

Mme GRAÏNE-TAZEROUT Khadidja)

(Revu 2017/2018 - Dpt Géologie - FSTGAT/USTHB)

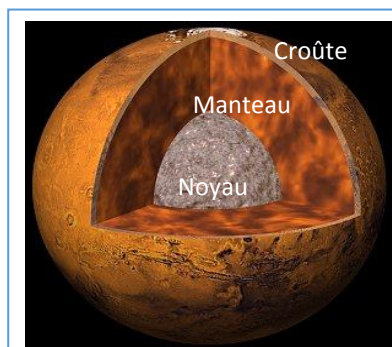
(Troisième cours : 6 pages avec les planches)

STRUCTURE INTERNE DE LA TERRE

Première partie : Généralités – Séismes - Sismologie

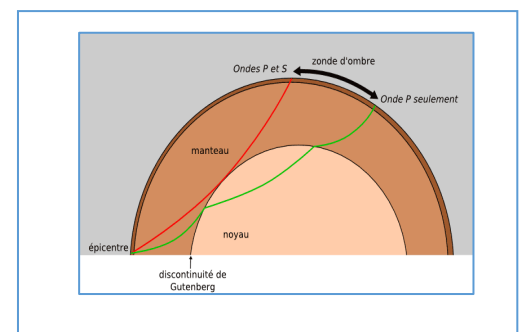
1. Introduction

La structure interne de la Terre désigne la répartition en enveloppes successives de la Terre. Ce sont principalement la croûte terrestre, le manteau et le noyau.



A gauche :
Enveloppes de la
Terre

A droite :
Discontinuités ou
limites entre les
enveloppes



Ces enveloppes de plusieurs kilomètres d'épaisseur sont délimitées par des discontinuités, repérables grâce à la sismologie, science basée sur l'étude des séismes et plus particulièrement sur la vitesse de propagation des ondes sismiques.

L'impossible voyage à l'intérieur de la Terre ! La géologie, n'est plus la Science qui permet d'étudier l'intérieur de la Terre.

L'intérieur de la Terre, ou structure interne, est inaccessible à l'observation directe.

Le plus profond forage, réalisé dans le but de récupérer des matériaux géologiques, ne dépasse pas **12,5 km** (Russie, années 1970).

Alors que le rayon de la Terre est de 6371 kilomètres.



Forage scientifique

Creuser la Terre, une mission impossible

En 1970, une équipe de scientifiques russes s'est lancée dans le premier et seul forage très profond de la croûte terrestre. Depuis la presqu'île de Kola, près de la ville de Zapolyarny (au nord-ouest de Mourmansk), l'objectif était d'atteindre au moins le « moho ». Cette frontière virtuelle, du nom du sismologue croate Andrija Mohorovicic, est une « discontinuité » située à la base de la croûte, entre 5 et 10 km sous les océans et entre 30 et 60 km sous les continents. La vitesse des ondes qui s'y propagent augmente brusquement, comme si les roches y changeaient de



Le forage de Kola a été stoppé à -12,262 km après dix-neuf ans.

nature soudainement. Le moho sous la presqu'île de Kola, dotée d'une croûte océanique, était estimé à 15 km de profondeur. Mais après dix-neuf ans de forage, les travaux ont été stoppés en 1989, lors de l'effondrement de l'Union soviétique, à -12,262 km précisément. Le forage était devenu trop difficile : vers 7 à 8 km de profondeur, une série de failles avec circulation de fluide a rendu la poursuite des travaux onéreux. Par ailleurs, la température au fond du trou froissait les 180 °C au lieu de la centaine de degrés attendue. Malgré tout, des roches de plus de 2,7 milliards d'années ont été remontées. Mais aucun échantillon du cœur de la Terre...

Il n'est donc pas possible de connaître de façon directe l'intérieur de la Terre. On fait appel à des méthodes géophysiques et notamment à la sismologie.

2. Généralités sur la sismologie et les séismes

a- La sismologie ou séismologie

C'est la science qui étudie les séismes ou tremblements de Terre. Pour ce faire, elle observe les effets sur les roches et tente d'en expliquer la signification géologique (Par exemple, cassures ou failles des terrains : Rapports avec la tectonique).

