

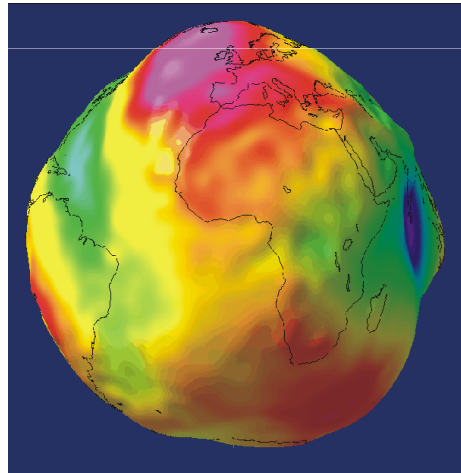


Université Mohammed Premier
Ecole Nationale des Sciences Appliquées,
Oujda



Filière: Génie Civil

Génie sismique



A.U: 2015-2016

Pr. M. CHOURAK

Géophysique

C'est la science de la Terre qui s'intéresse à l'étude de l'activité des forces physiques responsable De l'origine, évolution et structure de la Terre.

DIVISION DE LA GEOPHYSIQUE

Géodésie: Forme de la Terre

Sismologie: Étude de la génération, propagation et enregistrement des ondes élastiques dans la Terre.

Météorologie:

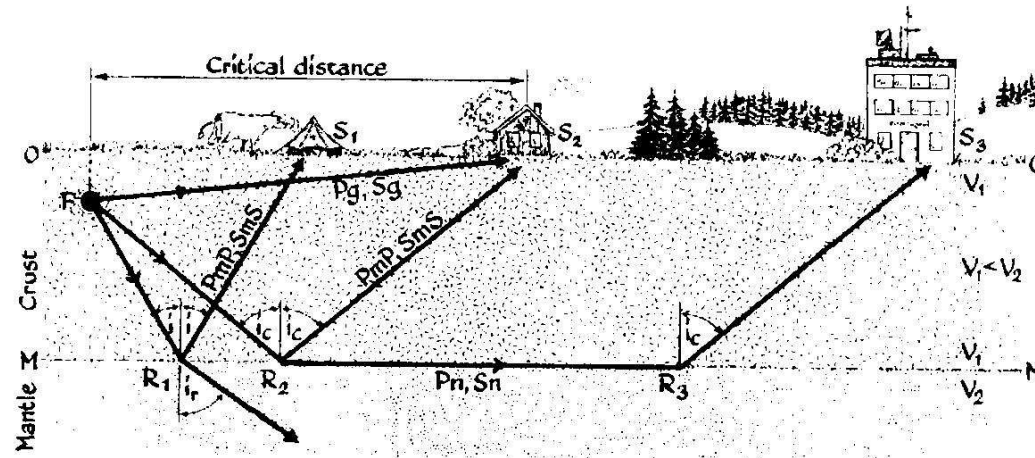
Géomagnétisme

Océanographie

Volcanologie

Hidrologie

Thèmes de Sismologie



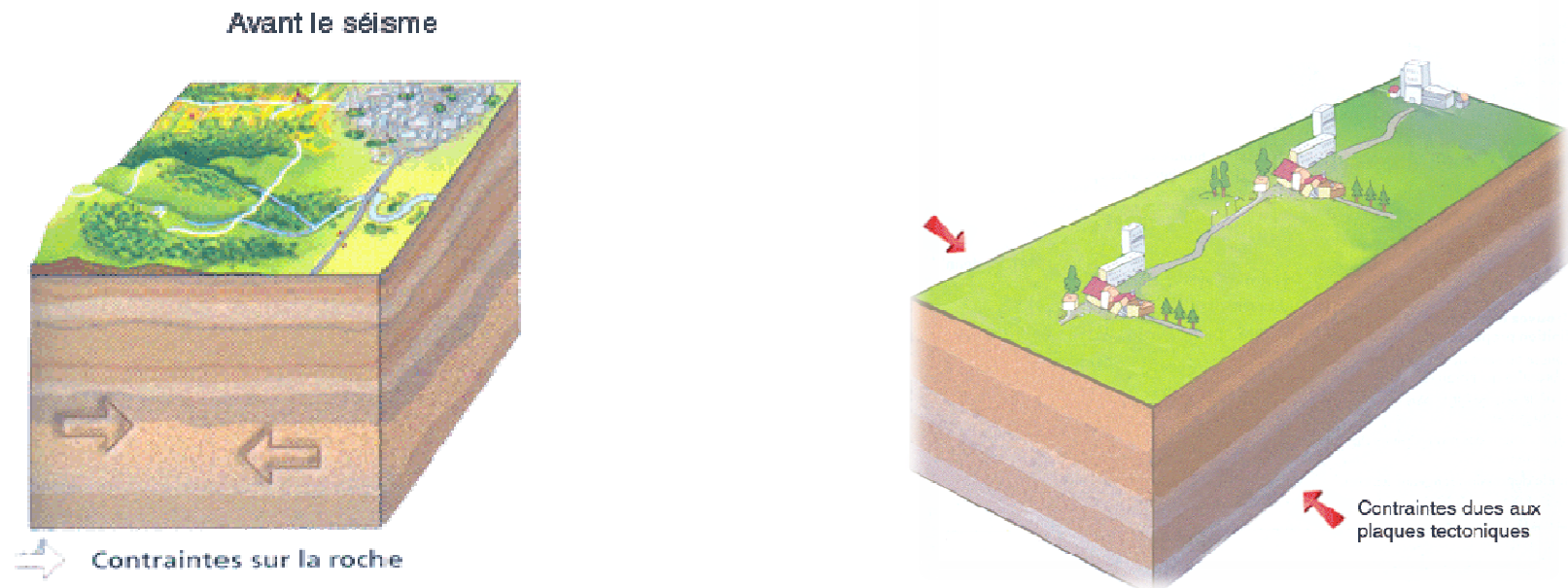
Sismologie

Étude des séismes ou tremblements de terre

Qu'est ce qu'un séisme?

Un séisme provient du mot grec seismos, signifiant secousse, il se traduit en surface par des vibrations du sol qui proviennent de l'ébranlement brutal des roches en profondeur par un mouvement brusque de deux compartiments profonds.

Il se produit suite à la libération instantanée d'énergie lentement accumulée, au moment où le **seuil de rupture mécanique des roches** est atteint



C'est quoi le phénomène et comment se manifeste

Séisme : glissement soudain sur une surface de faille, générant des ondes sismiques (élastiques).



Jeu de faille: Rupture en surface, déformations du sol



Emission des ondes: Mouvements vibratoires

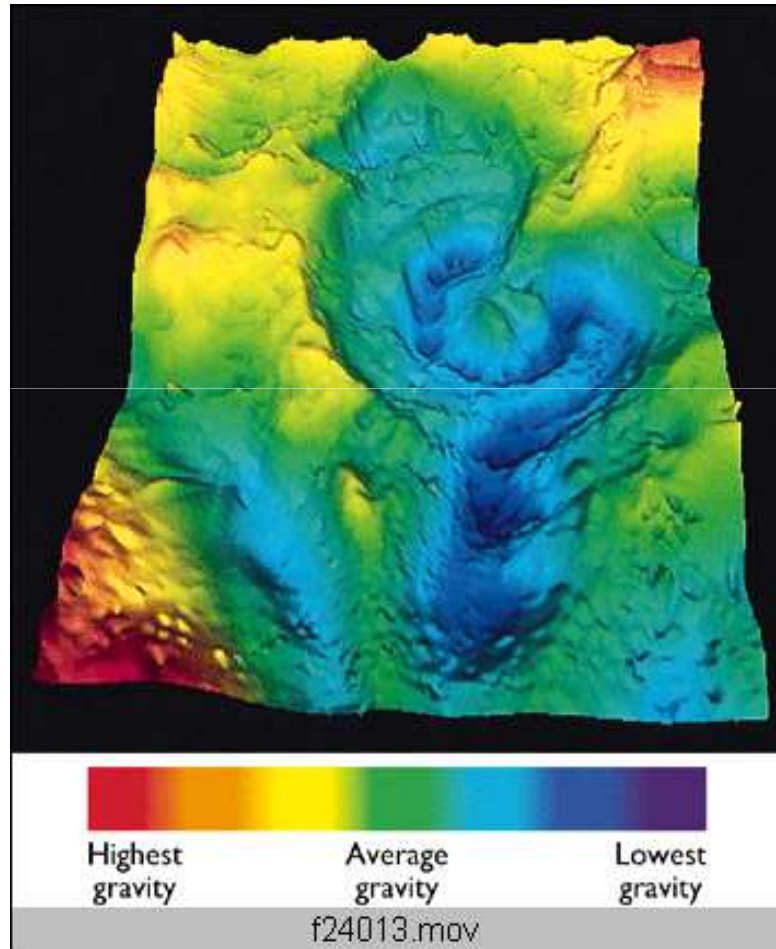


Effets induits:
- Fatigue et ruines du sol
- Tassement, liquéfaction, instabilité des versants.....

Causes des séismes naturels

- **Impact** (météorites)
- **Éruption volcanique** (différents des tremors)
- **Tectonique** : jeu de faille, mouvement de plaques...
 - exemples
 - modalités (rebond élastique)
 - Présence de forces (compression, distension, transpression....)
 - Accumulation d'énergie
 - Mouvement brutal avec libération d'énergie

Impact météoritique (-65Ma)



- Cratère d'impact CHICXULUB dans le Yucatan (Mexique).
- Cratère invisible de l'extérieur, révélé par la méthode gravimétrique

Origine Tectonique

D'où vient la rupture d'une roche?

Elle est issue de l'énergie qui s'est accumulée dans la roche pendant des dizaines d'années et/ou millions d'années sous l'effet des contraintes tectoniques extérieures (mouvement des plaques, montée de magma,...).

