

Comment la Terre a-t-elle perdu sa place privilégiée dans l'univers? : Aperçu de l'évolution de la cosmologie de l'antiquité à aujourd'hui : deuxième partie

Autor(en): **Blaser, Cédric**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **61 (2003)**

Heft 319

PDF erstellt am: **25.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-898450>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Comment la Terre a-t-elle perdu sa place privilégiée dans l'Univers?

Aperçu de l'évolution de la cosmologie de l'Antiquité à aujourd'hui

Deuxième partie

CÉDRIC BLASER

Chapitre 9

La Voie lactée est notre banlieue (WILLIAM HERSCHEL)

Nous allons maintenant nous tourner vers un autre savant qui, un siècle après ISAAC NEWTON, modifiera lui aussi considérablement la représentation de l'univers. Ce grand homme s'appelle FRIEDRICH WILHELM HERSCHEL, il naît à Hanovre en Allemagne le 15 novembre 1738. Il est le troisième des six enfants d'un père engagé dans la fanfare de l'armée allemande, passionné de musique et d'astronomie. C'est donc tout naturellement que le jeune WILLIAM apprend à jouer du hautbois et s'engage dans la fanfare militaire de son père. Il trouve quand même le temps de faire des études de mathématiques et de philosophie.

En 1756, la fanfare militaire fait une tournée de six mois en Grande-Bretagne et WILLIAM a la chance de pouvoir y participer. Il apprendra la langue et attrapera la fascination de ce pays. Deux ans plus tard, l'Allemagne est en guerre et HERSCHEL trouve qu'il n'a plus sa place dans l'armée. C'est vrai qu'en temps de guerre, les musiciens ne sont pas d'une grande utilité. Il décide donc de désertier et de se réfugier en Grande-Bretagne. Dans un premier temps, il gagne sa vie en copiant des partitions de musique. Mais comme il est doué, il ne tarde pas à enseigner la musique, composer et même donner des concerts. En 1767, on lui accorde le poste d'organiste à Bath où il s'établit pour un certain temps. En 1772, sa sœur CAROLINE le rejoint de l'autre côté de la manche.

En 1773, il lit un livre de vulgarisation d'astronomie. C'est à ce moment qu'il découvre sa véritable vocation: le ciel. Il commence par s'acheter un petit télescope mais il est vite déçu: il ne permet pas d'observer grand chose. HERSCHEL veut alors en acheter un plus grand mais il s'aperçoit que les grands télescopes coûtent beaucoup plus cher que ce que

sa maigre fortune n'autorise. Qu'à cela ne tienne, il décide de fabriquer lui-même son télescope. Il achète des instruments de polissage d'occasion, apprend à s'en servir et se met à la tâche. A force de persévérance, il obtiendra des instruments de plus en plus fiables et de plus en plus grands: en particulier un télescope de 48 cm de diamètre et de 6 m de distance focale.

En 1779, alors qu'il observait la Lune avec l'un de ses télescopes, un inconnu lui demande la permission d'observer à son tour. Les deux hommes font connaissance et l'inconnu se présente: WILLIAM WATSON, membre de la *Royal Society*. Il promet à HERSCHEL de l'introduire dans la société savante anglaise. HERSCHEL pense qu'il est tard de commencer une carrière scientifique à 40 ans mais accepte. De 1779 à 1780, HERSCHEL observe les montagnes lunaires et calcule leur altitude. Avec l'aide de son ami WATSON, il obtient la publication de ses résultats.

Se désintéressant de la Lune, HERSCHEL se passionne pour un autre sujet d'actualité: les étoiles doubles*. C'est en scrutant le ciel à la recherche de ces corps célestes qu'il fait la découverte qui le rendra célèbre. Le 13 mars 1781, il découvre une tache lumineuse qui ne correspond à aucune étoile connue. En l'observant à nouveau, il constate qu'elle se déplace de jour en jour. Pensant qu'il s'agit d'une comète, il communique sa découverte à la *Royal Society*. D'autres astronomes se penchent sur la question et quelques mois plus tard, lorsqu'ils ont pu calculer l'orbite de l'objet avec suffisamment de précision, les scientifiques se rendent à l'évidence: il s'agit d'une nouvelle planète, celle que nous connaissons aujourd'hui sous le nom d'Uranus. A partir de ce moment, tout s'enchaîne très vite. En novembre de la même année, HERSCHEL est convié à Londres et reçoit la médaille Copley des mains de Sir JOSEPH BANKS, le président de la *Royal Society*. En décembre, HERSCHEL est lui-même élu membre de cette société. En 1782, il est nommé «astronome du roi». Sa fonction est d'expliquer le ciel au roi et à sa famille. En échange, il reçoit une pension annuelle de 200 livres.

Dès 1782, WILLIAM HERSCHEL n'arrêtera plus de publier de nouvelles découvertes. Comme nous l'avons déjà vu, il s'intéresse aux étoiles doubles. D'une part, il s'acharne à les dénombrer et les recenser. Il publiera d'ailleurs plusieurs catalogues contenant des milliers d'étoiles doubles. D'autre part, il ne se contente pas de les cataloguer, il les étudie longuement et fait plusieurs découvertes. Il observe qu'un couple d'étoiles n'est pas fixe, mais que les deux étoiles se déplacent. Il a la géniale intuition d'appliquer la loi de NEWTON de la gravité universelle aux étoiles doubles et découvre qu'elles tournent autour de leur centre de masse* commun. Cette dernière découverte entraîne tout de suite une autre. Jusqu'à HERSCHEL, les astronomes pensaient que la magnitude absolue* de toutes les étoiles était la même. Ils pensaient que les différentes magnitudes apparentes* étaient dues à la distance des étoiles. Comme Herschel démontre que les étoiles doubles tournent autour de leur centre de masse commun, il démontre aussi qu'elles sont pratiquement à la même distance. Or la plupart des couples d'étoiles sont assez disproportionnés: l'une des étoiles étant souvent plus grande que sa compagne. HERSCHEL en déduit que la magnitude absolue des deux étoiles est différente.

Une autre croyance millénaire est aussi infirmée à l'époque d'HERSCHEL. C'est EDMUND HALLEY qui allume la mèche lorsqu'il affirme que les trois étoiles connues Aldébaran, Sirius et Arcturus ne sont plus exactement au même endroit que les avait notées Ptolémée dans son *Almageste*. HERSCHEL reprend ces observations et découvre que 40 autres étoiles ont elles aussi changé de position. Connaissant maintenant le personnage, vous vous imaginez bien qu'il ne se contente pas de ce résultat. Comme d'habitude, il essaie de comprendre le phénomène et voit deux raisons à ce déplacement. Premièrement, les étoiles peuvent effectivement avoir bougé et deuxièmement, le Soleil et tout son cortège de planètes peuvent eux aussi s'être déplacé. HERSCHEL commence de longs et fastidieux calculs pour savoir dans quel sens se déplace notre système solaire. Il parvient au résultat que le Soleil se déplace en direction d'un point dans la constellation d'Hercule, à la vitesse de 14 kilomètres par seconde. Compte tenu des instruments de l'époque, ce calcul est remarquable puisque effectivement le Soleil se déplace dans cette direction à la vitesse de 20 kilomètres par seconde.

