

# Structure générale du globe

Nous vivons sur une boule rocheuse entour par une mince couche d'air. Toute la vie terrestre est conditionnée par le Soleil.

La **Terre** est la plus grande, la plus massive et la plus dense des planètes internes, la seule dont on connaisse une activité géologique récente et qui abrite la vie. Son *hydrosphère* liquide est unique parmi les planètes telluriques et elle est la seule planète où une activité *tectonique* a été observée. L'*atmosphère* terrestre est radicalement différente de celle des autres planètes, ayant été altérée par la présence de formes de vie pour contenir 21 % d'oxygène.

## I. Structure de la terre : Différents sphères de la Terre

La connaissance directe de la structure de la Terre ne concerne que l'atmosphère, l'hydrosphère et la partie supérieure de l'écorce. L'investigation des couches profondes se fait indirectement par des déductions. Notre terre est constituée par une série d'enveloppes :

- Les *enveloppes externes*
  - Magnétosphère.
  - Atmosphère.
  - Hydrosphère.
  - Biosphère.
- Les *enveloppes internes*
  - Croûte terrestre
  - Manteau.
  - Noyau

## 1. Structure externe de la Terre : Enveloppes externes de la Terre

### 1.1. Magnétosphère

Notre planète génère son propre champ magnétique, un peu à la manière d'une gigantesque dynamo. C'est la différence de vitesse entre la rotation de la planète et de son cœur liquide qui, par frottement, génère ce champ magnétique (Jault D., et al., 2010).

La *magnétosphère* Est l'ensemble des lignes de *champ magnétique terrestre* situées au-delà de l'ionosphère, au-dessus de 800 à 1000 km d'altitude.

La *magnétosphère* est plongée dans le vent solaire, et déformée par celui-ci : sa forme très allongée, comprimée du côté du soleil (coté jour) et étirée du coté nuit, un peu comme la queue d'une comète.

En réalité la *magnétosphère* agit comme un écran et protège la surface terrestre des excès du vent solaire (Bombardement par des particules ionisées constituant ce flux issu du Soleil), nocif pour la vie.

La Terre est une planète entourée de deux enveloppes fluides: L'*atmosphère*, enveloppe gazeuse qui existe sur toutes les planètes sauf Mercure, et l'*hydrosphère*.

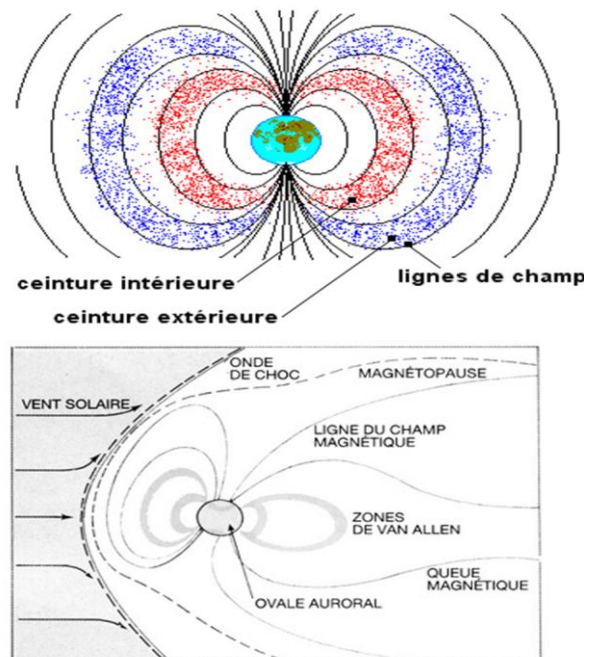


Fig.1 .Magnétosphère de la Terre



Les sources et origines de la plupart des composants gazeux se situent à la surface de la Terre ou de la mer, souvent par l'intermédiaire de la biosphère et de l'activité biologique. C'est le cas pour le dioxyde de carbone, l'oxygène et la vapeur d'eau, comme la plupart des gaz d'origine anthropique et les gaz à effet de serre tel le méthane.