L'action d'une contrainte (pression)



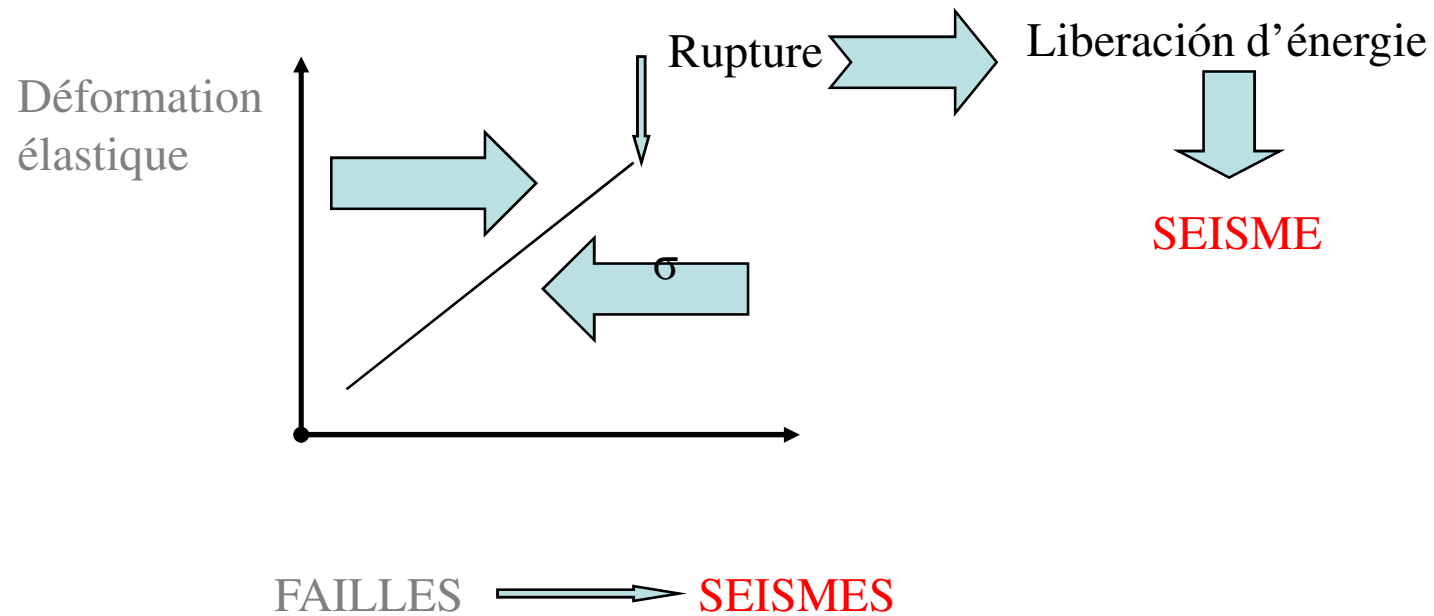
Déformation du milieu



Rupture du milieu

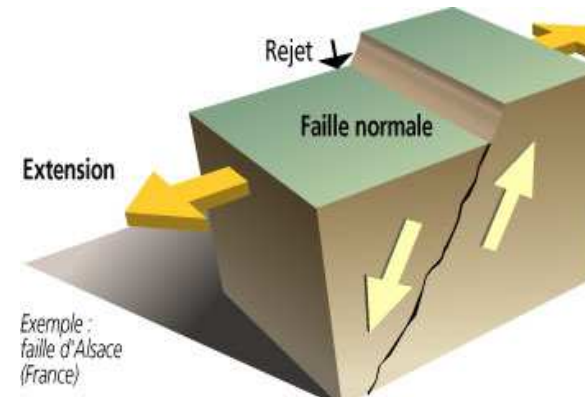
Origine Tectonique

■ *Origine des séismes*

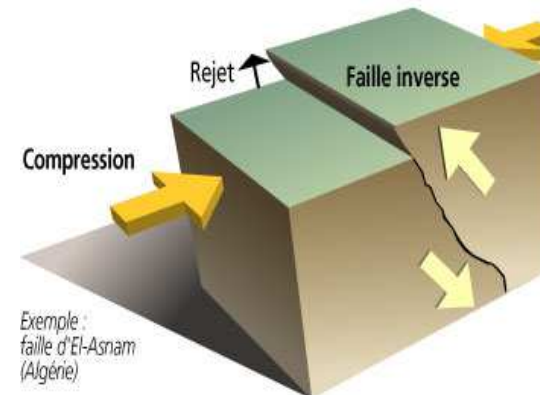


Séismes = ruptures = formation de failles

▪ dans les zones d'extension



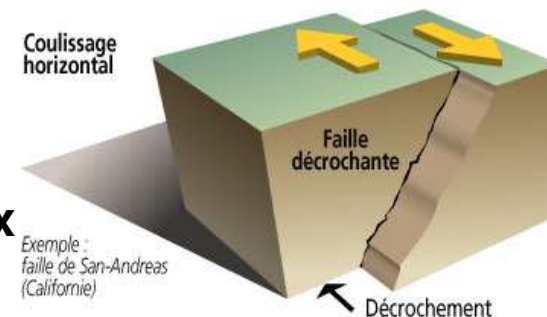
▪ dans les zones de compression



Ces deux types de failles induisent des déplacements verticaux, appelés rejets.

▪ Les zones de coulissage

Des déplacements horizontaux



Séismes = ruptures = formation de failles



Décrochement



Faïlle normale

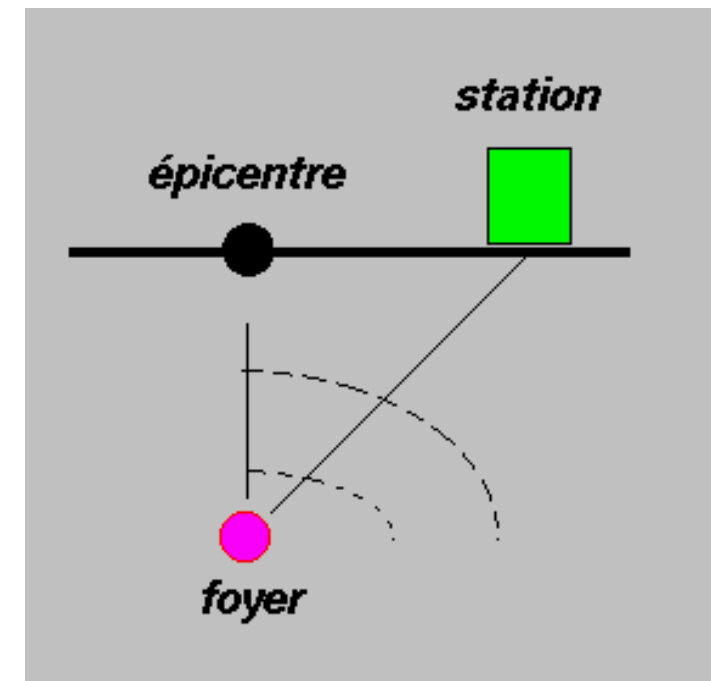
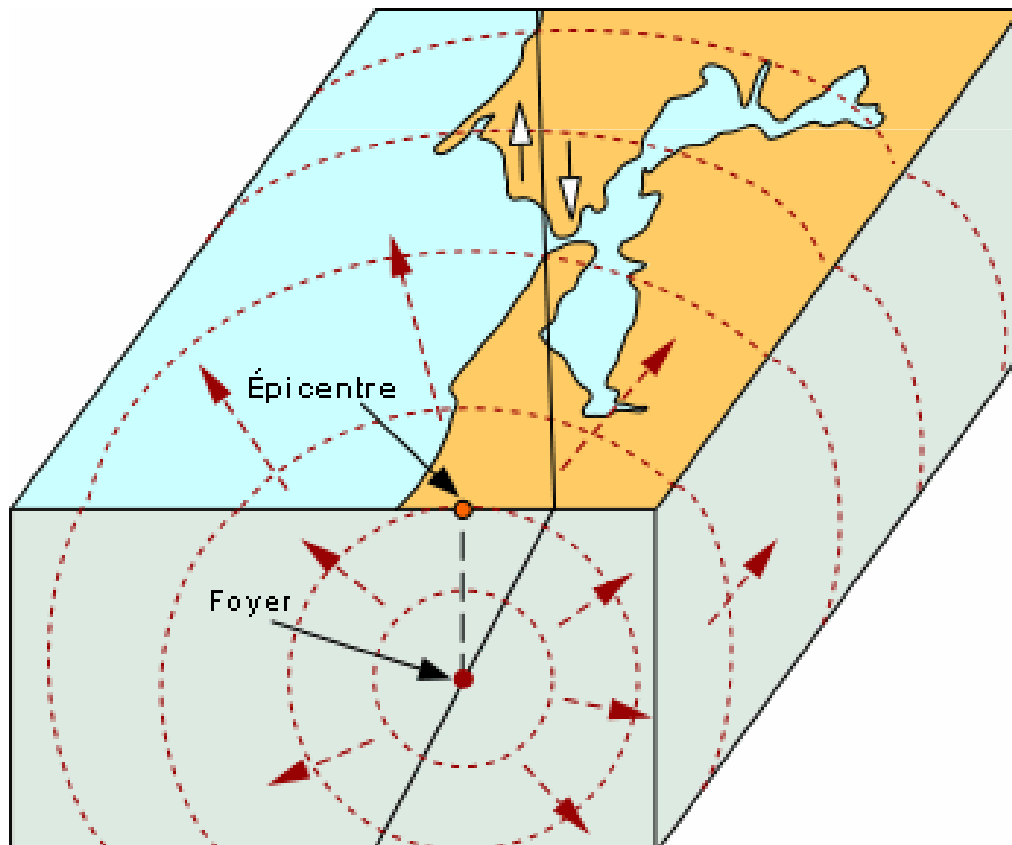
Caractéristiques d'un séisme

Foyer ou hypocentre

C'est le point sur la faille où s'initie le séisme ou l'endroit de libération de l'énergie sismique est appelé *foyer* ou *hypocentre*

Epicentre

Point en surface du globe terrestre situé à la verticale du foyer (c'est le premier point touché par les ondes sismiques).



