

ST-B poly 01

Structure de la Terre - documents

Fig. 1. La Terre : quelques données ★★ [2][1]

Age de la Terre

On estime que l'âge de l'univers est de 15 milliards d'années et que l'âge du système solaire est de 4,6 milliards d'années.

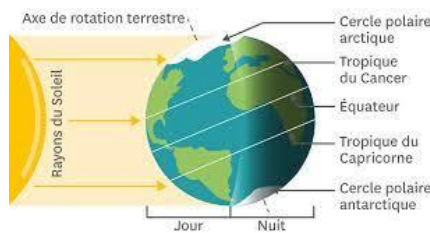
La formation de la Terre est estimée à 4,45 milliards d'années.

Les plus vieilles roches continentales sont datées d'environ 3,8 milliards d'années (au Groenland).

Quelques données géophysiques

La **densité** moyenne de la Terre est de 5,5 (densité élevée, caractéristique des planètes telluriques).

La Terre est considérée comme un solide dont la forme est proche d'un ellipsoïde de révolution (sphère avec aplatissement de 1/300 aux pôles), de rayon d'environ 6400 km (6370). La différence entre le rayon polaire et le rayon équatorial est de 22 km.



La Terre, une planète du système solaire

La Terre est en orbite autour du soleil, à une distance moyenne de 149 600 000 km, soit 1 unité astronomique (1 UA), ou 8,32 minutes-lumière (1 année lumière = 10 000 milliards de kilomètres environ).

Plus précisément, la Terre tourne autour du Soleil selon une **trajectoire elliptique** (l'orbite). Le **Soleil** est à **un des foyers** de l'ellipse. Donc la Terre passe par une **distance minimale : périhélie** (146 millions km) et une **distance maximale : aphélie** (151 millions km). L'ellipse est située dans un plan dit **plan de l'écliptique**. Toutes les planètes réalisent leur révolution dans le plan de l'écliptique à un angle près : angle formé par l'ellipse et le plan de l'écliptique (angle d'inclinaison).

La **période de révolution** de la Terre est de **365,256 jours**. La période de révolution d'une planète est d'autant plus grande que la distance de la planète au Soleil est grande.

Par ailleurs, chaque planète est en **rotation** autour d'un axe propre, le temps de rotation de la Terre est de presque **24h**.

L'axe de rotation forme un angle par rapport à la normale au plan de l'écliptique : c'est l'**obliquité** de l'axe de rotation. Il est d'environ $23,5^\circ$ pour la Terre. C'est l'obliquité de l'axe de rotation qui est à l'origine des saisons.

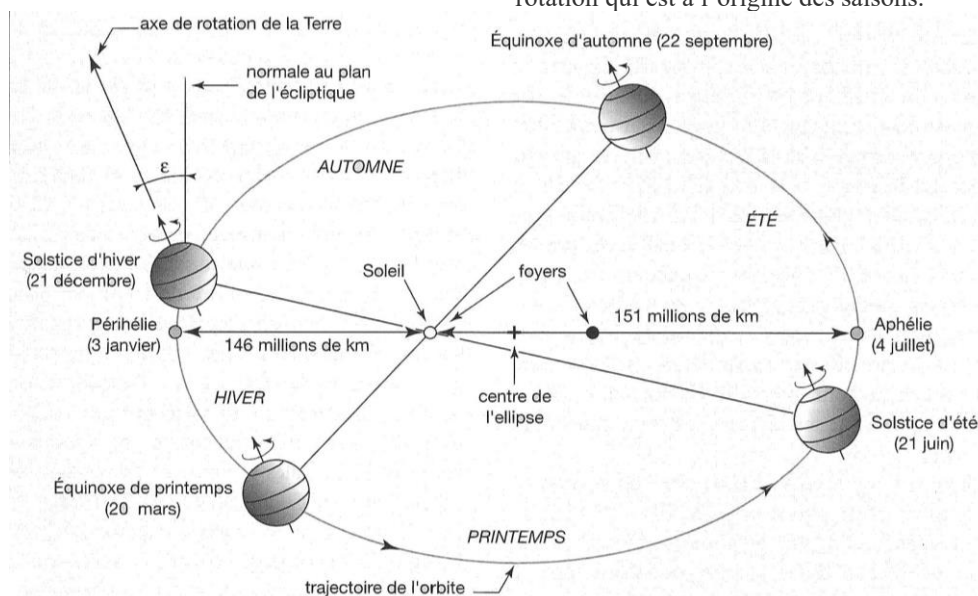
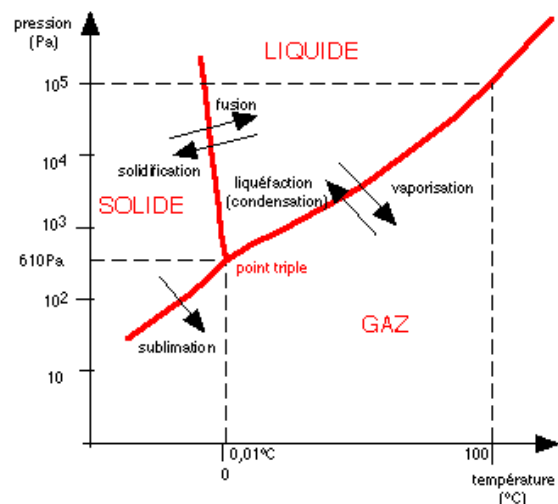


Fig. 2. Diagramme de phase de l'eau. ★ [1]



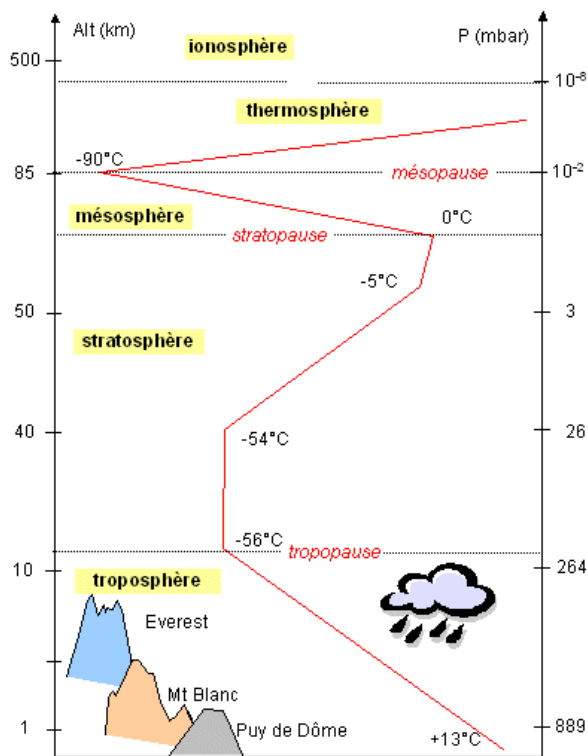


Fig. 3. Stratification verticale de l'atmosphère terrestre. ★★ [1][3]