*L'atmosphère protège la vie sur Terre en absorbant le rayonnement solaire ultraviolet, en réchauffant la surface par la rétention de chaleur (effet de serre) et en réduisant les écarts de température entre le jour et la nuit.*

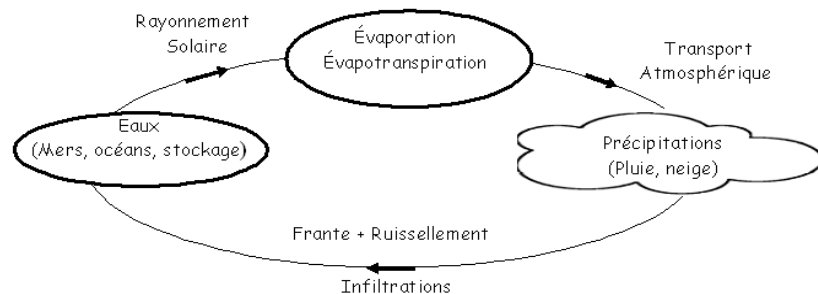
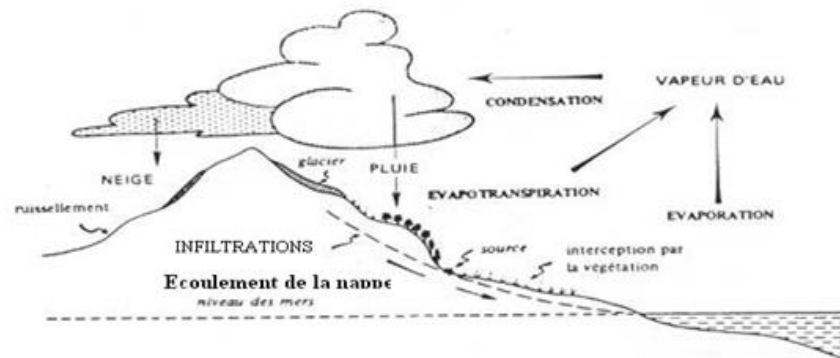
**B- Hydrosphère :** (du grec. *hudor* = eau et *sphaira* = sphère).

- Est un terme désignant l'ensemble des zones d'une planète où l'eau est présente. Elle concerne aussi bien l'eau sous forme liquide (océans, fleuves, lacs, les cours d'eau, eaux souterraines.....), que sous forme solide (glaciers, banquise...) ou sous forme gazeuse (vapeur d'eau). (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Hydrosph%C3%A8re>)

- C'est la totalité des eaux de la Terre (océans, fleuves, lacs, les cours d'eau, eaux souterraines.....).

⊗ **Cycle de l'eau (cycle hydrologique)**

Est un modèle représentant le parcours entre les grands réservoirs d'eau liquide, solide ou de vapeur d'eau sur Terre : les océans, l'atmosphère, les lacs, les cours d'eau, les nappes d'eaux souterraines et les glaciers. Le « moteur » de ce cycle est l'énergie solaire qui, en favorisant l'évaporation de l'eau, entraîne tous les autres échanges.



**Fig.3. Cycle de l'eau**

Sous l'effet du rayonnement solaire, l'eau des océans et des surfaces terrestres passe en phase gazeuse et s'élève dans l'atmosphère (Fig.4) où elle se condense sous forme de gouttelettes (*Gilli É., et al., 2004*).

### **1.3. Biosphère**

Couche idéale que forme autour de la croûte terrestre l'ensemble des êtres vivants. Elle dépend étroitement de l'énergie solaire et elle comprend : la partie inférieure de l'atmosphère, la partie de l'hydrosphère et la partie supérieure de la lithosphère.

*La biosphère répond à la grande distinction entre le monde vivant et le monde inerte. Elle comprend l'ensemble des être vivants et elle se concentre à l'interface entre atmosphère et hydrosphère ou la surface des continents. Mais la biosphère est néanmoins également présente au sein de la lithosphère au moins jusqu'à une profondeur de quelques kilomètres sous forme microbienne, et au sein de l'hydrosphère et de l'atmosphère.*

**\*\*La biosphère est un milieu de vie très variée (espèces nombreuses et diversifiées =Biodiversité).**

## **2. Structure interne de la Terre : Enveloppes internes de la Terre**

### **2.1. Introduction**

- Pour bien comprendre la formation des Minéraux et des Roches il faut connaître la structure interne de la Terre.