Les lecteurs attentifs auront remarqué que j'ai sauté une étape importante. En effet, nous avons quitté Newton en 1727 en affirmant qu'il a définitivement

* Les mots suivis d'une astérisque sont expliqués dans le glossaire de l'annexe A.

placé la Terre parmi les autres planètes, que la Terre n'est plus un lieu à part dans l'univers. Et nous venons de parler d'HERSCHEL qui pense que le Soleil tout comme les autres étoiles bouge. En effet, bien qu'on ne sache pas exactement depuis quand, il est couramment admis au XVIII^e siècle que notre Soleil n'est qu'une étoile parmi d'autres. Cette idée s'est gentiment imposée en même temps que les astronomes ont commencé à estimer la distance qui nous sépare des étoiles. Celle-ci étant déjà à l'époque évaluée en années-lumière*, il devenait de plus en plus inconcevable que les étoiles réfléchissent la lumière du Soleil comme le font les planètes et les comètes. Les savants ont donc peu à peu admis que les étoiles émettent leur propre lumière, tout comme le fait le Soleil. Comme nous l'avons vu au chapitre 4, GIORDANO BRUNO en était déjà convaincu au XVI^e siècle, mais l'Eglise n'a pas du tout apprécié cette théorie.

Une autre découverte importante a eu lieu à la fin du XVII^e siècle: la détermination des distances dans le système solaire. En effet, depuis KEPLER, il était possible de calculer les distances relatives des planètes au Soleil, mais il manquait toujours les distances absolues. Aujourd'hui, on mesurerait la parallaxe* du Soleil et l'affaire serait réglée. Mais au XVII^e siècle, les instruments ne permettaient pas encore de mesurer de si petits angles. Les astronomes ont donc procédé autrement. En 1672, ils ont profité du moment où la planète Mars s'est rapprochée au plus près de la Terre pour mesurer sa parallaxe, ce qui était tout juste à la portée de leurs instruments. Ils ont ainsi déterminé la distance Terre-Mars et à l'aide des lois de KEPLER, toutes les autres distances du système solaire. Ils ont donc calculé que le Soleil se trouve à 138 millions de kilomètres de la Terre. Le résultat est remarquable quand on sait que la distance au Soleil est en fait de 149,6 millions de kilomètres.

Après ce petit retour en arrière, revenons à WILLIAM HERSCHEL. Comme la pension qu'il reçoit du roi ne parvient pas à couvrir ses dépenses, il décide de compléter son revenu en fabriquant et vendant des télescopes. Sa réputation ne tardera pas à dépasser les frontières du royaume. Certains de ses clients sont même très célèbres, tels que le roi d'Espagne, l'empereur d'Autriche et l'impératrice de Russie.

En 1788, il règle définitivement ses problèmes d'argent en épousant MARY PITT, une jeune veuve et surtout une riche héritière. De ce mariage naîtra en 1792 le petit JOHN FREDERIK. Celui-ci sera lui aussi un grand astronome, reprenant les nombreuses observations de son père.

En 1789, WILLIAM HERSCHEL termine son plus grand télescope qu'il garde d'ailleurs pour lui. Il a un diamètre de 1,20 m et une distance focale de 12 mètres. Dès son achèvement, il le braque dans toutes les directions du ciel. En observant Jupiter, il découvre une sixième lune, Encelade, et quelques jours plus tard une septième: Mimas. Il a d'ailleurs déjà découvert deux lunes d'Uranus deux ans plus tôt, avec un plus petit télescope.

Décidément, WILLIAM HERSCHEL n'a peur de rien. Voilà qu'il décide tout simplement de compter les étoiles de la Voie lactée. Il procède par sondage, dénombre soigneusement les étoiles d'une zone précise du ciel et en extrapolant par la suite. Afin d'augmenter la précision de son estimation, il procède à plus de 3000 opérations de comptage durant sa carrière. Il acquiert ainsi une grande connaissance de la forme et des dimensions de la Voie lactée. Selon lui, elle a la forme d'un disque de 20000 années-lumière de diamètre et 4000 années-lumière d'épaisseur. Nous savons aujourd'hui que ces dimensions sont en réalité cinq fois plus grandes, mais il fallait déjà oser à l'époque avec le peu de connaissances sur les distances avancer de tels nombres gigantesques. De plus, HERSCHEL se risquera même d'indiquer notre position dans la galaxie, non loin de l'un des bras de celle-ci.

Un autre grand domaine d'investigation d'HERSCHEL est l'étude des nébuleuses. Il appelle ainsi tous les objets du ciel qui ne sont ni des étoiles, ni des planètes, ni des comètes. Ces objets ressemblent à des taches de lumière de faible intensité et d'apparence nébuleuse, d'où leur nom. HERSCHEL commence par se baser sur le catalogue établi par CHARLES MESSIER. Mais il va beaucoup plus loin et en vingt ans d'observations, il porte le nombre de nébuleuses de 100 à 2500. En les observant minutieusement avec ses grands télescopes, WILLIAM HERSCHEL constate que la plupart de ces objets d'apparence nébuleuse se composent en réalité d'étoiles.

Connaissant maintenant le caractère d'HERSCHEL vous vous doutez bien que le «plupart» l'ennuie au plus haut point. Il propose deux explications qui sont l'une aussi intéressante que l'autre. Premièrement, il affirme que les nébuleuses sont des corps en évolution. Au début, ce ne sont que des nuages de gaz diffus et peu à peu, les étoiles se forment. Les nébuleuses qu'il ne parvient pas à résoudre en étoiles sont donc les plus jeunes. Cette explication n'est aujourd'hui plus vraiment acceptée mais l'idée qu'il puisse y avoir une évolution dans le ciel est fascinante et va être reprise avec plus de suc-

cès dans les siècles suivants. L'autre explication avancée par HERSCHEL est qu'il pourrait s'agir de corps extrêmement lointains qui seraient bien en dehors de notre galaxie. Il les appelle des «univers-île». Cette affirmation sera longuement discutée, comme nous allons le voir au chapitre suivant.

Avec cet infatigable savant qu'est WILLIAM HERSCHEL, l'humanité est entrée par la grande porte dans la cosmologie moderne. Alors qu'à sa naissance, il était tout juste admis que le Soleil est une étoile parmi toutes les autres, il a fait de toute notre galaxie une proche banlieue, affirmant qu'il pourrait y avoir d'autres galaxies à des distances inimaginables. Il est aussi le premier à avoir pensé que les corps célestes puissent évoluer. L'idée ne s'est pas imposée tout de suite, mais elle est devenue un des fondements de notre cosmologie du XXI^e siècle. Ironie du destin, cet homme qui a tant découvert, qui a dépassé de beaucoup les connaissances de son époque, a cru jusqu'à sa mort le 25 août 1822 qu'il puisse y avoir des êtres vivants sur la Lune et que l'intérieur des étoiles soit froid et qu'il puisse donc y avoir des habitants. Comme pour NEWTON, on pourrait être tenté de passer sous silence ces détails, mais ils sont ô combien révélateurs d'un phénomène universel: l'Histoire a une mémoire sélective et ne retient que ce qui est considéré comme juste à l'époque contemporaine.

