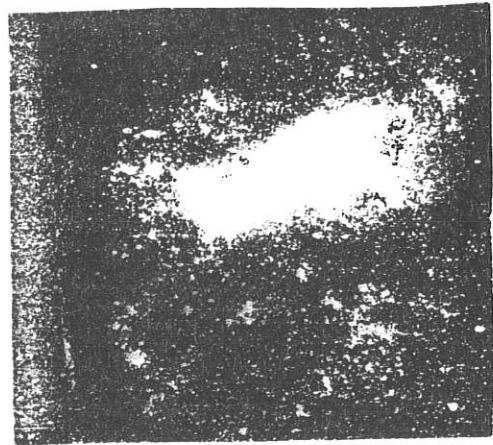
II.- QUE TROUVE-T-ON APRES NOTRE GALAXIE ? D'AUTRES GALAXIES.

Cette question a été très controversée dans les années 1910-1915.

On a constaté qu'en dehors de notre Galaxie, il y a d'autres objets nébuleux. Beaucoup ont pensé qu'il s'agissait d'étoiles très proches, d'autres, d'étoiles très éloignées (Chaplet) groupées en galaxies.

La deuxième thèse s'est avérée vraie. Les plus proches de ces galaxies lointaines se trouvent dans l'hémisphère Sud (nuages de Magellan (fig. 1) à environ 200 000 années lumières (la lumière met 200 000 ans à nous parvenir).

Fig. 1.- Le Grand Nuage de Magellan, petite galaxie satellite de la Voie Lactée, de forme irrégulière.



III.- DIFFERENTS TYPES DE GALAXIES.-

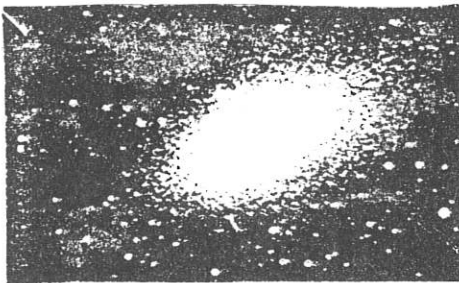


Fig. 2.- NGC 147, une petite galaxie elliptique qui accompagne M31. Elle contient peut-être un milliard d'étoiles.

La première classification des galaxies qui est encore la plus usitée repose sur des considérations morphologiques.

Elle est due à Hubble qui distingue trois grands types de galaxies :

- les galaxies elliptiques (fig. 2)
- les galaxies spirales (fig. 3) et,
- les galaxies irrégulières.

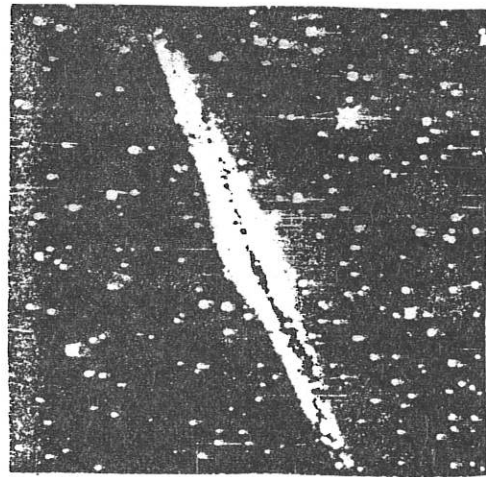


M 81, une autre galaxie spirale, comme la Voie lactée. Distante de 7 millions d'années-lumière.

Nous ne pouvons voir M 81 ni par la tranche ni de face, mais plutôt de trois quarts. Les galaxies sont orientées dans toutes les directions par rapport à notre ligne visuelle.

Fig. 3.

Une galaxie spirale vue par la tranche, NGC 891. Les étoiles qui l'entourent, situées au premier plan, font partie de notre propre Galaxie.