Elle observe et étudie les effets sur les paysages et les populations. Elle tente de faire de la prévention : elle incite à la réalisation de constructions adaptées aux régions sismiques. On parle de constructions selon des normes parasismiques.

Enfin, grâce à l'étude des ondes (ou vibrations), la sismologie permet d'établir un modèle de cet intérieur de la Terre.

Ce cours (*Numéro 3, Première partie*) traitera des généralités sur la sismologie et les séismes. Le cours suivant (*Numéro 4, Deuxième partie*) soulignera leurs apports dans l'établissement du modèle de la structure interne de la Terre (Discontinuités, noms, caractéristiques géologiques des enveloppes terrestres).

b- Séisme - Foyer ou hypocentre – Epicentre – Intensité : Définitions

Un **séisme** ou secousse tellurique ou tremblement de terre, est un ébranlement brutal du sol qui résulte d'une libération d'énergie. Cette énergie est véhiculée sous forme d'ondes élastiques transmises de la profondeur vers la surface de la Terre.

D'un point de vue descriptif, il est caractérisé par un foyer et un épïcentre.

Le foyer ou **hypocentre** (Focus en anglais): on appelle foyer ou hypocentre, le point situé en profondeur où débute le séisme et se libère l'énergie.

En fonction de la profondeur du foyer, les séismes sont dits :

- superficiels si le foyer est à moins 60 km de profondeur.
- moyens entre 60 et 300 km
- profonds si le foyer est à une profondeur > 300 km.

L'épicentre = Projection du foyer sur la surface terrestre

C'est le point ou la zone, situé à la surface du globe à la verticale du foyer. C'est l'endroit où les dégâts provoqués par le séisme sont les plus importants. Au niveau de l'épicentre la secousse est maximale.

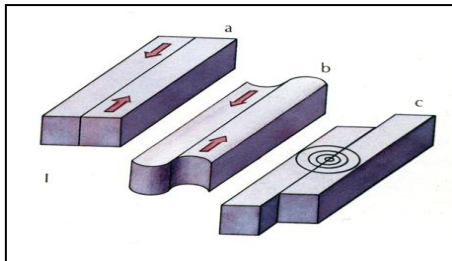
Naissance d'un séisme :

Un tremblement de terre prend naissance comme suit :

La lithosphère n'est pas immuable. Lors de ces mouvements, les roches se cognent, s'imbriquent, poussent, se frottent très fort les unes contre les autres. La pression notamment, et dans une moindre mesure, la température peuvent augmenter. C'est de l'énergie qui est engendrée.

D'immenses blocs lithosphériques en mouvement, finissent par se casser, laissant échapper, plus ou moins brutalement, cette énergie : Un séisme a lieu.

Sur un schéma, le phénomène est le suivant : un bloc lithosphérique initial et sa cassure occupent une position « a ». Suivons et interprétons son évolution au cours des stades ultérieurs « b » et « c ». (Voir encadré)



Effets d'un séisme :
cassures sur une route goudronnée.

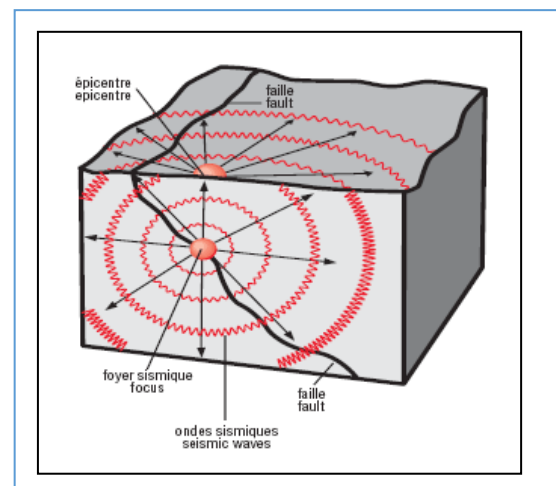
Au total, ce sont plus
de 100.000 séismes qui se
produisent chaque année
sur notre planète.