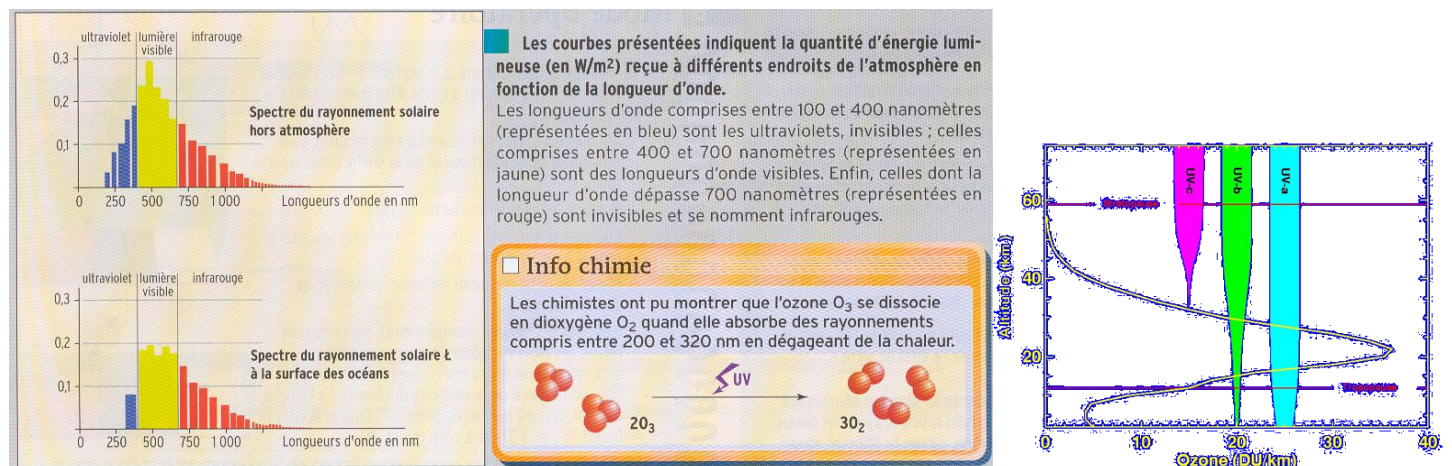


Fig. 4. Ozone et protection contre les UV. ★ [4][3]

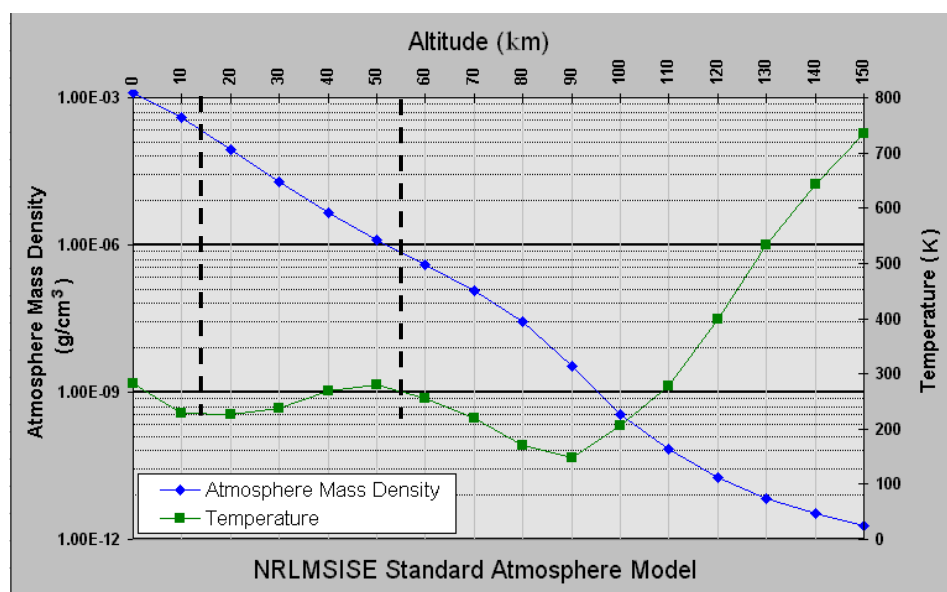


Fig. 5. Densité et température de l'atmosphère en fonction de l'altitude. ★★ [3]

Grands réservoirs	Ensemble des eaux		Eaux douces	
	Volumes d'eau stokés		Volumes d'eau stockés	
	10 ⁶ km ³	%	10 ⁶ km ³	%
Océans	1 340	97,1		
Glaces	24	1,7	24	60,0
Eaux souterraines (*)	16	1,2	16	40,0
Eaux de surface	0,176	0,01	0,090	0,2
Atmosphère	0,013	0,001	0,013	0,03
Eau biologique	0,00112	0,0001	0,00112	0,003
Total hydrosphère	1 380		40	
(*) Les eaux souterraines envisagées ici concernent uniquement les eaux très superficielles.				

Fig. 6. Les grands réservoirs d’eau sur Terre. ★ [1]

Fig. 7. Les océans terrestres. ★★★ [3]

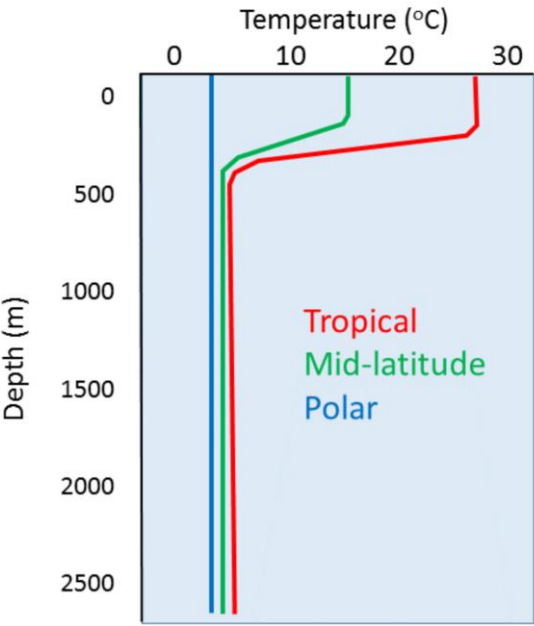
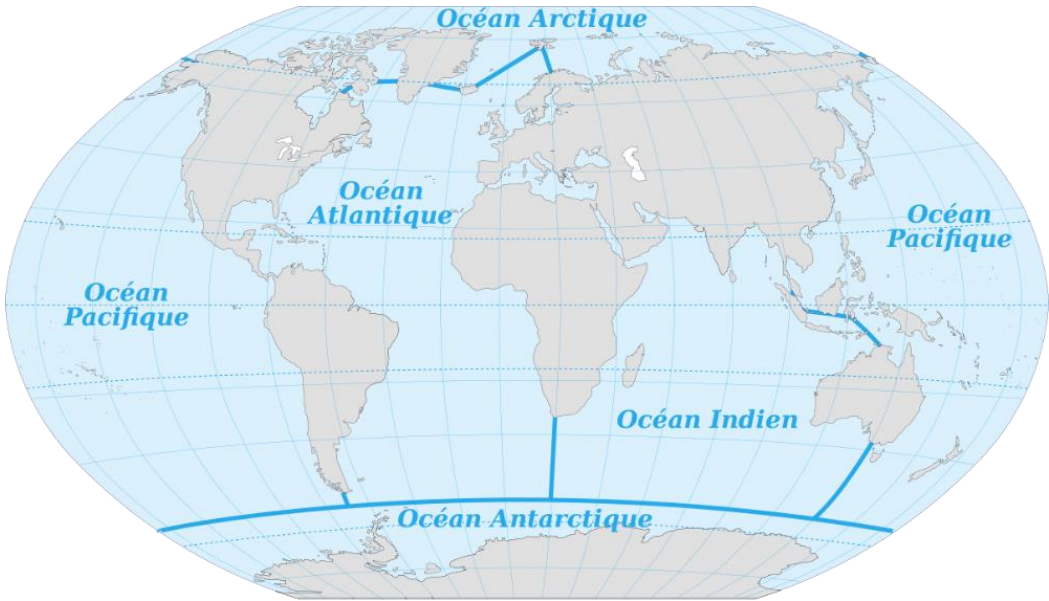


Fig. 8. Evolution de la température océanique en fonction de la profondeur, à différentes latitudes. ★★★ [1]

