

I. Introduction aux Sciences de la Terre et de l'Univers

I.1. La Géologie

Du grec gê : terre et logos : discours, parole. La géologie s'intéresse à l'étude de la Terre, les matériaux qui la constituent, la structure de ces matériaux et les processus qui agissent sur eux. Elle comprend également l'étude des organismes qui ont habité notre planète. L'évolution au cours du temps de ces matériaux, structures, processus et organismes constitue l'une des préoccupations majeures de la géologie.

La Terre est une planète qui évolue depuis sa naissance il y a **4,56 milliards d'années**. Les processus internes (volcanisme, séismes, tectonique des plaques..) et externes (érosion, sédimentation, action de l'eau) ainsi que ceux liés à la vie remodelent sans cesse la surface de la Terre. La géologie tente de retracer l'évolution de la Terre depuis sa naissance et d'expliquer l'ensemble des processus qui modèlent sa surface.

I.2. Intérêt de la géologie

La géologie est une science d'une importance majeure tant sur les plans scientifiques, qu'économiques ou technologiques.

- **Intérêt scientifique** : elle permet de connaître l'histoire de la Terre depuis sa formation et tente de prévoir son avenir.
- **Intérêt économique** : les matières premières (fer, cuivre, argent, or...), énergétiques (pétrole, gaz, charbon...) et les matériaux de construction (pierres, chaux, gypse,...) sont extraits de la Terre ou fabriqués à partir de matériaux extraits de la surface de la Terre ; la recherche et l'exploitation de ces matériaux nécessitent une connaissance préalable en géologie. Connaissant l'importance de ces matériaux dans la vie quotidienne et en économie, on conçoit l'intérêt majeur de la géologie. La recherche et l'exploitation de l'eau, source vitale pour l'humanité, nécessitent également de bonnes connaissances en géologie étant donné que cette substance est extraite du sous-sol.
- **Intérêt technologique** : la construction des ouvrages d'arts (routes, ponts, tunnels, barrages ...), des villes, des usines, des ports nécessitent une connaissance en géologie. Aucune construction ne peut se faire sans une étude préalable du sol (ce qui fait intervenir la géologie en premier plan) sur lequel sera bâti l'ouvrage.
- **Les risques et catastrophes naturels** : les connaissances en géologie sont primordiales pour étudier et prévoir les catastrophes naturelles telles que séismes, éruptions volcaniques, glissements de terrains, inondations

I.3. Les différentes branches de la géologie

L'étude des roches, matériaux de base qui constituent la surface de la Terre, s'appelle : **pétrographie**.

Les roches sont constituées de minéraux, qui sont composés d'un ou plusieurs éléments chimiques. La branche de la géologie qui s'occupe de l'étude des minéraux est la **minéralogie**. Tous les minéraux sont des cristaux. L'étude des propriétés de la matière cristalline s'appelle : **crystallographie**.

La branche qui s'occupe de l'étude des volcans est la **volcanologie** (ou vulcanologie).

Les processus d'érosion suivie du transport et du dépôt des sédiments sont très importants à la surface de la Terre. L'étude de ces processus s'appelle : **sédimentologie**.

Les roches sédimentaires se présentent le plus souvent à la surface de la Terre sous forme de couches ou de strates. La description de ces couches ou strates est l'objet de la **stratigraphie**.

Les roches sédimentaires contiennent souvent des fossiles, trace, restes ou moulages d'organismes conservés dans les roches. La **paléontologie** (paléo est un préfixe qui veut dire ancien) est la branche qui s'occupe de l'étude de ces fossiles. Elle est divisée en trois parties selon la nature de l'organisme à étudier. On distingue ainsi : la **paléozoologie** qui étudie les animaux fossiles ; la **paléobotanique** pour les plantes fossiles et la **micropaléontologie** pour l'étude des micro-fossiles.

Les matériaux (roches, minéraux) sont souvent déformés à la surface de la Terre (exemple : dans les chaînes de Montagnes). La branche qui étudie la déformation des matériaux à la surface de la Terre s'appelle : **tectonique**. L'étude de la tectonique à l'échelle du minéral (petite échelle) s'appelle : **micro-tectonique**. A l'échelle des roches et des affleurements rocheux, on passe à la **géologie structurale**. L'étude de la tectonique à l'échelle de la Terre s'appelle **tectonique globale**.

L'étude du comportement chimique des éléments dans les roches s'appelle : **géochimie**.

L'utilisation des méthodes de la physique pour l'étude de la Terre s'appelle : **géophysique**. On distingue plusieurs branches en géophysique : l'étude des séismes et de la propagation des ondes sismiques s'appelle **séismologie (ou sismologie)**. L'étude de la pesanteur ou du champ de gravité de la Terre s'appelle : **gravimétrie**. L'étude du **magnétisme** terrestre fait également partie de la géophysique. Le **paléomagnétisme** est la branche de la géophysique qui étudie le magnétisme ancien de la Terre.

La **géomorphologie** est une branche de la géologie qui s'occupe de l'étude de la forme et de l'évolution du relief à la surface de la Terre.

La reconstitution des paysages du passé est la **paléogéographie**.

L'application pratique (dans les domaines pétrolier, minier, hydraulique et en construction) des différentes branches de la géologie s'appelle : **géologie appliquée**. On distingue :

-la **géologie pétrolière** : qui s'occupe de l'étude de la formation et la recherche des hydrocarbures.

-la **métallogénie** : qui étudie l'origine des gisements de minerais

- l'**hydrogéologie** : qui s'occupe de la recherche et de l'exploitation des eaux souterraines.

- la **géologie de l'ingénieur** : qui est l'application de la géologie dans le domaine du génie civil. L'étude des sols est la **géotechnique**.

La **géologie de l'environnement** est une branche qui s'occupe de l'étude de l'environnement en relation avec la géologie.

La **planétologie** est une branche récente de la géologie qui s'occupe de l'étude de la géologie des planètes.

Ainsi, on remarque que certaines branches de la géologie font appel à d'autres disciplines telles que la physique (en géophysique), la chimie (en géochimie), la biologie (en paléontologie), l'astronomie (en planétologie)...

I.4. Les méthodes de la géologie

Une étude géologique classique passe par plusieurs étapes : la première consiste en une **étude sur le terrain** (reconnaissance de la région, récolte d'échantillons, levés de cartes, prise de mesures ...). La deuxième étape se déroule au **laboratoire** (analyse des échantillons), au **bureau** ou devant un micro-ordinateur (étude des photos aériennes et satellites, étude de documents existants, interprétation des mesures faites sur le terrain). La dernière étape consiste en la rédaction d'un **rapport géologique** détaillé sur l'étude qui a été réalisée ou la confection de cartes géologiques.