On a souvent dit que le XIX^e siècle est celui des grandes découvertes scientifiques. C'est vrai pour de nombreux domaines, mais pas pour l'astronomie. NEWTON et HERSCHEL ayant tellement découvert que pendant le reste du XIX^e siècle, les scientifiques n'ont pu qu'améliorer leurs instruments de mesure. La conception de l'univers telle que l'a laissée HERSCHEL à sa mort perdurera d'ailleurs jusqu'à l'aube du XX^e siècle, époque où d'autres génies vont se mettre à cette tâche.

Chapitre 10

La fuite des galaxies (EDWIN HUBBLE)

EDWIN POWELL HUBBLE fait certainement partie de ces génies de la science qui ont révolutionné le XX^e siècle. Il naît le 20 novembre 1889 à Marshfield, dans l'état du Missouri au centre des Etats-Unis. Il grandit dans une famille de sept enfants dont le père travaille en tant qu'avocat pour une assurance. Il se révèle un garçon brillant, vite passionné pour la lecture, les romans de JULES VERNE en particulier. Quand il a neuf ans, la famille déménage à Chicago où EDWIN fera son

école secondaire. Il s'y fait remarquer à la fois pas ses capacités scolaires et sportives. En 1906, son certificat de fin d'étude secondaire en poche, il cherche comme la plupart des futurs étudiants américains à gagner un peu d'argent. Il parvient à se faire embaucher comme assistant de laboratoire du professeur ROBERT MILLIKAN. Son goût pour les sciences est donc déjà très prononcé. D'ailleurs, il entre à l'université de Chicago et obtient une licence en mathématiques et en astronomie en 1910.

Ayant bien réussi ses études et étant toujours aussi doué en sport, il reçoit la «*Rodes scholarship*», la bourse la plus convoitée, pour poursuivre ses études à Oxford en Grande-Bretagne. Sous l'influence de son père, il choisit la filière juridique. Après trois ans d'études, il retourne aux États-Unis et passe les examens d'Etat au Kentucky où vit dorénavant sa famille. L'expérience ne sera pas concluante. HUBBLE, qui n'a jamais été passionné pas le droit, quitte son métier après un an et reprend des études d'astronomie.

Il faut croire qu'il se montre extrêmement doué car en 1917, avant même qu'il n'ait terminé sa thèse sur les nébuleuses, il est contacté par le célèbre GEORGE ELLERY HALE, l'homme qui venait d'inaugurer le télescope le plus puissant du monde. Il s'agit du réflecteur Hooker de 2,50 m de diamètre installé au Mont-Wilson. Mais nous sommes en avril 1917, la première guerre mondiale fait rage en Europe et les États-Unis viennent de déclarer la guerre à l'Allemagne. HUBBLE ayant longtemps combattu l'isolationnisme, il est dans les premiers à se décider pour partir au front. Quelques semaines plus tard, il est capitaine d'un régiment se battant en France. Il sera blessé en 1918 et retournera aux États-Unis l'année suivante. Il faut être conscient que le télescope de 2,50 m du Mont-Wilson est l'instrument le plus performant sur lequel les astronomes puissent rêver de travailler pour mesurer le sacrifice que fait EDWIN HUBBLE en s'engageant pour le front.

Heureusement pour lui, HALE lui a gardé une place dans l'équipe du télescope Hooker. Dès son retour, HUBBLE se met au travail et débute des observations de nébuleuses, en particulier de nébuleuses spirales. La grande question à ce moment est celle des «univers-îles». Certains scientifiques pensent que tous les objets cosmiques se trouvent dans notre galaxie alors que d'autres pensent que certains corps célestes pourraient se trouver loin au-delà des limites de la Voie lactée. Ces limites viennent d'ailleurs d'être mesurées avec une assez bonne précision par HARLOW SHAPLEY, un sérieux adversaire de HUBBLE. Celui-

ci a utilisé la technique des céphéides variables* pour déterminer que notre galaxie a un diamètre de 300000 années-lumière. Les céphéides variables sont des étoiles qui ont une propriété intéressante: leur luminosité change en fonction d'un cycle régulier. De plus, des astronomes ont pu montrer qu'il existe une relation entre la période de pulsation lumineuse et la magnitude absolue de l'étoile. Connaissant cette magnitude, on peut la comparer à la magnitude apparente pour déterminer l'éloignement de l'étoile. Les astronomes ont donc enfin un outil performant pour mesurer des grandes distances dans l'univers.

On peut donc comprendre l'enthousiasme que déclenche la simple phrase d'EDWIN HUBBLE en février 1924: «*J'ai trouvé une céphéide dans [la nébuleuse d'] Andromède.*»¹¹ En effet, on pourra enfin trancher la question des «univers-îles». Et le verdict est sans appel: avec un éloignement de 900000 années-lumière, la nébuleuse d'Andromède est loin en dehors de la Voie lactée, c'est une galaxie à part entière. On peut difficilement imaginer ce que les savants ont pu ressentir à l'époque. Les frontières de l'univers sont désormais repoussées à une distance inimaginable, surtout depuis le moment où HUBBLE annonce que la galaxie d'Andromède n'est pas une exception, que beaucoup d'autres nébuleuses spirales sont en fait des galaxies très éloignées de la Terre.

HUBBLE est bien sûr conscient de l'importance de sa découverte, mais ce n'est pas pour autant qu'il en oublie sa vie terrestre. Une semaine plus tard, il se marie avec GRACE BURKE. Elle lui restera fidèle jusqu'à sa mort mais ils n'auront jamais d'enfants.

Avant de parler de la prochaine découverte de HUBBLE, je vais devoir introduire un autre sujet: la spectroscopie. Cette science aujourd'hui incontournable est en quelque sorte fondée par l'Allemand JOSEPH VON FRAUNHOFER en 1815. Le principe est relativement simple: lorsque la lumière passe à travers un prisme, elle se décompose dans toutes les couleurs de l'arc-en-ciel. FRAUNHOFER a simplement l'idée d'examiner de plus près cette décomposition et de la comparer à celle de la lumière des étoiles. Il découvre que ces décompositions ne sont pas continues, qu'elles contiennent des raies noires et que ces raies sont différentes pour chaque source lumineuse. Plus tard, on découvrira que ces raies dépendent de la composition chimique des étoiles et on appellera spectre d'une étoile la décomposition de sa lumière. Les astronomes ont donc maintenant un outil fabuleux pour examiner la composition, la température et même la densité

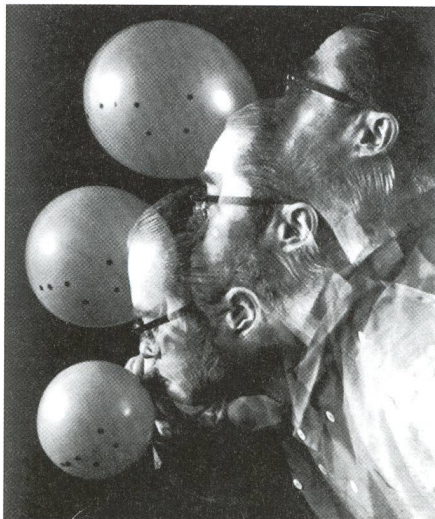
des étoiles. Mais le phénomène le plus étrange et le plus utile n'est pas encore découvert. On remarquera en effet que les raies d'un même élément chimique ne sont pas toujours au même endroit. En réalité, c'est même tout le spectre qui est légèrement décalé soit vers le rouge, soit vers le violet. Les astronomes affirment que la cause de ce phénomène est l'effet Doppler-Fizeau découvert par CHRISTIAN DOPPLER en 1841. Bien que son nom soit abstrait, tout le monde connaît cet effet. Le son d'une ambulance n'est pas perçu de la même manière suivant qu'elle se rapproche ou qu'elle s'éloigne, alors que la sirène émet exactement le même son. C'est dû au fait que la source sonore se déplace par rapport à l'observateur. HIPPOLYTE FIZEAU étendra plus tard ce principe à l'optique en démontrant que la longueur d'onde se déplace vers le violet si la source se rapproche et vers le rouge si elle s'éloigne de l'observateur. Les scientifiques peuvent donc calculer la vitesse radiale* d'une étoile en fonction du décalage de son spectre. C'est ce que VESTO MELVIN SLIPHER fera avec succès à l'observatoire Lowell à partir de 1912.