- La Terre est constituée d'une série de couches concentriques de propriétés chimiques et/ou physiques différentes. La structure interne de la Terre a été mise en évidence en grande partie grâce à l'étude de la propagation des ondes sismiques émises pendant les grands tremblements de terre. Les autres informations concernant la structure et la composition interne de la terre proviennent de :

- L'échantillonnage direct de la croûte terrestre ;
- L'étude des morceaux de roches du manteau supérieur remontés par certains volcans ;
- L'étude des météorites ;
- Et les travaux expérimentaux de laboratoire (étude du comportement des minéraux du manteau à haute pression haute température grâce à l'utilisation de la cellule à enclumes de diamant).

### **2.2. Les couches de compositions chimiques différentes : Fig.5**

La *structure interne de la Terre* est répartie en plusieurs enveloppes successives. Selon la composition chimique, on distingue trois parties principales : la croûte, d'épaisseur allant de 10 à 70 kilomètres, puis le manteau, qui s'étend de la base de la croûte jusqu'à une profondeur de 2900 kilomètres et enfin le noyau.

**a- La croûte (ou écorce):** Qui compose la surface de la Terre est de loin, la couche la moins épaisse, mais la plus superficielle, compte pour moins de 2% en volume et qui est solide.

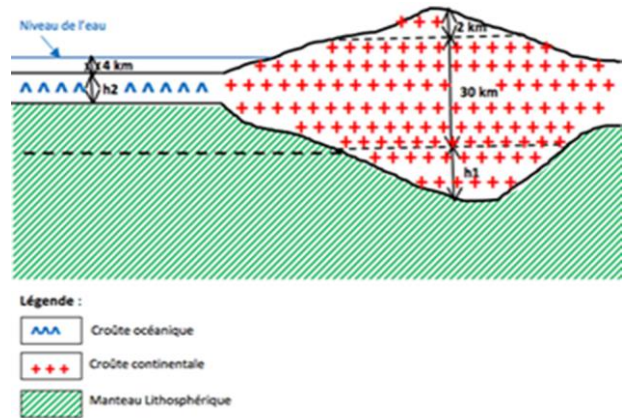
La composition chimique de la croûte est connue par l'observation directe des roches (le plus grand forage jamais réalisé, celui de la presqu'île de Kola en Russie, atteint 12 kilomètres de profondeur) et par l'étude des ondes émises par les séismes proches ou par les séismes provoqués. **La croûte est divisée en deux parties : La croûte continentale et la croûte océanique.**

⊗ **La croûte continentale** : Qui est plus épaisse à cause de sa plus faible densité (densité 2,7 à 3), s'étend de 30 à 70 km, possède près de la surface la composition moyenne des granites et qu'on nomme **SIAL** (silicium-aluminium).

La croûte continentale a une composition de roche magmatique intermédiaire (Nicollet C., 2014).

⊗ **La croûte océanique** , celle qui en gros se situe sous les océans, qui est épaisse de 8 à 10 km de densité 3,2 et constitue le plancher des océans.

Sa composition est basaltique et qu'on nomme aussi **SIMA** (silicium-magnésium).



**Fig.4. Croûte terrestre**  
(Source : Brahic A., et al., 1999)

**Origine de la croûte terrestre :**

Qu'elle soit continentale ou océanique, la croûte est toujours issue de la **fusion partielle des péridotites du manteau** qui donne naissance à un **magma**. Ce magma cristallise plus ou moins rapidement pour former ou régénérer une croûte.

**Nature minéralogique de la croûte :**

L'enveloppe solide la plus superficielle (croûte = écorce) est composée de granite (croûte continentale) ou de basalte (croûte océanique).