I.5. Les principes de la géologie

La géologie est basée sur deux principes ou théories :

- 1.1. **le principe de l'Uniformitarisme** qui stipule que le présent est la clé du passé dans l'interprétation des phénomènes géologiques. Ainsi, les lois régissant les phénomènes géologiques actuels étaient valables dans le passé. Ce principe est du à **James Hutton** (1726-1797) qui l'énonça le premier et a été développé ensuite par **Charles Lyell** (1797-1875).
- 1.2. **la théorie de la tectonique des plaques**, avancée pour la première fois par **Alfred Wegener** (1880-1930) en **1912** et acceptée par la communauté scientifique en **1969**. Cette théorie stipule que la surface de la Terre est constituée de plaques rigides qui sont en mouvement les uns par rapport aux autres. La plupart des phénomènes géologiques (séismes, volcanisme, formation des chaînes de Montagnes ...) sont expliqués dans le cadre de cette théorie.

II. Composition de l'Univers

II.1. Les distances dans l'Univers

Dans l'Univers, les distances entre les objets sont tellement grandes que l'unité de mesure utilisée sur Terre (le km) n'est plus pratique.

L'unité de distance utilisée pour exprimer les distances à l'intérieur du système solaire est l'**Unité Astronomique** (symbole : UA). C'est la distance moyenne entre la Terre et le Soleil, qui représente approximativement **150 millions de km** (149 597 870 km pour être plus précis). Ainsi, la distance entre la planète la plus proche du Soleil (*Mercury*) et le Soleil est de 0,38 UA. Celle entre la planète la plus lointaine (*Neptune*) et le Soleil est de 30 UA. Les limites du système solaire sont situées à plus de 10.000 UA.

Pour aller plus loin, on utilise l'**année-lumière (al)** : c'est une unité de longueur qui correspond à la distance parcourue en un an par la lumière dans le vide, soit **9,461.10¹² km**. Ainsi, l'étoile la plus proche du Soleil, *Proxima du Centaure*, est située à 4,22 al de nous. Notre galaxie, *la Voie Lactée*, mesure plus de 100.000 al de diamètre, et la galaxie la plus proche de nous, appelée *galaxie d'Andromède*, est située à plus de 2.000.000 d'al. Les objets les plus lointains de notre Univers sont situés à plus de 13 milliards d'al, ce qui correspond aux dimensions de notre Univers

II.2. La composition de l'Univers

II.2.1. Le système solaire

La Terre est une planète qui appartient au système solaire. Ce dernier est composé de 5 types d'objets : une étoile (le Soleil) ; les planètes ; les planètes naines ; les petits corps du système solaire ; les satellites (figure 1).

a. Le Soleil

C'est l'astre le plus important du système solaire. Tous les autres objets de ce système tournent autour du Soleil. Il représente à lui seul 99,80 % de la masse totale du système solaire. Le Soleil est une **étoile** (photo 4).

Une étoile est une sphère de gaz très chaud, au cœur de laquelle se produisent des réactions nucléaires qui en font une source de lumière et de chaleur.

Le Soleil est donc une boule de gaz chaud, composée de 75 % d'hydrogène et 25 % d'hélium. La température à la surface du Soleil avoisine les 6000°C. Au centre, elle est de 15 millions de degrés. Cette température permet aux noyaux d'hydrogène de fusionner entre eux pour donner de l'hélium et libérer de l'énergie (réaction de fusion nucléaire).

b. Les planètes

D'après la définition donnée lors de l'assemblée générale de l'IAU (International Astronomical Union) en 2006, **une planète est un corps céleste qui :**

(a) est en orbite autour du Soleil,

(b) a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,

(c) a éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche.

Ainsi selon cette définition, le système solaire est composé de 8 planètes (photo 1). Il s'agit de (selon l'ordre croissant des distances au Soleil) : Mercure, Vénus, Terre, Mars, Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Jupiter est la plus grosse planète du système solaire avec un diamètre de 142.984 km. Elle est 11 fois plus grande et 318 fois plus massive que la Terre. Mercure est la plus petite planète du système solaire (diamètre : 4880 km)

Les planètes du système solaire sont divisées en deux catégories selon leurs compositions, leurs tailles et leurs distances au Soleil :

- Les planètes telluriques ou rocheuses : Mercure, Vénus, la Terre et Mars. Ce sont des planètes composées essentiellement de roches. Elles sont proches du Soleil et sont de petites tailles. La Terre, avec un diamètre de 12756 km, est la plus grosse planète tellurique
- Les planètes géantes ou gazeuses : Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune. Ce sont des planètes composées essentiellement de gaz (hydrogène et hélium). Elles sont éloignées du Soleil et sont de grandes tailles.

Ces deux catégories de planètes sont séparées par la ceinture des astéroïdes, composée de millions de petits corps rocheux.

Les 5 premières planètes, Mercure, Vénus, Mars, Jupiter et Saturne étaient connues depuis l'antiquité étant donné qu'elles sont visibles à l'œil nu dans le ciel. La planète Uranus a été découverte par **William Herschell** en **1781**. Neptune fut découverte un siècle plus tard, en **1846** par l'Allemand **J.G. Galle** sur les indications du français **Urbain Le Verrier** qui avait prédit sa position par le calcul.

La plupart des planètes possèdent des **satellites (ou lunes)**. Un satellite naturel est un corps qui tourne autour d'une planète. On connaît actuellement (juillet 2012) plus de 172 satellites naturels dans le système solaire distribués de la manière suivante : la Terre 1 (la Lune), Mars 2 (Phobos et Deimos), Jupiter 67 (dont 4 satellites principaux appelés satellites galiléens car ils furent découverts par **Galilée** en 1610 : Io, Europe, Ganymède et Callisto), Saturne 62 (Titan est le plus grand satellite de Saturne avec un diamètre de 5150 km), Uranus 27 (dont 5 satellites principaux : Titania, Ariel, Umbriel, Oberon et Miranda), Neptune 13 (Triton est le plus grand satellite de Neptune avec un diamètre de 2706 km) . Seules Mercure et Vénus sont dépourvues de satellites. Le plus gros satellite du système solaire est Ganymède (le plus gros satellite de Jupiter) qui possède un diamètre de 5260 km. Il est suivi de Titan, le plus important satellite de Saturne. Ces deux satellites sont plus gros que la planète Mercure. La lune (satellite de la Terre) possède un diamètre de 3476 km.