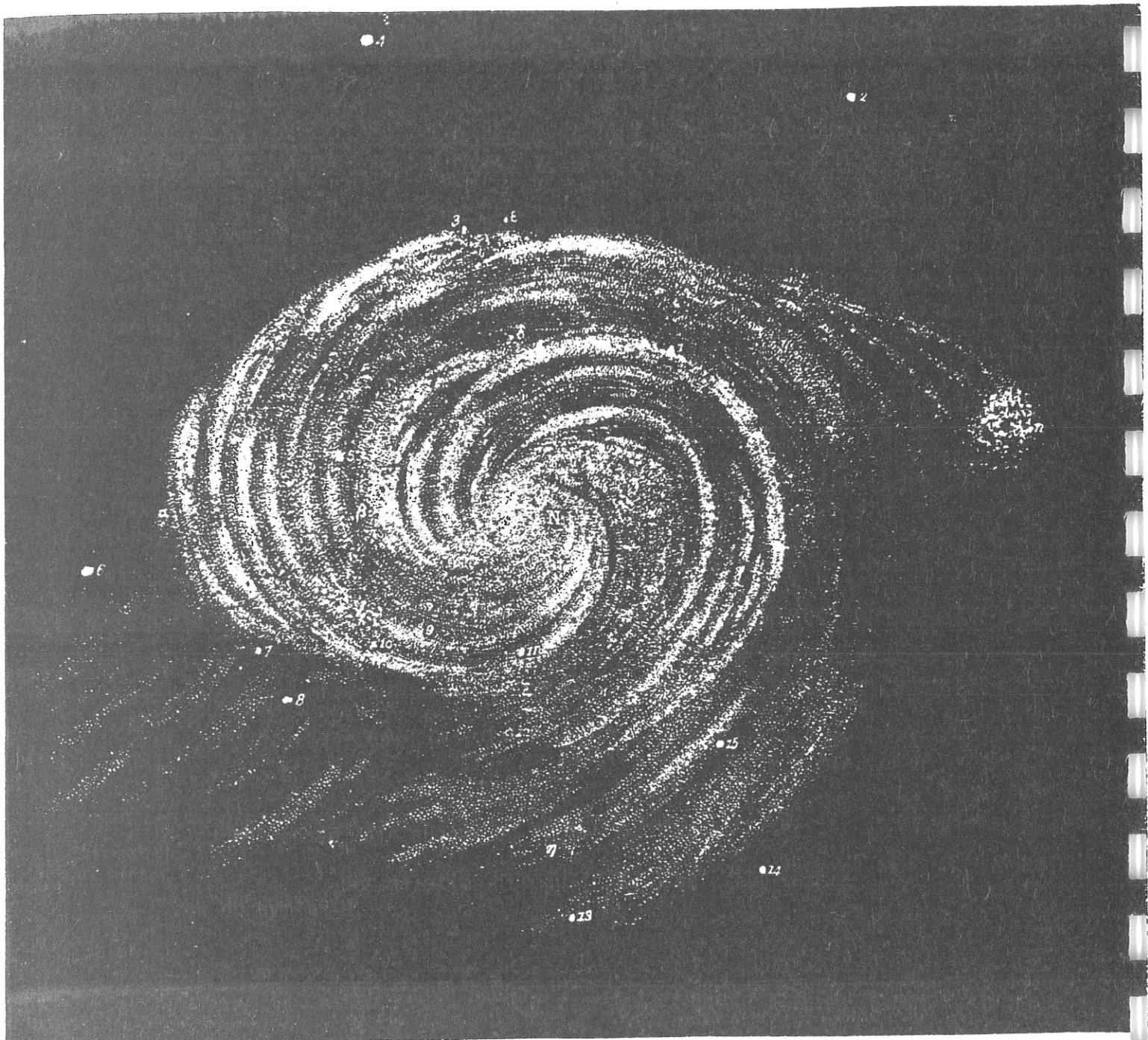


Les galaxies elliptiques ont la forme d'ellipsoïdes plus ou moins aplatis, avec une répartition d'étoiles augmentant vers le centre, mais ne montrent aucune structure fine.

Les galaxies spirales ont une forme beaucoup plus plate, la plupart des étoiles brillantes étant concentrées dans un disque très peu épais, et suivant des bras qui s'entou-

rent en spirale autour du centre du disque.

Les galaxies irrégulières n'ont apparemment aucun axe de symétrie.



Dans la galaxie du Tourbillon, telle que la dessina Lord Rosse après l'avoir vue dans son télescope de 1,82 mètres, la forme spiralée fut décelée pour la première fois

IV.- QU'ETUDIE-T-ON ?