Revenons maintenant à EDWIN HUBBLE. Depuis la mesure de la distance d'Andromède, il n'a pas chômé. Il a par exemple établi une méthode de classification des galaxies selon leur forme soit elliptique, soit spirale, soit irrégulière. Cette classification est d'ailleurs aujourd'hui encore en vigueur. Mais HUBBLE s'intéresse maintenant à nouveau à la mesure des distances. Il détermine celles de plusieurs galaxies à l'aide de la technique des céphéides variables. Mais la méthode a ses limites: il faut en effet pouvoir distinguer ces étoiles particulières. HUBBLE emploie alors une méthode qui semble éloignée de la science précise qu'est l'astronomie. Et pourtant... Il remarque que les étoiles les plus brillantes des galaxies dont il a déjà mesuré la distance ne dépassent pas une magnitude absolue de -6,3. En considérant que ceci est vrai dans toutes les galaxies, il parvient à mesurer leur distance à la seule condition de distinguer des étoiles individuelles, et plus forcément des céphéides. HUBBLE est conscient que cette méthode peut donner des résultats erronés, mais faisant confiance à l'uniformité de l'univers, il considère que la technique est applicable si on prend un grand nombre de galaxies. Pour pouvoir mesurer la distance de galaxies à l'intérieur desquels il ne parvient même plus à voir une étoile individuelle, il pousse son raisonnement encore plus loin. Il

11. L'Homme et le cosmos, p. 165

constate que toutes les galaxies dont il a mesuré la distance ont à peu près la même magnitude absolue en moyenne, soit environ $-15,2$. Partant du principe que cela est vrai pour toutes les galaxies, il parvient à obtenir la distance de galaxies extrêmement éloignées. C'est maintenant qu'il fait une découverte capitale: en comparant les distances des galaxies qu'il a étudiées et leur vitesse mesurée par VESTO MELVIN SLIPHER, il constate que les deux sont proportionnelles. Nous sommes en janvier 1929 et EDWIN HUBBLE écrit dans son article à la National Academy of Sciences: » *Les résultats établissent une relation approximativement linéaire entre vitesse et distance des nébuleuses.* »¹² Il vient d'énoncer ce qui est au XXI^e encore connu sous la dénomination de loi de Hubble. Dans les années 1930, il continue de mesurer des distances et finit par atteindre les limites du télescope de 2,50 m du Mont-Wilson avec des galaxies distantes de 250 millions d'années-lumière.

La principale conséquence de la loi de Hubble est l'expansion de l'univers. En effet, vu que toutes les galaxies s'éloignent à des vitesses proportionnelles à leur distance, cela signifie que l'espace grandit. Il ne faut surtout pas croire que notre galaxie est le centre de l'univers puisque toutes les autres s'en éloignent. En fait, toutes les galaxies s'éloignent globalement de toutes les autres ga-



laxies. Pour illustrer ceci, on peut s'imaginer des points sur un ballon qu'on est en train de gonfler. Aucun d'eux n'est au centre du ballon, pourtant chaque point s'éloigne de plus en plus de chacun de ses voisins. Cette vision conduira quelques années plus tard à la théorie du big-bang, encore valable aujourd'hui.

La seconde guerre mondiale va comme la première interrompre les travaux de HUBBLE. Il se porte volontaire pour un engagement dans l'infanterie mais le

haut commandement le trouve plus utile dans un laboratoire de recherche scientifique. On le nomme responsable d'un laboratoire de balistique. HUBBLE ignore tout de cette discipline et après la lecture d'un article sur le sujet dans l'encyclopédie, il se demande si c'est une science sous-développée ou ultra secrète. Une fois sur place, il constate que la balistique est à la fois sous-développée et ultra secrète. Mais quand on a du génie comme HUBBLE, on peut l'utiliser dans tous les domaines. Il perfectionne donc différents instruments, monte une soufflerie supersonique et invente des méthodes de photographie de trajectoires. Il rend de si grands services à la nation qu'il est décoré de la médaille du Mérite en 1946.

Après la guerre, EDWIN HUBBLE jouera un rôle déterminant dans la construction du télescope Hale de 5 mètres de diamètre au Mont-Palomar. Lorsqu'un journaliste lui demande en 1948 ce qu'il compte observer avec un tel monstre, il répond: » *J'espère trouver quelque chose que nous n'attendions pas.* »¹³ Le savant confirmera entre autre que sa loi est valable dans tout l'univers, en tout cas dans tout le champ de vision phénoménal du nouveau télescope. EDWIN HUBBLE est mort le 28 septembre 1953 d'une thrombose cérébrale alors qu'il préparait une série d'observations sur le télescope du Mont-Palomar.

Cet homme a repoussé les limites de l'univers plus loin que personne ne l'a fait avant lui. D'ailleurs, depuis ses découvertes, on ne sait même plus si l'univers a des limites. La Terre est définitivement devenue un petit caillou insignifiant dans l'immensité du cosmos. De plus, il laisse derrière lui pour la première fois un univers en évolution qui n'est pas figé dans le temps, un univers qui a un passé qui reste à découvrir et un avenir à imaginer. Malgré tout cela, HUBBLE n'a jamais reçu le prix Nobel car il n'y a pas de catégorie pour l'astronomie. Cet homme qui a tant trouvé a tout de même fait une erreur: il croyait que les galaxies étaient réparties uniformément dans l'univers. C'est CLYDE TOMBAUGH qui lui prouva le contraire en 1937 en découvrant que les galaxies sont organisées en amas.

Chapitre 11

L'horizon cosmologique

Depuis ce début du XX^e siècle et les découvertes fabuleuses d'EDWIN HUBBLE, les connaissances ont bien évoluées, mais je ne crois pas que le saut ait été aussi grand qu'avec la découverte des autres galaxies et de l'expansion de l'univers.