Les principales caractéristiques des planètes du système solaire sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : principales caractéristiques des planètes du système solaire

| Planète | Diamètre (km) | Distance au Soleil (UA) | Masse (/Terre) | Nombre de Satellites connus |
|---------|---------------|-------------------------|----------------|-----------------------------|
| Mercuré | 4879 | 0.39 | 0.055 | - |
| Vénus | 12104 | 0.72 | 0.815 | - |
| Terre | 12746 | 1 | 1 | 1 |
| Mars | 6780 | 1.5 | 0.107 | 2 |
| Jupiter | 142984 | 5.2 | 318 | 67 |
| Saturne | 114632 | 9.5 | 95 | 62 |
| Uranus | 50532 | 19.2 | 14 | 27 |
| Neptune | 49105 | 30.1 | 17 | 13 |

c. Les planètes naines

D'après la définition donnée lors de l'assemblée générale de l'IAU (International Astronomical Union) en 2006, **une planète naine est un corps céleste qui :**

- (a) est en orbite autour du Soleil,
- (b) a une masse suffisante pour que sa gravité l'emporte sur les forces de cohésion du corps solide et le maintienne en équilibre hydrostatique, sous une forme presque sphérique,
- (c) n'a pas éliminé tout corps susceptible de se déplacer sur une orbite proche,
- (d) n'est pas un satellite.

D'après cette définition, la seule différence entre une planète et une planète naine est que cette dernière partage son orbite avec d'autres petits corps contrairement aux planètes. La différence entre une planète naine et les autres petits corps du système solaire réside dans la forme de ces objets. Une planète naine possède une forme sphérique tandis que les autres petits corps possèdent une forme quelconque.

Ainsi selon cette définition, le système solaire est composé actuellement de 5 planètes naines. Il s'agit de (selon l'ordre décroissant de la taille) de : **Eris, Pluton, Makemake, Haumea et Cérés.**

Cette nouvelle catégorie d'objets a été introduite en 2006 après la découverte d'Eris en 2005. Avant cette date, le système solaire était composé de 9 planètes, la dernière étant Pluton, située à 40 UA du Soleil et qui possède un diamètre de 2300 km. Pluton a été découverte en **1930** par l'américain **Clyde Tombaugh**. En **2005**, on annonça la découverte d'Eris par l'équipe de l'américain **Michael Brown**, un objet situé à plus de 60 UA du Soleil et qui possède un diamètre de 2400 km, donc supérieur à celui de Pluton. Eris a été d'abord annoncée comme la dixième planète du système solaire, puis au cours de la réunion de l'IAU en 2006, il a été convenu de créer une nouvelle catégorie d'objets appelée planètes naines dont Pluton et Eris font désormais partie. Eris et Pluton sont situées dans une région constituée de millions de petits corps de glace appelée **la ceinture de Kuiper**. En **juillet 2008** fut ajoutée Makemake à la liste des planètes naines, puis en **septembre 2008** ce fut le tour d'Haumea d'entrer dans cette catégorie d'objets. Makemake et Haumea appartiennent

également à la ceinture de Kuiper. Cérès est une planète naine située beaucoup plus près du Soleil. Elle appartient à la **ceinture des astéroïdes** et fut le premier objet de cette ceinture à être découvert en **1801** par l'astronome sicilien **Giuseppe Piazzi**. C'est le plus gros objet de la ceinture des astéroïdes (1000 km de diamètre) et le seul à posséder une forme sphérique d'où sa classification comme planète naine.

Certaines planètes naines possèdent des satellites. Ainsi, Eris possède un satellite du nom de **Dysnomie**. Pluton possède cinq satellites : **Charon, Nyx et Hydra, S/2011 (134340) 1 et S/2012 (134340) 1**. Enfin, Haumea possède deux satellites : **Hi'iaka et Namaka**.

Les principales caractéristiques des planètes naines sont données dans le tableau 2.

Tableau 2 : principales caractéristiques des planètes naines du système solaire

| Planète | Diamètre (km) | Distance au Soleil (UA) | Nombre de Satellites connus |
|----------|---------------|-------------------------|-----------------------------|
| Eris | 2600 | 67 (entre 37 et 97) | 1 |
| Pluton | 2306 | 40 (entre 30 et 50) | 5 |
| Makemake | 1300 à 1900 | 45 | - |
| Haumea | 1960x1518x996 | 43 | 2 |
| Cérès | 980 | 2.8 | - |

d. Les petits corps du système solaire

Les petits corps du système solaire incluent tous les objets qui ne sont ni des planètes, ni des planètes naines, ni des satellites.

Les petits corps du système solaire sont localisés dans trois zones précises : **la ceinture des astéroïdes** (entre Mars et Jupiter à 2,8 UA du Soleil), **la ceinture de Kuiper** (de 35 UA jusqu'à plusieurs centaines d'UA) et **le nuage d'Oort** (entre 50 000 et 100 000 UA). Les **comètes** et les **météorites** sont des petits corps qui sont issues de ces trois ceintures d'objets. A cela il faut ajouter la poussière interplanétaire qui est disséminée partout dans le système solaire et les grains qui sont concentrés dans les anneaux des planètes géantes (exemple : les anneaux de Saturne).

Les objets de la **ceinture des astéroïdes** sont des **corps rocheux**. On estime que plus de 700.000 objets plus grands qu'un kilomètre existent dans cette ceinture. Le plus gros astéroïde connu, Cérès, découvert en 1801, n'est pas un petit corps mais une planète naine. Tous les autres objets de la ceinture des astéroïdes sont des petits corps. Les plus gros sont Pallas (découvert en 1802), Junon (1804) et Vesta (1807). Certains astéroïdes s'écartent de la zone dans laquelle la plupart restent parqués. Ainsi, certains astéroïdes peuvent s'approcher ou couper l'orbite de la Terre : c'est les **géocroiseurs**. Les **planètes troyennes**, situées à 60° de part et d'autres sur l'orbite de Jupiter (points de Lagrange) en sont un autre exemple. Les **météorites** sont pour la plupart d'entre eux des fragments d'astéroïdes qui entrent en collision avec la Terre.