L'analyse du rayonnement consiste à mettre en évidence la répartition spectrale de l'énergie, et la connaissance de la distance des objets permet de déterminer la puissance rayonnée dans chaque intervalle spectral.*

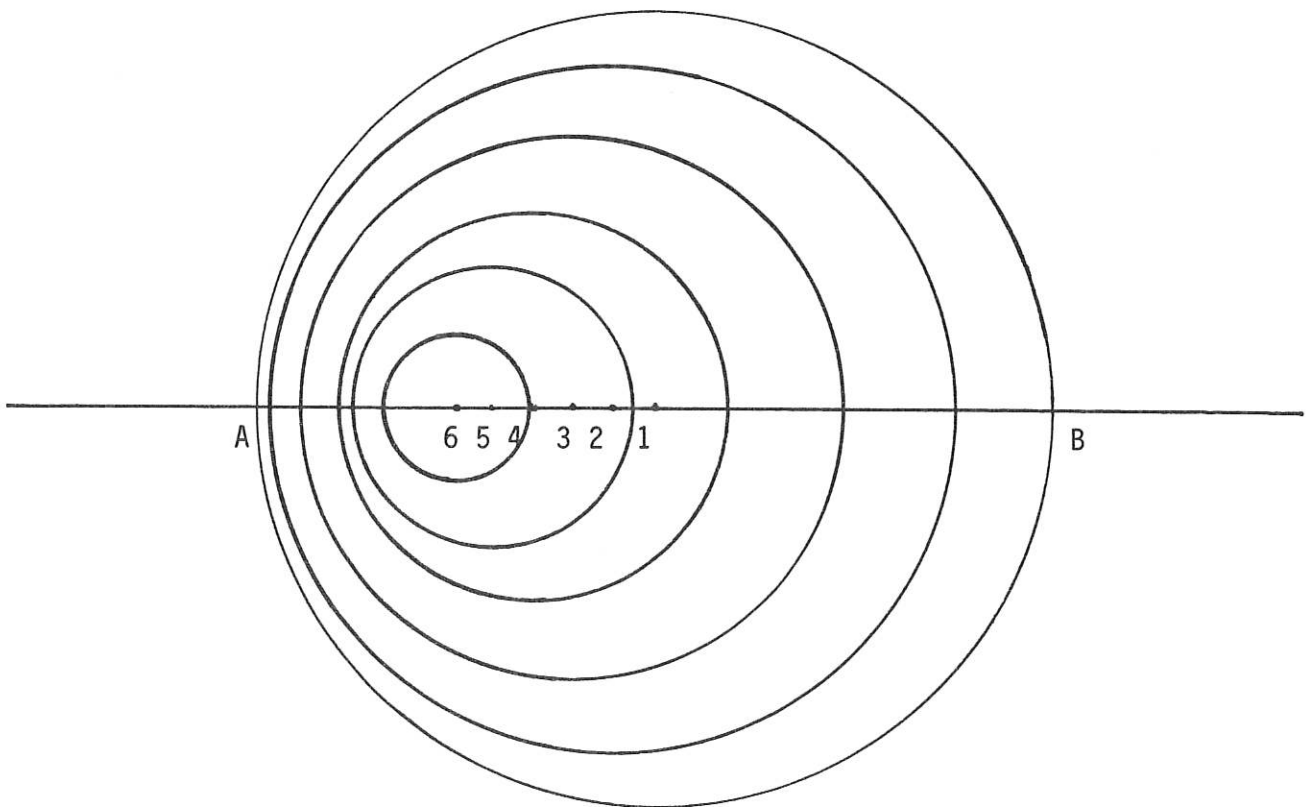
On trouve ainsi que tout objet émet un spectre, comportant un spectre continu et des raies spectrales, soit en absorption, soit en émission. Ces raies spectrales sont dues soit à des transitions atomiques, soit à des transitions moléculaires.

Les résultats obtenus au laboratoire permettent, avant toute chose, d'identifier les corps, atomes ou molécules, responsables des raies d'émission ou d'absorption observées dans les astres.

