

Éléments de cours de Géologie : les illustrations et les commentaires seront examinés pendant les séances de cours

## Chapitre 2

### STRUCTURE DE L'UNIVERS

L'univers ou cosmos est l'ensemble de tout ce qui existe, inclus l'espace extraterrestre, et s'étend de l'infiniment petit à l'infiniment grand, la référence étant la taille de l'homme dont l'ordre de grandeur est le mètre (m).

La Cosmologie c'est la science qui s'occupe de l'étude de la structure, de l'origine et de l'évolution de l'univers

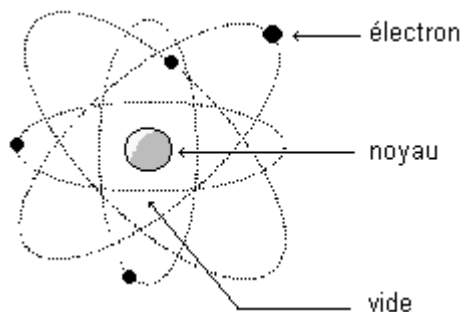
L'Astronomie est la science des corps célestes. (Céleste est un mot qui est relatif au ciel).

#### I – NOTIONS DE BASE

##### 1-L'échelle des grandeurs

La matière qui nous entoure, qu'elle soit inerte ou vivante, est constituée à partir d'**atomes**. Ces derniers peuvent s'assembler pour former des **molécules**.

Les molécules peuvent s'organiser de différentes façons pour façonner la matière. Exemple des cellules qui sont constituées de molécules. La taille des cellules est comprise **entre  $10^5$  et  $10^{-4}$  m**. En effet, la taille d'un noyau est de l'ordre de  $10^{-15}$  m et les électrons se situent à une distance de l'ordre de  $10^{-10}$  m ce qui signifie qu'un électron se trouve à une distance du noyau 100 000 fois plus grande



Entre le noyau d'un atome et les électrons il y a le vide

Dans l'infiniment grand on retiendra les **étoiles** (dont le Soleil fait partie), le système solaire comportant, outre le Soleil, huit **planètes** (Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus, et Neptune ainsi que les **satellites** de ces planètes, les **astéroïdes** et les **comètes**).

Les étoiles sont regroupées dans des **galaxies**. Il existe un très grand nombre de galaxies. La galaxie dont fait partie le Soleil est la **Voie Lactée** (appelée aussi «**notre Galaxie**», ou «**la Galaxie**»).

##### 2. La structure lacunaire : Propriété commune

Le vide qui règne entre les électrons et le noyau des atomes existe également entre les grandes structures au niveau de l'univers.

C'est une propriété commune aux structures infiniment petites et infiniment grandes. Il s'agit de la **structure lacunaire**. Dans une telle structure, la matière est assez bien localisée dans certaines régions de l'espace et entre ces zones où se concentre la matière il règne le vide où le quasi vide.

Que ce soit à l'échelle de des atomes, des planètes, des étoiles ou des galaxies on retrouve une structure lacunaire où les différents éléments sont séparés par de grandes étendues de vide

### 3. L'année lumière

**a)-L'année lumière** : c'est la distance parcourue en un an par la lumière dans le vide en une année. Elle est notée *al* et elle vaut  $9,46 \cdot 10^{15}$  m. (on rappelle que la vitesse de la lumière est d'environ 300.000 km/s).

$$1a.l. = 3,0 \times 10^8 \times 365,25 \times 24 \times 3600 = 9,46 \times 10^{15} m$$

**b)-L'unité astronomique**, notée *UA*, est la distance entre la Terre et le Soleil :

$$1 UA = 150.000.000 km \text{ environ}$$

**c)-Le parsec**, noté *pc* *le parsec* = 206.265 UA = 3,23 al = 3100 milliards de km

### 4. La lumière

La lumière (au sens large) ou un rayonnement électromagnétique est le seul moyen de connaissance de l'Univers. Grâce à ses propriétés les astronomes peuvent tirer la position, la couleur, la température, la composition chimique, le magnétisme, et la vitesse des objets qui composent l'univers (étoiles, galaxies,)

