

Table des matières	2
Introduction générale	5
Chapitre 1 – La Terre dans l’Univers – Histoire de la planète Terre	6
I – Introduction	6
II – L’Univers et les galaxies	7
A – Définitions	7
B – Le Big-Bang	8
C – Expansion de l’Univers	8
D – Vie et mort des étoiles	9
III – Planètes du système solaire et quelques caractéristiques	10
A – Planètes telluriques	10
B – Planètes géantes	10
C – Les objets de diamètre compris entre 200 et 2600km	10
D – Les petits corps de diamètre inférieur à 200km	10
E – Age de la Terre et de l’Univers	12
F – Conclusion	12
IV – La différenciation et l’évolution de la planète Terre	12
V – L’avenir de la planète Terre	14
VI – Conclusion	15
Chapitre 2 – La structure du globe terrestre	16
I – Introduction	16
II – La connaissance du globe terrestre	16
III – La structure interne du globe terrestre	16
A – La croûte	16
B – Le Manteau	18
C – Le Noyau	19
IV – Méthodes géophysiques et structure profonde de la Terre	20
A – Sismologie	20
B – Les données de la gravimétrie	26
C – Le magnétisme terrestre	31
V – Conclusion	36
Chapitre 3 : De la dérive des Continents à l’expansion océanique : la mobilité horizontale de la lithosphère	27
I- La dérive des continents	27
A – Le concept de la dérive des continents	27
B – Arguments en faveur de la dérive des continents	27
C – Modèles	29
III – L’’expansion océanique	31
A – Connaissance des océans	31
B – Expansion océanique	33
IV – Conclusion	34
Chapitre 4 : La Tectonique Globale et Activités internes de la Terre	36
I - Le concept de la tectonique globale	36
A – Notion de plaques	36
B – Les limites de plaques	38
II - Activités internes de la Terre	40
A – La sismicité : un témoin de l’activité interne de la terre	40
B – Magmatisme et Tectonique des plaques	44
C - Métamorphisme et Tectonique des plaques	52
III – Conclusion	56
Questions de réflexion et quelques sujets de synthèse	65

Public cible

Ce cours est destiné en priorité aux étudiants des premiers cycles universitaires (Sciences de la Vie et de la Terre, Agronomie et Géographie) et aux futurs candidats aux concours de l'enseignement. Aussi, il peut être utile également à tous ceux qui souhaitent trouver une présentation synthétique de la dynamique interne du globe, de ses méthodes d'étude et à ceux avide de culture plus que de savoir.

Les pré-requis

Afin de mieux suivre et comprendre ce qui suit, il serait intéressant d'avoir quelques notions simples de physique et de chimie. L'étudiant doit avoir des notions de base fondamentale en cristallographie, en minéralogie et en pétrographie des roches magmatiques et métamorphiques. Ces notions de base sont données au cours des séances de travaux dirigés en salle.

Objectifs

Généraux

Ce cours a pour but de présenter une synthèse des connaissances acquises en géodynamique interne afin d'offrir aux étudiants un document de base indispensable et de les aider à s'intéresser à la géologie. Il permet de mieux connaître et comprendre l'Univers dans lequel nous vivons et de montrer que notre planète Terre est "vivante".

Spécifiques

Ce support vise à donner une vision synthétique des notions de base de la géodynamique, c'est-à-dire les grands traits du fonctionnement interne du globe terrestre ainsi que des différentes méthodes de leur étude. Il est destiné à la formation des étudiants du premier cycle universitaire ainsi qu'à ceux qui préparent les concours de recrutement de l'enseignement secondaire.

Il s'agit de montrer, de façon simple et claire, que notre planète Terre est une " machine vivante ". Les principales activités internes (séismes, magmatisme, métamorphisme ...), les forces et les mouvements animant notre Planète en profondeur sont étudiés.

A la fin du cours, l'apprenant doit être capable de :

- donner la structure interne de la Terre, et introduire les grands mécanismes qui régulent l'équilibre des niveaux solides de la terrestre
- acquérir les notions de base en géophysique (paléomagnétisme, gravimétrie, ...)
- définir les séismes et leurs relations avec la tectonique des plaques
- donner les définitions de métamorphisme et de magmatisme
- maîtriser les processus métamorphiques et magmatiques en relation avec la tectonique des plaques (acquisition d'une vision synthétique des mécanismes physico-chimiques qui régissent la distribution des roches magmatiques et métamorphiques et leurs relations avec la dynamique globale).

Les activités d'apprentissage

TD et TP : Les travaux dirigés et pratiques organisés à l'attention des étudiants sont obligatoires afin de mieux maîtriser les pré-requis nécessaires à la compréhension de ce cours.

Recherches personnelles : Les thèmes abordés dans ce support sont partiellement traités. Les thèmes de l'enseignement de la géodynamique interne dans les premiers cycles universitaires sont traités dans de nombreux manuels dont les quelques références sont données dans la partie bibliographie. Par ailleurs, l'accès à une abondante documentation internationale est désormais disponible par le Web. Les sites sont nombreux et les informations étonnantes.

Type d'évaluation

1 – Evaluation théorique : L'étudiant doit obligatoirement assister à toutes les séances de cours, afin de mieux approfondir ses notions en cristallographie, en minéralogie et en pétrographie surtout des roches magmatiques et métamorphiques. Les cours, travaux dirigés et pratiques sont évalués. Les planches comportant les schémas du cours doivent être bien comprises.

2 – Evaluation finale : Ce cours semestriel est évalué sous la forme d'un examen final qui sera noté sur 20.

Bibliographie

Plusieurs ouvrages peuvent être utiles à l'étudiant désireux de compléter le cours ou d'approfondir une notion en particulier. La plupart des ouvrages sont en anglais, seuls quelques-uns, en français, sont notés ci-dessous.