Classes de séismes

en fonction de la profondeur des séismes (foyer):

- les séismes **normaux ou superficiels** (profondeur < 60 km) = frontières de plaques divergentes et frontières de plaque convergentes (fosses océaniques);

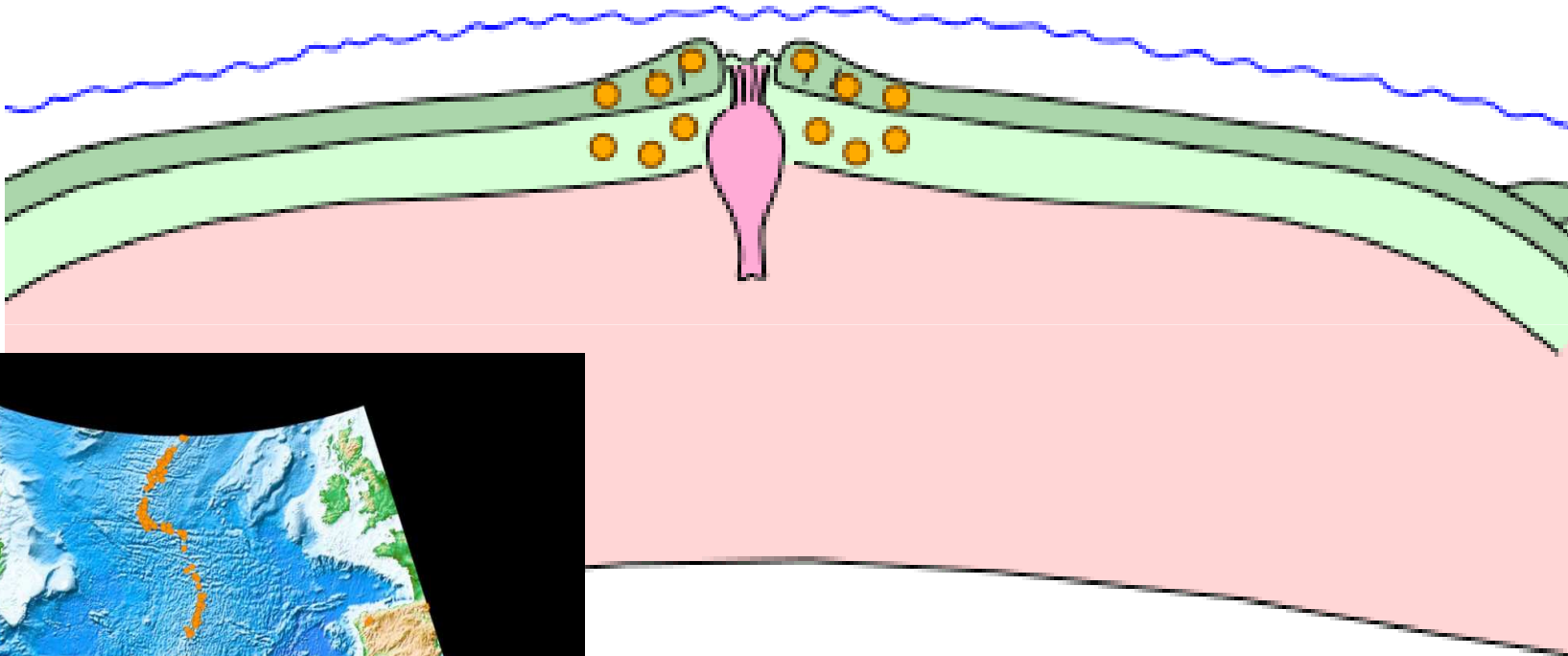
- les séismes **intermédiaires** (60 < profondeur < 300 km) = frontières de plaques convergentes;

- les séismes **profonds** (jusqu'à 700 km de profondeur) = frontières de plaques convergentes.

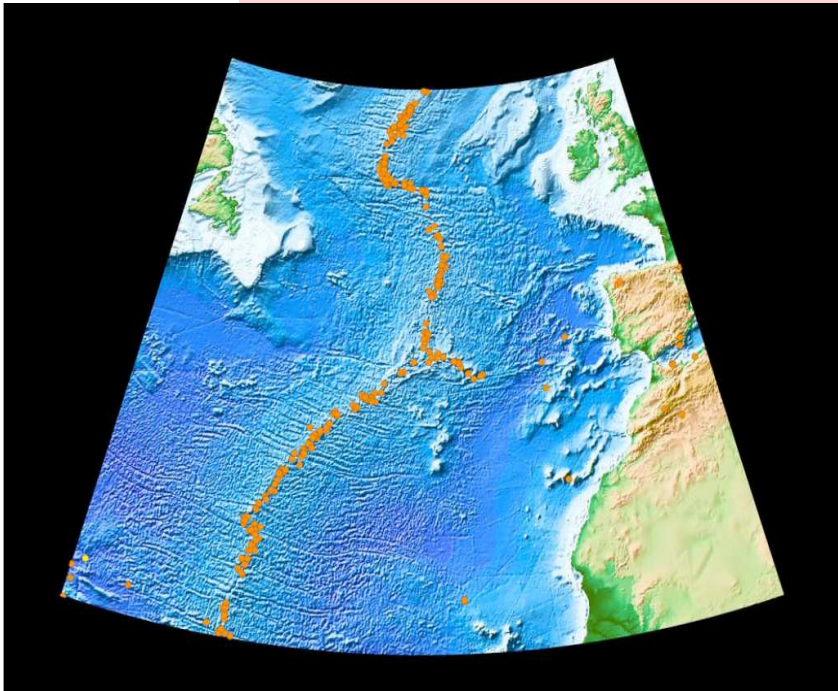
Ride ou rift = zone de divergence

Séismes superficiels

Dorsale
médio-océanique

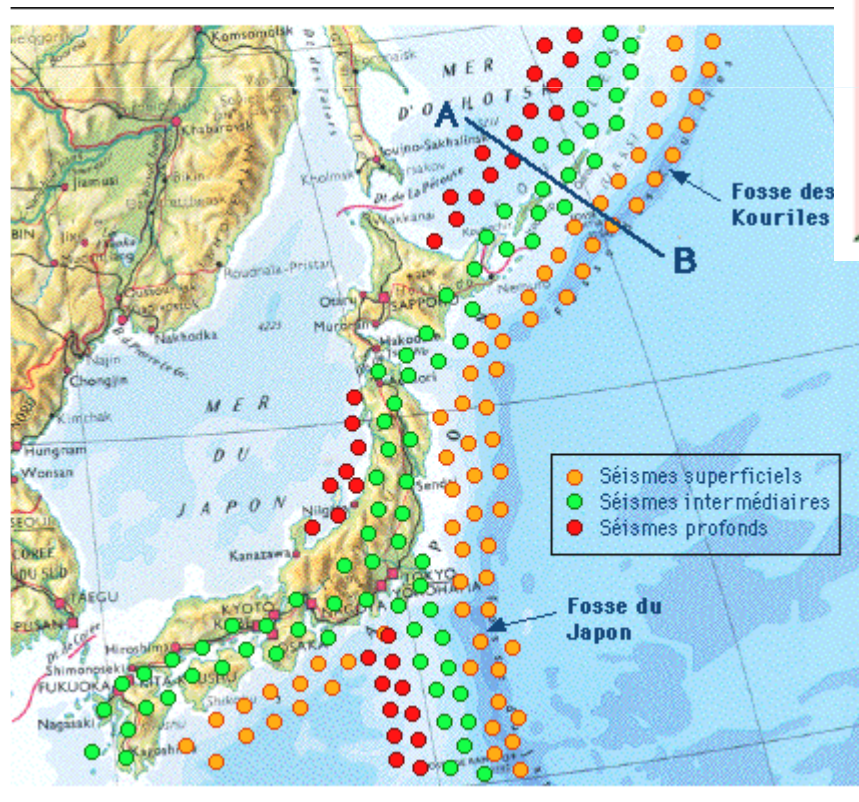
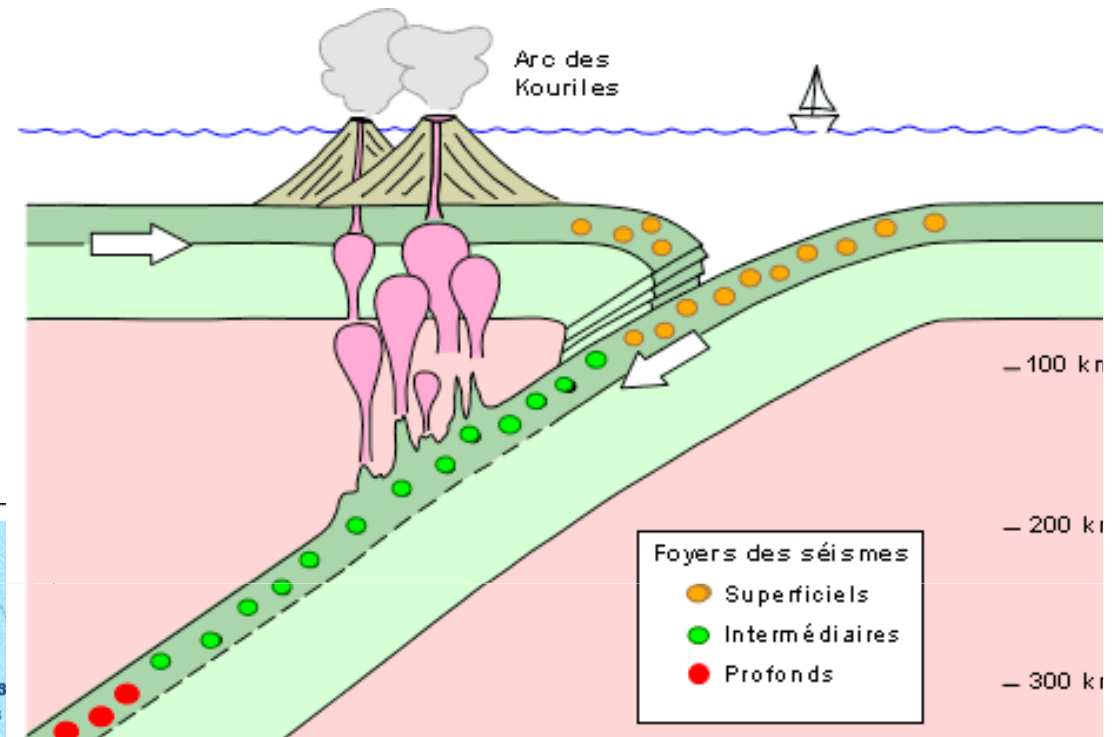