**Les principaux éléments chimiques qui composent la croûte terrestre :**

(Source : Pierre. A.B., 2004)

<b>Oxygène (O)</b>	<b>46,6 %</b>	<b>~75 %</b>
<b>Silicium (Si)</b>	<b>27,7</b>	
Aluminium (Al)	8,1	
Fer (Fe)	5,0	
Calcium (Ca)	3,6	
Sodium (Na)	2,8	
Potassium (K)	2,6	
Magnésium (Mg)	2,1	
... les autres	1,5	

**Comparaison entre la croûte continentale et la croûte océanique :**

Croûte \ Agents	Genèse	Composition	Épaisseur, Km	Âge, Ma
<b>Continental</b>	Fusion partielle des péridotites du manteau.	Type granitique. (γ)	30 - 70	Jusqu'à 4000
<b>Océanique</b>	Fusion partielle des péridotites du manteau.	Type basaltique. (β)	5 - 15	Toujours < 200

La base de la croûte est caractérisée par un brusque changement de densité (2,9 à 3,3 g/cm<sup>3</sup>). Un géologue croate, Andrija Mohorovicic a découvert en 1909 l'existence d'une discontinuité dans la propagation des ondes

sismiques. On appelle *discontinuité de Mohorovicic* ou *Moho*, la discontinuité sismique qui marque la limite entre la croûte et le manteau. Le Moho est situé à environ 35 km jusqu'à 70 km sous les grandes chaînes de montagnes) sous les continents, et à environ 10 km sous les océans.

**b- Le manteau :** Sous le Moho s'étend le manteau qui occupe 83 % du volume de la Terre et représente 67 % de sa masse. Il s'étend en profondeur jusqu'à environ 2900 km. La composition moyenne du manteau est celle d'une roche nommée *péridotite (roche ultrabasique riche en silicates de magnésium et de fer)* composée d'olivine, de pyroxène et de grenat. La composition chimique moyenne du manteau ne change pratiquement pas, mais la minéralogie du manteau varie en fonction de la profondeur (voir le paragraphe sur les couches de propriétés physiques différentes).

Une ultime discontinuité située à 2900 km de profondeur, sépare le manteau inférieur du noyau. Elle se traduit par une augmentation de densité de 5,5 g/cm<sup>3</sup> à 10 g/cm<sup>3</sup> : c'est la discontinuité de *Gutenberg*, découverte en 1913.

#### Nature minéralogique du manteau :

Le sommet du manteau (jusqu'à 400km de profondeur) serait de nature *péridotitique* de type *olivine*. Entre 400 et 2900km, la pression augmentant, les minéraux vont prendre une structure cristalline de plus en plus dense (sans modification de la composition chimique) sous forme d'abord de *spinelle* (jusqu'à 650-700 km, limite manteau inférieur/supérieur) puis de *pérovskite* à la base du manteau.

*Péridotite : Roche magmatique ultrabasique grenue constituée d'olivine dominante accompagnée de pyroxène et de spinelle (picotite, chromite).*

*Olivine : Est un minéral du groupe des silicates, sous-groupe des néosilicates, de formule (Mg,Fe)<sub>2</sub>[SiO<sub>4</sub>] . Elle cristallise dans le système cristallin orthorhombique.*

*Spinelle : Est une espèce minérale de la famille des oxydes (oxyde de magnésium et d'aluminium) de formule MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (oxyde de magnésium et d'aluminium).*

*Pérovskite : Désigne à l'origine le minéral CaTiO<sub>3</sub> (titanate de calcium).*

**c- Le noyau :** Constitue la partie centrale de la Terre et qui forme 17% du volume terrestre et qui se divise en deux couches, **noyau interne** ou **graine**, une boule de *fer solide* située à 6380 km de la surface de la terre *solide* et **noyau externe** (la brusque interruption de propagation des ondes S à la limite entre le manteau et le noyau indique que le noyau externe est *liquide - mélange fluide de fer et de nickel* ), séparé par une discontinuité (*discontinuité de Lehmann*) à 5150 km de profondeur. A la limite entre ces deux couches, la densité passe de 12,3 g/cm<sup>3</sup> à environ 13,3 g/cm<sup>3</sup>, et atteint 13,6 g/cm<sup>3</sup> au centre de la Terre, soit à 6380km.

#### Nature minéralogique du noyau :

Le noyau est constitué essentiellement de *fer* (Fe) et de *nickel* (Ni).Le passage au noyau Interne S'accompagne de la cristallisation du fer et du nickel expulsant les éléments légers vers le noyau externe.

