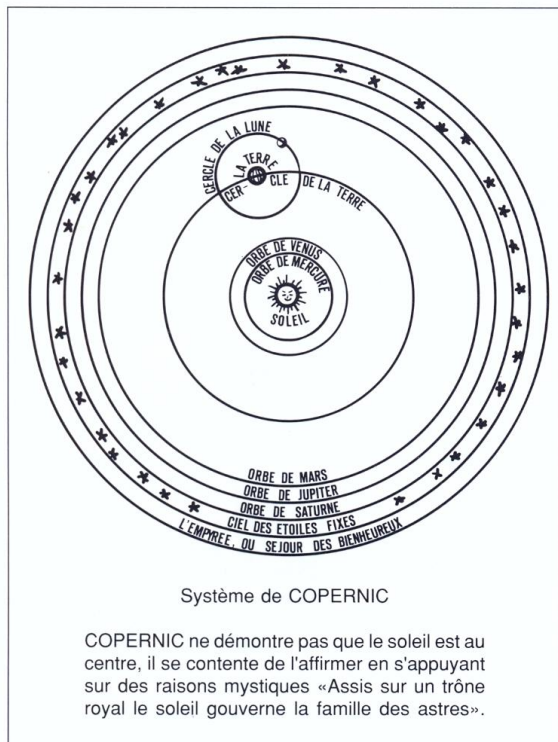


Coup d'oeil sur notre Univers

Qui d'entre-nous ne s'est pas émerveillé, lors d'une belle nuit étoilée et qui n'a pas rêvé devant cet Univers dont les dimensions nous dépassent pour la plupart?

D'où vient notre Univers? Où va-t-il? Y-a-t-il eu un commencement et si oui qu'y avait-il avant? Quelle est la nature du temps? Y aura-t-il une fin?

Voilà des questions que se posent physiciens, astrophysiciens, philosophes et j'en passe. Notre propos sera ici simplement d'approcher la question, de survoler l'astrophysique actuelle et d'essayer de mesurer ces éléments, allant de l'immensément grand vers l'infiniment petit.



Pour nous il est tout naturel que la Terre tourne autour du Soleil, mais l'humanité a mis beaucoup d'années avant de comprendre un tout petit peu comment se présente notre Univers.

Aristote et...

Le philosophe grec Aristote est probablement le premier à avoir annoncé des arguments sérieux en faveur d'une Terre sphérique dans son ouvrage «Du ciel». On savait déjà à l'époque que l'étoile polaire se trouve plus près de l'horizon quand on est dans le sud et qu'elle est plus haute dans le ciel dans les latitudes nordiques. Aristote avait déjà calculé approximativement que la circonférence de la Terre devait être d'environ 400'000 Stades. Cette approche était relativement loin de la réalité mais c'était déjà un premier pas.

Aristote pensait cependant que la Terre était immobile et que la Lune, le Soleil, les planètes ainsi que les étoiles tournaient autour d'elle.

...Ptolémée

Quelques siècles plus tard Ptolémée présente un système cosmologique achevé où la Terre occupe la position centrale, entourée de huit sphères qui portent respectivement la Lune, le Soleil, les étoiles et les cinq planètes connues à l'époque. Pour rendre son modèle crédible, Ptolémée avait dû avancer l'hypothèse que

la Lune suivait une trajectoire qui l'amenait parfois jusqu'à deux fois plus près de la Terre qu'à d'autres moments. On aurait donc dû la voir plus grande, mais ce point ne semble pas avoir empêché que ce modèle de l'Univers ait été adopté universellement, même par l'Eglise chrétienne.

Copernic, Kepler et Galilée

En 1514 Nicolas Copernic propose un autre système dans lequel le Soleil est immobile au centre de l'Univers et les planètes lui tournent autour selon des orbites circulaires dont il est le foyer.

Près d'un siècle plus tard deux astronomes, Kepler et Galilée, apportent de nouveaux éléments en faveur de cette théorie de Copernic. On n'oubliera pas que l'italien Galilée avait inventé une lunette astronomique qui lui a permis d'observer les planètes et de voir que certaines d'entre-elles étaient entourées de satellites. De son côté Kepler suggère que les orbites ne sont pas circulaires, mais elliptiques.