- Schaaf et al., (1991) : Comprendre et Enseigner la Planète Terre. Ed. Ophyrus
- P. Nougier, (1993) : Structure et Evolution du globe terrestre. Ed. Ellipses
- B. Mehier, (1998) : Magmatisme et Tectonique des Plaques. Sci. Vie & Terre, Ed. Ellipses
- L. Jolivet & H.-C. Nataf, (1998) : Géodynamique. Ed. Dunod
- J. Paquet & J. Dercourt (1998) : Eléments de Géologie. 10e Ed. Dunod
- Daniel, J.-Y., Brahic, A., Hoffert, M., Schaaf, A. et Tardy, M., (1999) : Sciences de la Terre et de l'Univers. Vuibert, Paris, 634 p
- A. Foucault & J.F. Raoult, (2000) : Dictionnaire de Géologie, 5e Ed. Dunod
- R. Trompette (2003) : La Terre, une planète singulière. Ed. Belin, Paris, 303p.

Sites Web

- http://www.univ-lille1.fr/geosciences/cours/terre_active
- <http://fr.wikipedia.org>
- http://nte-serveur.univ-lyon1.fr/nte/geosciences/geodyn_int/
- <http://www.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque>
- <http://homepages.ulb.ac.be/~jscoates/teach/>

NB: Sur le site www.google.fr, l'étudiant peut faire de la recherche avec des mots clés de la géodynamique interne. Par exemple : structure interne de la terre, paléomagnétisme, isostasie, tectonique des plaques, magmatisme et géodynamique, métamorphisme et géodynamique, séismes ou tremblements de terre, etc....

INTRODUCTION GENERALE

La géologie devient une science fascinante quand elle vise à comprendre plutôt qu'à décrire. Les Sciences de la Terre sont devenues, au cours de trente dernières années, autant des applications de la physique et de la chimie qu'une branche des Sciences Naturelles. Ainsi est née la "géodynamique" qui analyse les forces et les mouvements mis en jeu dans les phénomènes géologiques à sa surface de la terre (géodynamique externe) et en profondeur (géodynamique interne).

1 – la géodynamique externe : décrit les manifestations physiques d'ordre météorologiques, ou celles qui y sont liées. Ainsi, on inclura l'érosion et les mouvements de terrains comme résultante de l'action mécanique, voir chimique de l'eau (sous toutes ses formes), du vent, de la température. Toutes ses composantes, dépendantes de l'énergie solaire, peuvent se combiner pour générer, soit des phénomènes de faible amplitude (brise) sans effet majeur, soit des phénomènes de grande ampleur comme les crues ou les cyclones qui constituent des éléments de risques pour les sociétés humaines.

2 – la géodynamique interne : se consacre aux conséquences induites par le mouvement des plaques à la surface de la terre (magmatisme) et à celles associées à la remontée des magmas dans le volcanisme de "point chaud". Les contraintes imposées à la lithosphère peuvent donc engendrer des phénomènes soudains, tels que les séismes et les éruptions volcaniques. Mais à l'échelle des temps géologiques, la géodynamique interne est responsable de la surrection des montagnes, ou inversement du creusement de larges failles (horst) comme le grand rift africain.

Dans ce support de cours, nous parlerons de la géodynamique interne. Nous montrerons que notre planète, la Terre est active et nombreux en sont les témoignages : tremblements de terre, volcanisme, etc... Comme pour toute machine, comme pour tout système vivant, comprendre la dynamique de cette activité revient à en évaluer les sources d'énergie, les transferts et les modalités de dissipation.

Dans le chapitre 1, nous replacerons la Terre dans le système solaire et ce dernier dans l'Univers. Il s'agit de montrer aussi que l'histoire de la Terre est celle du soleil. Les notions de Big-Bang, de vie et de mort des étoiles seront étudiées.

Dans le chapitre 2, nous étudierons la structure du globe terrestre telle que mise en évidence par les méthodes géophysiques (gravimétrie, géomagnétisme, sismologie ...).

Dans les chapitres 3 et 4 seront étudiées les différentes formes de mobilité horizontale de la lithosphère (la dérive des continents, l'expansion océanique) et la Tectonique Globale en relation avec les processus géodynamiques internes.

CHAPITRE 1

LA TERRE DANS L'UNIVERS

I – Introduction

Une bonne connaissance de la Terre passe par la compréhension de sa place dans l'Univers. La Terre est une planète dense appartenant à une famille nommée le “système solaire”. Neuf planètes gravitent autour du soleil (**fig.1.1**). L'histoire de la Terre est donc celle du soleil, petite étoile de composition cosmique qui forme avec les autres étoiles d'immenses structures dénommées « galaxies ». L'Univers est constitué par d'innombrables amas de galaxies. La Terre est issue d'un nuage de gaz et de poussière, ce qui représente une concentration exceptionnelle de matière sous forme d'éléments chimiques lourds, en proportions tout à fait minimes, voire infimes dans l'Univers.

C'est à partir du XX^e siècle que les astronomes ont été capables de mesurer avec une certaine précision la distance des corps célestes.

En astronomie, la mesure de la distance revient à la mesure du temps que met la lumière pour la parcourir (vitesse de la lumière = 300 000 Km/s). Ainsi la Lune est à environ une seconde-lumière de la Terre, le Soleil est à 8 minutes et son diamètre est de l'ordre de 20 secondes-lumière.

Trois types d'unités de mesure de distance sont classiquement utilisés :

- **l'année-lumière** : distance parcourue par la lumière dans le vide en une année (**al.** soit **$9,46 \cdot 10^{12}$ Km**). La vitesse de la lumière dans le vide est de 299 792 458 km/s

- **l'unité astronomique (UA)** : qui correspond à la distance moyenne de la Terre au soleil (environ **$150 \cdot 10^6$ Km**, en fait **149 597 458 km** plus précisément)

- **le parsec (pc)**, l'unité la plus utilisée par les astronomes, qui est une méthode de triangulation basée sur l'estimation de l'angle de parallaxe pour évaluer la distance des étoiles proches. C'est la distance telle qu'une unité astronomique (1 UA = distance terre-soleil) est vue sous un angle d'une seconde (**fig.1.2**).