● Foyers sismiques superficiels

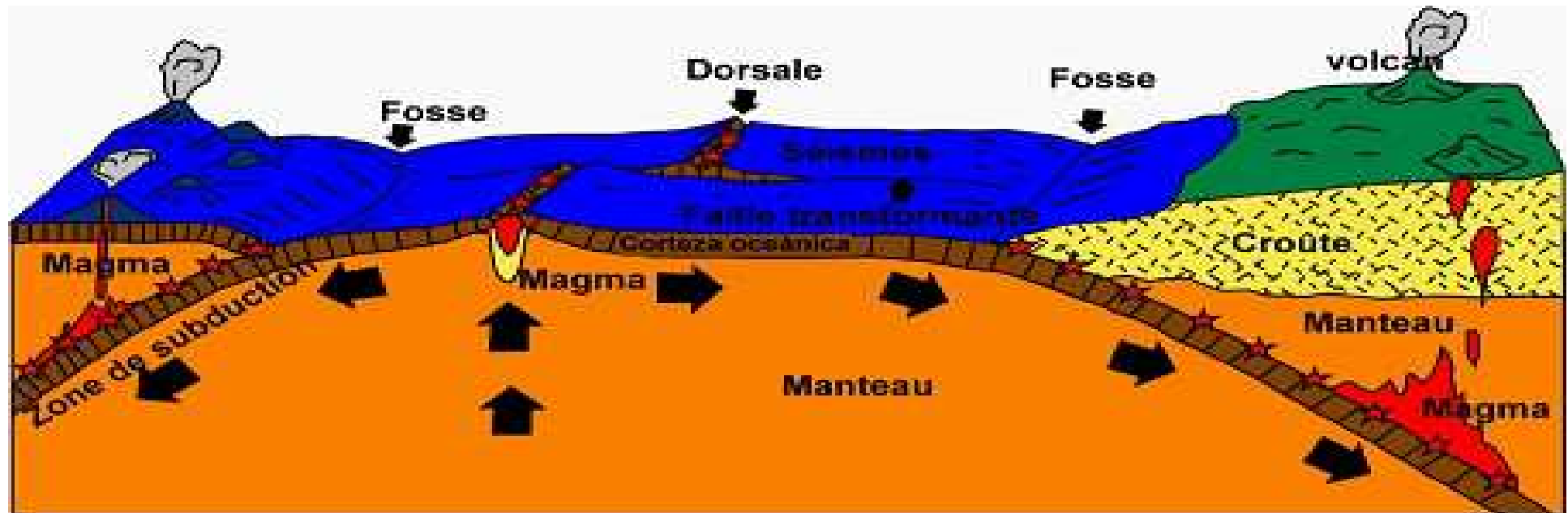


Les frontières convergentes (Subduction)

Trois catégories de séismes

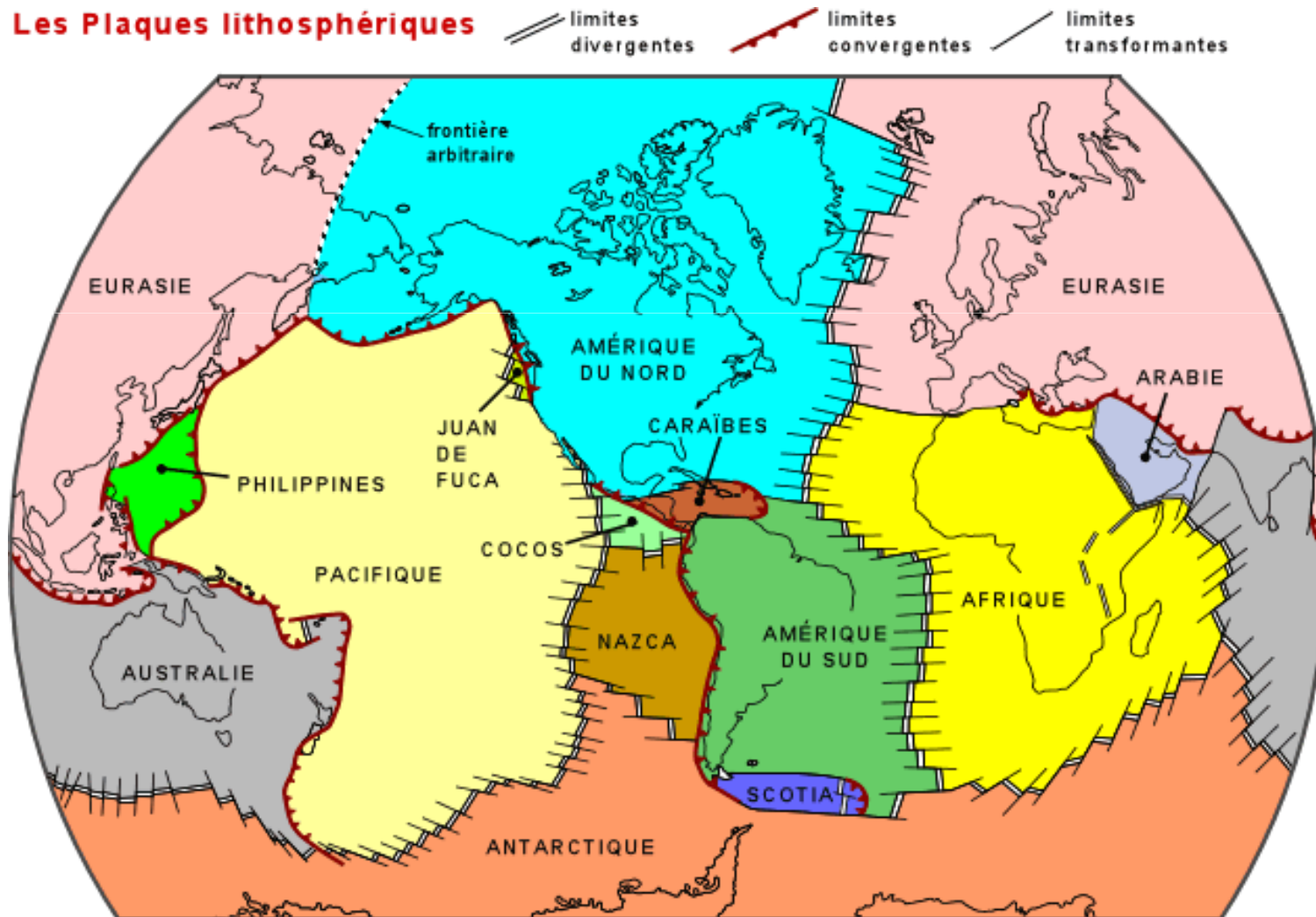


Limites de plaques lithosphériques



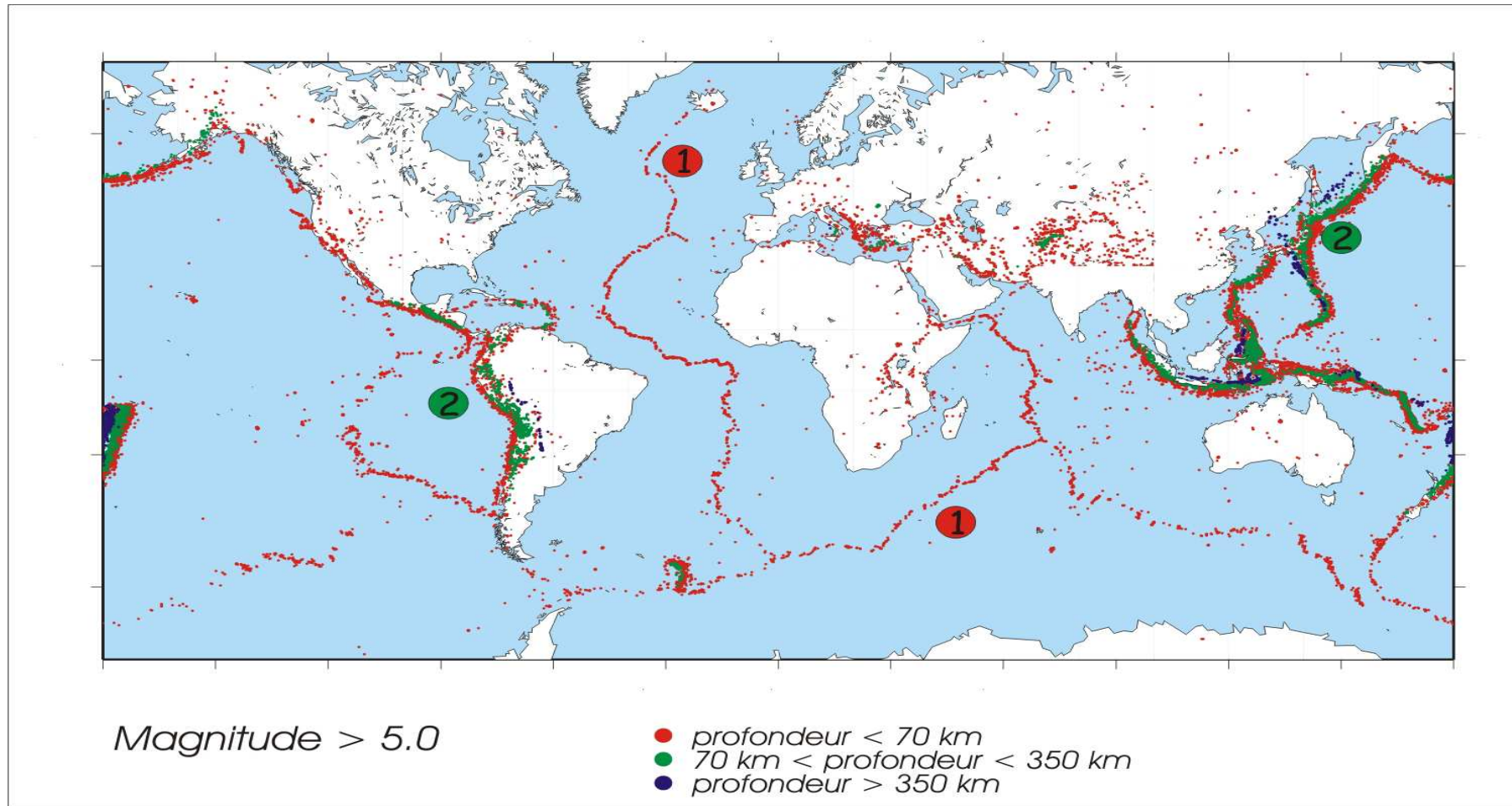
Séismes et tectonique des plaques

La lithosphère se compose d'une douzaine de plaques tectoniques flottant sur un magma visqueux et qui sont en mouvement les unes par rapport aux autres.