Newton

Ce n'est que relativement plus tard, en 1687, que Newton publia un des plus importants travaux dans le domaine de la physique, le «philosophiae naturalis principia mathematica». Dans ce livre le savant anglais propose entre autres la «loi de la gravitation universelle» selon laquelle tout corps dans l'Univers est attiré par tout autre corps selon une force d'autant plus grande que ces corps sont massifs et rapprochés. D'après cette loi c'est bien par gravitation que la Lune tourne autour de la Terre et que cette dernière ainsi que les autres planètes suivent des trajectoires elliptiques autour du Soleil. Newton s'est rapidement rendu compte que sa théorie impliquait également que les étoiles devaient s'attirer entre-elles et que ces mêmes étoiles ne pouvaient donc fondamentalement pas être au repos. On

constate que cette théorie suggère déjà en elle-même un monde en expansion. On peut par ailleurs se demander si notre Univers contient un nombre fini ou infini d'étoiles. A première vue, si tel était le cas, dans chaque direction, nous devrions aboutir à la surface d'une étoile et ainsi tout le ciel devrait être aussi brillant que le Soleil, même la nuit.

Olbers et...

Il faut attendre un article du philosophe allemand Olbers pour trouver une théorie supposant que la lumière des étoiles lointaines devait être interceptée par de la matière interposée et qui l'aurait absorbée, un peu comme le brouillard. Cependant, si c'était le cas, cette matière devrait ainsi se réchauffer à la longue, jusqu'à rayonner de manière aussi brillante que les étoiles.

Cela nous amène à l'hypothèse que les étoiles ne brillent pas depuis toujours, mais qu'elles ont été «allumées» à un moment donné. On en arrive ainsi à la notion de la «naissance de l'Univers», principe qui a occupé nombre de philosophes, de religieux et de physiciens.



Newton vu par Gottlib

...Hubble

Dans les années 1930, le physicien Hubble fit une constatation de première importance: Dans quelque direction que nous regardions, les galaxies lointaines s'enfuient rapidement. Cela signifie que notre Univers est en expansion et qu'en un certain moment du passé tous ces objets étaient plus près les uns des autres. On peut penser qu'il y a environ dix ou vingt milliard d'années, tout était à la même place et que dès lors l'Univers avait une

densité qui était infinie. Il y a eu donc à un certain moment ce que les astrophysiciens actuels appellent le «Big Bang». (suite suivra)

PAR

Note de la rédaction:

Dans ce numéro de «Cruising» comme dans de prochaines parutions nous publierons les divers chapitres d'une conférence donnée par Pierre-André Reymond sur le thème de l'Univers.

Coup d'oeil sur notre Univers

Le début de l'Univers

Qui d'entre-nous ne s'est pas émerveillé, lors d'une belle nuit étoilée et qui n'a pas rêvé devant cet Univers dont les dimensions nous dépassent pour la plupart?

D'où vient notre Univers? Où va-t-il? Y-a-t-il eu un commencement et si oui qu'y avait-il avant? Quelle est la nature du temps? Y aura-t-il une fin?

Essayons de voir ce qui s'est passé depuis ce début de l'Univers. Tout d'abord une première question: Que peut-on appeler «début de l'Univers»? Si l'on remonte dans le passé, on trouve un Univers très différent, une sorte de purée, de soupe dans laquelle on retrouve des «Quarks», des «Neutrinos», des «Electrons». Tout ceci est chaud, dense, détonant. L'observation et la Science actuelle nous permettent de remonter à environ 15 milliards d'années et le physicien ne peut remonter plus loin, car il ne retrouve pas de lois; il perd trace, il perd pied et ne peut remonter plus en avant. Tout porte cependant à penser que les lois de la physique n'ont probablement pas changé depuis le début de l'Univers.

Les forces universelles

Il y a la «force gravitationnelle», la «force électromagnétique», la «force d'interaction nucléaire faible» ainsi que la «force d'interaction nucléaire forte». Tout laisse à penser actuellement que ces forces étaient regroupées en une seule et même force initiale.

La *force de gravité* est considérée comme très faible, mais elle agit à grande distance; elle est toujours attractive.