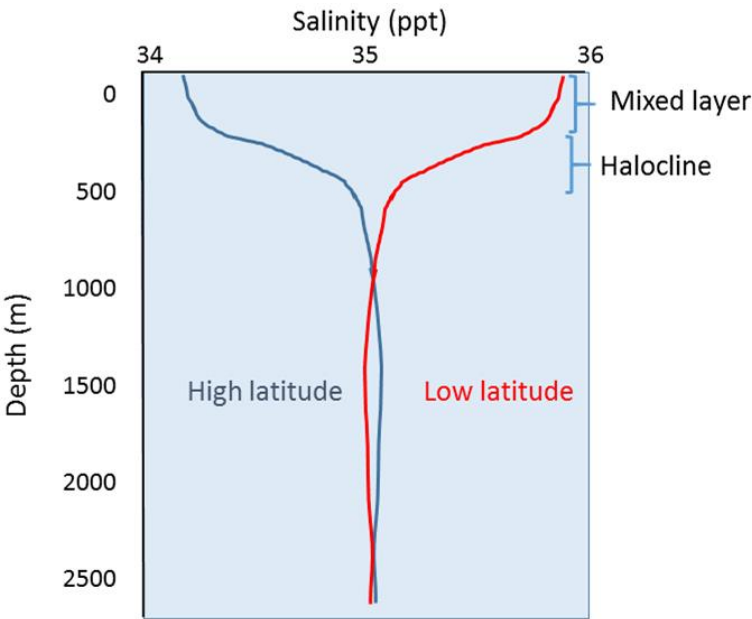


Fig. 9. Evolution de la salinité en fonction de la profondeur, à différentes latitudes. ★★★ [1]

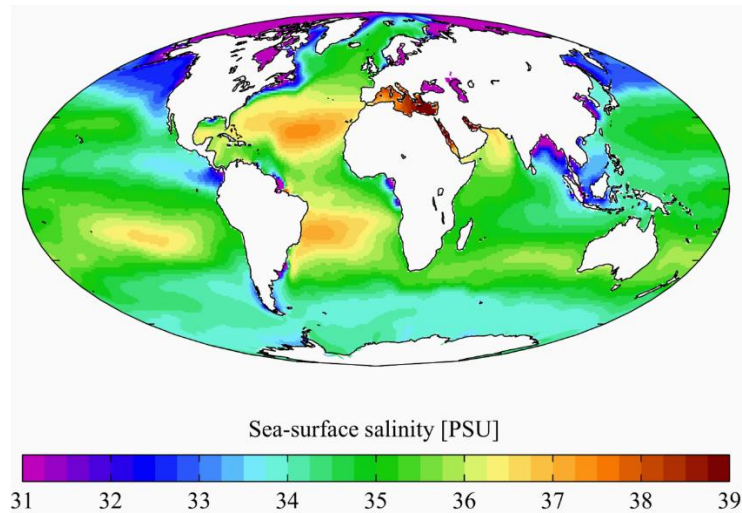


Fig. 10. Salinité des océans. ★ [5]

ion	g/kg
Ions majoritaires	
Cl⁻ chlorure	18,98
Na⁺ sodium	10,55
SO ₄ ²⁻ sulfure	2,65
Mg ²⁺ magnésium	1,27
Ions minoritaires	
Ca ²⁺ calcium	0,40
K ⁺ potassium	0,38
HCO ₃ ⁻ hydrogénocarbonate	0,14
Autres : Br ⁻ , Sr ²⁺ , F ⁻ ... faibles concentrations	

Fig. 11. Composition ionique moyenne de l'océan. ★★ [3]

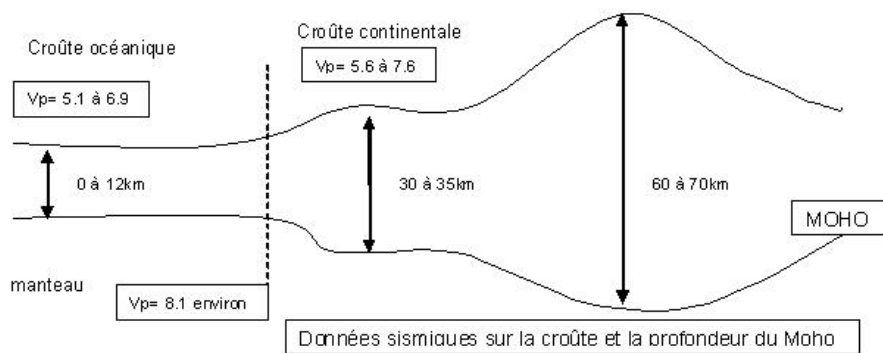


Fig. 12. Profondeur du Moho selon le type de croûte. ★★★ [1]

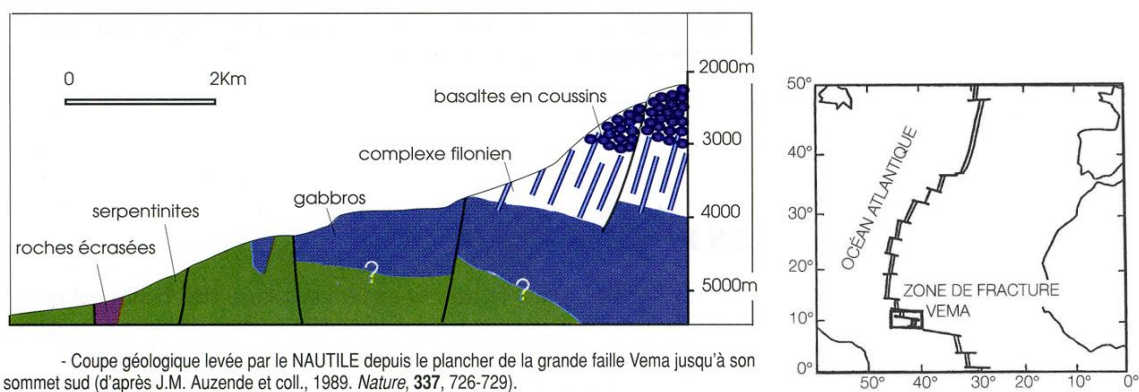
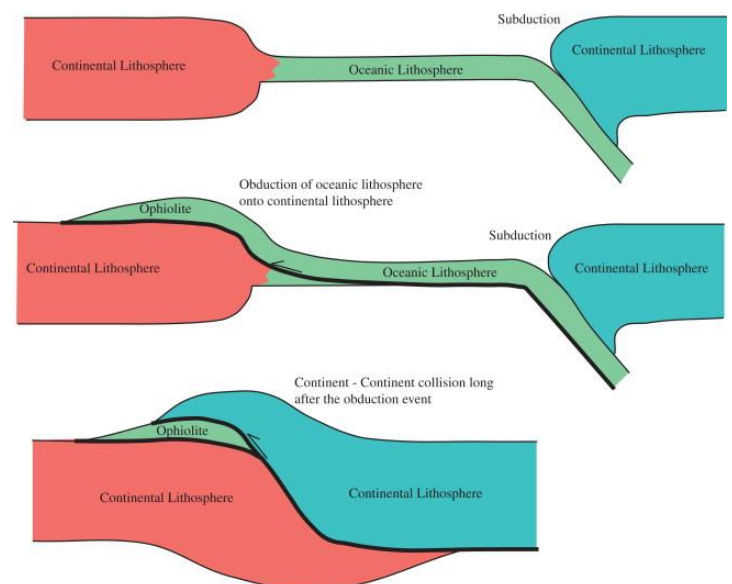


Fig. 13. Observation d'une « coupe naturelle » de la lithosphère océanique par le sous-marin Nautil. ★★★ [1]

Fig. 14. La mise en place d'une ophiolite (au cours d'un processus d'obduction) et son intégration dans une chaîne de collision. ★ [6]