Séismes et tectonique des plaques

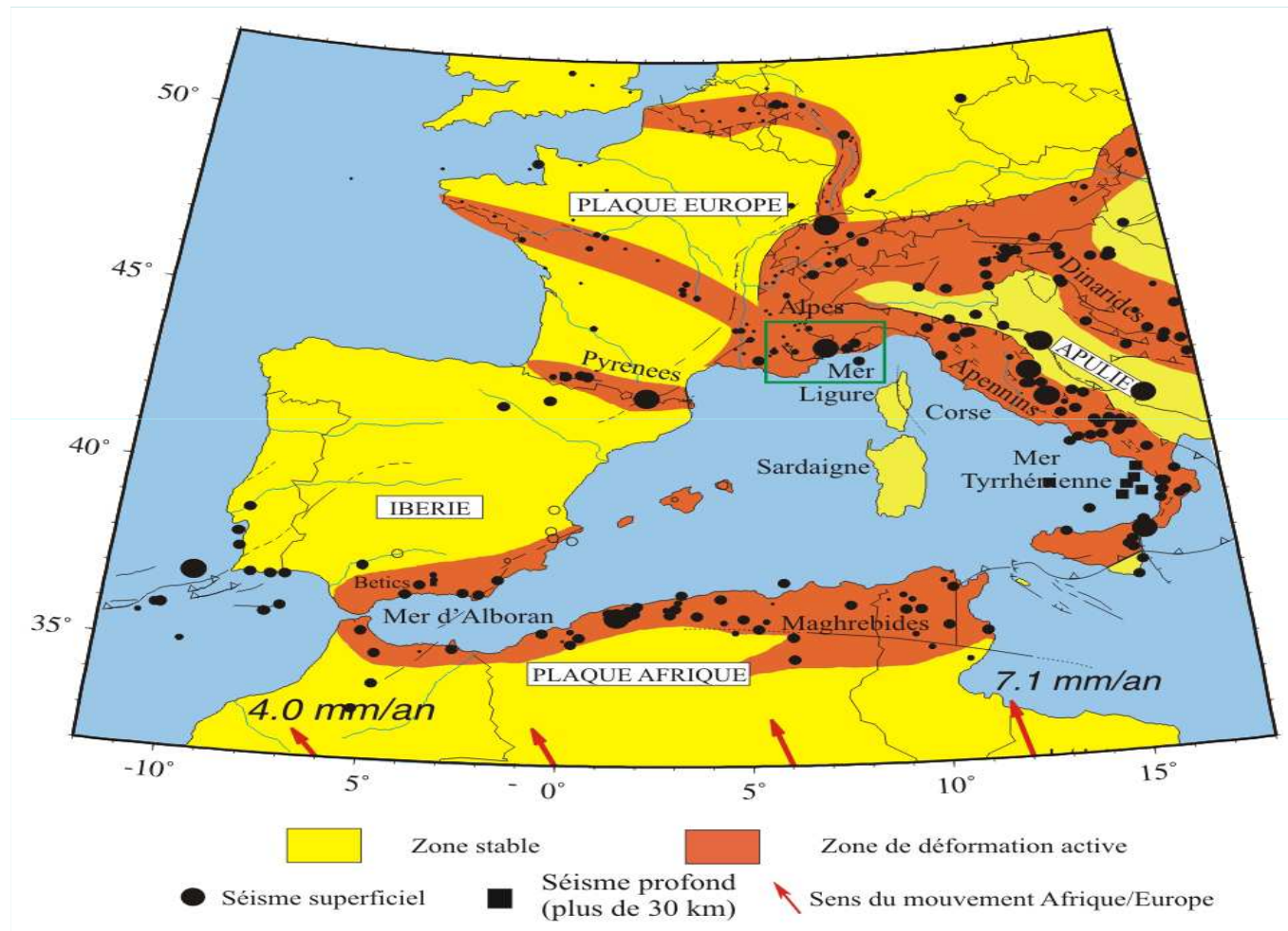
La plus part des séismes sont liés à ces mouvements et se produisent au niveau des limites de plaques lithosphériques



La répartition des séismes mondiaux enregistrés entre 1977 et 1996.

L'Afrique se rapproche de l'Europe

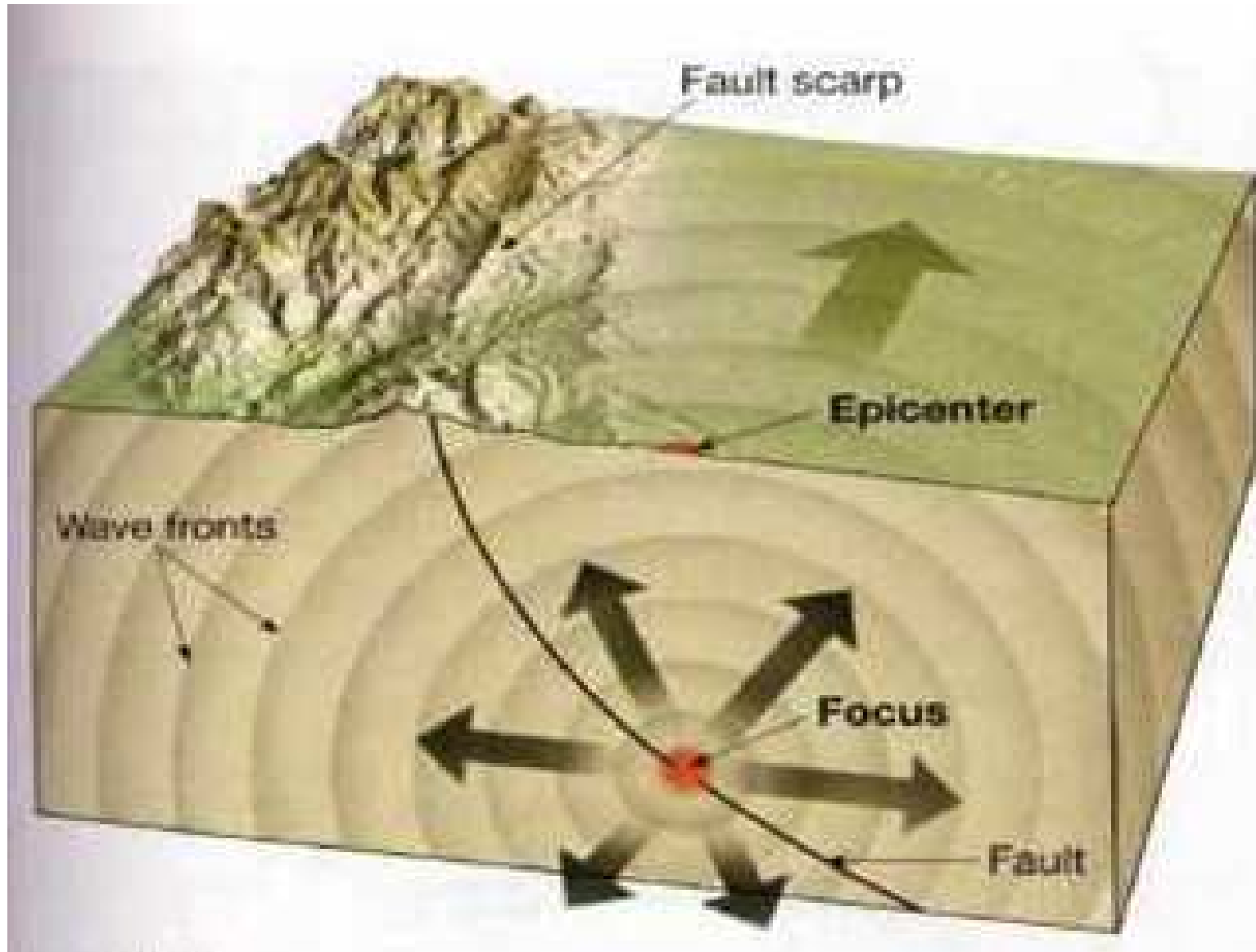
La plaque eurasiennne, au nord, chevauche la plaque africaine au sud. C'est dans cette faille de chevauchement que se déclenchent les séismes de la région.



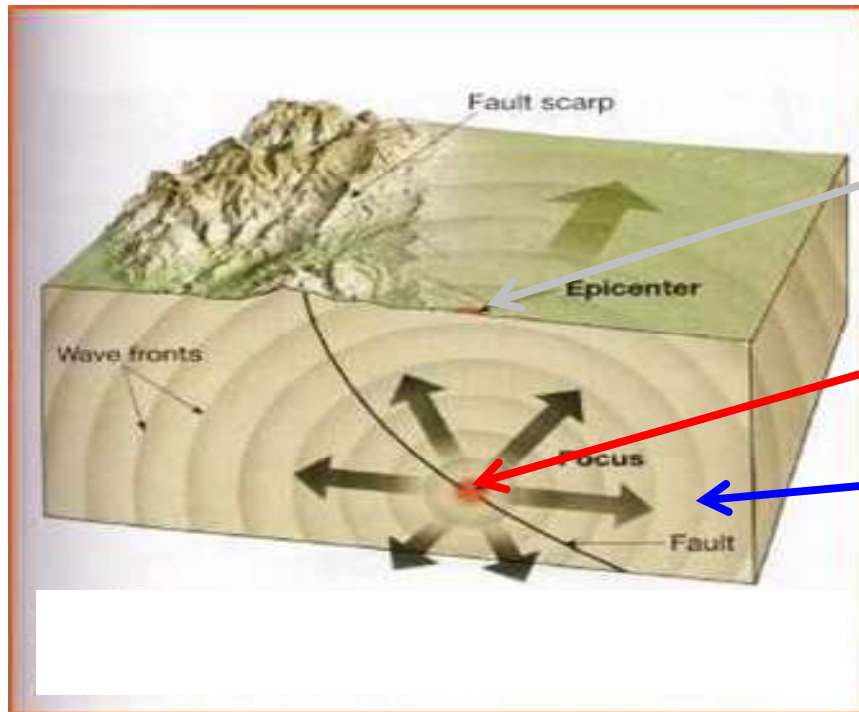
De nos jours, le rapprochement se poursuit suivant une direction SE-NW, à une vitesse de 4 à 7 mm par an (flèches rouges).

Éléments d'études des séismes

Caractéristiques d'un séisme



Caractéristiques d'un séisme



ÉPICENTRE

FOYER (ou Hypocentre)

Ondes sismiques

INTENSITEE,

MAGNITUDE

Ondes sismiques

❑ Les ondes sismiques sont des ondes élastiques. L'onde peut traverser un milieu sans le modifier. L'impulsion de départ va "pousser" des particules élémentaires, qui vont "pousser" d'autres particules et reprendre leur place. Ces nouvelles particules vont "pousser" les particules suivantes et reprendre leur place, etc.

