

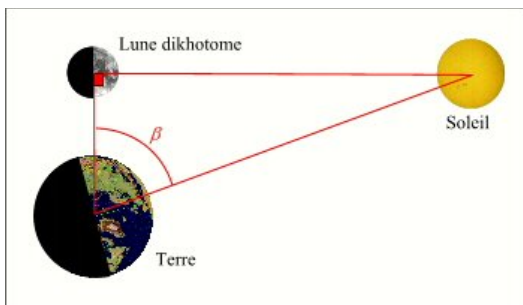


## Une vision contemporaine de l'Univers

### 1<sup>ère</sup> partie : l'espace

#### *La taille de l'Univers est, pour ainsi dire, inconcevable*

La taille de l'Univers est demeurée pendant longtemps une énigme à laquelle les astronomes ont dû faire face. Ainsi, très tôt dans l'Histoire, on s'est demandé à quelle distance de la Terre se trouvait la Lune, le Soleil et les autres astres. Avec le temps, les astronomes ont découvert que l'Univers est toujours plus grand qu'on ne l'imagine. Alors que les Anciens croyaient que les étoiles étaient fixées sur une voûte céleste pas si lointaine, les astronomes d'aujourd'hui savent que l'Univers est si grand que ses frontières sont inconnues.



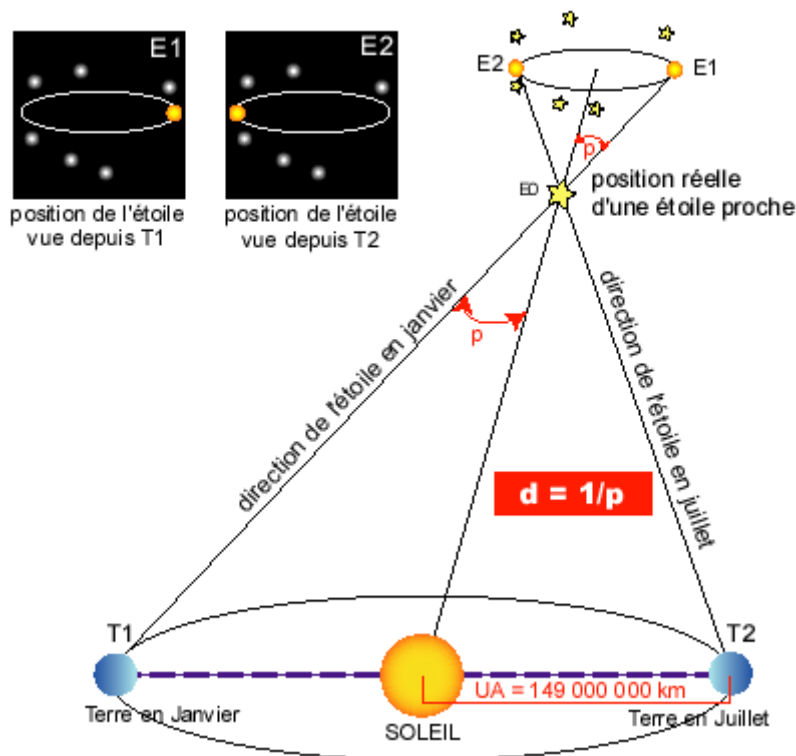
Au III<sup>e</sup> siècle av. J.-C., l'astronome grec Aristarque de Samos tenta de déterminer le rapport entre la distance Terre-Lune et la distance Terre-Soleil au moyen de l'angle de visée entre la Lune et le Soleil au moment du premier quartier de Lune. Sa méthode, basée sur des données imprécises, lui indiqua que le Soleil devait être environ 20 fois plus éloigné de la Terre que la Lune. Même si on sait aujourd'hui que le Soleil est environ 400 fois plus loin que la Lune, ce résultat était néanmoins révolutionnaire pour l'époque puisqu'il permettait d'établir que le Soleil est beaucoup plus gros et éloigné qu'on ne le pensait auparavant.