A l'heure actuelle, nous disposons d'instruments capables de capter presque tous les rayonnements électromagnétiques..., depuis les ondes radio jusqu'aux rayons gamma. Il se trouve que les astres émettent toutes ces sortes d'ondes, chacun ayant une gamme de fréquences déterminée par sa nature physique, et par l'énergie disponible

#### Voir loin c'est voir dans le passé

A la vitesse de  $3 \cdot 10^5$  Km /s, la lumière met 1,3 secondes pour aller de la Terre à la Lune, 8 minutes pour aller du Soleil à la Terre, 6 heures pour aller du Soleil à Pluton...

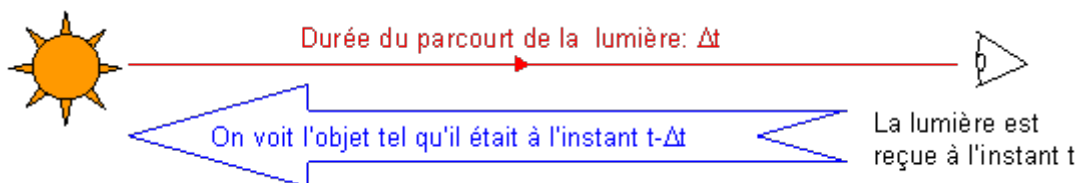
Mais elle met 4,2 années pour nous parvenir de l'étoile la plus proche. Ceci a une conséquence très importante : nous voyons l'étoile la plus proche non telle qu'elle est actuellement, mais telle qu'elle était il y a 4,2 années !

Et plus on voit loin, plus les objets qu'on observe sont vieux. Les objets les plus lointains qu'on puisse voir actuellement sont situés à près d'une dizaine de milliards d'années-lumière, autant dire qu'on les voit maintenant tels qu'ils étaient il y a une dizaine de milliards d'années.

Tout objet qui est visible pour l'œil émet de la lumière. La propagation de cette onde lumineuse n'est pas instantanée. Celle-ci met du temps à parcourir la distance qui sépare l'œil de l'objet observé.



La lumière reçue nous apporte des informations sur un objet tel qu'il était au moment de l'émission de cette lumière.



Plus l'objet est éloigné, plus la durée  $\Delta t$  du parcours de la lumière est grande et plus nous observons dans le passé.

## 5. La gravitation universelle

C'est l'attraction gravitationnelle qui agit sur nous et nous plaque au sol. On dit que la gravité est universelle, parce que c'est une propriété de la matière : tout objet matériel attire tous les autres.

La pomme de Newton attire la Terre proportionnellement à sa masse qui est très faible. La Terre attire la pomme proportionnellement à sa masse qui est très grande. Le résultat est que la pomme tombe vers la Terre beaucoup plus que ce que la Terre tombe vers la pomme !

Selon le principe d'attraction gravitationnelle : le Soleil attire les planètes vers lui, d'autant plus fortement qu'elles sont plus proches. Par conséquent une planète proche doit tourner plus vite qu'une planète lointaine. (pour ne pas tomber sur le Soleil!) . On peut vérifier cela sur le tableau suivant, qui donne la liste des 9 planètes principales avec leurs caractéristiques orbitales :

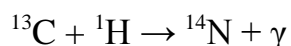
planète	distance		vitesse km/s	année	inclinaison équateur	inclinaison orbite	excentricité
	millions de km	UA					
<b> Mercure </b>	58	0,39	48	88 j	7°	7°	0,21
<b> Vénus </b>	108	0,72	35	224 j	3° 4'	3° 23'	0,01
<b> Terre </b>	150	1	30	365 j	23° 26'	0°	0,02
<b> Mars </b>	228	1,52	24	1 an 321 j	23° 59'	1° 51'	0,09
<b> Jupiter </b>	778	5,19	13	11 ans 314 j	3° 5'	1° 18'	0,05
<b> Saturne </b>	1.430	9,53	9,6	29 ans 167 j	26° 44'	2° 29'	0,06
<b> Uranus </b>	2.876	19,2	6,8	84 ans 7 j	97° 55'	0° 46'	0,05
<b> Neptune </b>	4.506	30	5,4	164 ans 280 j	28° 48'	1° 46'	0,01