❑ Ces ondes se propagent dans toutes les directions, on distingue:

✳ **les ondes de volume** qui traversent la Terre (ondes P et ondes S)

✳ **les ondes de surface** qui se propagent parallèlement à la surface (ondes de Love et ondes de Rayleigh)

❑ Elles se succèdent et se superposent sur les enregistrements des sismographes

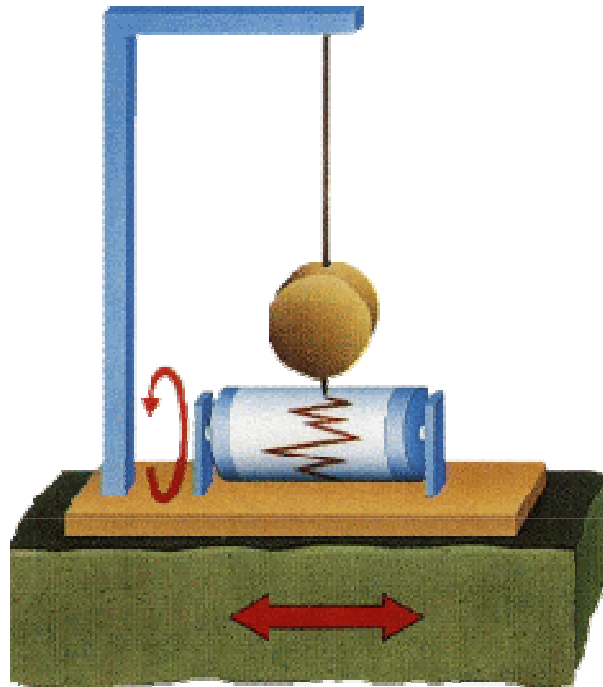
Enregistrement

- Sismographe :
 - Principes (capteur + transducteur + ampli. + enregistreur + horloge)
 - Description
 - Sismographe vertical
 - Sismographe horizontal (au moins 2 par station)
- (Mécanisme au foyer)

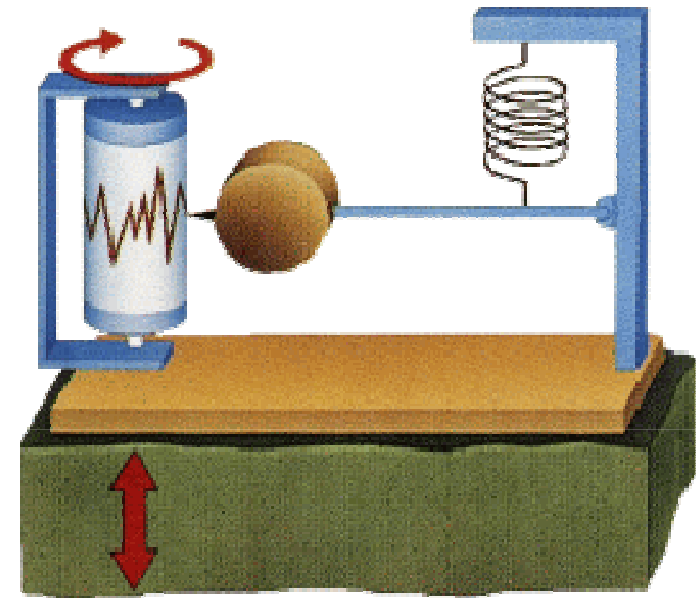
Enregistrement

- Sismographe :
 - Principes (capteur + transducteur + ampli. + enregistreur + horloge)
 - Description
 - Sismographe vertical
 - Sismographe horizontal (au moins 2 par station)
- Sismogramme
- Mécanisme au foyer

Instruments d'enregistrement des séismes



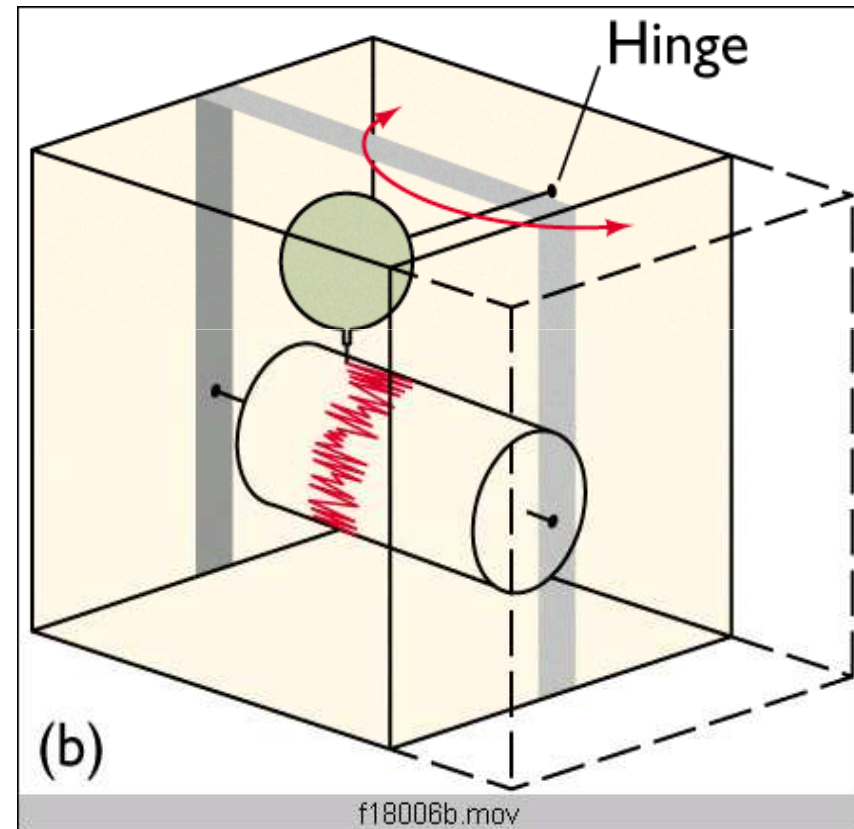
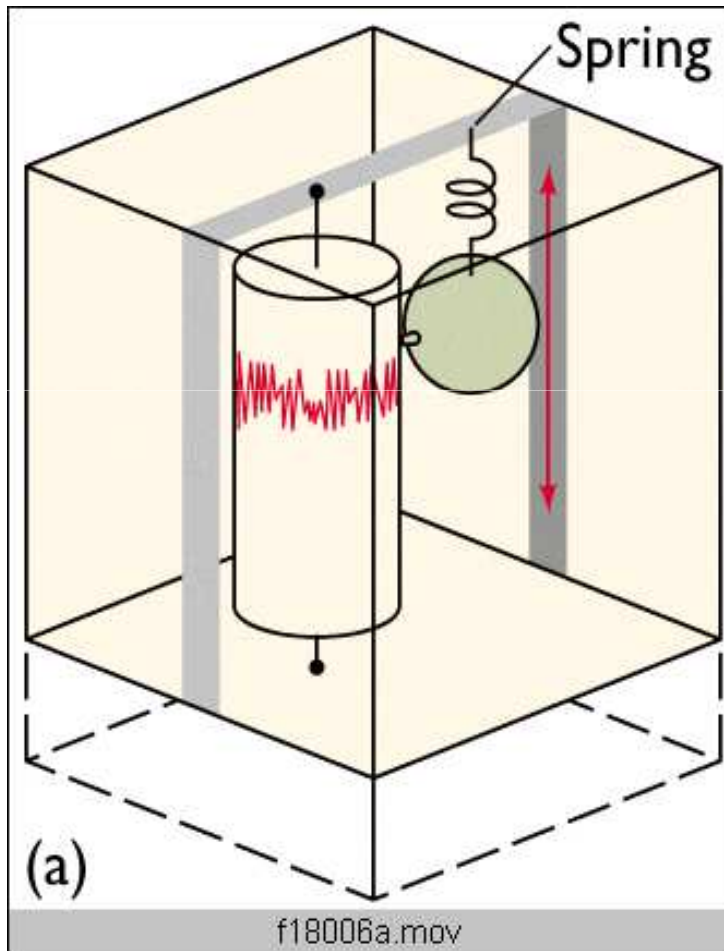
Sismographes



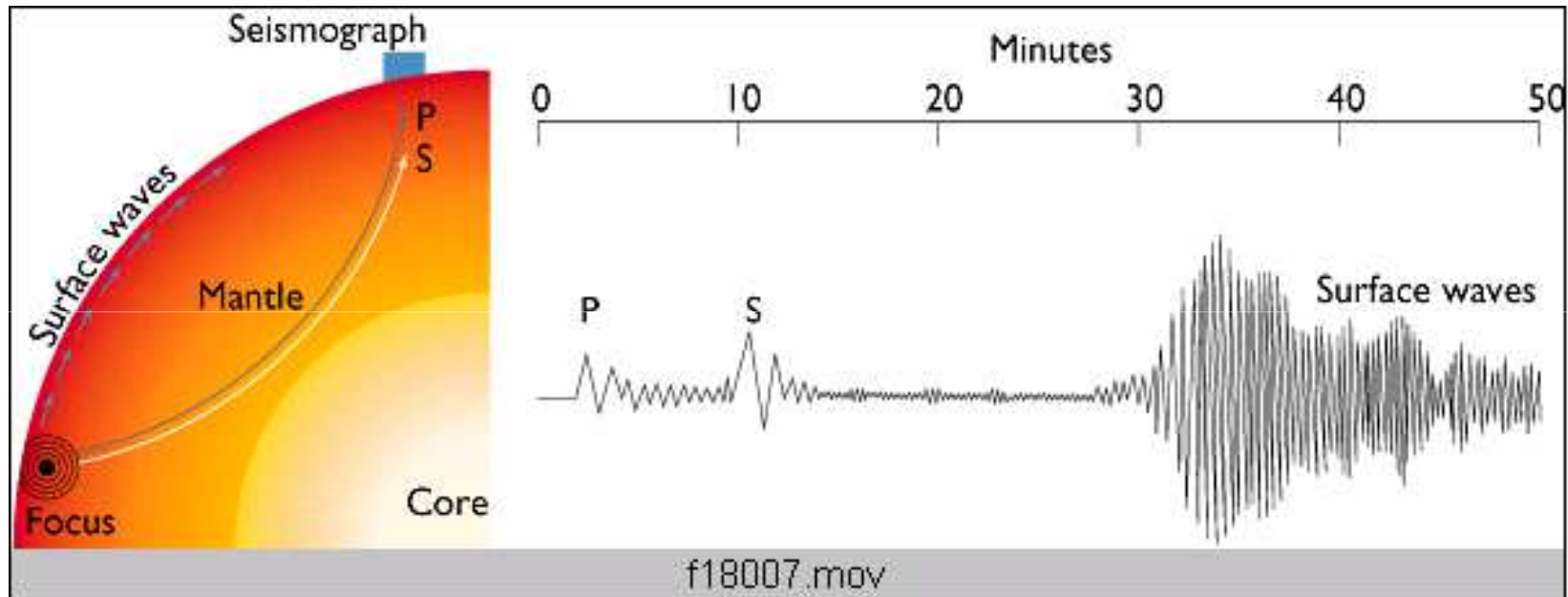
Chaque station de mesure comporte trois sismographes : deux enregistrent les mouvements horizontaux (placés nord-sud et est-ouest), le troisième enregistre les mouvements verticaux.