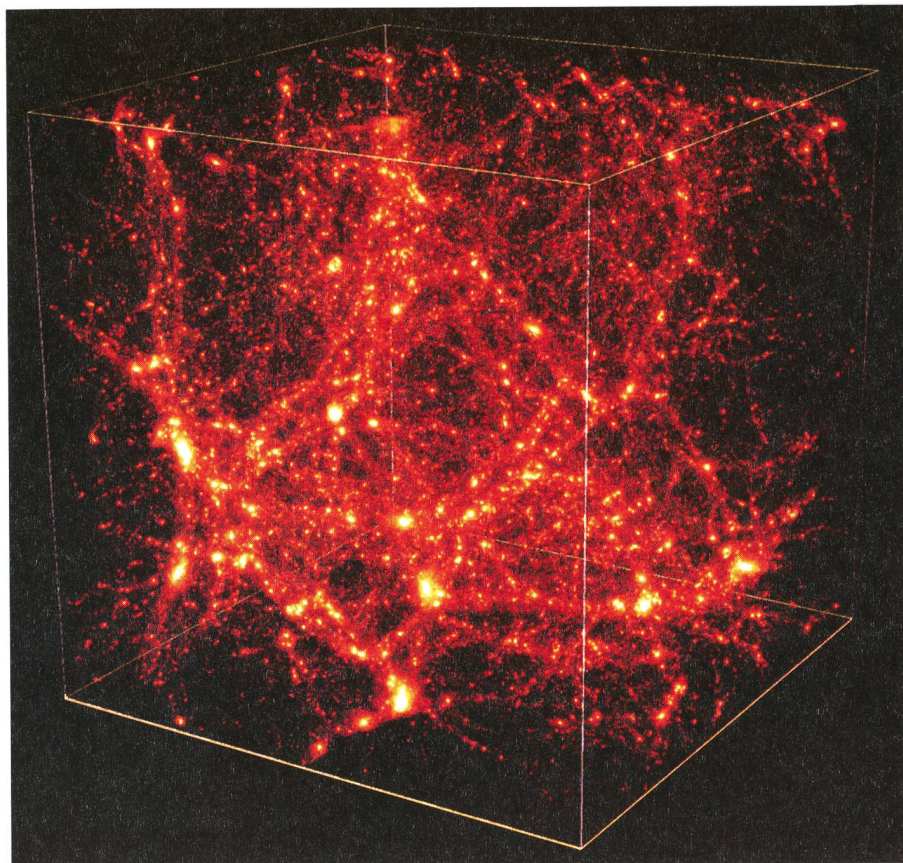
Une des grandes révolutions de ce XX^e siècle aura bien sûr été la théorie de la relativité générale qu'EINSTEIN a publiée en 1915. C'est donc totalement contemporain d'HUBBLE, mais certaines conséquences de cette théorie vont être découvertes bien plus tard. D'ailleurs, même au XXI^e siècle, on n'a pas encore pu vérifier tous les effets prédits par la relativité générale. Il est malheureusement impossible de l'expliquer ici en détail, je peux juste dire qu'elle repose sur le fait fondamental que le temps est une dimension comme les trois autres. D'après EINSTEIN, l'univers a donc quatre dimensions et il ne parle plus d'espace, mais d'espace-temps, car les quatre dimensions sont totalement liées et ont le même statut. Cette théorie remplace même la loi de la gravité universelle de NEWTON car elle est capable d'expliquer les quelques cas qui échappent à la loi de l'Anglais, comme l'orbite de Mercure. Mais nous sommes en train de sortir du sujet de ce travail, aussi allons nous nous arrêter ici avec les implications de la relativité.

Comme déjà annoncé à la fin du chapitre précédent, les galaxies ne sont pas réparties de manière totalement homogène. C'est CLYDE TOMBAUGH, le même astronome qui a découvert Pluton en 1930, qui le prouvera en découvrant les amas de galaxies en 1937. Plus tard, on verra que ces amas sont eux aussi organisés en superamas. Pour se représenter cette structure, comparons notre galaxie à une maison. La Voie lactée et ses proches voisines qui forment ensemble le groupe local peuvent être comparées à un petit quartier d'habitation, avec quelques dizaines de maisons. Un amas serait alors la ville entière et un superamas une agglomération de plusieurs villes. La propriété de ces ensembles est que les galaxies qui les composent sont liées gravitationnellement.

Depuis les années 1980, on sait que cette structure de superamas n'est pas la plus grande. Les amas et les superamas se sont rassemblés en grumeaux, de plus en plus gros, jusqu'à former d'immenses filaments qui ressemblent à la structure d'une éponge ou à l'assemblage de bulles de savon. Cette structure est bien visible sur l'image ci-contre où chaque petit point rouge représente une galaxie entière. On ne sait par contre toujours pas la cause de cette disposition très structurée, même à très grande échelle. Les scientifiques pensent qu'il y a un lien avec la matière noire*

12. L'Homme et le cosmos, p. 199

13. Source: http://antwpr.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/d_1996/hubble_nas.html



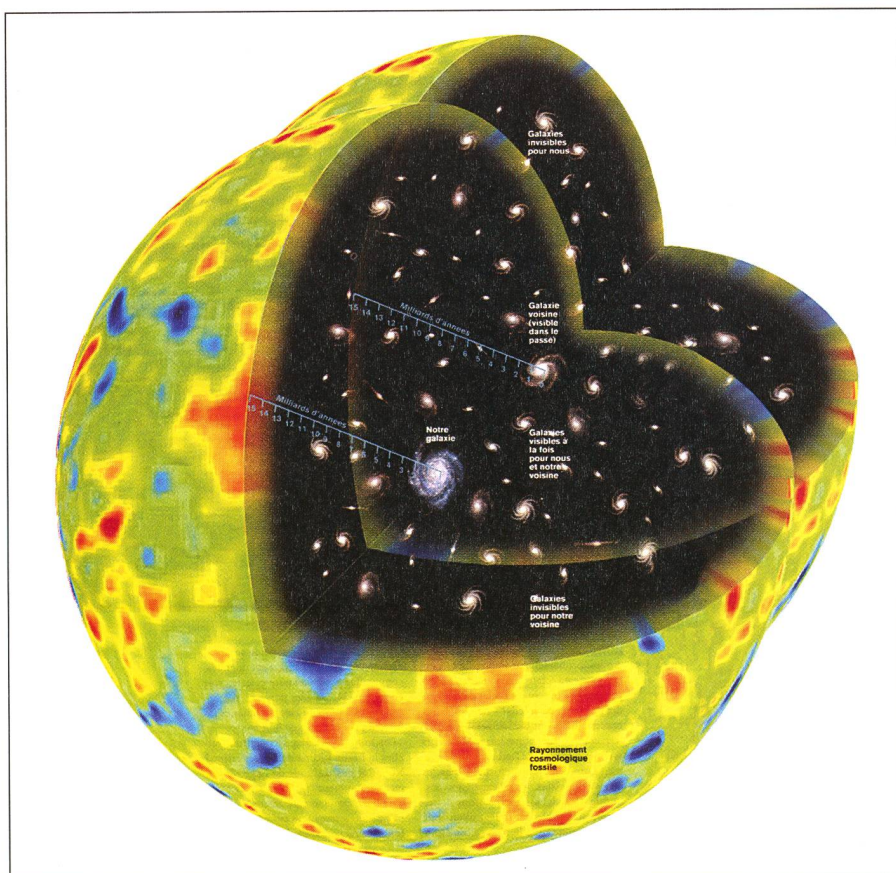
perceptible dans les fréquences radio. C'est cela que les astrophysiciens appellent le rayonnement fossile. C'est le plus lointain signal qui nous vient des profondeurs du cosmos.