Les objets de la **ceinture de Kuiper et du nuage d'Oort** sont des **corps de glace**.

Les objets de la **ceinture de Kuiper** sont situés dans le plan de l'écliptique (le plan dans lequel sont situées les orbites des planètes du système solaire et des astéroïdes) et on estime à plus de deux cent millions le nombre de ces objets. L'existence de cette ceinture d'objets de glace a été prédite en **1951** par l'Américain **Gérard Kuiper** et le premier objet de cette ceinture de Kuiper (1992 QB1 ; distance au Soleil : 43 UA ; diamètre : 120 km) fut découvert en 1992 par **David Jewitt** et **Jane Luu**. Les planètes naines Eris, Pluton, Makemake et Haumea font partie de cette ceinture. Certains objets de glace situés entre les orbites de Jupiter et de Neptune sont probablement des corps de la ceinture de Kuiper dont les orbites ont été modifiées. On les appelle **les Centaures** (exemple : **Chiron** découvert en **1977** par **Charles Kowal** et dont l'orbite est située entre 1,3 et 2,8 milliards de km du Soleil. Son diamètre varie entre 180 et 260 km).

Le nuage d'Oort est situé beaucoup plus loin à la frontière entre le système solaire et le milieu interstellaire. Il s'agit d'un nuage sphérique qui entoure le système solaire et contient plus de mille milliards d'objets (photo 3). Les objets de cette ceinture n'ont pas encore été découverts directement.

Les comètes sont des astres formés d'un noyau solide composé essentiellement de glace qui, près du Soleil, libère des gaz et des poussières formant la chevelure dont le diamètre peut dépasser 100 000 km. Ces gaz et poussières sont repoussés par le vent solaire et forment une longue queue dans la direction opposée au Soleil. Cette queue peut s'étirer sur des distances qui dépassent 300 millions de km (photo 2). Loin du Soleil, une comète se réduit à un noyau solide et devient invisible.

Selon leur période de rotation autour du Soleil et de l'inclinaison de leur orbite par rapport à celui de l'écliptique, on distingue deux grandes classes de comètes :

➤ **Les comètes à courte période**, dont la période est inférieure à 200 ans. On distingue dans cette classe :

- les comètes à très courte période, dont la période est inférieure à 20 ans (la **comète Encke** est celle qui possède la plus courte période avec **3,3 ans**). On les appelle aussi les comètes de la famille de Jupiter, car le point le plus éloigné du Soleil de l'orbite de ces comètes est situé au voisinage de Jupiter. On pense que cette planète géante a modifié l'orbite de ces comètes et les a piégé dans son champ de gravitation.
- Les comètes à période intermédiaire (entre 20 et 200 ans) s'éloignent du Soleil au-delà de l'orbite de Neptune, dans la ceinture de Kuiper.

Les orbites des comètes à courte période sont confondues avec celui de l'écliptique. Ces comètes sont **originaires de la ceinture de Kuiper**.

- Les comètes à **longues période**, dont la période est supérieure à 200 ans. Les orbites de ces comètes sont distribuées dans tout l'espace et le point le plus éloigné du Soleil de l'orbite de ces comètes peut dépasser 50 000 UA. Ces comètes sont **originaires du nuage d'Oort**.

Il existe donc **deux réservoirs de comètes** dans le système solaire : la ceinture de Kuiper pour les comètes à courte période et le nuage d'Oort pour les comètes à longue période.

La plus célèbre des comètes est celle de **Halley** dont la période de rotation est de 76 ans (comète à période intermédiaire). Le dernier passage de cette comète au voisinage du Soleil a eu lieu en 1986 et le prochain interviendra en 2062. La comète la plus spectaculaire de ces dix dernières années est la **comète Hale-Bopp** (comète à longue période) apparue dans le ciel à l'œil nu en 1997 et qui resta visible pendant plusieurs semaines (photo 2).

Les poussières interplanétaires sont laissées par le passage des comètes dans l'espace. Si la Terre croise l'orbite d'une comète, elle entre dans le nuage de poussière laissé par la comète. Ces poussières en entrant dans l'atmosphère de la Terre à grande vitesse vont provoquer l'apparition d'un phénomène lumineux dans l'atmosphère : c'est **les étoiles filantes** ou **météores**.

La figure suivante résume l'ensemble des objets du Système solaire.

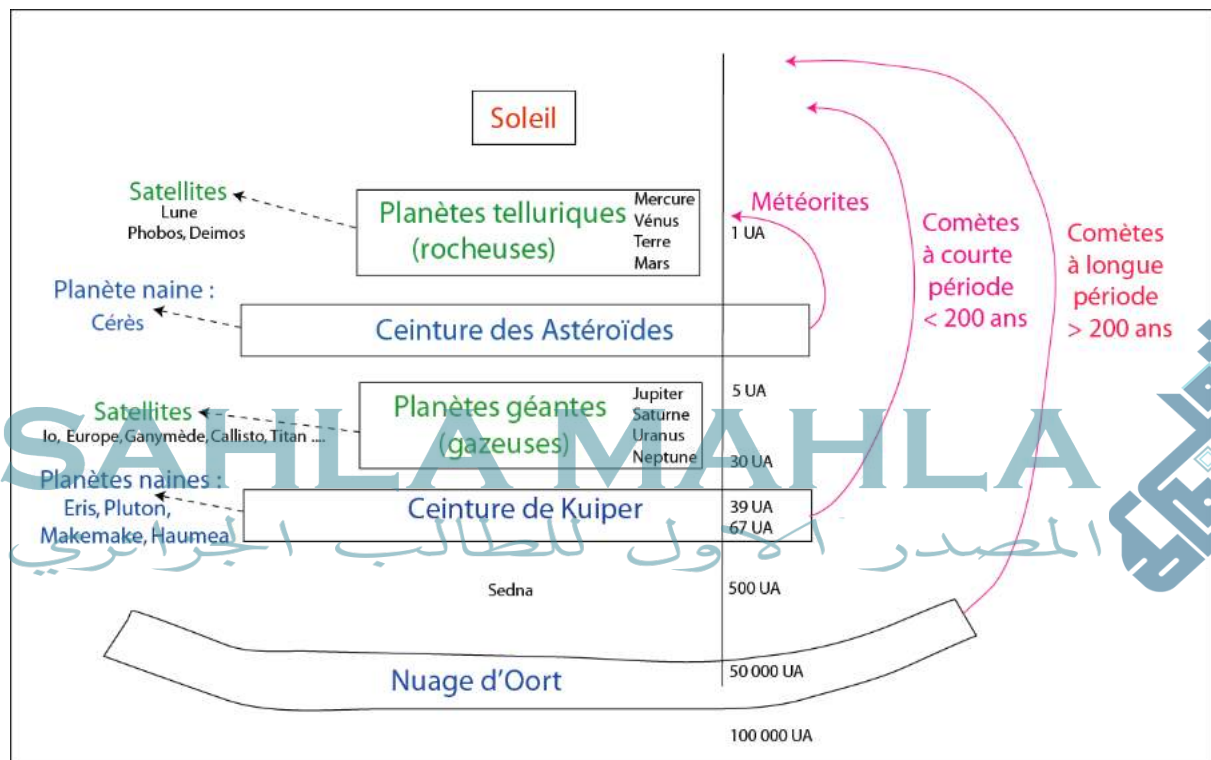
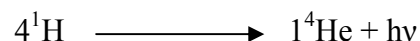