Quelques décennies plus tard, un autre astronome grec, Hipparque de Nicée, réussit un véritable exploit scientifique en estimant la distance Terre-Lune avec une erreur de moins de 10%. C'est au moyen du temps que met la Lune à traverser l'ombre de la Terre lors d'une éclipse de Lune et de calculs géométriques ingénieux qu'il parvint à ce résultat. Il se basa aussi sur les travaux d'Eratosthène qui, antérieurement, avait quant à lui réussi à estimer le diamètre de la Terre à 42 000 km (le diamètre réel est de 40 000 km).

La première méthode de calcul fiable fut mise au point en 140 par l'astronome grec Claude Ptolémée. En utilisant un procédé géométrique simple, Ptolémée démontra comment la méthode de la parallaxe peut être utilisée pour calculer la distance nous séparant des astres.

Il faudra cependant attendre près de deux millénaires que les instruments d'observation astronomiques se développent et s'améliorent pour que des mesures encore plus précises de parallaxes puissent être faites. Ainsi, la distance moyenne séparant la Terre du Soleil (que l'on nomme une « unité astronomique ») fut mesurée de façon précise pour la première fois en 1672 par l'astronome français d'origine italienne Jean-Dominique Cassini et l'astronome français Jean Richer. C'est par des observations simultanées de Mars depuis Paris et la Guyane française qu'ils y parvinrent.

C'est à l'astronome allemand Friedrich Bessel que revient l'honneur d'avoir mesuré pour la première fois la distance d'une étoile (autre que le Soleil). En 1838, il réussit à évaluer la distance de l'étoile 61 du Cygne à environ 11 années-lumière par une méthode de parallaxe solaire ( $p = 0,31''$ ).



De nos jours, les astronomes disposent de plusieurs méthodes pour mesurer les distances. Pour les objets situés à l'intérieur de la Voie lactée, la plupart des méthodes utilisées dérivent de la méthode de la parallaxe. Pour les objets situés au-delà de notre Galaxie, les astronomes utilisent les étoiles céphéides variables (nommées d'après l'étoile Delta Cephei), un type d'étoile qui voit toujours sa brillance varier de la même façon. C'est Henrietta Leavitt qui découvrit cette propriété remarquable des variables céphéides en étudiant les Nuages de Magellan (galaxies satellites de la nôtre) : leur luminosité moyenne est d'autant plus grande que leur période est longue et elle ne dépend visiblement d'aucun autre paramètre ; comme toutes ces étoiles appartenaient à l'un ou l'autre des Nuages de Magellan, elles se trouvaient toutes à la même distance de la Terre et cette propriété n'était pas un effet de distance mais bien une caractéristique physique réelle des étoiles. Cette propriété des céphéides se révéla d'une grande importance car elle permit aux astronomes de continuer à développer une échelle des distances. En effet, si l'on connaît à la fois les luminosités absolues et apparentes d'une étoile, il est possible de calculer à quelle distance celle-ci se trouve. Mais la difficulté est de déterminer la luminosité intrinsèque de l'étoile. C'est là qu'intervient la relation obtenue par Henrietta Leavitt. Supposons que nous observions deux céphéides de même période, l'une dans un Nuage de Magellan, l'autre dans une région indéterminée. Nous savons que la différence entre les éclats apparents est uniquement un effet de distance puisque deux céphéides de même période ont des luminosités absolues identiques. Connaissant la loi de décroissance de l'intensité lumineuse avec la distance, il est alors très facile de calculer l'éloignement de la région indéterminée par rapport à celui des Nuages de Magellan.

Une autre méthode pour mesurer les distances galactiques fait intervenir les supernovae de type 1a, des étoiles dégageant toujours lors de leur explosion une quantité d'énergie similaire. On les compare ainsi à des « bombes standard » : des explosions de force et de luminosité connues. La mesure de leur brillance apparente nous permet donc d'établir leur distance.