La *force électromagnétique*, quant à elle, est beaucoup plus puissante que la gravité. Entre deux électrons, elle est 1 puissance 42, soit suivi de 42 zéros fois plus importante que la gravité. Il y a des forces électromagnétiques positives et négatives, répulsives et attractives. Sur notre Terre, comme tout est positif et négatif, ces forces s'annulent pratiquement. A

l'échelle atomique et moléculaire, c'est la force électromagnétique qui domine.

La *force d'interaction nucléaire faible* se présente sous forme de la radioactivité. A relever qu'elle n'agit pas sur les photons (particule lumière), ni sur les gravitons (particule de gravité, sans masse).

La *force d'interaction nucléaire forte* retient les quarks ensemble dans le proton ou le neutron et les protons et neutrons dans l'atome. Cette force diminue à haute énergie.

D'une manière générale et comme indiqué auparavant, on pense qu'à très haute énergie toutes les forces ainsi décrites n'étaient qu'une.

Le Big Bang

Au moment du «Big Bang» on présume que la température devait avoisiner un

Milliard de Milliards de Milliards de degrés. On ne peut décrire la physique avec de telles températures et de telles densités. Il faudrait aux physiciens une théorie quantique de la gravité pour décrire un tel état de la matière, ceci étant actuellement le chapitre blanc de ladite physique. Le physicien reste donc actuellement bloqué comme un explorateur sans cartes dans le milieu d'une jungle.

Ce magma initial se refroidit et se dilue par extension et éloignement. La température baisse, les forces augmentent. La libération des forces qui étaient jusqu'ici neutralisées par la chaleur va dès lors permettre de cimenter divers éléments et d'obtenir des structures plus complexes.

La matière

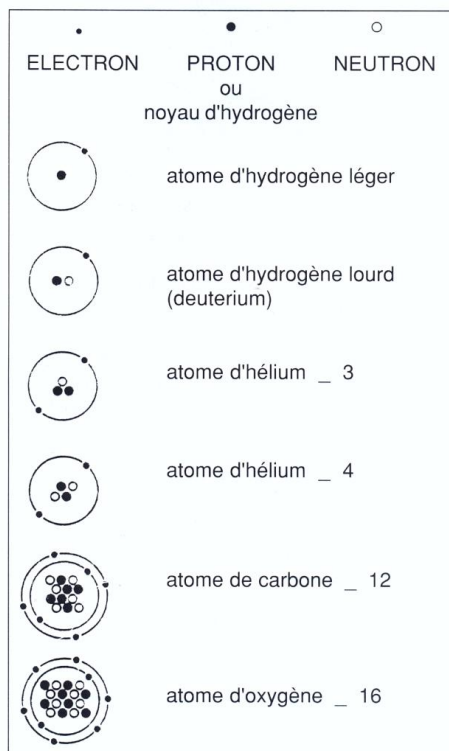
Les quarks se combinent trois par trois pour former des protons et des neutrons. On pense que dès la première micro-seconde de l'Univers, il y a eu formation d'électrons et de neutrons. L'Univers est maintenant formé de protons, de neutrons et d'électrons. Au bout de la première minute de l'Univers les neutrons et les protons se combinent ensemble pour donner de l'hélium et le l'hydrogène lourd. La température a baissé à environ 100 milliards de degrés.

Environ un milliard d'années plus tard la température est tombée à environ 3000 degrés. L'Univers est rouge. Les forces électromagnétiques se manifestent et protons et électrons s'assemblent pour former de l'hydrogène, c'est ce qu'on appelle de la «nucléosynthèse primordiale».

On admet que l'on a alors environ 90% d'hydrogène et 10% d'hélium. Ceci n'était pas possible avant, car l'Univers était trop chaud.

Dès cette nucléosynthèse primordiale l'Univers devient transparent, la lumière peut passer au travers...

Note de la rédaction: C'est le 2ème chapitre (1er voir «Cruising» 10/93) d'une conférence donnée par Pierre-André Raymond sur le thème de l'Univers. D'autres suivront dans de prochains no. du «Cruising».



Coup d'oeil sur notre Univers

La formation des galaxies

Bien, bien avant le GPS. Bien, bien avant notre Terre. Il y a quelques milliards d'années...