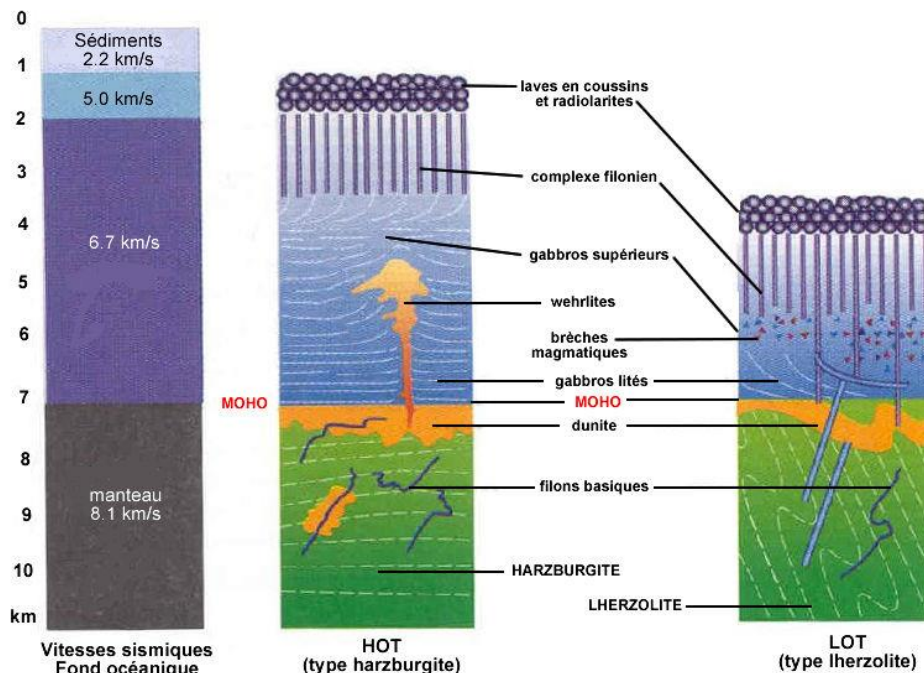
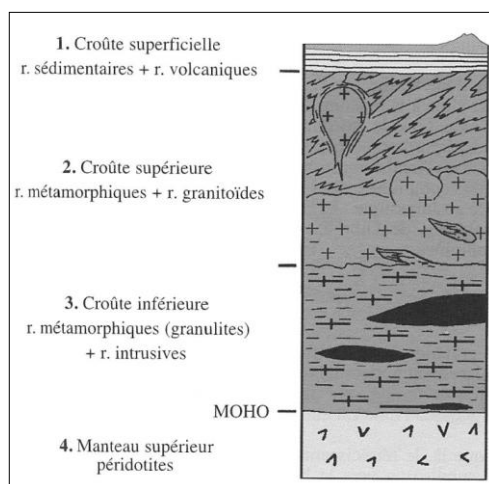


Fig. 15. Structure de la lithosphère océanique. [7]

HOT : lithosphère de type HOT, produite par une dorsale rapide. La péridotite du manteau lithosphérique est de la Harzburgite (péridotite appauvrie). ★★★

LOT : lithosphère océanique de type LOT, produite par une dorsale lente. La péridotite du manteau lithosphérique est de la Lherzolite. ★



ENVELOPPE	DONNÉES SISMiques	DENSITE	EPAISSEUR	ROCHES
COUCHE SEDIMENTAIRE	2.5 km/s	2,5	< 5 km	Roches sédimentaires
CROÛTE SUPÉRIEURE	6 km/s	2,7	10 à 15 km	Granitoïdes (granites orogéniques) Gneiss = couche granitoïdes
CROÛTE INFÉRIEURE	7 km/s	2,8	10 à 15 km	Roches fortement métamorphisées (granulites...) Intrusions basiques d'origine mantellique?
MANTEAU	> 8 km/s	3,3	100 km jusqu'à la LVZ	Péridotites

Fig. 16. Structure de la croûte continentale. ★★★ [1]

Fig. 17. La cellule à enclume de diamant. ★★ [1]

La cellule à enclume de diamant permet de reconstituer les conditions de pression et de température régnant à l'intérieur de la Terre.

Le minéral à étudier est placé **entre deux diamants** gemmes dans un trou d'environ 200 micromètres de diamètre, percé dans un joint métallique ; l'échantillon est accompagné d'éclats de rubis.

Par analyse de la **fluorescence du rubis**, on peut mesurer la **pression** appliquée à l'échantillon. On remplit le reste du trou avec un milieu transmetteur de pression (liquide organique, gaz rare, solides mous) et on comprime l'ensemble. La pression appliquée peut être de l'ordre du million de bars (10^{11} Pa).

Pour $T < 1500$ K, on utilise un **chauffage par four** entourant le diamant. Cependant le diamant se transforme en graphite lorsque la température dépasse les 1500 K.

Pour $T > 1500$ K, on utilise un **chauffage laser de puissance infrarouge**. Comme le diamant est transparent à une grande partie du spectre visible et en particulier au domaine infrarouge et comme la plupart des oxydes et des métaux s'échauffent par absorption d'infrarouges, on réussit à chauffer l'échantillon sans trop échauffer le diamant. La température est mesurée par analyse de la lumière émise par l'échantillon chauffé.

Les échantillons portés à haute pression et haute température sont étudiés par diffraction aux rayons X ou d'autres dispositifs. On fait l'hypothèse que la chimie des péridotites que l'on observe dans les 200 premiers kilomètres du manteau est la même jusqu'à 2900 kilomètres de profondeur. On regarde comment cette roche se comporte si on la soumet aux conditions de pressions et de

températures qui règnent au sein du manteau.

La cellule à enclume de diamant permet d'atteindre des pressions jusqu'à 425 GPa et des températures jusqu'à 5000 K.

Ces résultats combinés à la sismologie permettent de reconstituer un modèle des minéraux et surtout de leur structure cristalline au sein du manteau.

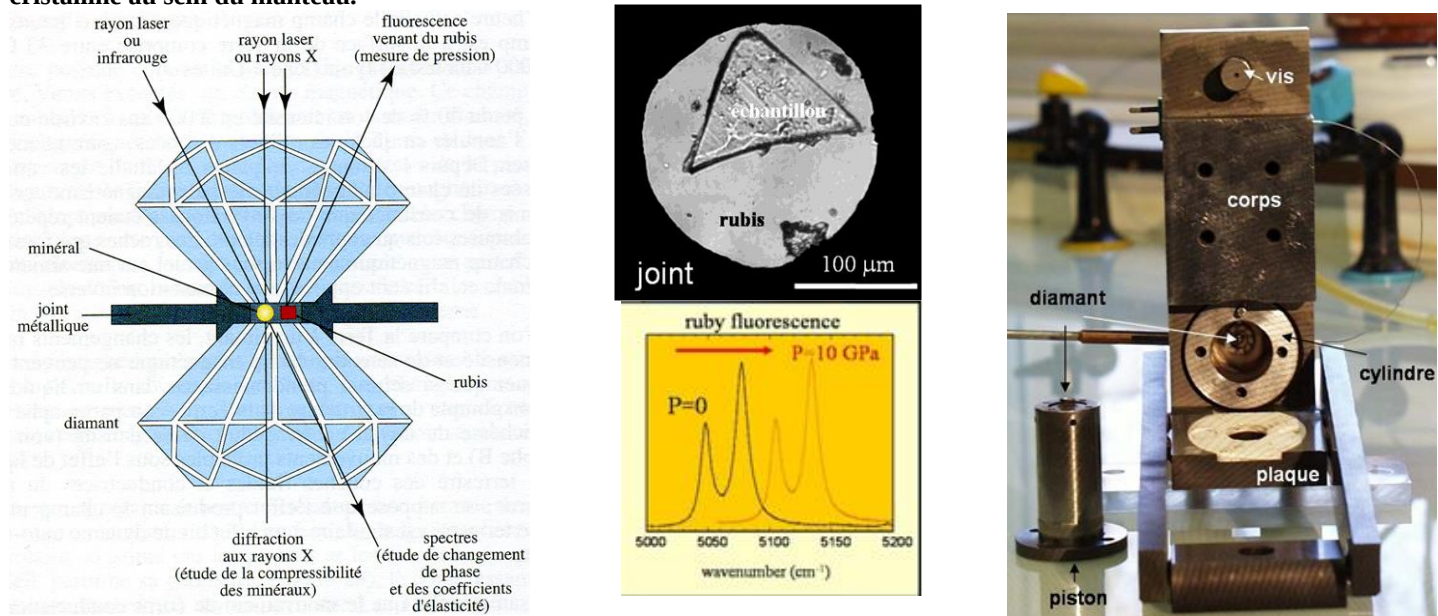
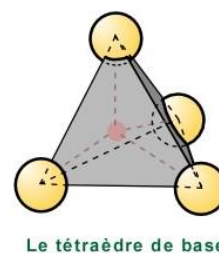
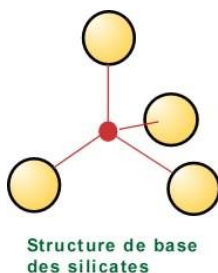