Les décalages vers le rouge observés dans les spectres des galaxies sont attribués depuis les années vingt à un effet Doppler-Fizeau dû à l'expansion de l'Univers** : les galaxies s'éloignent de nous et les unes des autres, avec une vitesse proportionnelle à leur distance ; la constante de proportionnalité H_0 porte le nom d'Edwin Hubble. Ce fait d'expérience est venu corroborer la théorie de la relativité générale énoncée par Einstein.

* Un spectre est produit par le passage d'une lumière à travers une fente, puis un prisme de verre. Si un gaz qui absorbe fortement certaines ondes de la lumière visible se trouvait sur son chemin, des lignes sombres caractéristiques de ce gaz apparaîtraient dans le spectre.

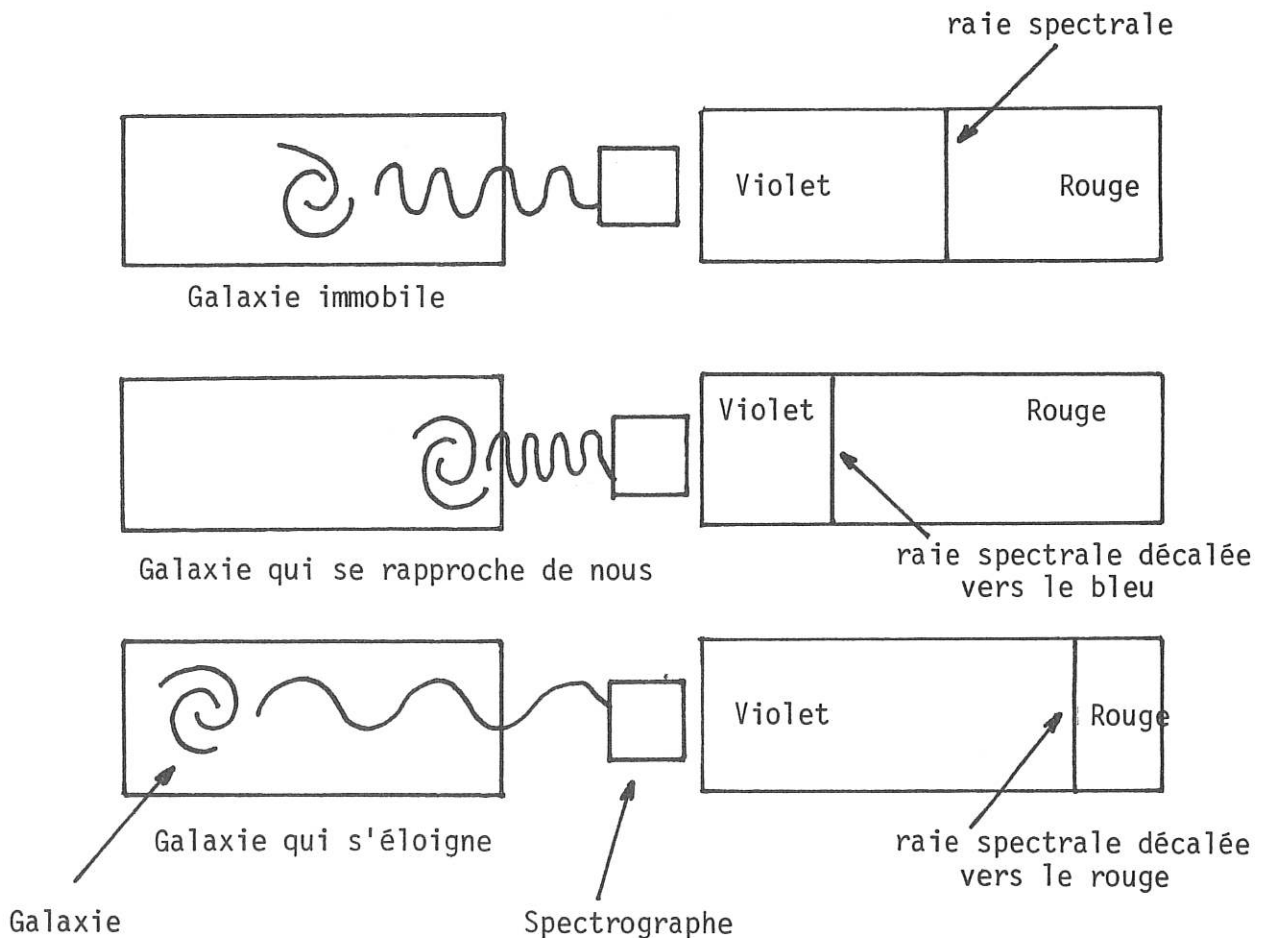
** Effet Doppler.