Instruments d'enregistrement des séismes

Sismographe vertical à droite et horizontal à gauche



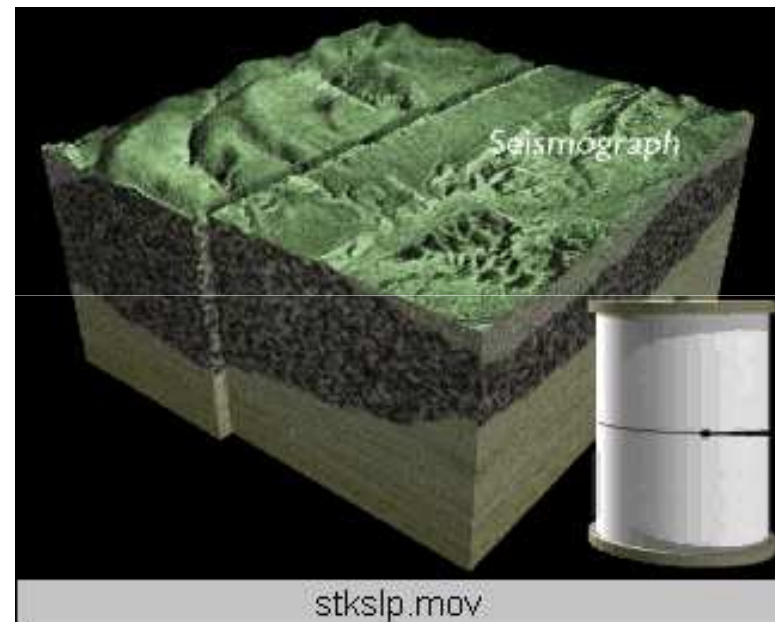
Sismogramme



- Le sismographe distant enregistre les ondes P, S et de surface. La coupe montre les trajectoires des ondes.

Séisme (illustration)

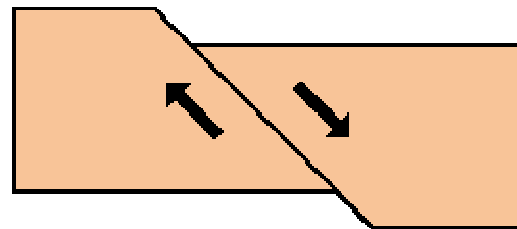
- Décrochement et
- Propagation des ondes
- Enregistrement sur un sismographe



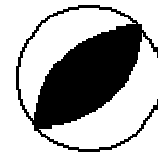
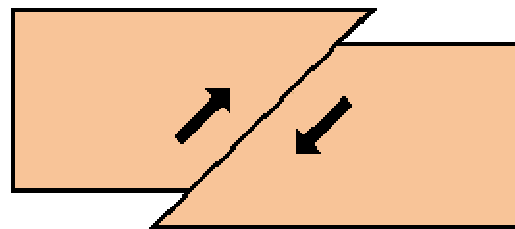
Observations et évaluation

- Mouvements du sol
 - Action simultanée et/ou successive des différentes ondes
 - Influence de la nature et de la structure du terrain.
 - Roches massives : transmission immédiate des vibrations
 - Roches meubles : emmagasinement de l'énergie avant libération, dégâts plus importants
 - Exemples : Caire, Mexico etc.

Mécanisme de Foyer

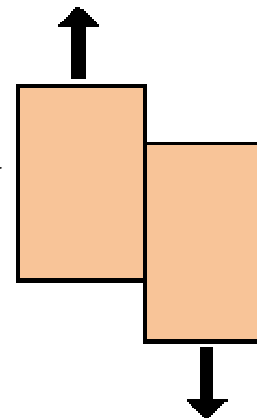


Faille normal



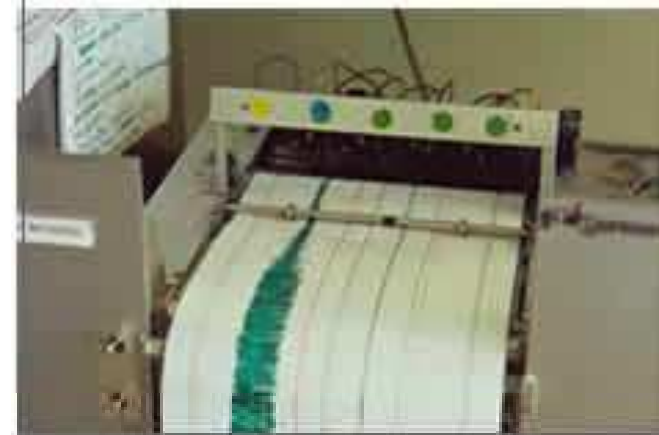
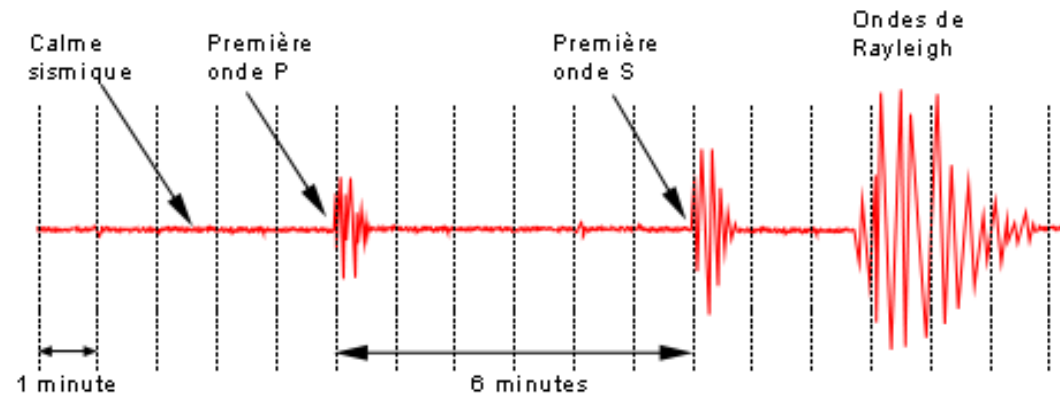
Faille inverse

Falle en décrochement



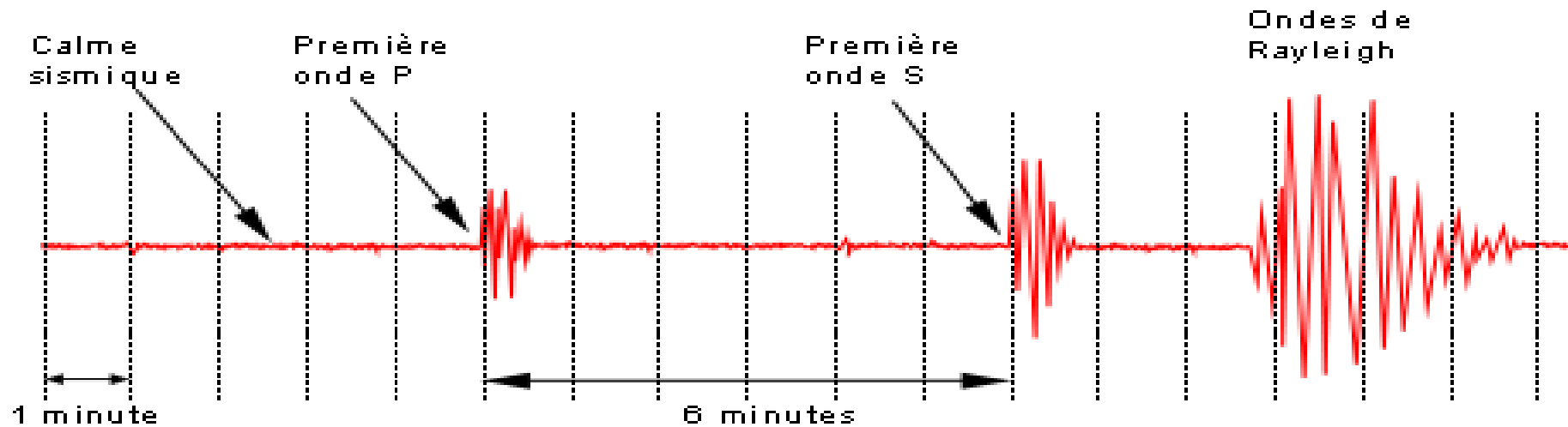
Que ressort-on d'un sismographe ?