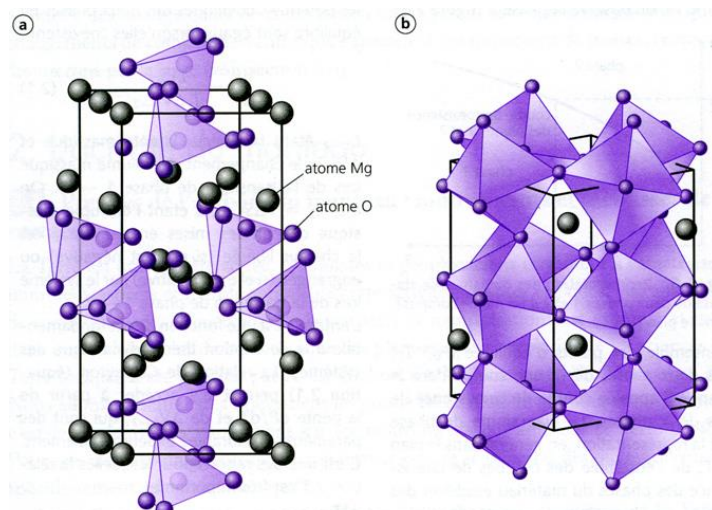
Fig. 18. Les minéraux de la péridotite ★★★

Le tétraèdre des silicates (SiO_4^{4-}),
structure élémentaire des
minéraux silicatés →

Des cations s'associent aux
tétraèdres, ce qui d'équilibrer les
charges.



Olivines	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_4$	Nésosilicates : les tétraèdres sont isolés	Cristaux verts translucides
Grenat	$(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ en général		Cristaux rouges ± hexagonaux
Bridgmanite	$(\text{Mg,Fe})\text{SiO}_3$	(octaèdres de silicate)	
Pyroxènes	$(\text{Mg,Fe,Al,Ca})(\text{Si,Al})\text{O}_3$	Inosilicates : les tétraèdres sont organisés en ligne	Cristaux foncés , plutôt compacts
Plagioclase <i>Feldspaths calco-sodiques</i>	$\text{NaSi}_3\text{AlO}_8 \rightarrow \text{CaSi}_2\text{Al}_2\text{O}_8$ <i>Albite (Na) Anorthite (Ca)</i>	Tectosilicates : les tétraèdres sont reliés dans les trois dimensions	Cristaux clairs , plutôt allongés
Spinelle	MgAl_2O_4	(oxyde de Mg et Al)	



ANION (-)	CATIONS (+)		
	Si^{4+} R = 0,39	Al^{3+} R = 0,51	
	Fe^{3+} R = 0,64	Fe^{2+} R = 0,74	Mg^{2+} R = 0,66
O^{2-} R = 1,40	Na^{1+} R = 0,97	Ca^{2+} R = 0,99	K^{1+} R = 1,33
R = rayon ionique en Angstroms ($1\text{\AA} = 10^{-9}\text{ mm}$)			

Quelques ions des minéraux silicatés

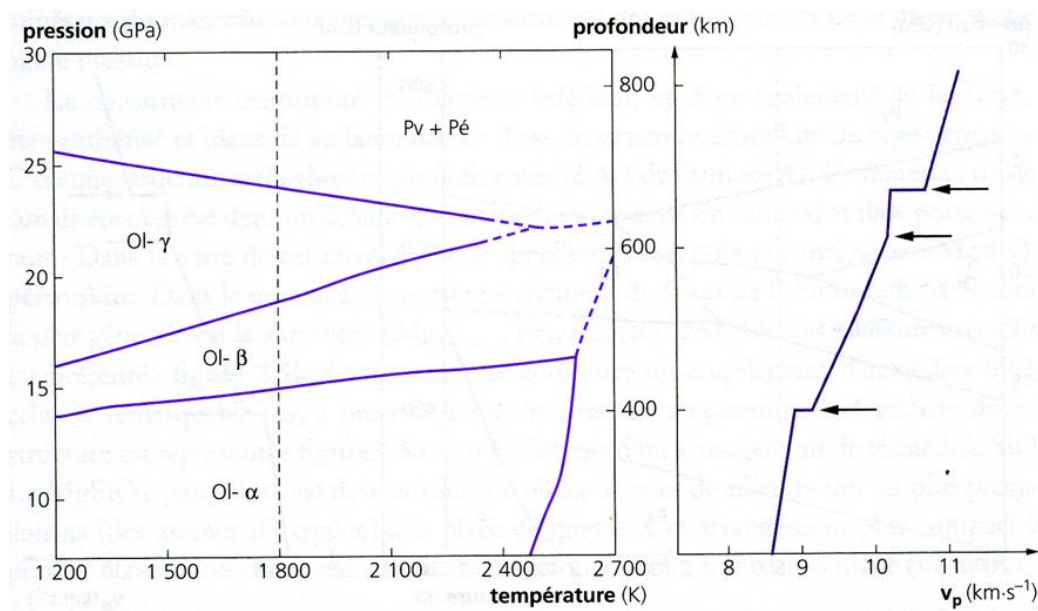


Fig. 19. Diagramme de phase de l'Olivine et relation avec l'évolution des vitesses des ondes P en fonction de la profondeur. ★★ [1]

Ol-α : olivine phase α

Ol-β : olivine phase β (wadsleyite)

Ol-γ : olivine phase γ (ringwoodite)

Pv : Bridgmanite

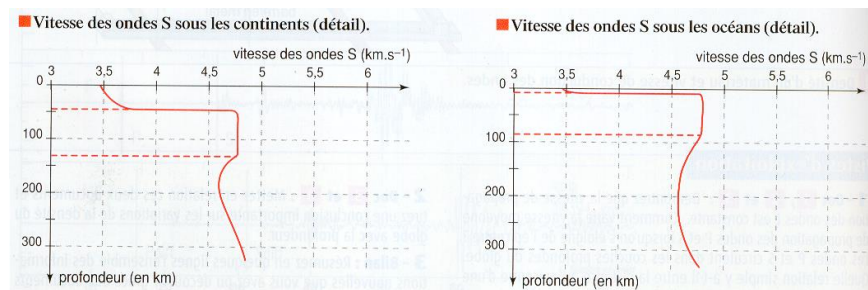
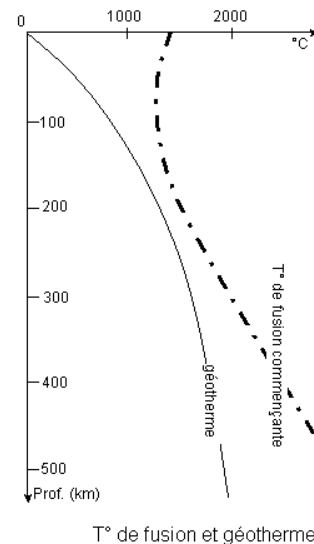