Quelques centaines de millions d'années après le Big Bang la force de gravitation entre en jeu, c'est elle qui permettra la formation des *Galaxies*.

L'Univers est en expansion

D'un monde désorganisé nous passons à un monde organisé, une organisation de la matière. Nous passons du chaos vers l'ordre, comme par exemple des galaxies

vers l'atome, des molécules vers l'homme, etc. Ces notions vont de paire avec celle d'*entropie*, mais nous irions trop loin si nous allions plus en avant sur ce sujet. On comprendra donc que le problème d'expansion de l'Univers est à la base de notre vie et du cosmos. En résumé, la température diminue, les forces se libèrent et augmentent, ce qui entraîne la formation de particules allant jusqu'au noyaux et atomes légers.

Nous sommes donc environ un milliard d'années après le big bang et la force de gravité commence à faire effet; faible à la base, elle augmente avec la masse. Le fluide expansionnel commence à être touché par ce problème gravitationnel et forme un peu comme des *grumeaux* d'où vont naître des galaxies. Il semble donc plus que probable que toutes les galaxies se soient formées en même temps.

Arrêtons-nous quelques instants sur ces galaxies, leur forme et leurs dimensions.

La galaxie à laquelle nous appartenons

La galaxie à laquelle nous appartenons est de dimensions moyennes, soit environs *100 milliards de fois celle du soleil*. Les galaxies se regroupent elles-mêmes en amas de galaxies. Par exemple, nous appartenons à un amas qui inclut également la *galaxie d'Andromède* ainsi que le *Nuage de Magellan*. Ces amas se regroupent par ailleurs eux-mêmes en *super-amas de galaxies*. Il ne semble cependant pas que le jeu n'aille plus loin et qu'il y ait des super-super-super amas. L'unité la plus grande serait donc le super amas de galaxies.

Un amas de galaxie mesure environ 30 à 50 millions d'années lumière. Rappelons ici qu'une année lumière représente 10'000 milliards de km.

Une galaxie contient quelques centaines de milliards d'étoiles comme notre Soleil. Un amas de galaxies en comptera donc beaucoup plus, un super amas peut aller jusqu'à quelques milliers de galaxies. Si le diamètre d'une galaxie peut être d'environ 100'000 années lumière, la distance entre deux galaxies est proportionnellement

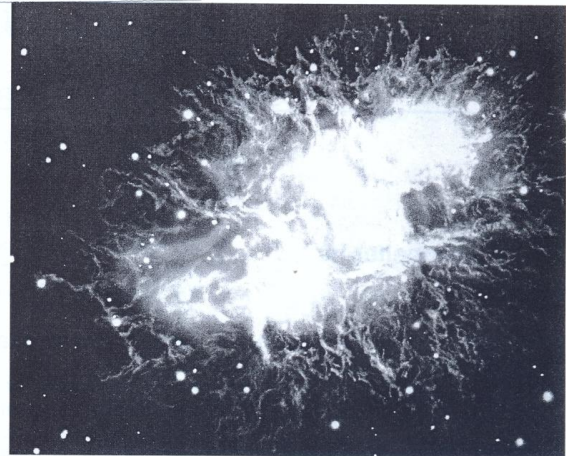


Galaxie de type Spirale.

relativement petite puisque d'environ 1/10 du diamètre de la galaxie.

La forme des galaxies

La forme des galaxies est un problème dû à des turbulences que l'on essaye d'étudier maintenant avec des ordinateurs et par simulation, mais la question reste mal comprise. Elles peuvent avoir des formes de spirales, celle qui est la plus connue et la plus belle à observer. Notre galaxie représente justement une forme de spirale, un peu comme une roue de feu d'artifice. D'autres galaxies ont des formes de boules, de ballon de rugby, etc. On n'explique pas le pourquoi de ces formes.



Nébuleuse en expansion.