Grâce à ces méthodes de mesures astronomiques, nous savons aujourd'hui que la taille de l'Univers est inconcevable. À titre d'exemple, la lumière qui nous parvient des galaxies les plus éloignées prend plus de 10 milliards d'années à nous parvenir. Il est bien sûr impossible de se faire une idée concrète de ce que



cela peut représenter. Nous pouvons toutefois tenter d'y parvenir, en commençant par visualiser quelque chose de plus petit, comme notre système solaire, par exemple.

Le système solaire se compose du Soleil, de toutes les planètes tournant autour de lui ainsi que de millions de corps plus petits. Le nuage de Oort, un immense réservoir de comètes centré sur le Soleil, en marque la limite extérieure ; son diamètre est d'environ 1,6 année-lumière. Une année-lumière, rappelons-le, correspond à environ 10 000 milliards de kilomètres.

Notre système solaire se trouve dans la galaxie spirale de la Voie lactée. On estime que celle-ci contient environ 200 milliards d'étoiles rassemblées en forme de disque. Le diamètre de la Voie lactée est de 100 000 années-lumière; à cette échelle, la taille du système solaire est insignifiante. Si l'on fait cette fois correspondre la taille du système solaire (soit 1,6 années-lumière) à une tête d'épingle, la Voie lactée aurait la taille d'une patinoire de hockey!



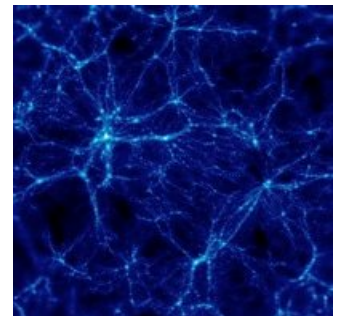
La Voie lactée fait partie d'un groupe de galaxies qui se nomme le Groupe Local; on y dénombre plus de 35 galaxies. La galaxie d'Andromède, qui est visible dans le ciel à l'œil nu lors des nuits sans Lune ni pollution lumineuse, en est le membre le plus grand. Les autres galaxies du groupe, comme le Grand et le Petit Nuage de Magellan, sont en général plus petites que la Voie lactée.

Le Groupe Local s'étend sur un volume dont le diamètre est d'environ 10 millions d'années-lumière et dont le centre se trouve entre la galaxie d'Andromède et la Voie lactée. En faisant toujours correspondre la taille du système solaire à une tête d'épingle et notre galaxie à patinoire de hockey, le Groupe Local aurait donc un diamètre de 6,25 kilomètres.



Le Groupe Local fait lui-même partie d'un superamas de galaxies, le Superamas Local. Le Superamas Local contient des douzaines de petits amas de galaxies comme le Groupe Local. Tout le Superamas Local est centré sur l'amas de galaxies géant de la Vierge, situé à 50 millions d'années-lumière de la Voie lactée. L'amas de la Vierge possède en son centre une super galaxie « cannibale », appelée M87, qui attire et absorbe ses galaxies voisines.

Les superamas de galaxies sont quant à eux regroupés en de longs filaments qui s'étirent sur des centaines de millions d'années-lumière. Ils sont séparés les uns des autres par d'immenses vides dans lesquels on ne trouve que très peu de galaxies. Les dimensions de ces vides sont gigantesques : elles sont de l'ordre de 100 millions d'années-lumière. L'Univers se prolonge de la sorte jusqu'à au moins 13 milliards d'années-lumière. Au-delà de cette distance, nous ne pouvons observer directement ce qu'il y a.





## 2<sup>ème</sup> partie : le temps

***L'Univers était dans un état hautement comprimé il y a au moins 13 milliards d'années, et il est en expansion depuis***

Les scientifiques ont longtemps cru que l'Univers à grande échelle était immuable, qu'il ne changeait pas avec le temps et que les étoiles représentaient l'essence même de l'éternité. C'est au cours du XX<sup>e</sup> siècle que les scientifiques ont découvert que cette conception était fautive et que, sur des échelles de temps qui nous dépassent, le cosmos se transforme.