Depuis cette découverte, notre image de l'univers observable se présente comme un planétarium. Au premier plan, nous avons le Soleil et les autres planètes. Plus loin, les autres étoiles de la Voie lactée. Puis les autres galaxies qui s'éloignent inlassablement. Notre horizon est formé du rayonnement fossile qui ferme en quelque sorte notre champ de vision. On peut remarquer une certaine ressemblance avec le système d'ARISTOTE et de PTOLÉMÉE que nous avons vu tout au début de notre périple à travers l'histoire de l'univers. Les différentes couches de l'image ressemblent à s'y méprendre aux sphères de cristal du modèle antique. Mais l'univers à quatre dimensions tel que nous l'a légué EINSTEIN est beaucoup plus élégant. Que l'on soit sur Terre, dans une galaxie proche comme Andromède ou au fin fond de l'univers observable, le ciel a toujours la même allure: des galaxies à perte de vue avec comme horizon le rayonnement fossile. Il n'existe donc absolument pas de centre de l'univers, mais chacun est au centre de son univers observable. Car c'est bien la principale découverte de ces dernières décennies: nous n'observons qu'une petite bulle de l'Univers avec un grand U. Cet-

qui constitue près de 90% de l'univers. Mais ce ne sont là que des hypothèses car la question est loin d'être réglée, il s'agit en fait d'un des principaux sujets de recherche de ce début du XXI^e siècle.

A la mort de HUBBLE, la théorie du big-bang était loin de faire l'unanimité. Le seul argument en sa faveur était la fuite des galaxies, d'autant plus rapide qu'elles sont lointaines. Dans les années 1960, un autre phénomène deviendra un argument de poids pour le big-bang qui est depuis une théorie largement acceptée. Ce phénomène est le rayonnement fossile. Sous cette appellation mystérieuse se cache un phénomène pas si abstrait que ça, puisqu'il s'agit d'un rayonnement radio quasi homogène qui vient de tout point de l'espace. Pour comprendre son origine, je suis obligé d'entrer un peu dans le détail de la théorie du big-bang. Juste après l'explosion, toute la matière était présente sous forme d'électrons, de protons et de neutrons. La chaleur était telle qu'aucun atome ne pouvait se former. Le problème est que dans cette soupe de particules chargées, les photons, ces grains élémentaires de lumière, ne pouvaient se déplacer librement. Ils ont perpétuellement été absorbés puis réémis. Il a fallu attendre que l'univers ait 300 000 ans pour que la température descende suffisamment pour permettre la formation des atomes qui sont eux neutres électriquement. Il en a résulté un flash de lu-

mière extrêmement violent car les photons n'ont subitement plus été absorbés. Avec l'expansion de l'univers, la longueur d'onde de ces photons s'est allongée et ce rayonnement est aujourd'hui



te partie est appelée univers observable et a un rayon de d'environ 15 milliards d'années-lumière. Cette réflexion vire presque à la philosophie car aucun esprit rationnel ne peut aujourd'hui donner une dimension de l'univers, tel qu'il est dans sa totalité, dépassant de loin ce qui nous est donnée de voir. Selon certains chercheurs courageux, il pourrait y avoir plus de 10^{100} étoiles dans l'univers, ce qui est l'un des plus grands nombres que les physiciens n'aient jamais calculés.

Pour certains cosmologistes, tel que l'Américain d'origine russe ANDREI LINDE, notre univers dans sa totalité ne serait qu'un petite bulle perdue dans une immense mousse où chaque autre bulle serait un autre univers, avec peut-être d'autres lois physiques, d'autres constantes «universelles» et un nombre différent de dimensions. L'Univers avec un grand U serait alors l'ensemble de toutes les petites bulles. On peut certes reprocher à cette théorie d'être totalement gratuite dans la mesure où on ne pourra jamais avoir de preuves de l'existence des autres bulles. Mais on ne pourra dans ce cas pas non plus prouver qu'il n'existe pas d'autres bulles. D'après cette représentation, notre univers dans toute son ampleur et ses 10^{100} étoiles ne serait plus qu'un univers parmi beaucoup d'autres. Avec ces considérations qui peuvent carrément donner le vertige, nous sommes arrivés aux limites des connaissances actuelles. A partir de ce point, nous quittons le monde de la science et entrons de plein pied dans celui de la philosophie.

Chapitre 12

Tout est devenu relatif

Nous voici arrivés au terme d'un impressionnant périple à travers presque 20 siècles d'histoire de la cosmologie. Nous avons vu comment la Terre a rejoint sa place parmi les autres planètes, comment le Soleil est devenu une étoile insignifiante perdue dans la Voie lactée et comment notre galaxie a elle aussi re-

joint sa place dans la structure de l'univers. Notre planète a donc peu à peu quitté sa place de centre du cosmos, elle est descendue de son piédestal pour se perdre dans l'immensité de l'univers. A vrai dire, elle est devenue une poussière insignifiante au regard des milliards d'années-lumière qui nous séparent d'autres galaxies. Ces distances dépassant de loin l'entendement humain, je vais faire une petite comparaison¹⁴. Réduisons la taille de l'univers pour que l'étoile la plus proche¹⁵ se trouve seulement à la distance de la Lune. A quelle vitesse faudrait-il représenter les vaisseaux spatiaux les plus rapides que l'Homme ait construits ? A la vitesse d'un escargot ! En effet, si l'on respecte l'échelle choisie, l'Homme ne dépasse pas la vitesse de ce sympathique gastéropode. Il faut alors se rendre compte que nous n'avons considéré que l'étoile la plus proche qui se trouve à environ 4 années-lumière. Les limites de l'univers observable se trouvent encore 4 milliards de fois plus loin.

Depuis la relativité générale d'EINSTEIN, nous savons que l'univers est sans limites et peut-être même infini. La question de savoir si l'univers est fini ou infini est aujourd'hui encore discutée. Par contre, il a été établi qu'un univers fini mais sans limite peut exister. Prenons la surface d'une sphère comme exemple. Tout le monde sait qu'elle est finie alors qu'elle n'a pas de limite. En effet, on peut parcourir la surface d'une sphère dans toutes les directions sans jamais s'arrêter. Bien entendu, cet exemple se base sur une surface à deux dimensions, notre univers possède la même propriété avec trois dimensions, quatre depuis que notre ami EINSTEIN a passé par là.

Ce qu'il faut retenir de l'évolution de la cosmologie, c'est que tout est devenu relatif. A la fin de l'Antiquité, la Terre avait une place absolue et privilégiée au centre d'un univers aux limites clairement définies. Peu à peu, le caractère absolu et défini a cédé sa place au relatif de l'univers actuel. C'est cette perte de repères, cette peur de l'inconnu qui a longtemps empêché les hommes d'admettre quelle est la véritable place de la Terre dans l'univers. C'est donc la lente mais constante prise de conscience de l'Homme de la relativité de sa position qui a fait perdre à la Terre sa situation centrale et privilégiée dans l'univers.

Ce voyage à travers les époques doit aussi faire réfléchir. A chaque découverte, les savants ont cru avoir tout trouvé. Et presque à chaque fois, d'autres scientifiques ont remis les anciennes théories en question. Aujourd'hui aussi, certaines personnes croient que tout a été dé-

couvert. Après avoir jeté un coup d'œil sur le passé, je dirais qu'il ne faut pas encore affirmer avoir trouvé la Vérité et qu'il s'agit d'être prudent lorsque l'on examine les théories qui remettent en cause le système actuellement admis.