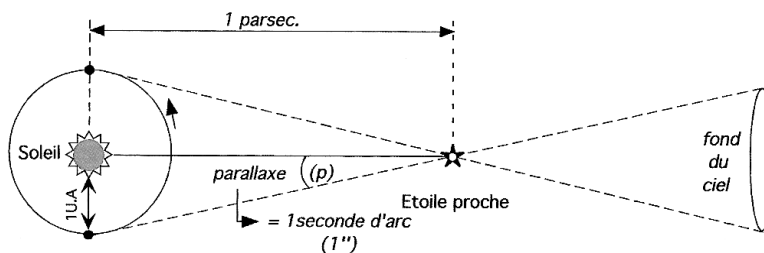


Fig. 1.2 : La mesure de la distance des étoiles les plus proches par parallaxe

Un parsec est égal à **3,262** années lumière soit **$3,08568 \cdot 10^{13}$ Km**. On peut définir le parsec comme la distance à laquelle il faudrait se placer pour observer le rayon de l'orbite terrestre (1 U.A.) sous un angle d'une seconde.

Devant l'immensité de l'univers, il est bien difficile de se représenter les distances. Le seul moyen est de les ramener à notre échelle.

	Terre, <u>taille</u> normale	Terre, réduite à 1 mm
Diamètre de la terre	13 000 Kms	1 mm
Distance terre-lune	390 000 Kms	3 cm
Diamètre du soleil	1 400 000 Kms	11 cm
Distance terre-soleil	150 millions de Kms	11,50 m
Distance terre-Proxima du centaure (l'étoile la plus proche)	41 627 milliards de Kms ou 4,4 années-lumière	3250 Kms (soit la distance Brest-Moscou)
distance terre-centre de notre galaxie (la voie lactée)	286 millions de milliards de kms ou 30 000 années-lumière	22 millions de Kms (à mi-chemin entre la terre et la planète Mars)

La colonne de droite du tableau ci-dessous, représente les distances proportionnelles à une terre dont on aurait réduit sa taille à seulement 1 millimètre.

A l'échelle de la terre réduite à 1 mm, l'homme ne s'est jamais éloigné à plus de 3 cm de celle-ci, or l'étoile la plus proche se trouve à 3 250 km.

L'atmosphère terrestre diffère de celle des autres planètes, car très riche en oxygène extrait de l'eau par photosynthèse.

II – L'Univers et les galaxies

L'univers primordial aurait commencé son existence par une énorme explosion, le Big Bang, qui se serait produite il y a environ 15 milliards d'années. Cette explosion aurait marqué le début d'une expansion qui continue aujourd'hui.

A- Définitions

L'Univers est isotrope et homogène. Il est constitué de plus de 100 milliards de galaxies séparées par des distances moyennes de 1.000.000 al. Celles-ci sont de gigantesques regroupements d'étoiles. Elles ne sont pas fixes, elles s'écartent les unes des autres depuis l'expansion de l'Univers il y a 15 milliards d'années (âge moyen de l'Univers). Notre galaxie, la Voie Lactée, est semblable aux autres galaxies et le système solaire a des équivalents que l'on ne peut observer faute d'une résolution suffisante. La Voie Lactée correspond à une large bande aux contours diffus, d'aspect blanchâtre et laiteux. On pense aujourd'hui que la Voie lactée est un disque aplati d'un diamètre d'environ 100.000 années lumière et d'une épaisseur de 6.000 al. Elle est formée de myriades d'étoiles dont le soleil. Le soleil n'est qu'une étoile très modeste par sa taille et son éclat ; il occupe une position excentrée (à 30.000 al du centre de la galaxie) dans un bras spiralé (**fig.1.3**). La Terre est donc immergée dans la Voie Lactée.

L'Univers peut être hiérarchisé en :

- galaxies : véritables constituants de base de l'univers
- étoiles : naines et géantes, vieilles ou jeunes, isolées, doubles ou multiples
- planètes : gravitant autour du soleil.

Les planètes sont définies comme des corps célestes non lumineux par eux-mêmes, dont la surface est froide, c'est-à-dire que leur température est proportionnellement en équilibre avec celle du rayonnement qu'elles reçoivent du soleil. Ce ne sont pas des étoiles, mais des boules de roches ou de gaz éclairées par le Soleil.

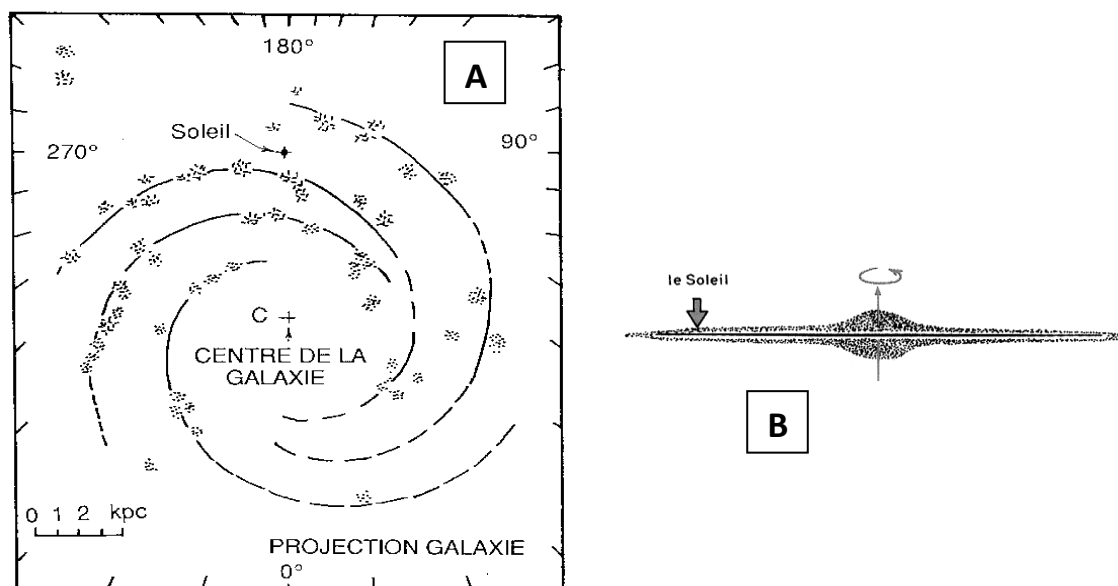


Fig. 1.3 : Position du Soleil dans la Voie lactée : A. vue en plan dans un bras spiralé ; B. vue de profil

Les galaxies se regroupent en amas, ainsi notre Galaxie "la Voie Lactée" fait partie, au même titre que la nébuleuse d'Andromède ou le nuage de Magellan, de l'amas local (environ 5 millions d'années lumière).