Constitution d'une galaxie

La purée initiale qui formera les galaxies est constituée de noyaux d'hélium et d'hydrogène, de quarks, d'électrons et de neutrons. C'est une sorte de gaz. Le pourquoi du morcellement de cette purée en centre de nucléation ou graine de galaxie n'a pas d'explication certaine à l'heure actuelle; on ne peut que constater. Le nouveau télescope spatial récemment lancé devait permettre de voir plus loin donc plus tôt, avec l'espoir de voir une galaxie se former. Malheureusement ce télescope a eu des difficultés, comme vous l'avez lu dans la presse. Il va mieux, merci, Mr. Nicolier!

Mais revenons à la création des galaxies. Ces dernières sont très actives à leur naissance où elles sont encore entièrement gazeuses, sans étoiles. On parle de *nébuleuse protosolaire*.

On appelle *QUASAR* une certaine forme de galaxie. La science actuelle pense que toutes les galaxies de l'Univers sont passées au stade de Quasar. C'est une galaxie avec un noyau formidablement condensé, de l'ordre de grandeur de notre système solaire et avec une activité énorme. Il pourrait y avoir un trou noir au centre d'un tel Quasar.

La vie d'une galaxie

La vie d'une galaxie est sa transformation depuis l'état gazeux vers la formation d'étoiles: Sous l'effet de la gravité nous assistons à un morcellement en étoiles probablement assez massives. Ces dernières fabriquent des noyaux et meurent en rejetant ainsi une partie de leur matière que l'on appelle des résidus ou cadavres stellaires.

Actuellement notre galaxie est formée d'environ 90% d'étoiles et de 10% de gaz, pourcentage qui va en diminuant. D'autres galaxies n'ont plus qu'1% de gaz, le Nuage de Magellan est encore un mélange de 50% gaz / 50% étoiles. Nous avons donc une formation d'étoiles et une diminution de la partie gazeuse avec un accroissement des résidus stellaires. La galaxie meurt lorsqu'il n'y a plus de gaz et qu'il n'y a plus de formation d'étoiles.

Nous avons vu que les galaxies avaient des formes diverses. Il est aussi à noter qu'elles tournent autour d'elles-mêmes, comme la Terre tourne autour du Soleil et sur elle-même. On explique ces mouvements par les forces de gravitation intergalactiques lors de leur formation, ce qui entraîne des forces de couples, d'où une rotation. On voit donc que la rotation de la Terre, comme celle du Soleil ont été dictées par des forces qui se sont manifestées bien avant l'apparition de ces astres!

Naissance des étoiles, donc du Soleil

Les étoiles et les galaxies à l'échelle du cosmos se formèrent à peu près en même temps, soit il y a environ 15 à 18 milliards d'années, soit environ 1 à 2 millions d'années après le début de l'Univers.

A partir des éléments simples déjà existants (90 % d'hydrogène et 10 % d'hélium) nous allons assister à la fabrication

„A sa naissance une étoile a une teinte bleue, elle brille comme 100'000 fois le Soleil.“

de tous les éléments chimiques que l'on retrouve sur la table Mendeleïef. Tous ces atomes sont fabriqués à partir d'éléments simples, ce qui altérera profondément la structure de l'Univers. La vie d'une étoile est donc la transformation d'éléments légers en éléments plus lourds.

Dans un premier stade l'hydrogène des étoiles va se transformer en hélium, comme le fait en ce moment le Soleil. L'hélium se transformera alors en s'accouplant 3 par 3 pour donner des atomes de carbone, 4 par 4 pour donner de l'oxygène et 5 par 5 pour du néon. L'étoile devient alors une géante rouge, comme Betelgeuse ou Antares.

La couleur des étoiles est significative: à sa naissance une étoile a une teinte bleue, elle brille comme 100'000 fois le Soleil. En vieillissant la couleur vire au jaune, puis au rouge. Une étoile rouge est donc plus froide, une étoile bleue est plus chaude.

Lorsque tout l'hélium aura été transformé en carbone, oxygène et néon, que la température sera à nouveau montée, il y aura une nouvelle progression de fabrication de matière, le carbone devenant sodium, aluminium, silicium etc. Ainsi le centre de l'étoile sera occupé par des noyaux de plus en plus gros et massifs.

Ces transformations ont pour effet de libérer de l'énergie; ce sont des réactions nucléaires. Il y a de ce fait des émissions de rayons gamma qui se transforment en rayons visibles, d'où la brillance des étoiles.