### **3. Les couches de propriétés physiques différentes : Fig.5**

Des discontinuités sismiques ont été mises en évidences dans le manteau de la Terre et sont dues principalement aux changements des propriétés physiques. Il est important de rappeler qu'il n'existe pas de changements majeurs de composition chimique dans le manteau. On distingue ainsi : *la lithosphère, l'asthénosphère* et la *mésosphère*. Cette division de la structure interne du globe est à la base de la théorie de la tectonique des plaques.

**a- La lithosphère :** (du grec *lithos* :  *Pierre*, et sphère), est l'enveloppe terrestre rigide de la surface. Elle comprend la *croûte terrestre* (océanique et continentale) et la *partie supérieure du manteau supérieur*.

La lithosphère est caractérisée par sa rigidité et son élasticité. La vitesse des ondes sismiques est élevée. Son épaisseur est de 100 km en moyenne (70 km sous les océans et 130 km sous les continents). Elle est divisée en un certain nombre de plaques tectoniques, également appelées *plaques lithosphériques*. La lithosphère, rigide, repose sur l'*asthénosphère*, solide mais ductile, plus facilement déformable car constituée de roches de relativement faible viscosité.

**b- L'asthénosphère :** (*Barrell J., 1914*, du grec *asthenos* : *sans résistance* et sphère): Est la partie ductile (plus visqueuse) du manteau supérieur terrestre. Elle repose sous la lithosphère rigide et sur la mésosphère (manteau inférieur). Les roches de l'asthénosphère sont relativement malléables (rigidité faible) et peuvent être facilement déformées.

*L'asthénosphère, moins rigide, qui permet par glissement le déplacement des plaques de la croûte.*

L'asthénosphère est divisée en deux parties :

- **L'asthénosphère supérieure**, qui s'étend entre 120 km et 250 km, appelée **LVZ** (low velocity zone : Zone à Faible Vitesse de propagation des ondes sismiques. La vitesse de propagation des ondes sismiques diminue dans cette région). C'est la couche où la péridotite subit une fusion très faible, ce qui lui permet de se déformer facilement. Dans cette zone à faible vitesse de propagation entre 100 à 250 km, il n'existe pas de diminution en densité ou en composition. Cette zone est de même composition que le reste du manteau.
- **L'asthénosphère inférieure**, qui s'étend de 250 km à 670 km de profondeur. Les roches redeviennent relativement rigides (malgré la température élevée, à cause des fortes pressions qui compriment les roches). Une discontinuité sismique a été mise en évidence dans cette couche à 400 km de profondeur.

Elle est due à un changement de la structure de l'olivine (qui est l'un des principaux minéraux de la péridotite).

L'asthénosphère et la lithosphère sont séparées par la **discontinuité LVZ** (Low Velocity Zone, zone des faibles vitesses).

**c- Le manteau inférieur ou mésosphère :** (du grec *meso* : *moyen* ou *milieu*): qui s'étend de 670 km à 2900 km de profondeur. Cette couche est caractérisée par une nouvelle discontinuité sismique à une profondeur de 670 km. La densité du manteau augmente de 10%. Cette discontinuité serait due aux conditions de température et de pression à cette profondeur qui conduisent à une nouvelle transformation minéralogique, les minéraux de l'asthénosphère inférieure seraient remplacés par un assemblage de minéraux de type *perovskite silicatée* et *d'oxyde de magnésium*. La discontinuité de 670 km correspond aussi à la profondeur maximale des foyers des tremblements de terre.

**d- le noyau :** Est divisé en deux couches selon les propriétés physiques : un *noyau externe liquide* et un *noyau interne ou graine (solide)* séparé par une *discontinuité* (discontinuité de *Lehmann*) à 5150 km de profondeur.