- a- Les terrains géologiques, situés de part et d'autre d'une faille (trait noir du milieu), sont soumis à des forces (de sens contraire) pendant des temps géologiques plus ou moins longs.
- b- Ces forces, ou contraintes, déplacent lentement les blocs. Les frottements induisent (dégagent) de **l'énergie**. Tant que cette énergie est supportable par les roches, les blocs poursuivent leur mouvement. Cependant, elle peut s'accumuler et se concentrer lentement en profondeur pendant des années ou des siècles.
- c- Lorsque la concentration d'énergie atteint une quantité qui ne peut être supportée, absorbée, par les roches, celles-ci **cassent**. (On parle de seuil de rupture des roches) : **Il se produit un tremblement de terre** (Schématisé par des cercles = ondes sismiques)

En reportant le phénomène dans trois dimensions (on parle de bloc diagramme), on a :

Le schéma représente un bloc lithosphérique, un bloc de couches géologiques.

- Le cercle rouge en profondeur : foyer sismique (focus en anglais).
- Les cercles autour du foyer : ondes sismiques.
- Le plan en noir, sécant au bloc : cassure ou faille.
- L'autre point rouge (demi-cercle) : épïcéntré situé à la surface et à la verticale du foyer.
- Les ondes remontent jusqu'à la surface. Elles sont concentriques autour de l'épïcéntré.



L'énergie est transmise aux constructions et aux personnes, provoquant des dégâts dont les plus importants sont enregistrés au niveau de l'épïcéntré.

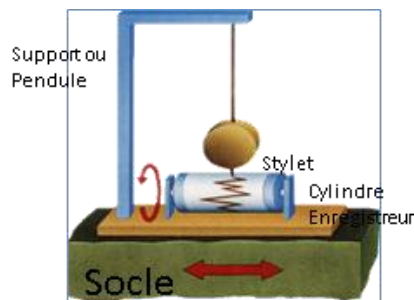
Ce sont les tremblements de terre superficiels qui sont les plus dangereux. La rupture des blocs se fait par formation de failles (cassures) ou réactivation d'une portion d'une ancienne faille. Celle-ci va faciliter l'évacuation de l'énergie. Cela explique, en partie, le fait que les séismes se reproduisent dans les mêmes régions géographiques.

c- Sismographe et sismogramme

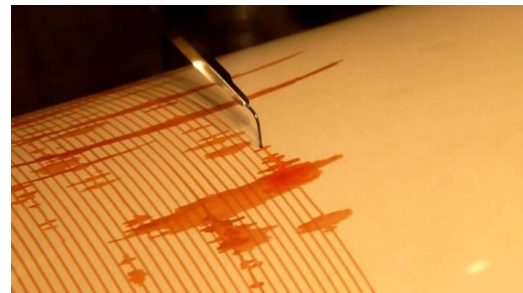
Les séismes sont enregistrés par des appareils : les sismographes ou sismomètres. Leur principe de fonctionnement présenté de façon schématisée, est comme suit : une aiguille imprégnée d'encre (stylet) est suspendue à un support (pendule) qui ne bouge pas (on dit qu'il a une forte inertie).

Sur un plan horizontal, un rouleau de papier, porté par un cylindre se trouve en contact avec le stylet.

Lors d'un séisme, ce cylindre se met en mouvement. Les vibrations dues au séisme sont reproduites sous forme de courbe sinusoïdale irrégulière. Le sismogramme : C'est le dessin, représenté par cette courbe ondulée plus ou moins serrée.



Sismographe : appareil qui enregistre les ondes sismiques



Sismogramme : Courbe graphique

Actuellement, les sismographes ne comportent plus de pendule. Il s'agit de structures horizontales dont le principe de fonctionnement reste le même.

La lecture du sismogramme donne des indications sur la nature des ondes sismiques. Leur étude est reprise plus bas (les ondes sismiques).

d- Intensité et magnitude d'un séisme : différence entre les deux.

L'intensité d'un séisme *n'est pas une valeur chiffrée*. Il s'agit de l'effet du passage des ondes sismiques à la surface terrestre. Autrement dit, il s'agit de l'appréciation de l'ampleur des dégâts causés par le séisme. On dira qu'un séisme est fort, moyen ou faible.