L'Univers n'a pas toujours eu l'architecture qu'on lui connaît aujourd'hui; il s'est développé, il a évolué avec le temps. En d'autres mots, il a une histoire. Cette histoire commence il y a un peu plus de 13 milliards d'années avec une fantastique détonation : le Big Bang.

La théorie du Big Bang voit le jour en 1927. Elle est le résultat des travaux du prêtre et astronome belge George Henri Lemaître. Utilisant la théorie de la relativité d'Einstein et s'appuyant sur des observations astronomiques, Lemaître démontre que l'Univers est en expansion, une notion que le mathématicien russe Alexandre Alexandrovitch Friedman avait proposée de façon théorique en 1922.



D'abord mal reçue par Einstein et ses contemporains, la théorie du Big Bang est aujourd'hui acceptée par la majorité des scientifiques. Tout commence en 1929, alors que l'astronome américain Edwin Powell Hubble publie un court article dans lequel il montre que les galaxies s'éloignent les unes des autres, ce qui est en accord avec la théorie de l'expansion de l'Univers de Lemaître.

Un second appui à la théorie de Lemaître vient quelques années plus tard, en 1948, au moment où le physicien américain d'origine ukrainienne George Gamow commence à publier seul, puis avec des collègues, une série d'articles décrivant les événements entourant les premiers instants qui ont suivi le Big Bang.



Selon Gamow, l'Univers était au début extrêmement chaud et composé d'un « bouillon » d'énergie qui s'est rapidement refroidi pour former les premiers noyaux atomiques, des noyaux d'hydrogène et d'hélium. Les travaux de Gamow expliquent ainsi une vieille énigme à savoir pourquoi l'Univers se compose précisément de 99 % d'hydrogène et d'hélium.



Ces mêmes travaux prédisent aussi qu'il existe une trace fossile du Big Bang : lors de la création des premiers atomes, un rayonnement fantastique aurait été émis partout à la fois dans l'Univers et celui-ci serait encore détectable aujourd'hui dans le domaine radio. Or, à l'époque de Gamow, personne n'a jamais détecté un tel rayonnement.

Tout change en 1965 alors que les physiciens américains Arno Allan Penzias et Robert Woodrow Wilson détectent, un peu par hasard, une faible émission radio provenant de toutes les directions du ciel à la fois : arrivant du fin fond du cosmos, c'est le fameux rayonnement de fond cosmologique prédit par Gamow. En 1978, Penzias et Wilson recevront d'ailleurs le prix Nobel de physique pour cette découverte qui apporte un appui éclatant à la théorie du Big Bang.



Résumons le tout : au début, tout ce que l'Univers observable contient actuellement se concentre en un seul et même point. Nous ignorons toutefois de quoi est fait cet « œuf cosmique ». Chose certaine cependant : la matière, le temps et l'espace tels que nous les connaissons n'existent pas encore. Puis, en une fraction de seconde, l'ensemble éclate dans toutes les directions à la fois : c'est le Big Bang. L'espace est alors créé et le temps commence à s'écouler.

Nos connaissances des débuts se précisent à partir de 10 milliardièmes de milliardièmes de milliardièmes de milliardièmes de milliardièmes (ou  $10^{-43}$ ) de seconde après le Big Bang. Nous savons que l'Univers gonfle alors lentement et que sa température est absolument fantastique : au moins 100 000 milliards de milliards de milliards (ou  $10^{32}$ ) de degrés. Son refroidissement est néanmoins très rapide : à peine 100 milliardièmes de seconde plus tard, la température n'est plus que de 100 milliards ( $10^{11}$ ) de degrés.

Un événement spectaculaire survient alors : la taille de l'Univers se multiplie de façon brusque par  $10^{50}$  (un 1 suivi de 50 zéros). Ce phénomène, auquel on donne le nom « d'inflation », libère une quantité incroyable d'énergie qui ne tarde pas à se convertir en particules subatomiques de toutes sortes. L'Univers est encore très chaud et les particules sont trop agitées pour se combiner les unes aux autres et former des atomes.