Les amas s'organisent en structures plus grandes : les super-amas qui regrouperaient plusieurs milliers de galaxies. Ainsi, l'amas local fait partie du super-amas de la Vierge.

B – Le Big-bang

L'instant zéro de l'Univers a été qualifié de Big-bang. Le milieu inconnu antérieur au big-bang a évolué brutalement en diminuant la température. Le contenu de l'Univers ne peut être décrit que pour une température inférieure à 10^{32} K (température de Planck). A cette température, le milieu est inaccessible, c'est-à-dire que les lois de la physique classique ne s'appliquent plus.

Une fois la température de Planck franchie, toutes les particules qui étaient concentrées en un point sont dissociées : le Big-bang se produit.

Le Big-bang est donc une explosion originelle, image exprimant l'expansion de l'Univers dès les premiers instants de son existence.

Aux premières brèves étapes, les particules apparaissent, s'associent et forment les premiers atomes.

300.000 ans après le Big bang, profitant d'une baisse de la température (10.000°C), la lumière et la matière se dissocient. Les premiers photons de la lumière s'échappent dans l'espace à la vitesse de 300.000 Km/s. C'est la toute première lumière de l'univers, appelée aussi rayonnement fossile, qui nous parvient aujourd'hui refroidi à 3K (-271°C) après un voyage de 15 milliards d'années.

C – Expansion de l'Univers

Depuis le big bang, l'Univers est en expansion, c'est à dire que l'Univers grandit. Il grandit non pas en "créant de l'espace" mais plutôt en le dilatant (l'espace dans son ensemble "gonfle"), éloignant du même coup les galaxies les unes des autres. La vision du ciel nocturne donne l'impression que l'Univers est immobile ; en réalité les étoiles se déplacent à des vitesses pouvant atteindre quelques centaines de kilomètres par seconde, ainsi une étoile rapide

parcourt-elle 10 milliards de Km en une année. Ceci ne représente que le millième de la distance qui nous sépare des étoiles les plus proches et leur position dans le ciel ne varie que très lentement. Le déplacement apparent des étoiles proches s'appelle le "mouvement propre". **Doppler** observa que certaines étoiles s'éloignent de la Terre (leur couleur se décale ainsi vers le rouge) et d'autres s'en rapprochent (couleur vers le bleu). La grande majorité des galaxies (à l'exception de quelques nébuleuses "voisines" comme la nébuleuse d'Andromède qui se rapproche de la Terre avec une vitesse de 300 Km/s) s'éloigneraient de la notre. Le modèle d'expansion de l'Univers peut être représenté comme une compétition entre l'expansion uniforme qui tend à disperser toute la matière de l'Univers et la force de gravitation qui s'y oppose et qui tend au contraire à la rassembler.

L'évolution de l'Univers depuis le temps "zéro" du Big-bang est marquée par une décroissance continue de la température accompagnant l'expansion. Un équilibre s'instaure entre production et destruction de matière.

Ainsi les galaxies apparaissent comme des systèmes liés (par les forces gravitationnelles) qui échappent à l'expansion et au refroidissement universel. En leur sein, de nouvelles condensations de la matière gazeuse vont se produire en donnant naissance aux étoiles. Les étoiles sont de gigantesques réacteurs nucléaires produisant l'énergie nécessaire à leur activité lumineuse.

D – Vie et mort des étoiles

Une étoile est constituée d'enveloppes emboîtées de plus en plus denses et de plus en plus chaudes vers le cœur (**fig.1.4**). Elle naît en effet d'amas de gaz et de poussières qui se condensent en certains points de l'Univers. Les étoiles sont le siège de synthèses nucléaires très variées qui conduisent en différentes étapes aux éléments chimiques connus. Les nuages gazeux de densité faible, se densifient peu à peu et s'organisent en amas de taille variable. Les petits amas conduisent aux petites étoiles, les gros aux grandes étoiles. Par attraction gravitaire, les cœurs des étoiles se densifient progressivement et atteignent des températures autorisant les fissions nucléaires. Elle évolue lentement vers sa mort en se consumant elle-même peu à peu.

Une étoile comme le Soleil est une boule de gaz de $2 \cdot 10^{30}$ kg en équilibre sous l'effet de la gravitation et du gradient de pression. Au centre du Soleil, l'hydrogène est transformé en hélium depuis 4,5 milliards d'années et cela devrait durer environ 5 milliards d'années de plus.

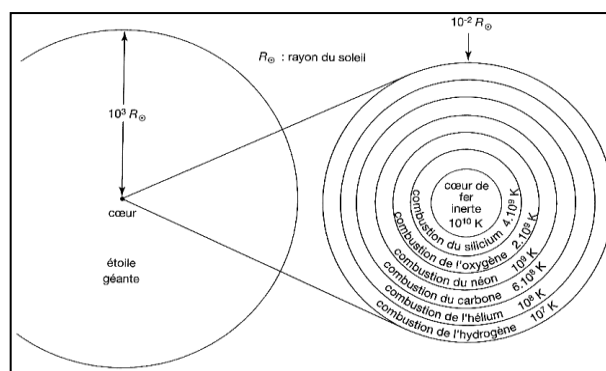


Fig. 1.4 : L'évolution d'une étoile massive

La nucléosynthèse

Une série de réactions de fusion nucléaire, désignées sous l'appellation générale de nucléosynthèse, a pour conséquence la fusion des noyaux légers (H, He) donnant naissance à des noyaux plus lourds.

Il est généralement admis que la matière se trouvait au départ sous la forme de noyaux d'hydrogène (protons) et d'électrons. Le deutérium et l'hélium sont également présents.

A l'intérieur d'une étoile, la contraction par gravité de la matière permet d'atteindre la température nécessaire pour favoriser la fusion des noyaux d'hydrogène.