Fig. 20. Mise en évidence de la LVZ. ★★ [1]



T° de fusion et géotherme

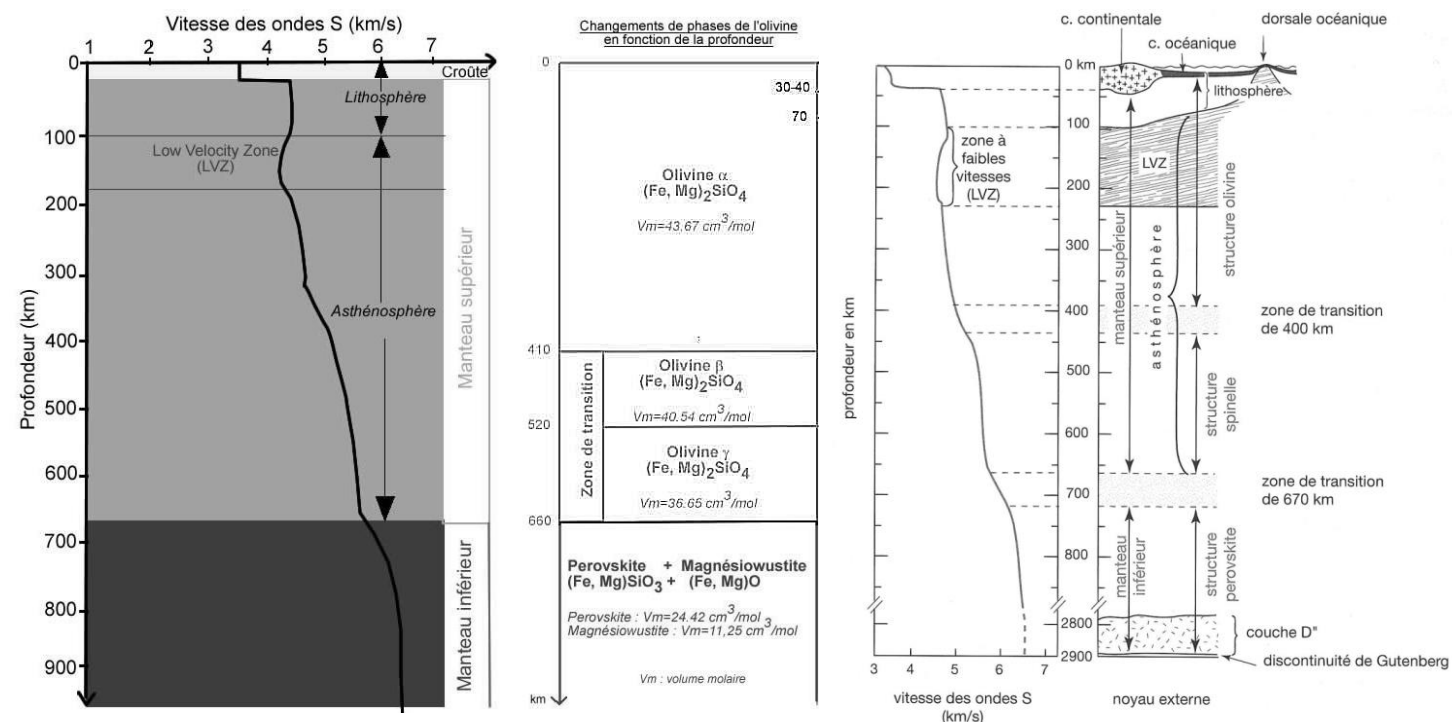


Fig. 21. Structure du manteau. ★★★ [1]

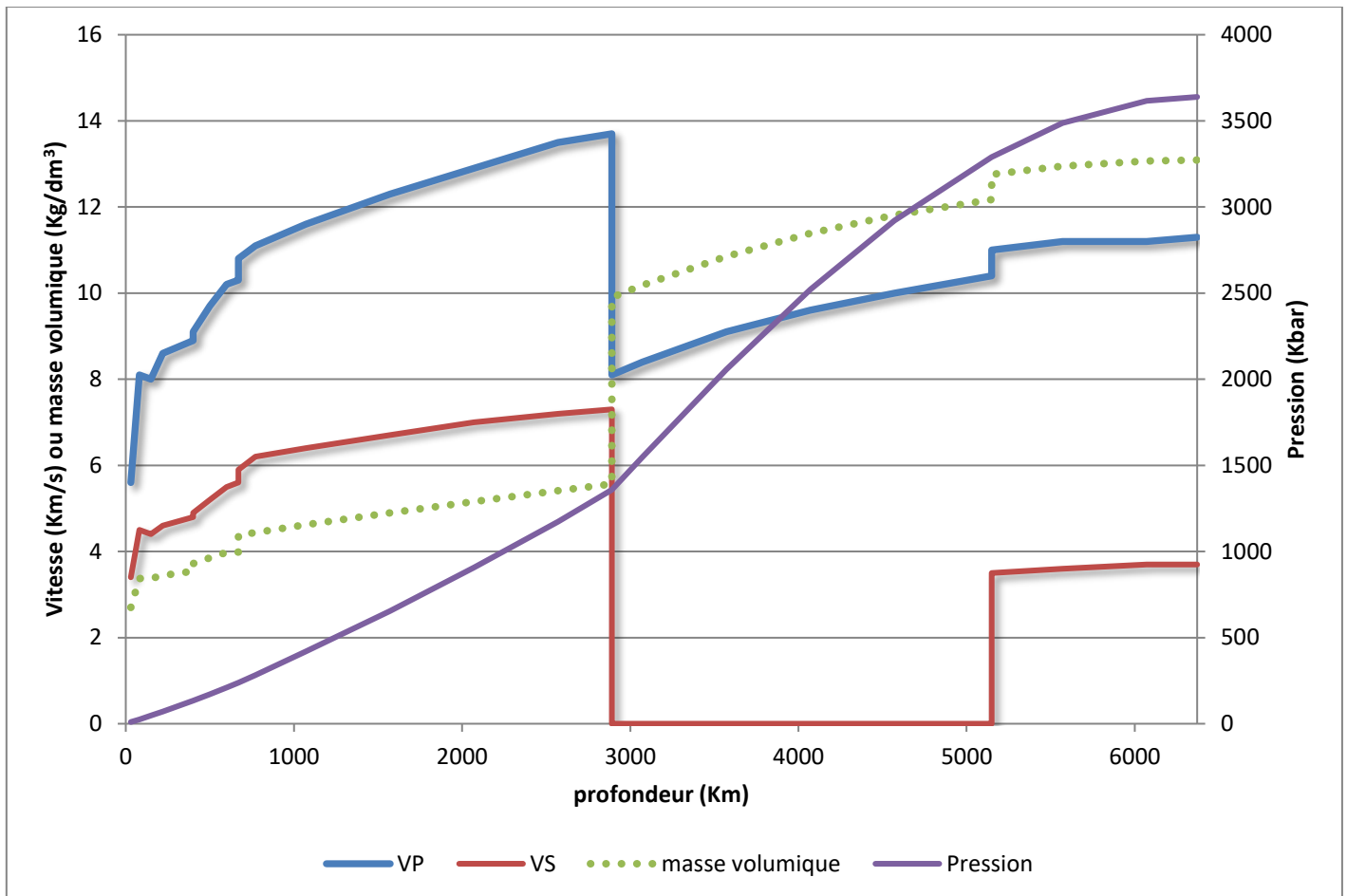


Fig. 22. Le modèle PREM (PREliminary Earth Model) de vitesse des ondes sismiques en fonction de la profondeur. ★★★