- Une source stationnaire de son ou de lumière émet des ondes sphériques. Si une source se déplace de droite à gauche, elle émet des ondes sphériques progressivement centrées sur les points de 1 à 6, comme le montre le dessin. Mais un observateur placé en B verra les ondes s'étirer, tandis qu'un observateur placé en A les verra se comprimer. Dans une source qui s'éloigne, on remarque un décalage vers le rouge (par accroissement des longueurs d'ondes) ; dans une source qui se rapproche, un décalage vers le bleu (par raccourcissement des longueurs d'ondes). L'effet Doppler est la clé de la cosmologie.
- Dans la vie courante nous connaissons bien cet effet.

Soit, par exemple, un conducteur qui passe près de nous à toute vitesse en faisant sonner son klaxon. L'homme qui est au volant entend un son uniforme de hauteur constante. Or, à l'extérieur de la voiture nous percevons un changement caractéristique de hauteur du son. Pour nous qui ne bougeons pas, la hauteur du son du klaxon modifie sa fréquence de l'aigu (avant le passage à notre hauteur) au grave (après le passage).

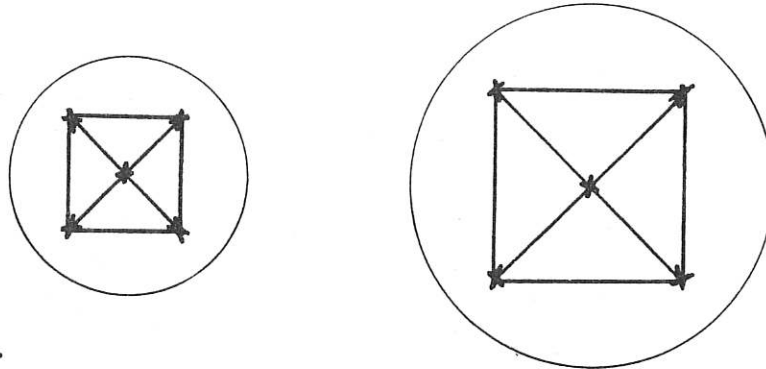
Il en est de même pour les raies des spectres.



SPECTRES (la raie figurée est celle de l'hydrogène)

Mais il est curieux que toutes les galaxies s'éloignent de nous.

Cette propriété valable pour nous, l'est pour n'importe quel point de l'Univers. Pour mieux comprendre ce phénomène, on peut prendre l'exemple d'un gâteau aux raisins dans lequel on a introduit de la levure. Au moment où le gâteau gonfle par suite de la fermentation, si l'on se trouve sur un grain de raisin (galaxie), on voit tous les grains de raisin s'éloigner de soi. Si l'on se met sur un autre grain de raisin, il en est de même.



Les quasars.

Des galaxies d'un nouveau type ont été découvertes en 1963 grâce à leur émission radioélectrique. Elles sont impossibles à distinguer des étoiles sur les clichés du ciel, d'où leur nom de quasars (abrégé de quasi stellar radio source : source radio quasi stellaire). Dans le domaine des ondes radio, elles se caractérisent par une émission très intense provenant d'une région très localisée au centre de la galaxie, et dont l'intensité fluctue dans le temps. Dans le domaine visible, elles sont en moyenne 100 fois plus lumineuses que les galaxies normales et présentent aussi des variations.

Jugeant sur leur apparence, on pensa d'abord qu'il s'agissait d'étoiles appartenant à notre propre Galaxie. Mais des observations portant sur le décalage de leurs raies du spectre vers le rouge tendirent à prouver qu'ils se trouvaient à d'énormes distances et semble-t-il participaient vigoureusement à l'expansion de l'Univers, certains s'éloignant de nous à plus de 90% de la vitesse de la lumière.

Donc l'Univers se compose de Galaxies formées d'Etoiles et de Gaz. Parfois, certaines d'entre elles comportent un noyau extrêmement brillant : un quasar.