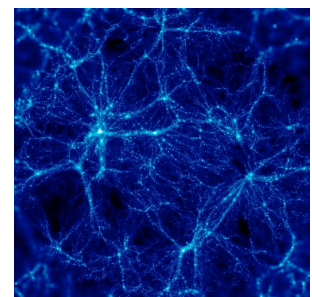
Cependant, tout change environ 300 000 ans après le Big Bang, au moment où la température atteint 3000 degrés. Les agitations des particules subatomiques deviennent alors suffisamment lentes pour que les premiers atomes se forment. Les électrons, qui jusqu'alors passaient leur temps à capturer des photons qu'ils libéraient presque aussitôt, s'associent alors à des nucléons (ou noyaux atomiques) pour former les premiers atomes.

Ainsi libérés de l'emprise des électrons, les photons se mettent à voyager partout dans l'espace; cette lumière des premiers temps, c'est le rayonnement de fond cosmologique.

## L'organisation de la matière

### *Au fur et à mesure que l'Univers refroidit, la matière se complexifie*

Après le Big Bang, la température de l'Univers ne va cesser de décroître tandis que la matière va graduellement s'organiser de façon de plus en plus complexe. Ainsi, à grande échelle, le cosmos est d'abord peuplé d'un gaz homogène composé essentiellement d'éléments chimiques légers.







Petit à petit, ce «gaz universel» va se fragmenter en nuages qui vont, sous l'effet de la force de gravité, s'agglutiner pour former de grosses boules de gaz qui vont se réchauffer jusqu'à ce que la température atteigne une dizaine de millions de degrés, ce qui va déclencher des réactions nucléaires : c'est la naissance des premières étoiles. C'est à partir de cette époque, soit environ 400 millions d'années après le Big Bang, que l'Univers cesse d'être sombre et commence à se peupler d'étoiles qui vont se regrouper en galaxies.

C'est au cœur de ces étoiles (et de toutes les étoiles depuis) que les éléments chimiques plus lourds, comme le carbone, l'oxygène, la silice et le fer par exemple, vont peu à peu se former à la suite des réactions nucléaires. Une fois relâchés dans l'espace, lors de la fin de la vie des étoiles, ces éléments chimiques « neufs » vont enrichir les nuages de gaz interstellaires. Ceux-ci vont ensuite à leur tour, sous l'impulsion de la force de gravité, se regrouper pour donner naissance à une nouvelle génération d'étoiles. Le cycle de vie des étoiles est ainsi responsable de l'enrichissement de l'Univers en éléments chimiques de toutes sortes. Sous certaines conditions, dans l'espace, des atomes vont même se combiner les uns aux autres pour former des molécules simples et complexes, comme des acides aminés.

Certaines étoiles, lors de leur formation, vont même se doter de planètes. Certaines seront telluriques, c'est-à-dire principalement composées de métal et de roche, comme la Terre et Mars, d'autres seront surtout faites de gaz, comme Jupiter et Saturne, tandis que certaines seront en grande partie faites de glace, comme c'est probablement le cas pour Pluton.

Le cas de la Terre est toutefois particulier. L'eau peut y exister sous forme liquide et grâce à elle, des molécules organiques (c'est-à-dire composées d'atomes de carbone) sont parvenues à atteindre un niveau d'organisation suffisamment élevé pour permettre à la vie d'émerger. Ce nouveau type d'organisation, dans ce que l'on pourrait appeler la pyramide de la complexité, demeure une des étapes les plus importantes de l'organisation de la matière de l'Univers : on passe en effet de la matière inanimée à la matière animée.

À l'heure actuelle, nous savons encore peu de choses sur les conditions entourant la naissance de la vie sur Terre, sinon qu'elle semble être apparue il y a 3 milliards 800 millions d'années. Une chose est toutefois assurée: certaines molécules organiques ont conduit à la formation des premières cellules puis, il y a environ 1 milliard 200 millions d'années, aux organismes multicellulaires. Aujourd'hui, certains êtres vivants d'une complexité inimaginable, composés de centaines de milliards de cellules, sont même capables de s'interroger sur les grandes énigmes de l'Univers!