Postface

Arrivé au terme de ce travail de dix mois, je crois pouvoir affirmer que le but est atteint. A travers une approche historique, j'ai raconté la vie des grands scientifiques qui ont modifié notre façon de voir l'univers, et donc la place de la Terre dans celui-ci. J'ai montré que sur le plan humain, ces savants ont eu des destins très différents. NEWTON a grandi dans un milieu très modeste alors que TYCHO BRAHE a eu une vie matérielle confortable. Certains comme KEPLER ont commencé leur carrière scientifique très jeune alors que WILLIAM HERSCHEL a découvert sa vocation à 35 ans. Tout comme ils ont été inégaux devant la vie, ils ont été inégaux devant la gloire. L'autorité scientifique de Newton a été reconnue à travers toute l'Europe alors qu'un siècle plus tôt, GIORDANO BRUNO a fini sa vie sur le bûcher.

J'ai aussi montré que notre connaissance de l'univers ne résulte pas de l'œuvre de scientifiques «parfaits», de personnes dont toutes les affirmations sont encore reconnues comme vraies aujourd'hui. De telles personnes n'existent tout simplement pas. Tous les scientifiques que j'ai présentés ont fait des recherches dans de multiples directions et ce n'est qu'après que l'Histoire a décidé quelle a été la bonne. Si nous considérons l'évolution de la cosmologie de PTOLÉMÉE à aujourd'hui telle que nous l'avons vue dans ce travail comme une ligne, elle ne serait pas droite mais brisée et aurait de nombreuses ramifications. Le chemin que nous venons de parcourir ne serait alors ni plus droit qu'un autre ni le seul qui existe, il serait simplement le chemin qui aboutit aux connaissances actuelles. C'est pourquoi j'aurais aimé accorder un peu de place dans ce travail à des cosmologistes peu reconnus comme RENÉ DESCARTES ou FRED HOYLE, père de la théorie de la création continue¹⁶. Comme l'objectif des 6500 mots est depuis longtemps dépassé et que l'échéance de reddition se rapproche, j'ai été obligé de renoncer à ce projet.

CÉDRIC BLASER

4, Chemin des Colverts, CH-1233 Lully

27 janvier 2003

Maître accompagnant: PIERRE-DANIEL MEYER

Collège de Saussure

Travail de maturité

14. Exemple tiré de 25 Siècles de cosmologie, p. 206

15. Proxima du Centaure

16. FRED HOYLE et ses collègues TOMMY GOLD et HERMANN BONDI développèrent en 1948 une théorie concurrente à celle du Big-bang. Selon eux, de la matière se formerait constamment partout dans l'univers, ce qui compenserait celle perdue avec les galaxies qui sortent de l'univers observable. Il en résulterait un univers en expansion qui aurait globalement tout le temps la même apparence.

Annexe A: Glossaire

Année-lumière:

Une année-lumière est la distance que parcourt la lumière en une année terrestre à raison de 300 000 kilomètres par seconde. Une année-lumière correspond à 9460 milliards de kilomètres.

Chanoine:

Un chanoine est un religieux qui siège à l'assemblée de la cathédrale.

Chapitre:

Un chapitre est le nom donné à l'assemblée des chanoines d'une cathédrale.

Céphéide variable:

Les céphéides variables sont des étoiles particulières dont l'éclat varie périodiquement et dont la magnitude absolue dépend de la période.

Centre de masse:

Le centre de masse d'un système d'étoiles doubles est en quelque sorte le centre de gravité de l'ensemble du système.

Épicycle et déférent:

Dans le système antique, les planètes peuvent décrire un petit cercle, l'épicycle, dont le centre décrit lui-même un cercle, appelé déférent, autour de la Terre.

Étoile double:

Une étoile double est un couple d'étoiles très proches, liées gravitationnellement, qui apparaissent à l'œil nu comme une seule étoile.

Magnitude apparente/relative:

La magnitude apparente est la mesure numérique de l'éclat d'une étoile telle que nous la voyons depuis la Terre. Plus la magnitude est basse, plus l'étoile est brillante. Sirius, l'étoile la plus brillante du ciel, a une magnitude de -1.5 . Une étoile de magnitude 6 est à peine perceptible à l'œil nu.

Magnitude absolue:

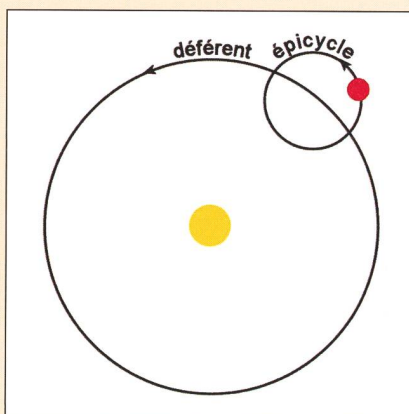
La magnitude absolue est l'éclat qu'aurait une étoile si elle était située à 32,6 années-lumière de la Terre.

Matière noire:

La matière noire est la matière qui doit être présente dans l'univers en raison des interactions gravitationnelles que l'on peut mesurer mais qui n'est pas visible au télescope.

Parallaxe:

La parallaxe est l'angle sous lequel on verrait le rayon de l'orbite terrestre depuis un corps céleste donné. Cet angle est généralement si petit qu'il se mesure en centièmes de secondes d'arc.



Vitesse radiale:

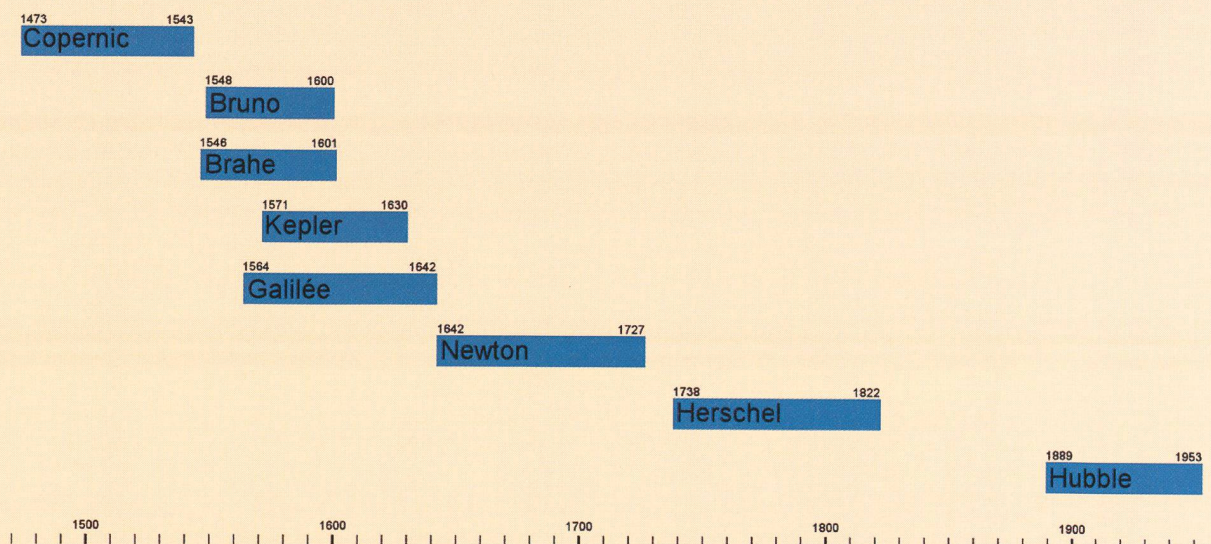
La vitesse radiale d'une étoile est la vitesse de celle-ci dans le sens de la droite qui va de la Terre à cette étoile. La vitesse radiale est la composante parallèle aux rayons lumineux qui nous parviennent de la vitesse réelle de l'étoile.