Figure 1 : les différents objets du système solaire

II.2.2. Les étoiles

Quand on sort du système solaire, on rentre dans le domaine interstellaire composé d'étoiles. Les étoiles sont les objets les plus importants dans l'Univers. Rappelons la définition d'une étoile : c'est une sphère de gaz très chaud (75 % Hydrogène et 25 % Hélium), au cœur de laquelle se produisent des réactions nucléaires qui en font une source de lumière et de chaleur. Les réactions de fusion se produisent entre les noyaux d'hydrogène qui se transforment en noyaux d'hélium avec libération d'énergie :



L'étoile la plus proche du Soleil est Proxima du Centaure située à 4,22 al de nous. L'étoile la plus brillante du ciel s'appelle Sirius. Elle est située à 8,2 al du Soleil.

Les étoiles ne sont pas réparties n'importe comment dans l'Univers. Elles se rassemblent dans des systèmes qui peuvent contenir des milliards d'étoiles. C'est ce que l'on appelle les **galaxies**.

Notre système solaire appartient à un vaste ensemble d'étoiles (donc à une galaxie) qu'on appelle **la Galaxie** ou **Voie Lactée** (photo 5). Cet ensemble a la forme d'un disque très aplati qui contient plus de 100 milliards d'étoiles et mesure 100.000 al de diamètre. Le système solaire est situé à plus de 28.000 al du centre de la Galaxie. Il tourne autour du centre de la Galaxie en 200 millions d'années. C'est **l'année galactique**.

Les étoiles sont classées selon leur couleur (qui dépend de leur température de surface) en plusieurs classes, notées O, B, A, F, G, K et M.

- Etoiles O-B : étoiles bleues, température de surface : 30000°C.
- Etoiles A : étoiles blanches, température de surface : 10000°C
- Etoiles F : étoiles vertes, température de surface : 8000°C
- Etoiles G : étoiles jaunes, température de surface : 6000°C.
- Etoiles K : étoiles oranges, température de surface : 5000°C
- Etoiles M : étoiles rouges, température de surface : 3000°C

Le Soleil est une étoile de type G.

Selon leur luminosité (qui dépend de leur taille) on distingue trois grandes familles d'étoiles :

- Les supergéantes qui sont 10000 fois plus lumineuses que le Soleil
- Les géantes qui sont 100 fois plus lumineuses que le Soleil
- Les naines de luminosité comparable ou inférieure à celle du Soleil.

La masse des étoiles varie entre 0,08 et 100 masses solaires. Le Soleil est une étoile naine.

Les plus petites étoiles dans la Galaxie sont les naines rouges. Elles sont très abondantes, car elles vivent très longtemps (des dizaines de milliards d'années). Toutes les naines rouges qui sont nées dans l'Univers sont encore vivantes aujourd'hui. Les étoiles les plus proches du Soleil sont pour la plupart des naines rouges. Exemple : Proxima du Centaure, l'étoile de Barnard (deuxième étoile la plus proche du Soleil).

II.2.3. Les nébuleuses

En plus des étoiles, la Galaxie contient de vastes régions occupées par des nuages de gaz et de poussière qu'on appelle **Nébuleuses**. Une nébuleuse est composée de 75% Hydrogène, 23 % Hélium, 2 % autres éléments chimiques + poussières. Les nébuleuses sont pour la plupart des lieux de formation d'étoiles. Certaines nébuleuses sont par contre les restes de la mort d'étoiles. Pour différencier les deux types de nébuleuses, on utilise le terme nébuleuse gazeuse pour les vastes nuages de gaz et de poussières où naissent les étoiles.

a. Les nébuleuses gazeuses

Selon la luminosité des nébuleuses gazeuses (qui dépend de la présence d'étoiles en leur sein ou dans leur voisinage), on distingue trois classes de nébuleuses :

- **Les nébuleuses à émission**, qui émettent de la lumière grâce à des étoiles chaudes qui se trouvent à l'intérieur de la nébuleuse (photo 6). L'hydrogène de la nébuleuse est chauffé et émet une certaine quantité de lumière.
- **Les nébuleuses à réflexion** : dans ce cas la nébuleuse brille parce qu'elle réfléchit la lumière d'une étoile qui est située en son voisinage. C'est des nébuleuses qui contiennent beaucoup de poussières.
- Enfin, **les nébuleuses obscures** masquent (cachent) la lumière des étoiles situées derrière elle par rapport à la Terre. C'est des nébuleuses isolées (il n'y a pas d'étoiles chaudes à l'intérieur ou au voisinage de la nébuleuse) qui ne sont détectées depuis la Terre que parce qu'elles absorbent la lumière des étoiles situées derrière elles (photo 7). Elles sont très riches en poussières.

b. Les nébuleuses planétaires et restes de supernovae

Une étoile en fin de vie expulse la matière qui formait l'étoile sous forme de nébuleuses. Les étoiles meurent de deux façons différentes selon leur masse initiale.