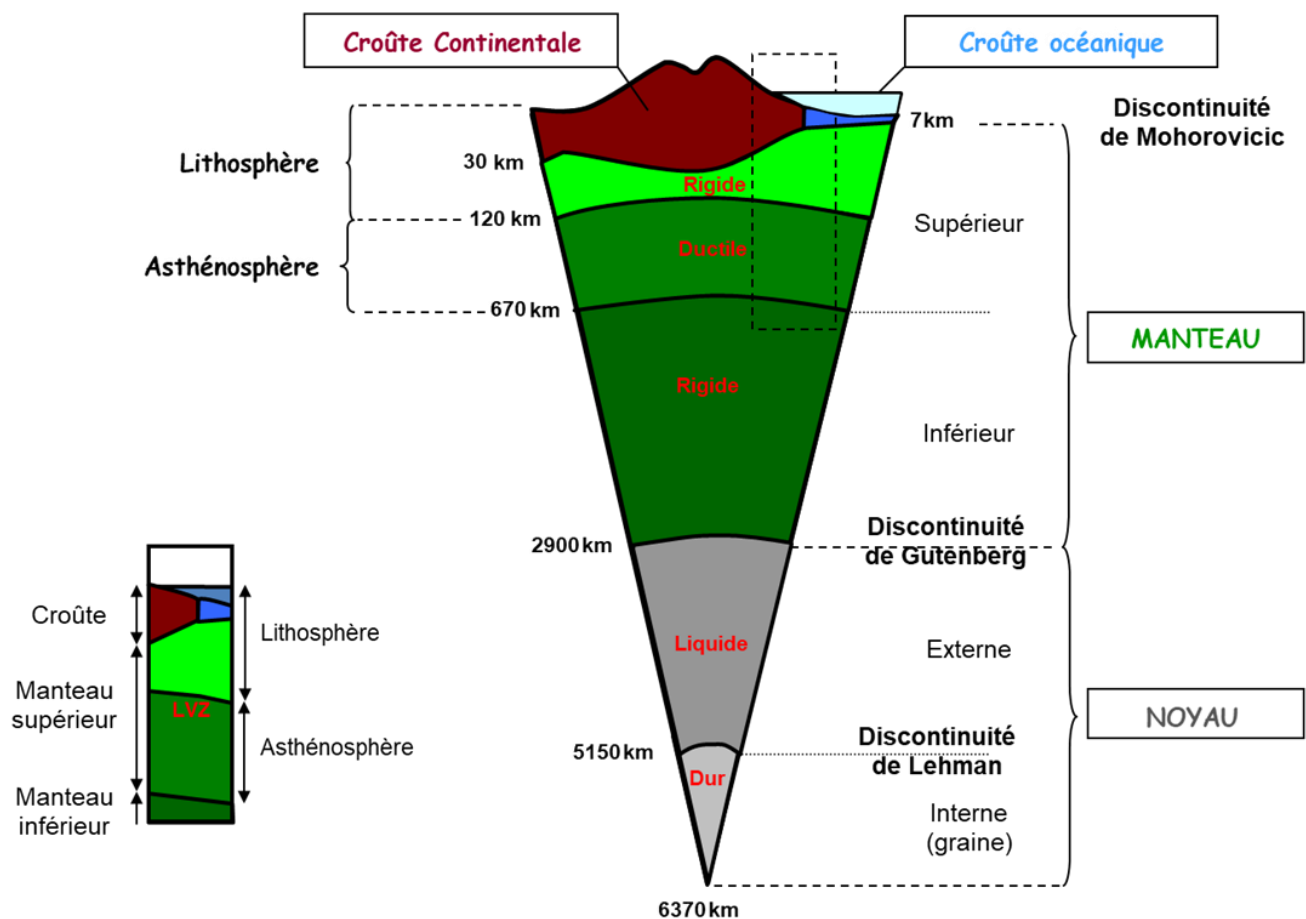


Fig. 23. La structure interne du globe terrestre : bilan. ★★★ [1]

Fig. 24. Les ondes sismiques ★★★ [1]

(1) Trois grands types d'ondes**Ondes P (de compression)**

Les matériaux subissent alternativement une **dilatation et une compression**, c'est-à-dire un changement de volume. Ce mouvement de compression/dilatation se fait **parallèlement à la direction de propagation**.

Elles sont **les plus rapides**, et donc bien celles qui arrivent en premier. **Vitesse dans la croûte terrestre : 6 à 7 km/s.**

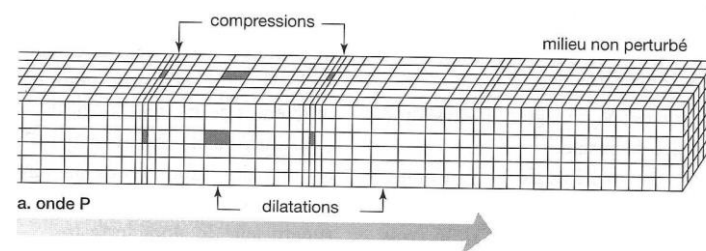
Elles ont les mêmes propriétés que les ondes sonores.

$$V_p = \sqrt{\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

ρ = densité de la roche

K est un module d'incompressibilité (= résistance à la compression)

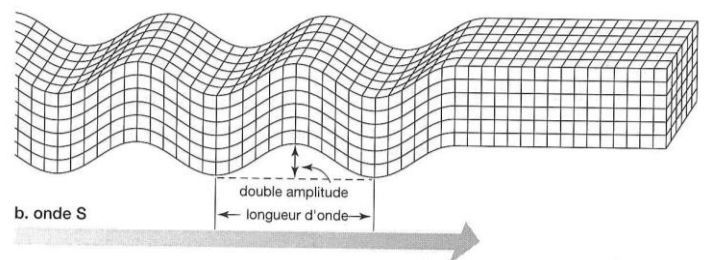
μ est un coefficient de cisaillement (= résistance à la déformation).

**Ondes S (de cisaillement)**

Le déplacement des particules est perpendiculaire à la direction de propagation, ce déplacement se fait sans changement de volume. On les appelle encore ondes **transversales**, et elles ne se **propagent pas dans les fluides**.

Vitesse dans la croûte terrestre : 2 à 3 km/s.

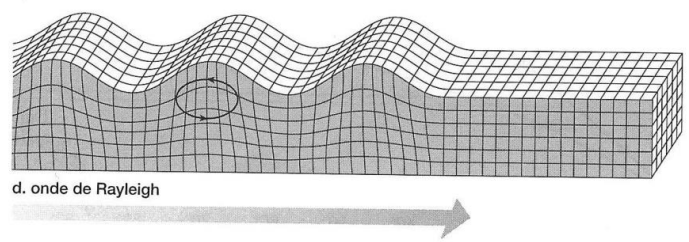
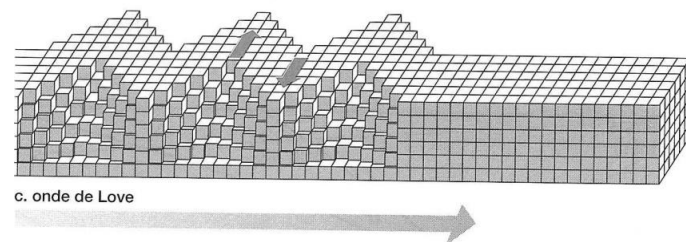
$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

**Ondes de surface = ondes L (Love) et R (Rayleigh)**

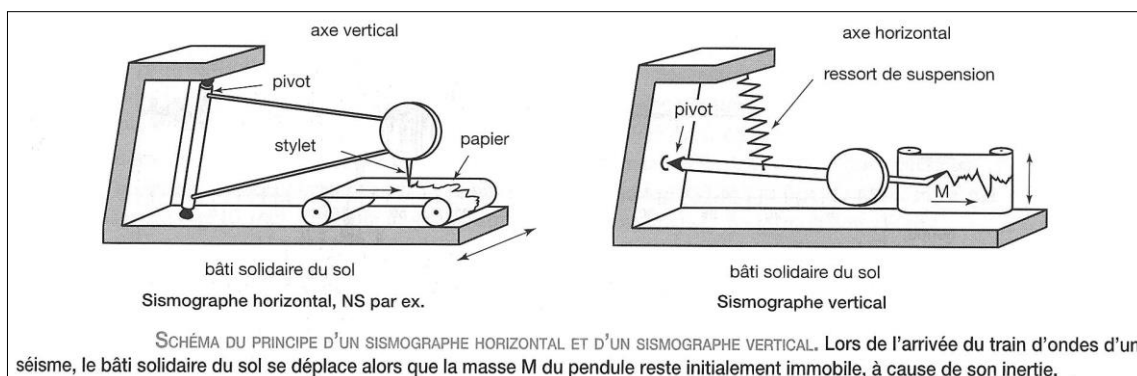
Ces ondes ne se propagent pas dans les couches profondes du globe terrestre.