## 5. La fusion nucléaire

Les réactions chimiques portent sur les nuages électroniques, sans jamais toucher aux noyaux ; par contre les réactions nucléaires portent sur les noyaux.

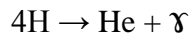
De la même manière une réaction chimique nucléaire consiste à prendre certains composants, et à les remplacer par d'autres.

Les constituants sont des noyaux atomiques (constitués de protons neutrons), et la réaction les réorganise en deux nouveaux noyaux, en conservant le nombre de nucléons. Par exemple, un atome de  $^{13}\text{C}$  (carbone 13, 6 protons et 7 neutrons) et un atome d'hydrogène (1 proton) vont donner un atome de  $^{14}\text{N}$  (azote 14, 7 protons et 7 neutrons). Ce qui s'écrit :



Dans cette réaction, le  $\gamma$  (gamma) représente un photon qui est émis, et qui emporte de l'énergie. L'énergie qui gouverne une réaction nucléaire est des centaines de millions de fois plus élevée que celle qui gère les réactions chimiques

Les réactions de fusion est un type de réactions nucléaires dans les quelles, on ajoute des composants pour former des noyaux plus lourds en libérant de considérables quantités d'énergie., ces réactions se produisent au niveau des étoiles : Voici un exemple de telles réactions :



L'hydrogène fusionne pour donner de l'hélium (4 noyaux d'hydrogène donnent un noyau d'hélium), mais l'hélium lui-même peut fusionner pour donner des éléments plus lourds encore, carbone (3 noyaux d'hélium donnent un noyau de carbone), oxygène, azote. Toutes les réactions de fusion produisent de l'énergie

Il faut souligner que l'intérieur des étoiles est très énergétique ; il permet la formation d'une grande partie de la matière de puis le carbone jusqu'au fer. Après explosion de l'étoile, le reste de la matière est formé dans le milieu interstellaire à la suite de capture de neutrons (le noyau devient de plus en plus lourd jusqu'à l'Uranium) et à la suite de réactions de spallation (fissure d'atomes pour donner naissance au Béryllium, au Bore et au Lithium).

## II-LA HIERARCHIE DE L'UNIVERS (fig. 2)

Une **galaxie** est l'entité de base de l'Univers ; elle est constituée de milliards d'étoiles.

Un **amas** est constitué de milliards de *galaxies*

Un **superamas** est constitué de quelques à plusieurs milliers d'*amas*

Notre *Galaxie*, appelée *la Voie Lactée*, n'est qu'une parmi les milliards de galaxies ; elle est constituée de quelques dix milliards d'étoiles. Le Soleil est l'une de ces d'étoiles.

Le centre des amas est souvent occupé par une galaxie géante que l'on soupçonne d'avoir grandi en avalant celles de ces congénères que la gravité avait conduit vers elle.

## III-NOTRE GALAXIE, LA VOIE LACTEE

La Galaxie (en Majuscules) est une sorte de galette aplatie, en rotation (250km/s), qui présente des bras spiraux (**fig.3**). Son diamètre est d'environ 100.000 al et son épaisseur maximale est de l'ordre de 6.000 al. Elle est formée de  $10^{19}$  étoiles.

Le Soleil est l'une de ces étoiles qui forme, avec des planètes qui gravitent autour d'elle, *le système solaire*.

Ce dernier est situé à environ de 30.000 al du centre de la Galaxie; il fait le tour (dans le sens des aiguilles d'une montre vue de dessus) en 240 millions d'années. (240 Ma = 1 unité galactique).