- Les étoiles qui ont une masse égale ou inférieure à celle du Soleil expulsent la matière progressivement à la fin de leur vie. Il se forme alors autour du reste de l'étoile une nébuleuse qu'on appelle **nébuleuse planétaire** (photo 8). Ce nom a été donné à ces nébuleuses, car dans un petit télescope, elles apparaissent sous une forme sphérique semblable à celle que montrent les planètes. A cause de cette ressemblance, les anciens astronomes ont donné le nom de nébuleuses planétaires à ces objets, bien qu'il n'y ait aucune relation entre une planète et une nébuleuse.
- Les étoiles qui ont une masse supérieure à 3 fois la masse du Soleil explosent en fin de vie. Ces explosions s'appellent **supernovae**. Là aussi, les anciens ont donné le nom de supernovae aux explosions d'étoiles car lorsqu'une étoile explose elle apparaît soudainement dans le ciel comme une étoile très brillante et les anciens croyaient que cette étoile venait de naître. Ils ont donc donné le nom de supernovae (nova veut dire nouveau) à ces objets nouveaux qui apparaissent dans le ciel. En fait, on sait aujourd'hui que ce n'est pas de nouvelles étoiles, mais au contraire des étoiles qui viennent de mourir sous forme d'une explosion spectaculaire. L'explosion de l'étoile laisse une trace dans le ciel sous forme d'un nuage de gaz et de poussière qu'on appelle : **reste de supernova**. L'une des plus connues est la nébuleuse du Crabe dans la constellation du Taureau (photo 9). Il s'agit du résidu de l'explosion d'une étoile qui a eu lieu en l'an 1054 et qui a été observée en plein jour pendant plusieurs semaines par les Chinois et les Arabes.

Les nébuleuses planétaires et les restes de supernovae sont des objets éphémères : ils sont en expansion autour du reste de l'étoile et après quelque milliers d'années ils se diluent dans l'espace et disparaissent.

II.2.4. Les résidus (ou restes) d'étoiles

Les étoiles en mourant ne disparaissent pas complètement. En plus des résidus de la matière de l'étoile expulsés dans l'espace sous forme de nébuleuses planétaires ou restes de supernovae, il subsiste un corps très dense au centre de l'ancienne étoile. Selon la masse de l'étoile initiale, on distingue trois types de résidus d'étoiles (figure 2) :

Les naines blanches : c'est les restes d'étoiles dans la masse est égale ou inférieure à 3 fois la masse du Soleil. Le diamètre de ces objets est égal à celui de la Terre pour une masse voisine de celle du Soleil. La masse volumique de ces objets est donc très élevée : 1 cm^3 de la matière d'une naine blanche pèse plus d'une tonne. La température superficielle de ces objets est de 10.000°C et leur luminosité est très faible.

Les étoiles à neutrons : c'est les restes d'étoiles dans la masse varie de 3 à 10 fois la masse du Soleil. Il s'agit d'étoiles extrêmement denses et de très petites dimensions composées essentiellement de neutrons. Le rayon de ces objets est de 10 km seulement pour une masse comprise entre 1,5 et 3 fois la masse du Soleil. La masse volumique de ces objets est donc beaucoup plus élevée que celle des naines blanches, de l'ordre de 100 millions de tonnes par cm^3 .

Les trous noirs : c'est les restes d'étoiles dans la masse est supérieure à 10 fois la masse du Soleil. C'est des objets dont le champ de gravitation est si intense que même la lumière n'en peut sortir. Ils sont de très petites tailles et encore plus denses que les étoiles à neutrons. Ils ne peuvent être détectés directement.

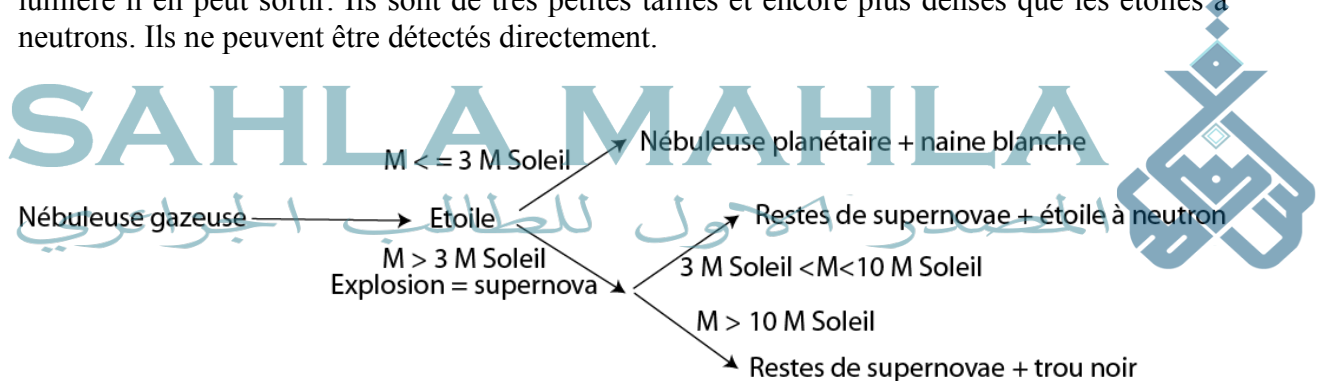


Figure 2 : Schéma de l'évolution des étoiles et des objets formés au cours de cette évolution

II.2.5. Les naines brunes

Certaines boules de gaz possèdent une masse inférieure à 0,08 masse solaire. Dans ce cas, la température au centre de ces objets n'atteint pas 10 milliards de degrés, température nécessaire pour le déclenchement des réactions de fusion nucléaire. L'objet ne pourra donc pas émettre de l'énergie. Ce sont des étoiles avortées. On appelle ces objets : **des naines brunes**. La première naine brune fut découverte en **1995 (Gliese 229B)** et on pense que ces objets sont très répandus dans la Galaxie.

II.2.6. Les planètes extrasolaires (ou exoplanètes)

Beaucoup de planètes en orbite autour d'autres étoiles ont été découvertes ces dernières années. On appelle planètes **extra-solaires (ou exoplanètes)** les planètes qui tournent autour d'autres étoiles que le Soleil. La première exoplanète en orbite autour d'une **étoile normale** de la galaxie fut découverte en **1995** par **Michel Mayor et Didier Queloz** autour de l'étoile **51 Pegasi** située à 40 al de la Terre. Depuis, 834 exoplanètes ont été détectées (4 septembre 2012). La plupart des exoplanètes découvertes sont des planètes géantes très proches de leurs étoiles et possédant des orbites très excentriques. La plus petite des exoplanètes jamais observées à ce jour fait près de deux fois le diamètre de la Terre et a été découverte en février 2009. On pense aujourd'hui que la plupart des cent milliards d'étoiles de la Galaxie possèdent des planètes.