Voie lactée:

La Voie lactée est la galaxie dans laquelle nous nous trouvons. Elle est relativement grande, a une forme spirale et un diamètre d'environ 100 000 années-lumière. Notre galaxie est composée d'environ 200 milliards d'étoiles.

Annexe B:

Tableau récapitulatif des durées de vie des cosmologistes modernes



Annexe C: Bibliographie et remerciements

Pour des raisons de lisibilité du texte, j'ai choisi d'indiquer les sources en note de bas de page uniquement pour les citations. Toutes les autres informations proviennent des documents indiqués ci-dessous.

J'ai utilisé principalement les livres suivants:

GROUEFF Stéphane et CARTIER Jean-Pierre, *L'Homme et le cosmos*. Paris: Larousse/Paris-Match, 1975. 400 p.

CHARON Jean, *25 Siècles de cosmologie*. Monaco: Editions du Rocher, 1989. 272 p.

MAITTE Bernard et MARMIER Anne-Marie, *Cosmos, une histoire des représentations de l'univers*. Lille: ALIAS Centre de Culture Scientifique, Technique et Industrielle dans la Région Nord-Pas de Calais, 1988. 174 p.

Certains chapitres ont nécessité des sources supplémentaires:

Chapitre 3 – Une planète parmi d'autres (Nicolas Copernic)

MARCELIN Michel, *Ciel & Astronomie Passion*. Paris: Hachette Livre, 1996. 216 p.

Chapitre 4 – Le monde infini (Giordano Bruno)

SEIDENGART Jean, *BRUNO (Giordano) 1548-1600, Encyclopédie Universalis*, Volume 4, pp. 580-582.

Chapitre 9 – La Voie lactée est notre banlieue (William Herschel)
HERSCHEL sir WILLIAM (1738-1822), *Encyclopédie Universalis*, Volume 26, p. 2120

Agence Spatiale Européenne, *Sir William Herschel*, 2001

<http://sci.esa.int/content/doc/cd/25805.htm>

(page consultée le 28.10.2002)

Friedrich Wilhelm Herschel 1738-1822.

<http://www.cafe.rapidus.net/sbelange/fwherschel.html>

(page consultée le 21.10.2002)

NIGHTON David, *Friedrich Wilhelm Herschel*, 1998.

<http://www.astroleague.org/al/obsclubs/herschel/fwehersh.html> (page consultée le 21.10.2002)

PLICHT Chris, *Herschel, F. Wilhelm*, 2002

<http://www.plicht.de/chris/06hersch.htm>

(page consultée le 21.10.2002)

Chapitre 10 – La fuite des galaxies (Edwin Hubble)

Agence Spatiale Européenne, *Edwin Powell Hubble*, 2001

<http://sci.esa.int/content/doc/68/28520.htm> (page consultée le 28.10.2002)

EDWIN POWELL HUBBLE 1889-1953.

<http://www.cafeparis.net/sbelange/hubblebio.html>

(page consultée le 27.10.2002)

MAYALL N.U., *EDWIN POWELL HUBBLE*, 1996.

http://antwrp.gsfc.nasa.gov/diamond_jubilee/d_1996/hubble_nas.html (page consultée le 29.10.2002)

HOLL Manfred, *Edwin Powell Hubble (1889-1953)*.

<http://home.t-online.de/home/m.holl/hubble.htm>

(page consultée le 3.11.2002)

Stuart J et David, *Edwin Powell Hubble, 1889-1953*, 1998.

<http://library.thinkquest.org/15064/noframes/textonly/hubbleed.html?tskip1=1&tqtime=1028>

(page consultée le 29.10.2002)

Chapitre 11 – L'horizon cosmologique

sous la direction de ICIKOVICS Jean-Pierre, GREFFOZ Valérie et MONNIER Emmanuel, *Découverte de l'Univers*. [S.L.]: Tana éditions, 2002. 312 p.

BRUNIER Serge, *Où sont les limites de l'Univers?*, *Sciences&Vie*, 2001, n° 1009, pp. 50-65.

GREFFOZ Valérie, *Au-delà du visible, l'infini?*, *Sciences&Vie*, 2001, n° 1009, pp. 66-71.

VOIZEUX Olivier, *Le ciel comme un gruyère*, *Les dossiers de Science&Vie Junior*, 2001, n° 44, pp. 100-108

POWELL Richard, *Un Atlas de l'Univers*, 2002.

<http://atunivers.free.fr/> (page consultée le 3.11.2002)

THUAN Xuan, *La place de l'homme dans l'univers*.

<http://www.asmp.fr/sommair6/gpw/philosc/rapport1/thuan.pdf> (page consultée le 20.10.2002)

Crédits photographiques

Univers au Moyen-Age, *L'Homme et le cosmos*, pp. 30-31

Système de Ptolémée, *Grand Larousse en 5 volumes*, vol. 4, p. 2531

Système de Copernic, Production personnelle

Orbite de Mars, *Ciel & Astronomie Passion*, p. 55

Précession des équinoxes, *Grand Larousse en 5 volumes*, vol. 4, p. 2488

Système de Tycho Brahe, Production personnelle

Système de Kepler, *L'Homme et le cosmos*, p. 64

Expansion de l'univers, *L'Homme et le cosmos*, p. 265

Structure à grande échelle, *Les dossiers de Science&Vie Junior*, n° 44, p. 108

Horizon cosmologique, *Science&Vie*, n° 1009, pp. 64-65

Epicycle et déferent, Production personnelle

Remerciements

Je souhaite exprimer ici toute ma gratitude au professeur **JEAN-CLAUDE PONT** qui est historien des sciences à l'université de Genève et au docteur **NOËL CRAMER** qui est astronome à l'observatoire de Sauverny pour le temps qu'ils m'ont consacré.



MATERIALZENTRALE

P.O.Box 715
CH-8212 Neuhausen a/Rh
+41(0)52-672 38 69
email: astroswiss@hotmail.com

Ihr Spezialist für Selbstbau und Astronomie

- *Spiegelschleifgarnituren*, z.B. alles für einen 15 cm-Spiegel für Fr. 278.— netto. Schleifpulver, Polierpech, usw.
- *Astro-Mechanik* wie Fangspiegelzellen, Stunden-, Dekli-nationskreise, Okularschlitten, -auszüge, Suchervisier, usw.
- *Qualitäts-Astro-Optik* wie Spectros-Schweiz und andere Marken: Helioskop, Achromate, Okulare, Filter, Fangspiegel, Sucher, Zenitprisma, Parabolspiegel ø bis 30 cm, Schmidt-Cassegrain, Newton-Teleskope, Refraktoren usw.
- *Astro-Medien* wie exklusive Diaserien, Videos, Software.
- **MEADE-Händler**: Alle Produkte aus dem MEADE-Katalog.

Alles Weitere im SAG Rabatt-Katalog «Saturn»

4 internationale Antwortscheine (Post) oder CHF 4.50 in Briefmarken zusenden.

Attraktiver SAG-Barzahlungs-Rabatt

Schweizerische Astronomische Gesellschaft