Au départ, une masse d'hydrogène se contracte et s'échauffe. Lorsqu'en son centre, la température dépasse 10^7 K et la densité 100 g.cm^{-3} , les noyaux d'hydrogène fusionnent pour aboutir à la formation d'hélium (masse 4). La formation d'hélium s'accompagne d'une augmentation de la densité jusqu'à 10^5 g.cm^{-3} .

La fusion de l'hélium qui s'ensuit aboutit généralement à la formation de carbone (masse 12), les éléments intermédiaires (Li, Be, B) apparaissent fugitivement au cours des réactions sous forme d'isotopes instables. Par fusion de noyaux de carbone avec des noyaux d'hélium, l'oxygène (masse 16) est formé, plus rarement le néon (masse 20), le magnésium (masse 24) et le silicium (masse 28). Notons que tous les éléments stables formés à ce stade ont une masse paire.

Les réactions de nucléosynthèse se déroulent sur de très longues périodes selon la masse des étoiles. La fusion de l'hydrogène dans une étoile de la taille du soleil peut durer 10^{10} années, celle de l'hélium dans une étoile géante rouge 10^8 années. Dans les étoiles super-géantes, après formation du carbone et de l'oxygène, les réserves d'hélium s'épuisent et la fusion du carbone se produit à une température supérieure à 8.10^7 K. L'oxygène prend le relais à une température dépassant $1,5.10^9$ K. Les processus de nucléosynthèse, plus rapides (10^6 à 10^4 ans), deviennent de plus en plus complexes car chaque réaction produit des noyaux d'hydrogène et d'hélium qui sont recyclés dans les réactions suivantes.

L'abondance des éléments diminue parce qu'il faut une énergie de plus en plus forte pour vaincre la répulsion des noyaux de plus en plus lourds et parce que la séquence de synthèse s'effectue par numéro atomique croissant.

La vie d'une étoile dépend de sa masse. Plus la masse est élevée plus la combustion est vive. Une étoile de faible masse a un taux de production d'énergie bien moindre. Sa durée de vie sera donc supérieure à celle d'une étoile plus massive (**fig.1.5**).

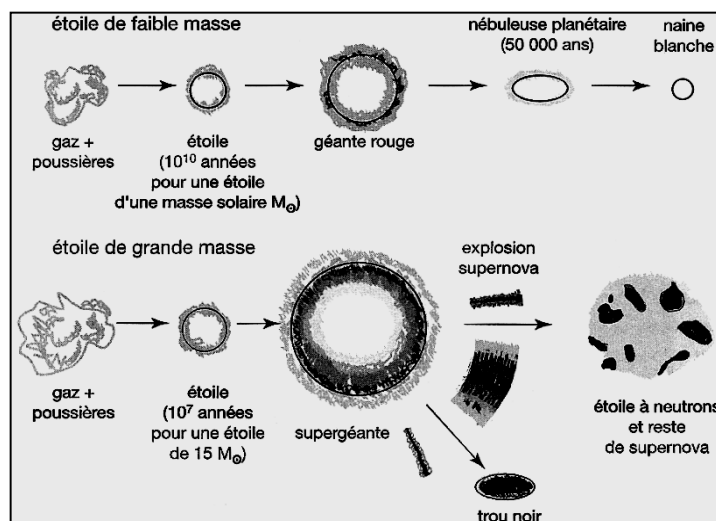


Fig. 1.5 : L'évolution des étoiles en fonction de leur masse

Une grande étoile, en moyenne 25 fois le soleil, subit la même évolution. De l'hydrogène et de l'hélium sont produits. L'hydrogène est consommé, la nucléosynthèse C-N-O se produit. Vers 800MK, une suite de fissions nucléaires conduit aux éléments Mg, Si, Na, Ni et Co.

L'étoile va ensuite brûler progressivement ses différents éléments (hydrogène, puis hélium puis carbone et oxygène) pour aboutir, à l'étape ultime, à la production du fer. La nucléosynthèse s'arrête lorsqu'il n'y aura plus de carburant au centre de l'étoile. Le cœur se

contracte pour donner une géante rouge qui s'éteint peu à peu. Il s'agit alors d'une naine blanche qui ne représente plus que le cœur de l'étoile. Pour les étoiles plus grandes, l'échauffement se produit et l'étoile se dilate considérablement et devient une supergéante. Elle s'effondre sur elle-même et explose : une supernova est née.

Suivant sa taille initiale, soit elle se rétracte pour s'éteindre définitivement, soit elle subit une expansion catastrophique qui la disloque dans l'espace.

III – Le système solaire

Le système solaire est une communauté ordonnée de huit planètes (Pluton a perdu son statut de planète en 2006) qui tournent autour d'une étoile (le Soleil) selon des orbites elliptiques pratiquement situées dans un même plan (écliptique).

	Mercure	Vénus	La Terre	Mars	Jupiter	Saturne	Uranus	Neptune
Distance moyenne du soleil (millions de Km)	58,0	107,9	149,6	227,7	777,9	1 427,0	2 868,9	4 496,9
Diamètre équatorial (Km)	4 878	12 104	12 757	67:193	142 803	120 002	50 800	48 600