II.2.7. Les galaxies

Tous les objets que nous venons de citer se regroupent dans l'Univers en ensembles qu'on appelle : **galaxies**. Une galaxie est donc un vaste ensemble d'étoiles et de matière interstellaire qui sont liés par gravité. Les étoiles représentent 90 % de la masse totale des galaxies. Chaque galaxie contient **des centaines de milliards d'étoiles**. Le premier qui mit en évidence l'existence de galaxies extérieures à la notre est l'astronome américain **Edwin Hubble** en **1923**.

Selon leur forme, on distingue trois grands types de galaxies :

- **Les galaxies spirales** sont des systèmes en forme de disque aplati (photo 10) et représentent plus de 80 % des galaxies connues. Notre Galaxie (la Voie Lactée) est une galaxie spirale.
- **Les galaxies elliptiques** de forme elliptique (photo 11), représentent 15 % de l'ensemble des galaxies connues.
- **Les galaxies irrégulières** n'ont pas de formes géométriques bien définies (photo 12) et sont rares. Elles représentent 5 % de l'ensemble des galaxies. La Voie Lactée possède deux galaxies satellites de forme irrégulière qu'on appelle : les nuages de Magellan (le grand et petit).

II.2.8. Les amas de galaxies

Les galaxies ne sont pas réparties n'importe comment dans l'Univers. Elles ont tendance à se regrouper au sein d'**amas** qui peuvent contenir des dizaines voir des milliers de galaxies.

Notre Galaxie fait partie d'un amas composé d'une quarantaine de galaxies appelé : **Groupe local**. Ce groupe comprend notre Galaxie, la grande Galaxie d'Andromède, la galaxie du Triangle, les deux Nuages de Magellan (galaxies satellites de la notre) et plus d'une vingtaine d'objets moins importants. Le diamètre du Groupe Local est de 10 millions d'al environ

La galaxie spirale d'Andromède est le membre le plus important du Groupe local et se trouve à plus de 2 millions d'al de notre galaxie. C'est l'objet le plus éloigné qu'on peut voir à

l'œil nu dans le ciel. Notre Galaxie est le second membre le plus important suivie par la galaxie spirale du Triangle. Les deux nuages de Magellan sont des galaxies satellites de la Voie Lactée situés à 150.000 al. Ils sont visibles à l'œil nu dans l'hémisphère Sud.

L'amas de la Vierge est un important amas de galaxies situé à 60 millions d'al et comporte plus de 2000 galaxies (photo 13). En son centre se trouve l'une des plus grosses galaxies connues dans l'Univers (M87) avec une masse de plus de 4 000 milliards de masses solaires, et un diamètre de 120 000 années-lumière (photo 11).

II.2.9. Les superamas de galaxies

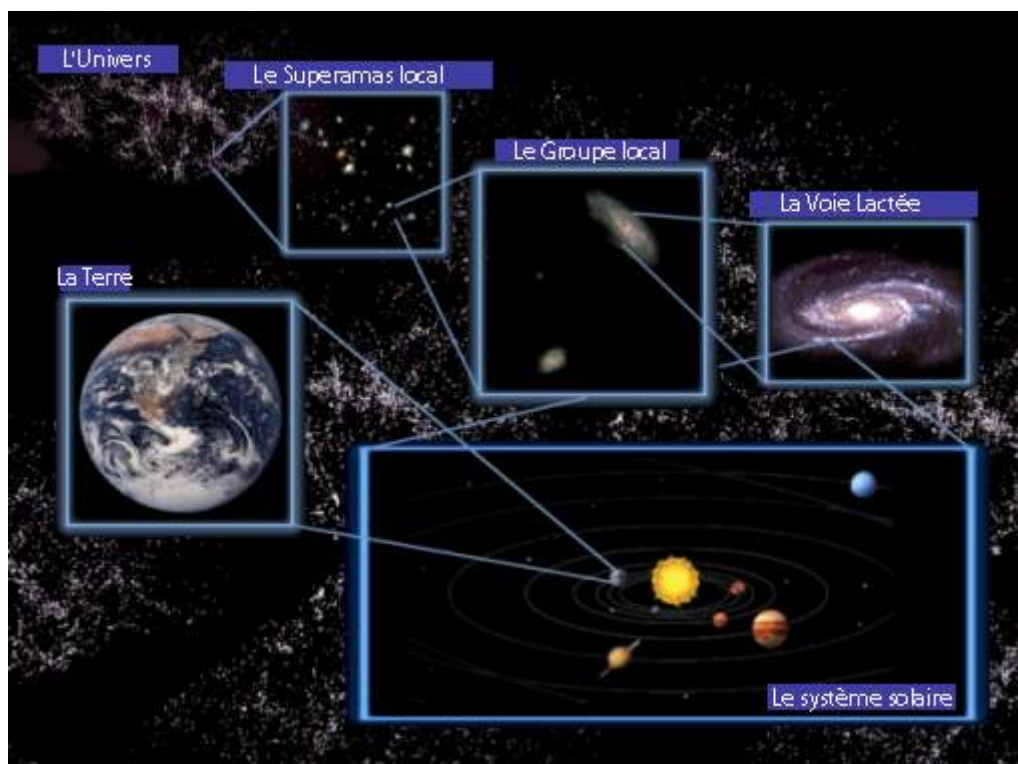
Les amas de galaxies semblent se regrouper en structures plus grandes appelées superamas de galaxies. Ainsi, le Groupe local appartient à un superamas qui semble regrouper sur une distance de plus de 200 millions d'al une centaine d'amas (plus de 10 000 galaxies) dont celui de la Vierge. Le superamas à laquelle appartient le Groupe Local s'appelle **Superamas Local** ou **Superamas de la Vierge**, car l'amas de la Vierge est le plus important amas dans ce superamas et se trouve en son centre. Le Groupe local est situé près du bord du Superamas local et est attiré par l'amas de la Vierge.

Les superamas sont les plus grandes structures connues dans l'Univers.

L'Univers est composé de milliers de superamas de galaxies repartis sur une distance qui dépasse 13 milliards d'al.

En résumé :

La Terre appartient au système solaire. Le système solaire fait partie de la Galaxie ou Voie Lactée. La Voie Lactée fait partie du Groupe local de galaxies. Le Groupe local fait partie du Superamas local (ou Superamas de la Vierge). Le Superamas local fait partie de l'Univers. L'Univers est composé de Superamas.