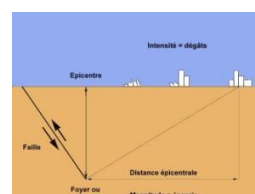
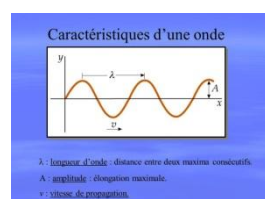
Cette estimation, plus ou moins approximative, a lieu après une enquête sur le terrain. On interroge les personnes et en fonction de ce qu'elles ont ressenti et des dommages subis par leurs habitations, et en se rapportant à des échelles (voir plus bas), on peut avoir une idée sur l'intensité, la force du séisme.

La magnitude (M) est, à l'inverse de l'intensité, une *valeur numérique*. Elle correspond à la quantité d'énergie libérée au niveau du foyer, donc en *profondeur*. Elle est obtenue par une formule mathématique qui s'écrit comme suit :

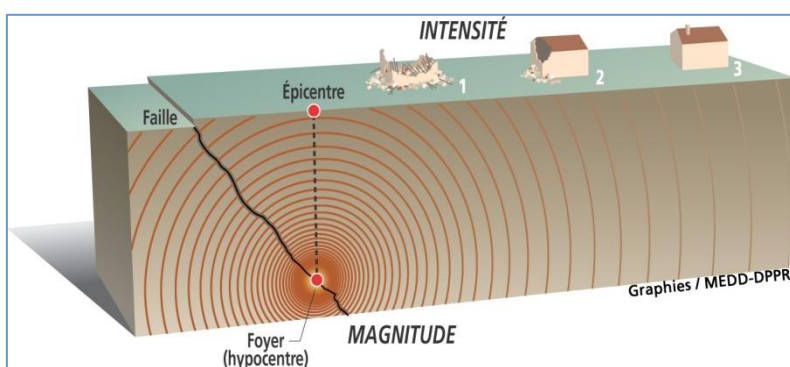
$$M = \log A/T + f(\Delta, h)$$

Sur la base des sismogrammes, elle prend en compte les paramètres suivants :

A = Amplitude maximale du sismogramme ; T = Période ; Δ = Distance épicentrale ; h = Profondeur du foyer.



En résumé, sur ce schéma : (voir encadré)



L'**INTENSITE** du séisme est :

Dans la zone 1 : FORTE, habitation totalement détruite_ Dans la zone 2 : MOYENNEMENT FORTE, maison partiellement détruite_ Dans la zone 3 : FAIBLE, maison non touchée.

Il existe 3 niveaux ou degrés d'intensité. Données à la surface terrestre.

La **MAGNITUDE** : Une seule valeur *M*. Donnée en profondeur et calculée.

- l'intensité concerne l'épicentre, elle est qualitative de l'énergie libérée
- la magnitude concerne le foyer ; elle est quantitative et donne une valeur chiffrée de l'énergie.

Un séisme de **très forte magnitude** peut avoir une **intensité très faible** lorsqu'il a lieu loin de toute habitation.

e- Echelles de classification des séismes : deux types d'échelle.

L'échelle de Mercalli (1956) à laquelle a succédé **l'échelle MSK** (Initiales de Medveder, Sponheuer, Karnik ; 1964), est basée sur l'intensité des séismes.

Actuellement on parle d'échelle d'intensité **Mercalli-MSK** (pour **Medveder**, **Sponheuer** et **Karnik**). Elle comprend 12 degrés graduée de I à XII (en chiffres romains, pour ne pas confondre avec la magnitude).

L'échelle ouverte de Richter (1935, Américain), basée sur la magnitude : *M*. Elle est graduée de 1 à 9 (en chiffres arabes).