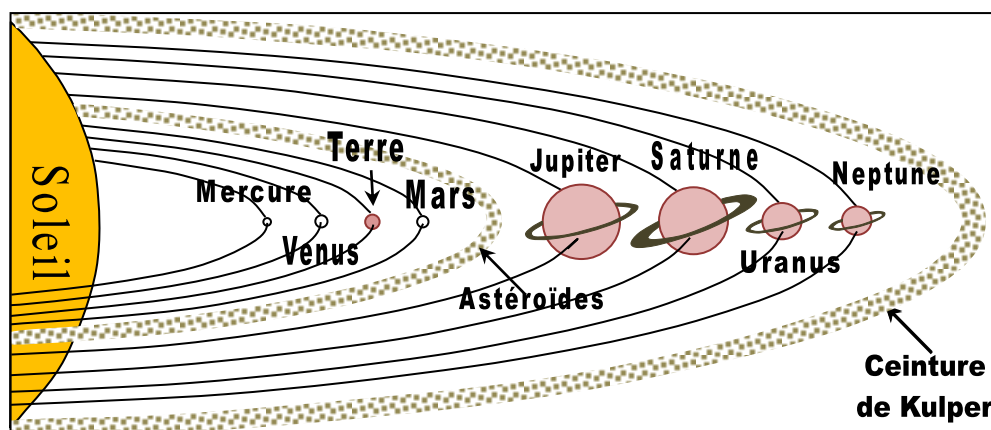


Fig. 1.1 : La Terre au sein du système solaire et taille relative des planètes

A - Le Soleil

Le Soleil est apparu il y a 5 Ga environ, dans un Univers qui avait déjà vécu près de 10 Ga depuis le Big Bang et avait subi d'intenses remaniements. Etoile de dimension modeste (695 000 km de rayon), située dans un bras spiral à 30 000 années-lumière du centre de la galaxie, le Soleil est constitué essentiellement d'hydrogène et d'hélium (seulement 2% d'autres éléments). Son poids est estimé à 2.10^{30} kg (330 000 fois celui de la Terre). Sa période de rotation est de 26,9 jours à l'équateur et 35 jours au pôle selon un axe incliné de $82^{\circ}45'$ sur le plan de l'écliptique.

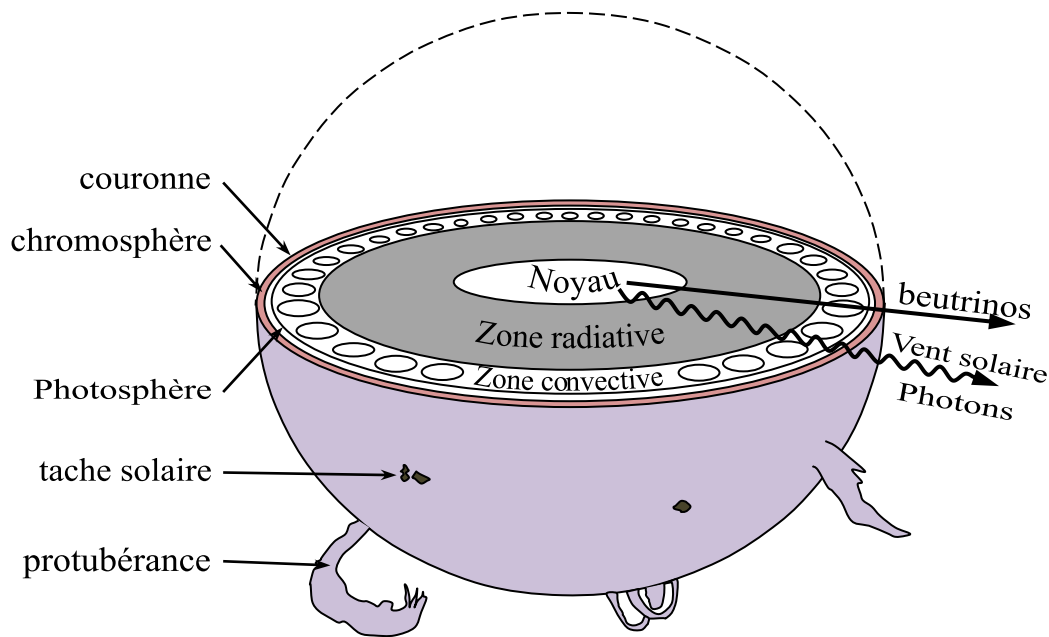


Fig. 1.5 : Structure du Soleil

Le noyau (250 000 km de rayon, 15 millions de degrés) a une densité de 150. L'atmosphère solaire comprend : la photosphère (300 km d'épaisseur, 8 000°C à 4 500°C) qui est le siège du champ magnétique et émettrice des photons ; la chromosphère (2 500 km d'épaisseur) où la température croît avec l'altitude jusqu'au million de degrés ; la couronne (seule la partie interne est représentée, la partie externe peut s'étendre sur 5 millions de km) dont la très haute température (3 millions de °C) est liée à des phénomènes magnétiques, qui produisent des courts-circuits, réchauffent la plasma.

B - Planètes du système solaire et quelques caractéristiques

Le mot “ planète ” signifie “ vagabond ” en grec. En effet ces corps se distinguent des étoiles par le fait qu'ils ont, dans le ciel, un mouvement apparent. Les planètes gravitent autour du Soleil sur des orbites quasi-circulaires, disposées dans un plan. Ces orbites définissent ainsi un disque plat, perpendiculaire à l'axe de rotation du Soleil, à l'exception de Mercure et de Pluton, les deux planètes extrêmes dont les orbites sont excentrées et inclinées.

L'observation des planètes du système solaire peut se faire soit à partir de la Terre, soit à partir des satellites artificiels. A la lumière des données astronomiques, il est possible de classer, d'un point de vue géologique, les corps du système solaire, en dehors du Soleil, en quatre catégories.

1 – Les planètes telluriques (Mercure, Venus, Terre et Mars)

Ce sont les planètes les plus internes et les plus proches du Soleil (**fig. 1.1**). Leur densité moyenne est de 3,3 à 5,5. Elles possèdent toutes une surface solide et sont structurées en couches de nature, d'épaisseur et de propriétés différentes. Venus, Terre et Mars possèdent une couche atmosphérique. La plus grosse est la Terre avec un rayon de 6378km.

2 – Les planètes géantes (Jupiter, Saturne, Uranus et Neptune)

Elles sont éloignées du Soleil et de grande taille (leur rayon dépasse 60.000km). Elles ont une faible densité (0,7 à 1,5) et sont d'immenses boules de gaz (composées à 99 % d'hydrogène et d'hélium). Elles sont toutes entourées d'anneaux et possèdent un système complet de satellites. Elles sont formées dans les parties les plus froides de la nébuleuse primitive.

3 – Les objets de diamètre compris entre 200 et 2600km

Pluton (la plus externe des 9 planètes), de nombreux satellites des planètes géantes et les plus gros des astéroïdes en font partie. Dans ce groupe composite, certains corps ont leur densité supérieure à 3 et d'autres avec des densités inférieures à 2. La plupart de ces objets ont une surface criblée de cratères d'impact, témoins du “ grand bombardement ” météoritique qui a suivi leur accréation.