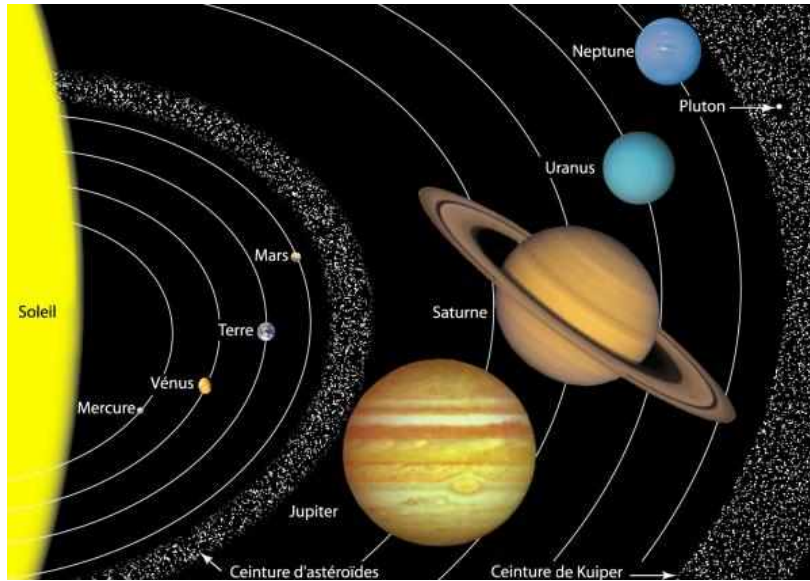


Photo 1 : Le système solaire



Photo 2 : la comète Hale-Bopp



Photo 3 : le nuage d'Oort

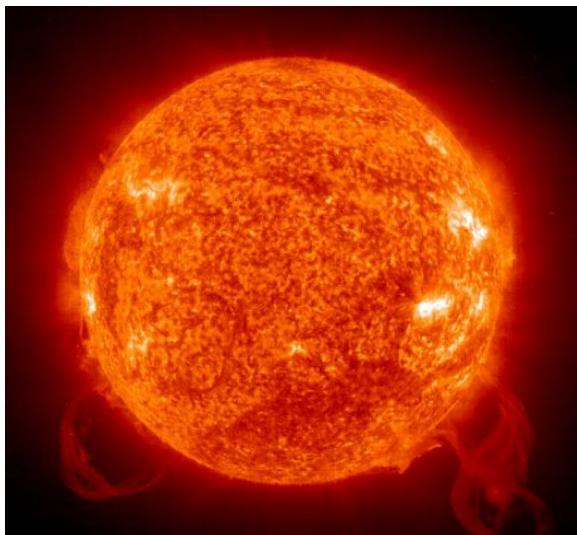


Photo 4 : le Soleil

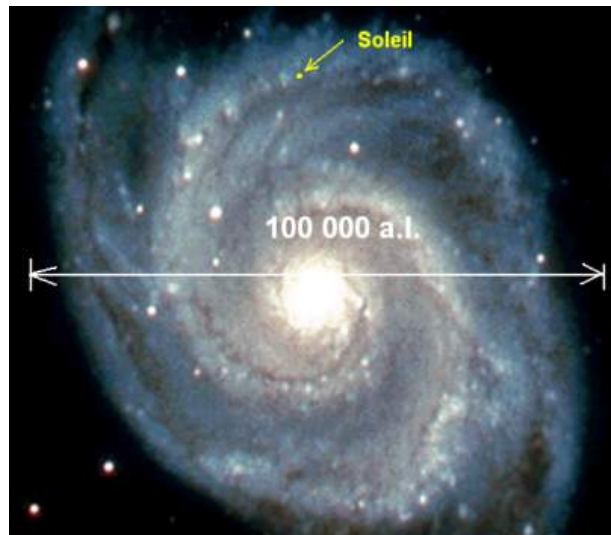


Photo 5 : la Voie Lactée.



Photo 6 : nébuluse gazeuse à émission



Photo 7 : nébuluse obscure (tête de Cheval)

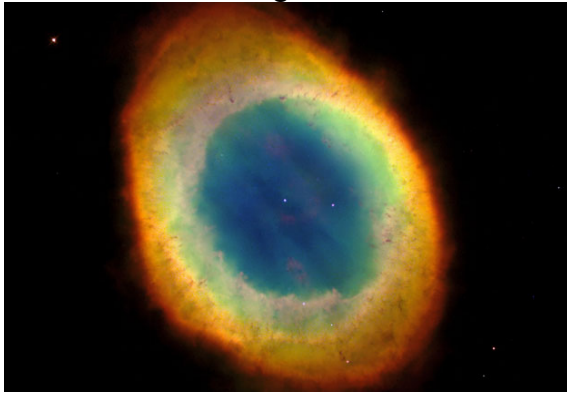


Photo 8 : nébuluse planétaire



Photo 9 : reste de supernova (nébuluse du crabe)



Photo 10 : galaxie spirale



Photo 11 : galaxie elliptique (M87)

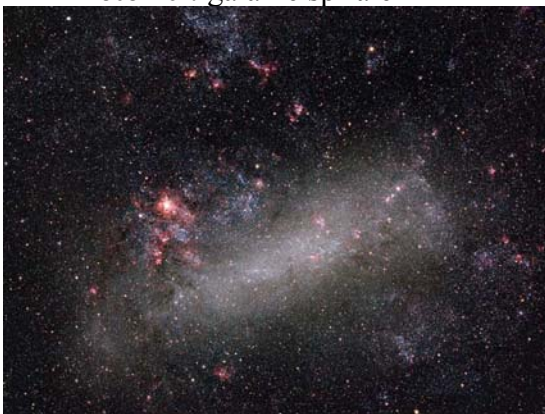


Photo 12 : galaxie irrégulière

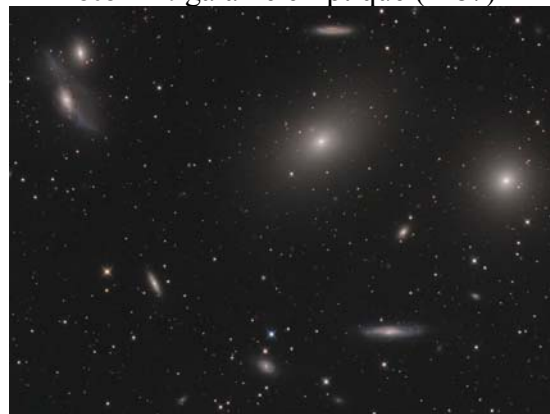


Photo 13 : amas de la Vierge