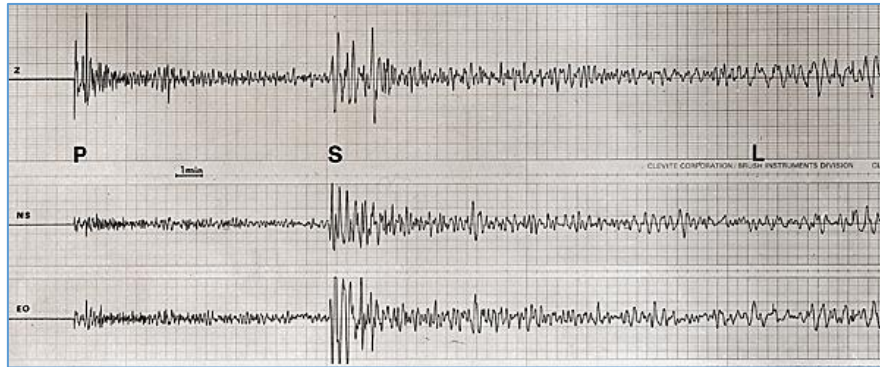
Des relations permettent de relier magnitude (chiffres de 1 à 9) et intensité (effets engendrés). L'échelle de Richter (ce n'est pas la seule), demeure relativement pratique car elle donne une idée, presque instantanée, sur le séisme.

Magnitude	Effets engendrés
9	Destruction totale à l'épicentre, et possible sur plusieurs milliers de km
8	Dégâts majeurs à l'épicentre, et sur plusieurs centaines de km
7	Importants dégâts à l'épicentre, secousse ressentie à plusieurs centaines de km
6	Dégâts à l'épicentre dont l'ampleur dépend de la qualité des constructions
5	Tremblement fortement senti, dommages mineurs près de l'épicentre
4	Secousse sensible, mais pas de dégâts
3	Seuil à partir duquel la secousse devient sensible pour la plupart des gens
2	Secousse ressentie uniquement par des gens au repos
1	Secousse imperceptible

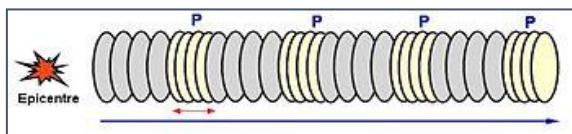
f- Les ondes sismiques : propagation, caractéristiques

D'un point de vue physique, l'énergie d'un séisme se disperse, se déplace dans le sol, par le biais (ou via) des ondes sismiques dans toutes les directions de l'espace, à l'image des mouvements que l'on observe quand on jette un caillou dans l'eau.

Les sismogrammes permettent de distinguer 3 types d'ondes (de vibrations) qui n'arrivent pas en même temps. Elles sont dénommées P, S et L.

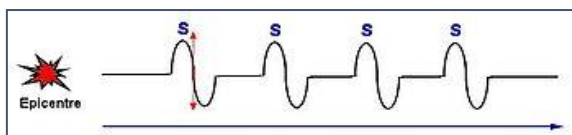


Les ondes P : (comme premières) : Arrivent rapidement et sont les premières à être enregistrées par le sismographe.



Les ondes P ont la caractéristique de se propager dans les milieux solides, liquides et gazeux. Dans ces ondes les particules se déplacent dans le sens de propagation de l'onde, comme dans un ressort que l'on comprime et qu'on relâche. Il s'agit d'ondes de compression.

Les ondes S : (comme secondaires), sont retardées et sont enregistrées après un certain temps



Les ondes S sont des ondes de cisaillement : les particules se déplacent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde, un peu comme une oscillation sur une corde. Ces ondes de cisaillement se propagent dans les solides mais pas dans les milieux liquides ou gazeux.

Les ondes L : (comme longues ou lentes). Elles arrivent en dernier du fait de leur longue période. Elles ne provoquent d'ébranlement que jusqu'à une certaine profondeur et leur étude reste complexe.

Les ondes P et S sont dénommées « ondes de volume ». Elles se déplacent dans les profondeurs de la Terre et vont nous permettre d'appréhender sa structure interne. Les ondes L sont dites ondes de surface circulent parallèlement et horizontalement à la surface terrestre ou à une surface de discontinuité.

Dans le prochain cours (numéro 4) on verra l'apport de la sismologie à la connaissance de la structure interne Terre.