4 – Les petits corps de diamètre inférieur à 200km

Ils n'ont plus aucune activité. Ils regroupent de petits satellites, la plupart des astéroïdes, les comètes et les météorites. Ces dernières sont des astéroïdes dont l'orbite rencontre celle de la Terre. Elles présentent un grand intérêt pour la compréhension des planètes telluriques.

4.1 - Les satellites

Ce sont des corps célestes, naturels ou artificiels, en orbite autour d'une planète. On connaît aujourd'hui plus de 70 satellites, tous différents les uns des autres.

4.2 - Les astéroïdes

Ce sont de petits corps solides qui se déplacent autour du soleil. Il s'agit de blocs de roches comparables à une très petite planète (100 Km) et pouvant entrer en collision avec une planète ou un autre astéroïde.

4.3 - Les comètes

Les comètes sont des agrégats de glaces, de gaz gelés et de poussières, vestiges de la condensation de la nébuleuse primitive qui a donné naissance au système solaire.

4 - Les météorites

Ce sont des fragments se détachant lors de la collision entre astéroïdes et pouvant percuter sur les planètes. On distingue trois groupes de météorites.

- * **les sidérites** ou météorites métalliques, composées d'un alliage de Fe-Ni à 5-10% de nickel,

- * **les sidérolites**, constituées de cristaux d'olivine dans une matrice métallique

- * **les aérolites** ou météorites pierreuses, formées surtout de silicates avec quelques éléments métalliques. On trouve dans cette catégorie, les achondrites semblables aux gabbros terrestres, et les chondrites formées d'olivine, d'orthopyroxène et de plagioclase dans une matrice de même nature accompagnée de grains métalliques de Fe, Ni, FeS, etc...

4.5 - Le milieu interplanétaire et les poussières

Le système solaire contient une grande quantité de grains de poussières. Quand le ciel est clair on peut, peu avant le lever ou peu après le coucher du soleil, apercevoir la lumière solaire réfléchir par ces grains.

5 – L'âge de la Terre et du système solaire

Les datations (techniques radiochronologiques appliquées aux roches terrestres, lunaires et aux météorites) montrent que les roches les plus vieilles ont au moins 3,8 milliards d'années

tandis que certains échantillons rapportés de la Lune ont plus de 4,2 milliards d'années. Les météorites primitives ont des âges de l'ordre de 4,5 milliards d'années. Cet âge commun aux corps les plus primitifs du système solaire est considéré comme l'âge de formation des planètes.

6 – Conclusion

La terre nous entraîne d'abord dans l'espace à la vitesse de 30 m/s (mètre par seconde) au cours de son voyage annuel autour du soleil.

Le système solaire, qui se trouve environ à la moitié du rayon de la galaxie, accomplit son périple autour du centre de la voie lactée à 230 Km/s.

La voie lactée, attirée par la gravitation, fonce vers sa cousine, la galaxie Andromède à la vitesse de 90 Km/s.

Toutes les deux, qui font partie d'un petit amas de galaxie qu'on appelle le groupe local, avancent à quelques 600 km/s toujours attirées par la gravitation vers un autre amas plus important : l'amas de la vierge qui se situe dans le "super-amas" de l'Hydre et du Centaure. Ça ne s'arrête pas là, puisque les super-amas tombent à leur tour vers une gigantesque concentration de galaxies que les astronomes ont surnommé "le grand attracteur".

IV – La différenciation et l'évolution de la planète Terre

A – L'atmosphère

On appelle atmosphère l'enveloppe gazeuse qui entoure de nombreux corps célestes. Toutes les planètes du système solaire (sauf Mercure) et deux satellites (Titan et Triton) en possèdent. La présence d'une atmosphère, n'est donc pas une particularité de la planète Terre. La présence d'une enveloppe liquide, l'hydrosphère, est plus originale, ce que conduit parfois à parler de "planète bleue". L'atmosphère terrestre, interface de protection de la Terre face au cosmos, est une enveloppe ténue qui a évolué au cours des temps géologiques.

1 - Origine

L'atmosphère peut avoir deux origines : soit il s'agit d'un "reste" de l'atmosphère de la nébuleuse d'origine, elle est alors dite primordiale ou capturée ; soit par dégazage provenant de l'intérieur de la planète, elle est alors considérée comme secondaire.

Des études (modèle de dégazage) ont montré que l'atmosphère terrestre n'est pas primaire mais secondaire. Elle a pour origine l'intérieur de la planète. L'atmosphère résultant du dégazage de la planète pouvait avoir une composition analogue à celle des émissions volcaniques actuelles, c'est-à-dire un gaz oxydé en équilibre avec les roches proches de leur point de fusion. L'atmosphère terrestre est essentiellement composée d'azote et de d'oxygène qu'accompagnent en très petite quantité des éléments volatils tels H, C, S, Cl et des gaz rares. Les gaz constituant l'air sec sont l'azote (78%), l'oxygène (21%), l'argon (1%), le dioxyde de carbone CO₂ (0,034%), puis en plus petite quantité et en ordre décroissant le néon, l'hélium, le krypton, l'hydrogène, le xénon, l'ozone et le radon (éléments atmosphériques) auxquels s'ajoutent, en quantités variables, le méthane, le dioxyde de soufre (SO₂), les oxydes d'azote et les chlorofluorocarbones (CFC) ainsi que la vapeur d'eau.

2 - Structure de l'atmosphère

On découpe l'atmosphère en plusieurs couches en fonction des variations de la température (fig.1.6).