Puis l'étoile meurt après avoir tout transformé. Elle peut exploser, ce que l'on appelle une Supernova. Il peut aussi y avoir évacuation par des «vents stellaires», ce qui se passe avec les géantes rouges, comme ce sera le cas du Soleil.

On a donc comme résultat global de la matière chaude qui est rejetée vers l'extérieur de l'étoile. Si l'on fait aujourd'hui la somme de tous les éléments lourds qui ont été ainsi créés par les étoiles, on arrive à une somme de 1/1000 de la population des atomes, dont 900 d'hydrogène, 99 d'hélium et ce qui reste représente toutes les planètes existantes. 1/1000, c'est vraiment une très faible proportion.

Mais revenons à notre fabrique d'atomes. Le premier stade de transformation de l'hélium en carbone et/ou hydrogène est très important et va définir l'Univers. En effet, les corps solides sont souvent des oxydes et les corps vivants sont reliés au carbone.

Pour aller plus loin, il faut combiner ces éléments, ce qui demande du temps et des températures très élevées. L'élément le plus stable et qui aura nécessité des températures les plus élevées est

„Une planète est donc formée d'un assemblage de grains de poussière stellaire.“

le fer qui est constitué de 26 protons. A partir de ce stade, les éléments plus complexes se forment par collision d'atomes et d'électrons, mais plus dans une étoile.

Formation des systèmes planétaires

Soleil et système solaire ont été formés ensemble à la base d'un nuage stellaire composé de gaz et de poussières. Les éléments lourds ont donc été formés par des étoiles précédentes. Cette nébuleuse protosolaire est âgée d'environ 4 1/2 milliards d'années. Tous les éléments chimiques existent tant sur le Soleil que sur les planètes.

On remarque que la composition chimique de Jupiter et du Soleil est presque identique. La Terre quant à elle n'est pas assez massive pour retenir l'hélium par exemple. Ce système date donc d'une même période et provient d'un même nuage.

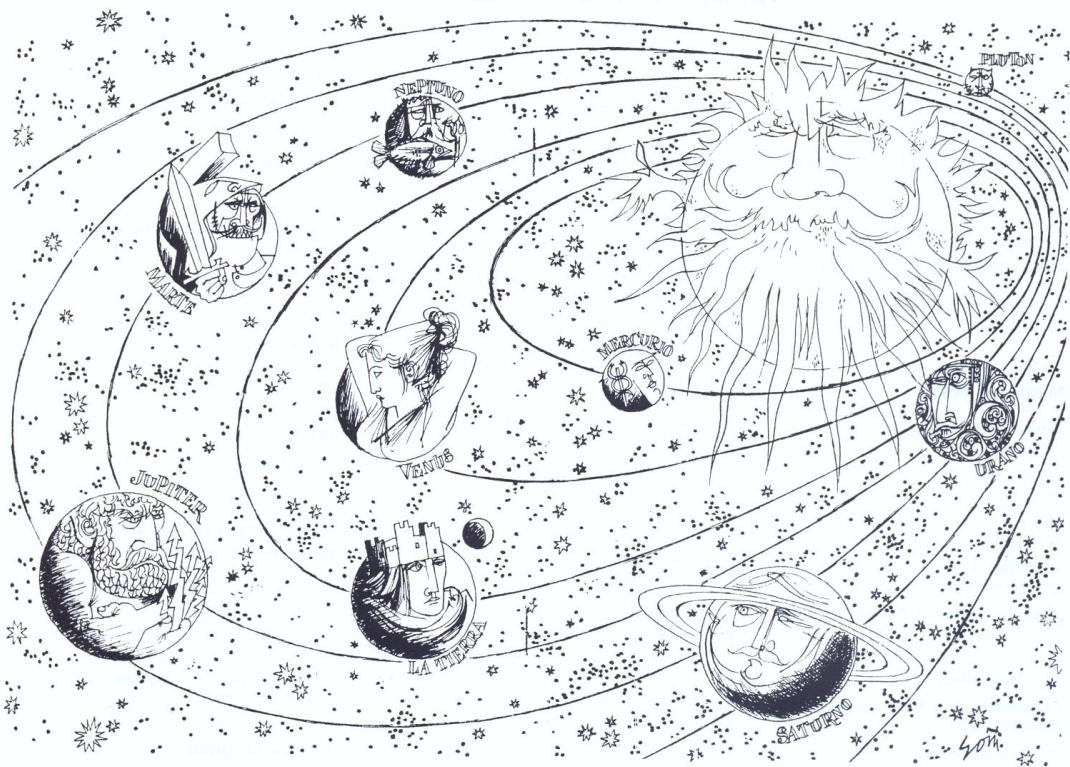
„La Terre n'a donc pas l'âge de l'Univers: elle est «née» relativement tard.“