Le centre de la Galaxie se présente sous forme de bulbe stellaire peu aplati où se condense beaucoup de vieilles étoiles. Au fur et à mesure qu'on s'éloigne de ce centre les étoiles sont jeunes et elles sont très éloignées les unes des autres (3 al).

Au centre de ce bulbe, existe un **trou noir**, constitué de matière très dense.

## IV. LES GALAXIES

### 1. – Les différents types de galaxies

Les photographies réalisées aux télescopes terrestres et spatiaux ont permis de mettre en évidence l'existence d'innombrables galaxies semblables à la Voie Lactée. Toutes ces galaxies se situent à des distances supérieures à 2 millions d'années-lumière.

Selon leur morphologie, les galaxies ont été classées par Edwin Hubble (fig.5) en quatre catégories :

a) - *Les galaxies elliptiques* ont la forme d'ellipsoïdes plus ou moins aplatis, avec une répartition d'étoiles augmentant vers le centre, mais ne montre aucune structure fine. Elles présentent une symétrie de rotation complète. Suivant leur ellipticité, on les qualifie de E0 (les plus sphériques), E1, E2, ..., ou E7 (les plus aplaties).

b) - *Les galaxies spirales* ont une forme aplatie, la plupart des étoiles brillantes étant concentrées dans un disque peu épais, et suivant des bras que dessinent des spirales à partir de la région centrale. Au niveau du bulbe des galaxies spirales se trouve une grande concentration d'étoiles.

Les galaxies spirales se divisent elles-mêmes en deux branches :

\*- les spirales normales (S), dans lesquelles les bras partent directement du bulbe,

\*- les spirales barrées (SB), dont les bras se détachent à l'extrémité d'une « barre » traversant le bulbe.

Les galaxies spirales, normales ou barrées, se différencient entre elles par l'importance relative de leur bulbe et de leurs bras et par l'ouverture de ces bras. On distingue :

\*\* - les Sa et SBa, au bulbe important et dont les bras s'enroulent de façon serrée autour du bulbe,

\*\* - les Sc et SBc, au bulbe ténu et aux bras très ouverts,

\*\* - les Sb et SBb, aux propriétés intermédiaires.

c) - *Les galaxies lenticulaires* (S0), a été introduite pour désigner certaines galaxies elliptiques très aplaties possédant un bulbe très lumineux

d) - *Les galaxies irrégulières*, on ne peut mettre en évidence aucun axe de symétrie et elles sont riches en matière interstellaire et en étoiles jeunes.

En nombre, les 2/3 des galaxies de l'Univers ont une forme spirale, 10% sont elliptiques et 25% lenticulaires. Parmi les galaxies spirales, les 2/3 d'entre elles sont barrées.

Notons enfin que la plupart des galaxies présentent un trou noir au centre du bulbe qui serait constitué de la matière car il émet des ondes radios

## - **2. Les galaxies proches : Groupe local et du Superamas local**

Le **groupe local** (ou amas local) est un petit amas d'une vingtaine de galaxies groupées sur 1 Mpc auquel appartient la Galaxie (fig.6). Sa taille est d'environ un million al, dix fois le diamètre de la Voie Lactée.

Il comprend :

- deux galaxies satellites, le Grand et le Petit Nuage de Magellan,

- deux autres grandes galaxies spirales : Andromède (type Sb), avec ses deux satellites M 32 et NGC205, et la galaxie du Triangle (de type Sc).

- quelques galaxies irrégulières

- des galaxies de petites dimensions, peu riches en étoiles (quelques dizaines de millions) et dépourvues de gaz et de poussière interstellaires.

Toutes ces galaxies se déplacent autour d'un centre commun situé entre notre Galaxie et la Nébuleuse d'Andromède.