Les ondes de **Love** correspondent à des **oscillations dans le plan horizontal** perpendiculaire à la direction de propagation. Il s'agit aussi d'un mouvement de **cisaillement** qui ne se propage qu'en milieu solide.

Les ondes de **Rayleigh** correspondent à une oscillation dans le plan vertical selon un mouvement **elliptique rétrograde** (par rapport au sens de propagation), qui est assimilable à une sorte de **houle**.

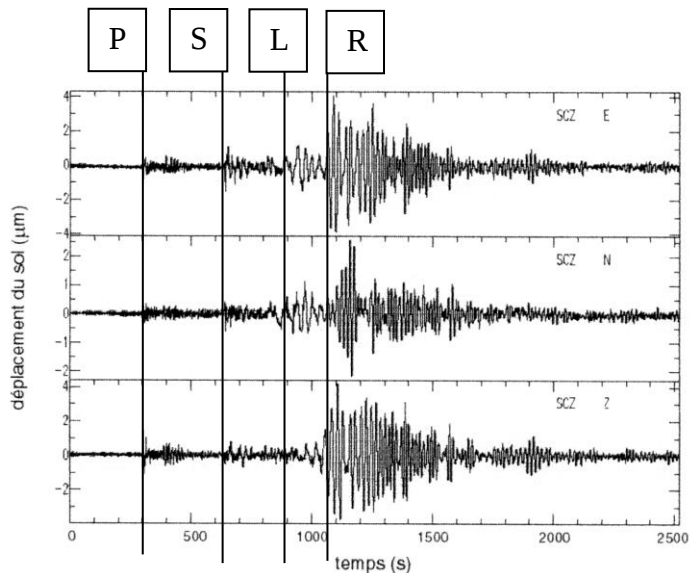
**(2) Enregistrer les ondes sismiques : sismomètre et sismogrammes**

En surface, l'arrivée des ondes (par le biais des mouvements du sol) est mesurée par un réseau de stations sismologiques grâce aux **sismographes**, les appareils d'enregistrement. Un sismographe est constitué d'un **support indéformable solide du sol** et d'un **pendule à forte inertie**. Le pendule est relié au support avec une seule direction de mouvement possible : **vertical**, **horizontal Nord-sud** ou **horizontal Est-ouest**. Lors de l'arrivée d'un train d'ondes, le support suit les mouvements du sol, le pendule lui reste immobile. Il s'agit donc de mesurer ce mouvement relatif du support et du pendule, cela peut être fait directement grâce à un stylet qui trace sur un rouleau.



L'enregistrement d'un séisme constitue un **sismogramme**. On observe les enregistrements selon les 3 composantes et différentes catégories d'ondes :

- Les **ondes P** (ou Premières), les plus rapides ont une fréquence élevée, une amplitude moyenne, et un amortissement rapide.
- Les **ondes S** (ou Secondes), ont une fréquence un peu plus faible, une amplitude moyenne à forte, et aussi un amortissement rapide. On distingue une composante horizontale des ondes S (S_H) et une composante verticale (S_V).
- Les **ondes L et R** (ou de surface) ont une fréquence plus faible, une amplitude plus importante, et un amortissement plus lent.



Un enregistrement sismique complet : on observe ici les trois enregistrements réalisés en même temps au niveau d'une station sismique, dans les trois axes de l'espace.

En haut : mouvement **Est-Ouest** (déplacement vers l'Est vers le haut).

Au milieu : mouvement **Nord-Sud** (déplacement vers le Nord vers le haut)

En bas : variations **d'altitude**.

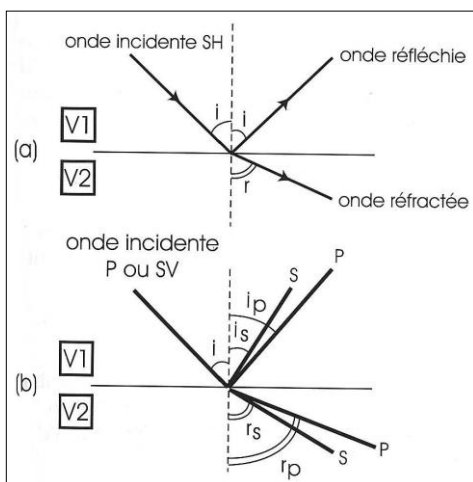
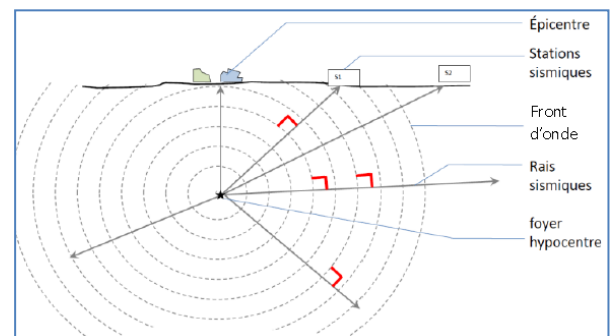
L'instant d'arrivée des quatre types d'onde a été précisé :

- Ondes P, 'en premier'
- Ondes S, ensuite, avec un mouvement plus important
- Ondes L, cisaillantes, sans composante verticale ici
- Ondes R, de plus forte intensité.

(3) La propagation des ondes sismiques

A partir du foyer du séisme, le mouvement d'origine se propage selon le **front d'onde**. Chaque particule des milieux traversés oscille autour de sa position d'équilibre par transmission du mouvement et de l'énergie libérée. Le front d'onde est la surface qui sépare les particules entrées en vibration de celles qui ne vibrent pas encore. Les **rais sismiques** sont les trajectoires orthogonales au front d'onde.

Dans un milieu homogène, les ondes se propagent de manière rectiligne. Mais dans un milieu hétérogène, la **présence de discontinuités influe sur le trajet des ondes sismiques**, qui obéissent aux **lois de Snell-Descartes**.



Les ondes peuvent ainsi être réfléchies par la surface de discontinuité. Lors d'une réflexion, l'angle réfléchi (angle entre la raie sismique réfléchie et la perpendiculaire à la surface de discontinuité) est le même que l'angle incident :

$$i = i'$$

Les ondes peuvent aussi être réfractées : elles se propagent dans le milieu situé de l'autre côté de la surface de discontinuité, mais à une vitesse différente.

Cette différence de vitesse conduit à un angle réfracté différent de l'angle incident :

$$\frac{\sin i}{V_1} = \frac{\sin r}{V_2}$$

On peut aussi écrire (moins utile en géologie) :

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r \quad \text{avec } n_1 \text{ et } n_2 \text{ les indices de réfractions des milieux 1 et 2}$$

Références

- [1] Ouvrage ou page Internet non précisé
- [2] lelivrescolaire.fr
- [3] wikipedia.fr
- [4] manuel de SVT, classe de Seconde, programme 2000, Magnard éd.
- [5] World Ocean Atlas 2001
- [6] JA Dipietreo, Landscape Evolution in the United States. Elsevier éd.
- [7] A Nicolas, Les montagnes sous la mer. BRGM éd.