Modèle cosmologique.

Un modèle est une représentation mentale simplifiée de ce que l'on observe.

Comme hypothèse simplificatrice, on suppose que l'Univers a les mêmes propriétés dans toutes les directions (milieu isotrope), en tous points. (Attention ! on ne voit pas tous les points de l'Univers

au même instant, cela dépend de leur distance par rapport à nous *).

Les Egyptiens imaginaient un modèle composé de sphères de cristal sur lesquelles étaient piquées des étoiles.

Le premier à avoir élaboré un modèle sur des bases scientifiques fut Einstein. Il construisit la théorie de la relativité générale, théorie qui fut vérifiée par toutes les expériences.

Elle est actuellement la base de toutes les théories sur l'Univers.

Il écrivit un certain nombre d'équations sensées représenter les propriétés de l'Univers. Il est intéressant d'étudier leurs propriétés mathématiques et de les confronter avec ce que l'on peut observer.

Einstein constata qu'il existait une quantité infinie de possibilités ouvertes par ces équations. On pouvait aussi bien imaginer un Univers en contraction, en expansion ou qui ne change pas. Mais il n'aimait pas l'idée d'un Univers en expansion et émit donc l'hypothèse d'un Univers fixe.

L'observation lui donna tort. Hubble démontra que l'Univers était en expansion.

L'abbé Lemaître de l'Université de Louvain soutint cette idée.

Si l'Univers est en expansion, c'est qu'il a été dans le passé extrêmement concentré. Il y a donc eu un début que l'on appelle le "bing-bang".

*
$$\text{Temps} = \frac{\text{distance}}{\text{vitesse}}$$

Si je regarde un ami placé à trois mètres de moi, je ne le vois pas comme il est maintenant, mais plutôt comme il était un centième de milliardième de seconde auparavant :

$$(3\text{m}) / \underbrace{(3 \times 10^8 \text{m/s})}_{10^8 \text{s}} = \frac{1}{10^8} = 10^{-8} \text{s}$$

Dans ce calcul j'ai simplement divisé la distance qui nous sépareit par la vitesse de la lumière pour avoir la durée du parcours.

Or la différence entre mon ami et moi maintenant, il y a un centième de milliardième de seconde est trop infime pour être perceptible. En revanche si nous regardons un quasar situé à huit milliards d'années lumière, le fait que nous le voyons tel qu'il était il y a huit milliards d'années a son importance.

Mais les incroyants n'étaient pas satisfaits.

Trois savants Anglais tinrent le raisonnement suivant : soit un certain volume, "une boîte" renfermant des galaxies. Au cours de l'expansion, les galaxies sortent de ce volume. Ainsi, la quantité de matière à l'intérieur de la boîte diminue.

S'il y a une création continue de nouvelle matière juste pour compenser celle qui s'en va, l'Univers sera toujours en expansion et ses propriétés resteront toujours identiques.

L'Univers serait donc dans un état stationnaire. On remplace dès lors la création en un seul instant par une création continue de matière ... mais à partir de quoi ?

Mais ces hypothèses ne coïncident pas avec les observations.

L'hypothèse d'un Univers en expansion qui était d'abord très concentré semble la plus juste.

LE FUTUR DE L'UNIVERS.-

Il existe deux possibilités :

- l'expansion continue indéfiniment.
- l'expansion s'arrêtera un jour et sera suivie d'une phase de contraction, qui pourrait être un retour à l'état initial.

Les indications que l'on a actuellement sont en faveur de la 1ère idée.

QU'Y AVAIT-IL AVANT ?

C'est une question à laquelle on ne peut et on ne pourra jamais répondre.

Les galaxies s'éloignant avec une vitesse croissante, elles pourraient atteindre la vitesse de la lumière ; le décalage spectral est alors infini et on ne sait plus rien.

Si l'on se place à un instant où l'Univers était plus proche des origines que maintenant, on s'aperçoit que l'horizon englobait une partie plus petite que l'Univers. Si l'on remonte dans le temps par la pensée jusqu'à l'instant $t = 0$, l'horizon est infiniment petit.

L'espoir de la cosmologie est de tenter de répondre sur le futur mais jamais sur le passé.