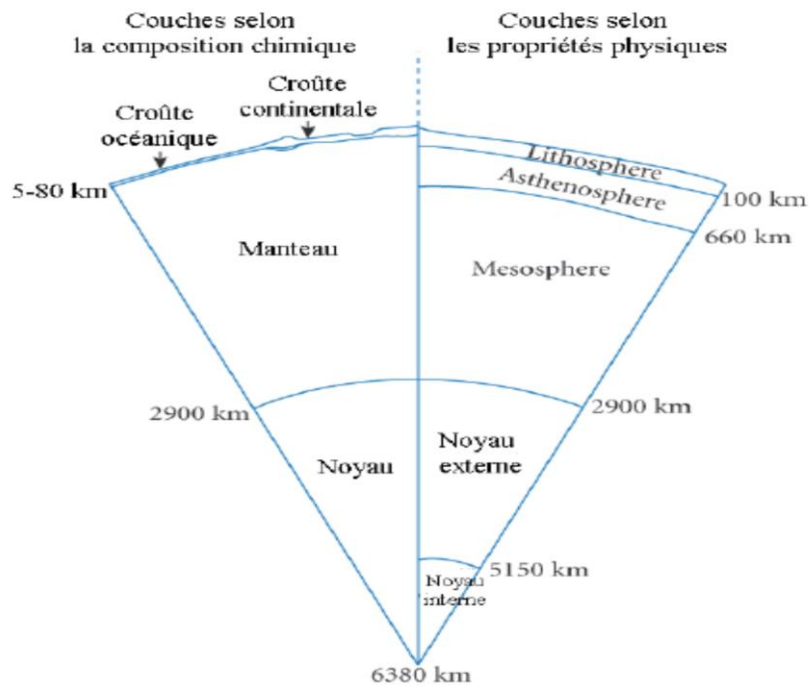


Fig.5: Structure interne de la Terre selon la composition chimique (à gauche) et propriétés physiques des couches (à droite) (D'après Hefferan et O'Brien, 2010, Earth Materials)

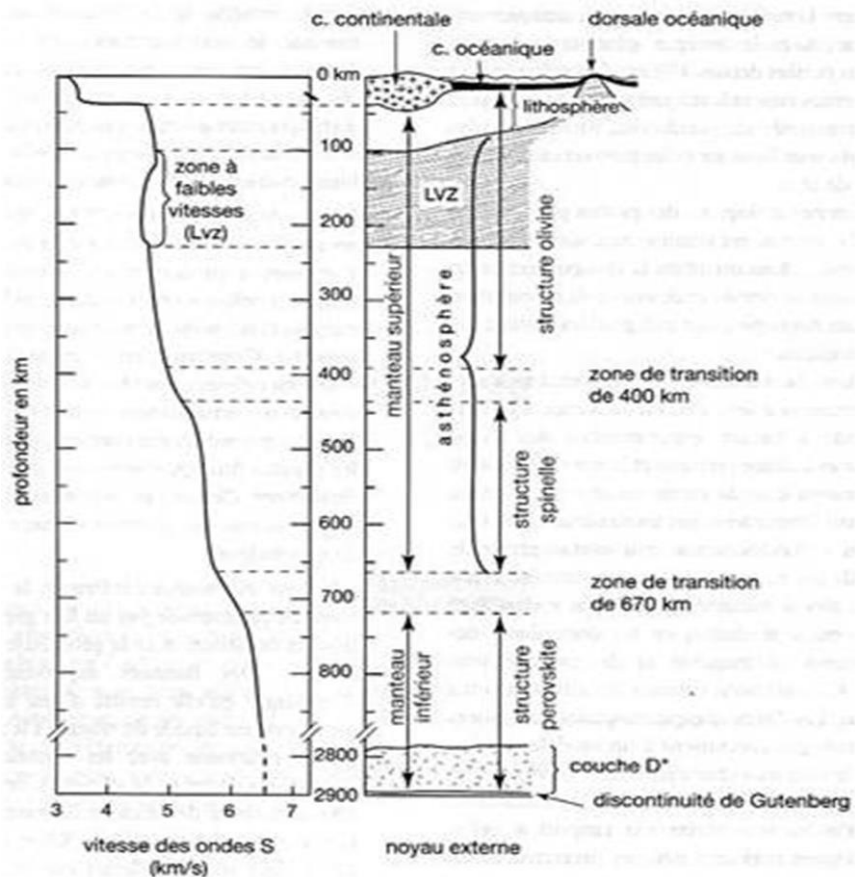


Fig.6: Détails de la structure interne de la Terre selon les propriétés physiques. A gauche : variation des vitesses des ondes sismiques transversales (S). (D'après Brahic et al. 1999, Sciences de la Terre et de l'Univers)