### Le **superamas local**

Le groupe local fait partie d'un énorme complexe de 10000 galaxies assemblées dans des amas s'étendant sur quelques 200 millions d'années lumières, appelé Superamas local ou Superamas de la Vierge (fig.8).

Le Superamas de la Vierge et la Superamas de l'Hydre et du centaure semblent, eux-mêmes, converger vers une autre grande agglomération d'amas (superamas) que l'on appelle le *Grand Attracteur*.

## V-LES ETOILES : NAISSANCE ET EVOLUTION

Une étoile est un objet céleste en rotation, de forme approximativement sphérique, car la rotation entraîne un aplatissement aux pôles, et dont la structure est modelée par la gravité.

La formation d'une étoile commence par un nuage moléculaire géant (Nébuleuse). Il est composé de poussière et de gaz, lorsque la pression interne devient insuffisante pour contrebalancer les forces d'autogravitation (quand l'équilibre est rompu), il se produit un effondrement (gravitationnel) c'est dire la contraction d'un corps massif sous l'effet de sa propre attraction gravitationnelle. Cela s'accompagne d'une augmentation de température qui donnera naissance au phénomène de fusion nucléaire.

Lorsque la température atteint quelques Millions de  $K^0$  le cœur «s'allume» : l'hydrogène fusionne en hélium (réactions de fusion nucléaire) fournissant l'énergie qui contre l'effondrement. L'énergie produite est progressivement évacuée par l'étoile sous forme de rayonnement (lumière visible) ; de vents stellaires et de neutrinos.

La matière qui la compose s'en trouve presque complètement ionisée du fait de la température élevée qui règne en son centre.

- L'évolution ultérieure d'une étoile dépend essentiellement de sa masse :

- Si sa masse est faible, elle évoluera en *géante rouge* semblable au soleil. La plupart des étoiles visibles sont dans le même stade d'évolution que le Soleil, c'est-à-dire qu'elles rayonnent l'énergie libérée par la combustion de l'hydrogène en hélium dans leur région centrale. Cette dernière subit une contraction; elle est beaucoup plus dense et plus chaude ( $10^8$  K). Par contre l'enveloppe se dilate et refroidit. La phase géante rouge des étoiles a une durée d'environ 10 % la phase précédente. La matière finit par se condenser dans la partie centrale grâce à des fusions nucléaires et la géante rouge évolue en *naine blanche*.

Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, l'énergie qu'il rayonne y permet le développement de la vie. Il apparaît bien plus lumineux que toutes les autres étoiles en raison de sa proximité.

- Si la masse est plus grande, l'étoile continue son évolution en passant par la phase géante rouge qu'elle traverse évidemment plus rapidement pour évoluer en une *supergéante*. Dans ce cas l'étoile est en mesure d'amorcer des réactions de fusion avec des éléments chimiques de plus en plus lourds. Elle peut ainsi synthétiser du carbone, puis de l'oxygène, du néon, etc. (on parle de nucléosynthèse stellaire) dans les derniers stades de leur évolution.

Si une étoile est suffisamment massive pour synthétiser du fer, elle subit une importante explosion qui disperse la plus grande partie de sa masse dans le milieu interstellaire. (*Supernova*).

Le résidu laissé par l'implosion du cœur est un objet extrêmement compact, qui peut être soit une étoile à neutrons, (en rotation rapide qui émettent des ondes radio de façon très régulière appelées *pulsars*), soit un trou noir.

## VI-AGE DE L'UNIVERS

L'âge de l'Univers a été estimé à  $15 \pm 5$  milliards d'années. Il a été obtenu par trois méthodes indépendantes les unes des autres : le mouvement des galaxies, l'âge des plus vieilles étoiles (en examinant leurs spectres) et l'âge des plus vieux atomes (radiochronologie qui sera examinée en chapitre 7).

<http://www.web-sciences.com/documents/seconde/sedo07/seco07.php5>

<http://astronomia.fr/>

<https://www.iter.org/fr/sci/whatisfusion>

<http://fr.wikipedia.org/>