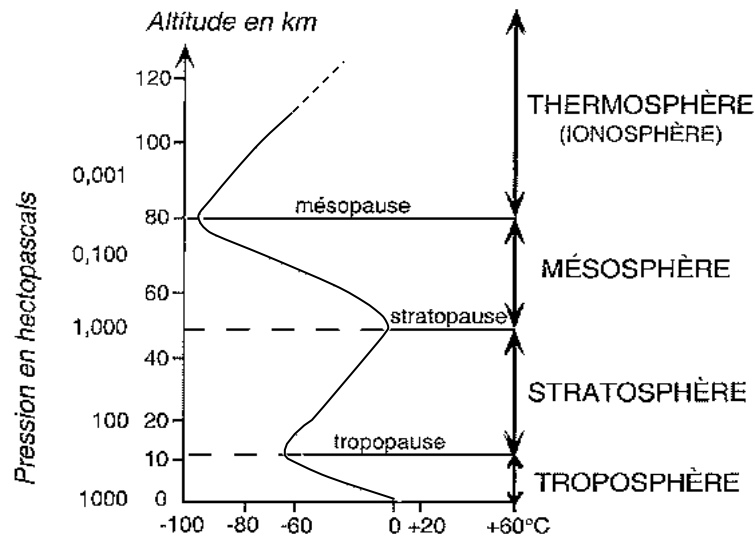


Fig. 1.6 : Structure verticale moyenne de l'atmosphère et l'évolution de la température et de la pression.

* La troposphère est la couche la plus proche du sol. Son épaisseur varie de 7km dans les régions polaires à 18km à l'équateur. Elle représente 3/4 de la masse atmosphérique et contient toute la vapeur d'eau. La température y décroît de 6°C par kilomètre et sa partie supérieure varie de -50°C aux pôles à -80°C à l'équateur.

* La stratosphère s'étend jusqu'à environ 50km d'altitude. Elle est caractérisée par une augmentation régulière de la température qui atteint 0°C à sa limite supérieure. Des vents très violents (jet stream) atteignant 350km/h peuvent être observés.

* La mésosphère voit en 25km, de 50km à 85km, la température passer de 0°C à -90°C.

* La thermosphère se développe ensuite jusqu'à près de 500km. Sa température y passe de -90°C à plus de 1200°C. Dans cette couche, les molécules gazeuses s'ionisent et donnent naissance à l'ionosphère responsable dans l'atmosphère des ondes radio de grande longueur d'onde.

3 - Evolution

L'évolution de l'atmosphère au cours des temps géologiques est caractérisée par une teneur en oxygène supérieure à l'actuelle vers -300 Ma. Cet excès peut être relié à un aspect de l'évolution de la biosphère. Enfin, il est classique de souligner que la présence de l'atmosphère est une condition nécessaire au maintien de la biosphère.

B – La géosphère

Le terme géosphère regroupe l'ensemble des enveloppes solides de la planète Terre (croûte, manteau et noyau). Leur étude plus détaillée sera abordée dans le chapitre suivant.

C – La biosphère

Parmi les systèmes dynamiques de notre planète, la biosphère est le plus récent. Les connaissances sur les premiers stades de la biosphère sont hypothétiques et relèvent d'expérimentations en laboratoire (confère cours de biologie).

V – L'avenir de la planète Terre

L'histoire de la planète Terre a débuté il y a 15 milliards d'années. On se demande que sera demain? On peut envisager des hypothèses à court, moyen et long terme.

A – A court terme : la biosphère et l'Homme

Dans notre monde actuel, la médiatisation des découvertes scientifiques fait croire que l'Homme est en train de bouleverser son évolution et celle de la biosphère qui l'entoure. La biosphère actuelle est un énorme système naturel autorégulé dans lequel l'Homme ne représente qu'une infime fraction pondérale mais dont l'action est parfois très importante. Mais quelque soit son futur, la biosphère survivra à l'Homme.

Enfin un dernier aspect concerne l'utilisation par l'Homme d'énergies renouvelables, comme les charbons et les pétroles. Les exploitations de ces ressources sont sujettes à des crises et limitées dans le temps. Mais quoiqu'il en soit, les techniques connues aujourd'hui, inventées demain, font et feront que l'Homme détient les rênes de son évolution.

B – A moyen terme : la planète Terre figée

L'énergie interne du globe provient de la désintégration des éléments radioactifs à demi-vie longue. Tôt ou tard, la machinerie géodynamique de la Terre s'arrêtera.

Mais avant que nos plaques s'immobilisent, les mouvements actuels vont se poursuivre :

- l'Atlantique continuera de s'ouvrir
- l'Australie n'arrêtera pas sa marche vers le Nord
- le rift Est-Africain deviendra un océan étroit qui libérera le radeau somalien
- et ainsi de suite...

De nouvelles déchirures apparaîtront, mais nous ne savons actuellement ni où, ni quand.

Quand toute l'énergie de la Terre sera épuisée, les dernières orogénèses seront soumises à l'aplanissement. En quelques dizaines de millions d'années la planète Terre aura perdu tous ses reliefs. Volcanisme et sismicité disparaîtront et notre géosphère sera figée mais n'empêchera pas la survie de la biosphère.

C – A long terme : la mort du Soleil

Les réserves d'hydrogène de notre Soleil nous assurent encore 5 millions d'années de ses bons et loyaux services. Puis avec l'épuisement de ses réserves d'hydrogène, le Soleil va commencer à brûler son hélium en carbone et en oxygène : il va devenir une géante rouge. Sur la planète Terre, l'augmentation de la température va provoquer la fusion des calottes glaciaires, une élévation du niveau marin et la création d'une épaisse couverture nuageuse. Puis la température poursuivant son inexorable augmentation l'atmosphère s'évaporerait, les cieux redeviendraient clairs et la végétation s'enflammerait, la biosphère sera réduite en cendres. Poursuivant sa dilatation, le Soleil va fondre en quelques milliers d'années puis vaporiser tour à tour les autres planètes. Notre système Solaire sera devenu une nébuleuse planétaire. A partir de là, de nouvelles nébuleuses vont s'assembler, dans lesquelles de nouveaux soleils vont naître et de nouveaux cortèges planétaires s'individualiser.

VI - CONCLUSION

La Terre est une Planète singulière du système solaire. C'est la seule planète à posséder une atmosphère riche en oxygène et une hydrosphère développée. A ce titre, elle est une "**Planète vivante**"

L'eau représente le principal agent de l'érosion et est à l'origine d'une **dynamique externe** très importante qui modèle sa surface.