Nous avons vu que les étoiles très massives rejettent de la matière dans le milieu interstellaire. Ces noyaux dans l'espace arrivent à des températures très faibles, de quelques degrés en dessus du zéro absolu. Il y a alors capture d'électrons et ces noyaux deviennent des atomes. Ces derniers se rencontrent et forment des molécules, p.ex. $H+O = H_2O$. Nous pouvons donc dire que l'eau sur laquelle nous navigons et que nous buvons avec modération s'est formée dans les lambeaux d'étoiles en train de se refroidir.

En continuant plus loin dans les processus, les atomes s'assemblent sous forme de réseaux cristallins et forment des petites poussières composées de quelques atomes. Ces poussières infimes sont cependant assez importantes pour créer des nuages interstellaires qui se voient sous forme des zones opaques et sombres dans la voie lactée. Ce ne sont plus des gaz comme pour les galaxies et les étoiles, mais des poussières solides. Une planète

est donc formée d'un assemblage de grains de poussière stellaire, notre système solaire vient d'un nuage interstellaire. Cela signifie beaucoup de collisions d'où fixations et constitution d'objets de plus en plus gros. Quand on dit collisions on dit chaleur. Donc la Terre, au moment de sa formation était très chaude, mais pas forcément une boule de feu. Actuellement, après 5.6 milliards d'années, la Terre conserve beaucoup de chaleur interne, ce qui entraîne l'activité volcanique que l'on sait.

Nous avons vu que l'eau d'aujourd'hui était toute contenue dans les grains de poussière qui se sont assemblés. Lors d'une phase geyser, toute cette eau a été éjectée hors de la croûte terrestre en voie de solidification. Un phénomène similaire peut se voir actuellement sur Vénus. Puis il y a eu des pluies qui ont rempli les océans. La Terre n'a donc pas l'âge de l'Univers: elle est «née» relativement tard, l'Univers ayant près de 15 milliards d'années, alors que notre planète et le système solaire n'ont «que» 4 1/2 milliards d'années. L'Univers était déjà «agé» et semblable à ce qu'il est aujourd'hui lorsque la Terre est née.



Le système des planètes.

Quelques chiffres en guise de conclusion

Notre amas de galaxies est relativement modeste: 14 galaxies dont la nôtre, la Voie Lactée. On y compte environ 100 milliards d'étoiles; à raison d'un nom prononcé par seconde, cela demanderait 2500 ans. Notre galaxie fait un tour sur elle-même en 200 millions d'années. La galaxie la plus proche, Andromède, se situe à 2 millions d'années lumière.

L'orbite terrestre moyenne autour du Soleil est de l'ordre de 150 millions de km; la vitesse orbitale est de 30 km/sec, soit plus de 100'000 km/h.

La distance Terre-Lune est de 380'000 km en moyenne. Notre satellite qui est 4 fois plus petit que la Terre a un diamètre de 3'473 km, celui de la Terre

étant de 12'734 km, ce qui signifie une surface de 510'000'000 de km².

La température interne du Soleil est de près de 36 millions de degrés. Celle du

Le navigateur moyen pèse environ 70 kg et mesure 175 cm. Un ou deux petits degrés de température supplémentaire et il fonctionne très mal. Sa durée de vie est de l'ordre de 75 années, soit un peu plus de 2 milliards de secondes dont souvent le tiers au lit.

Bibliographie

- H. Reeves, L'heure de s'enivrer (Seuil)
- H. Reeves, Patience dans l'azur (Seuil)
- S. Hawking, Une brève histoire du temps (Flammarion)
- Puissance 10, IBM