Les sismographes nous permettent d'obtenir une trace sismique dite sismogramme

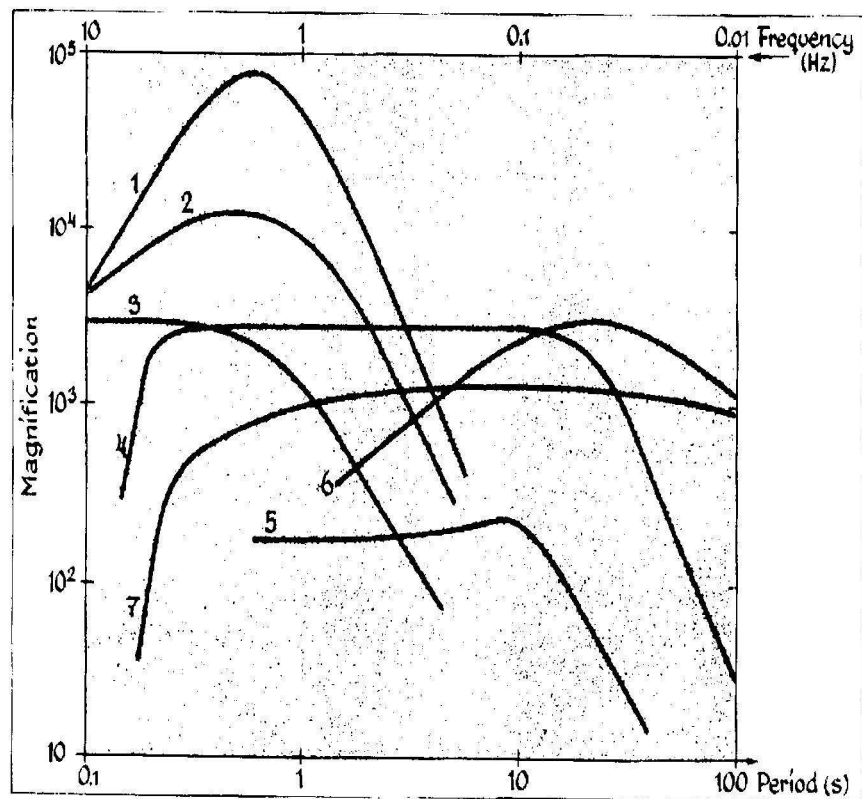


- Elle représente les temps d'arrivée des ondes sismiques
- Elle permet de déduire l'épicentre et la magnitude du séisme qui l'a généré

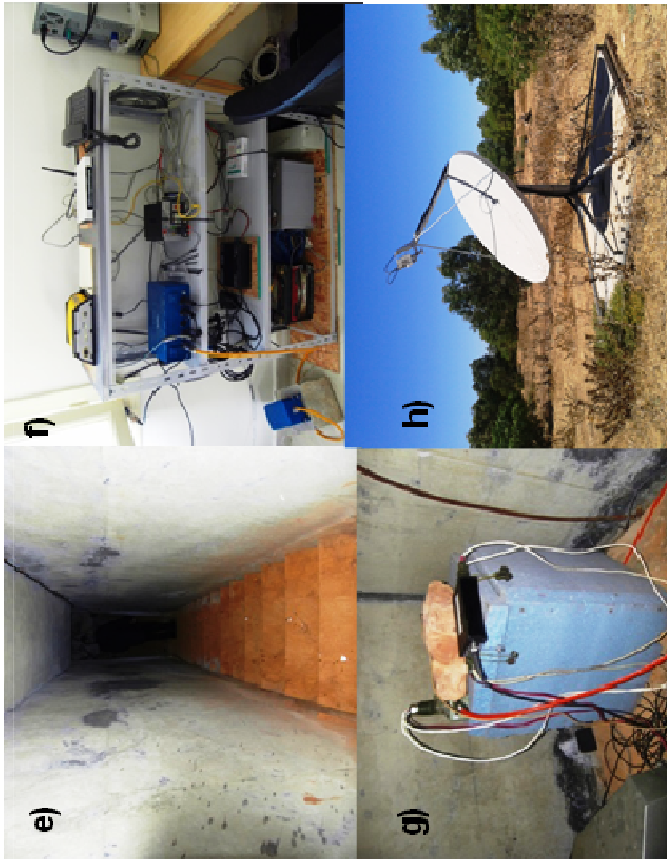
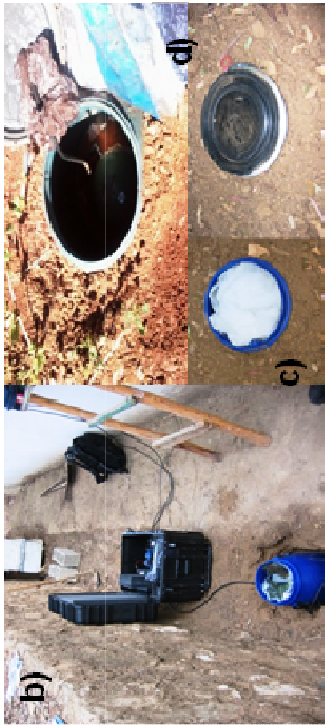
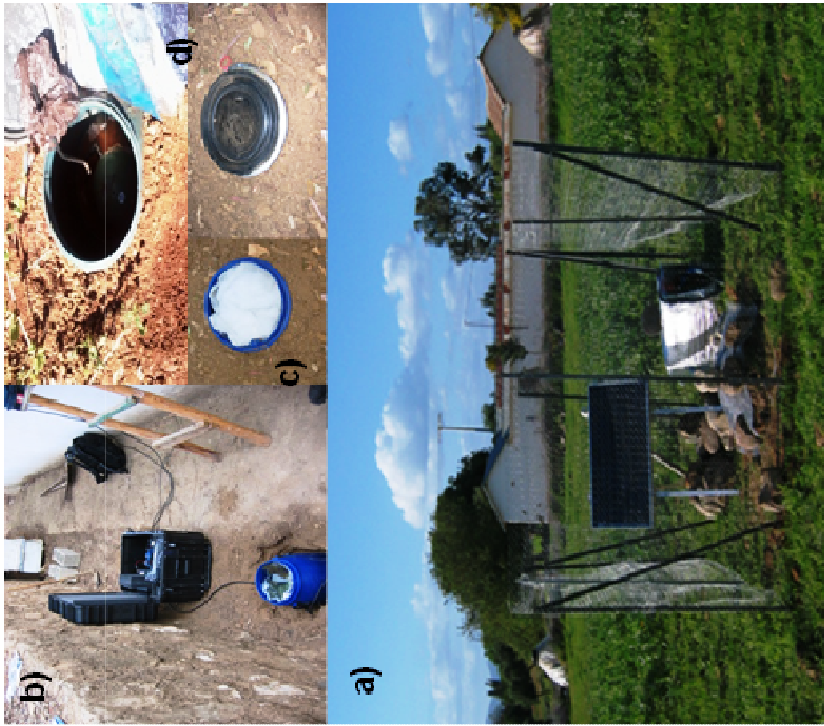
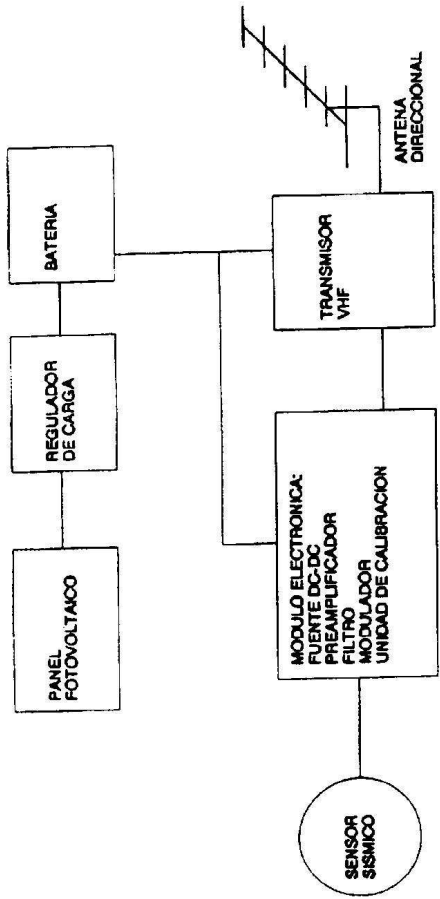
Le sismogramme

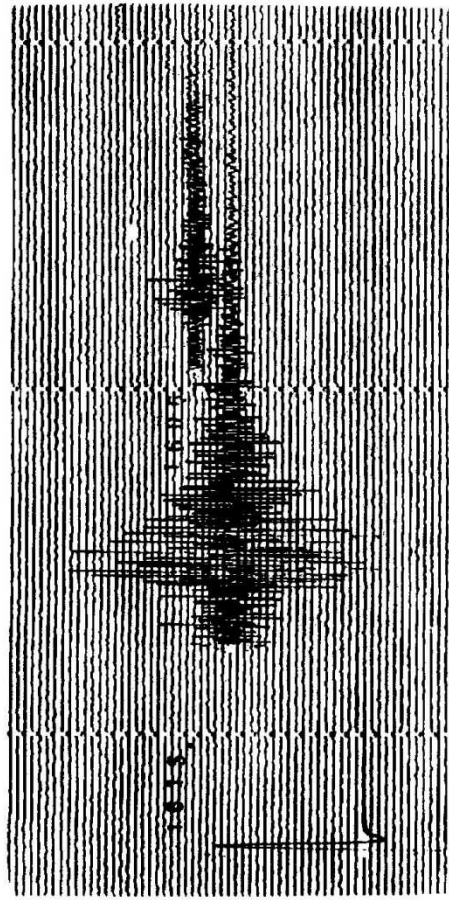
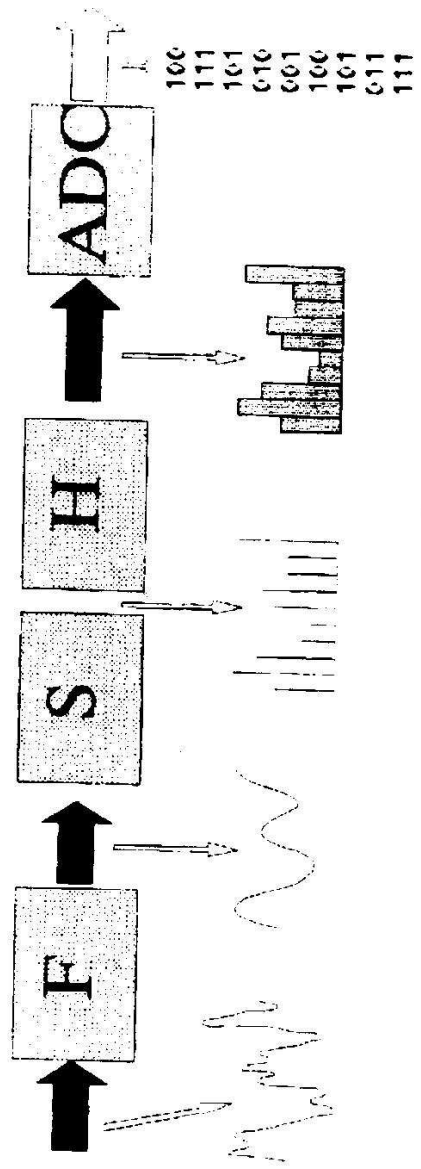


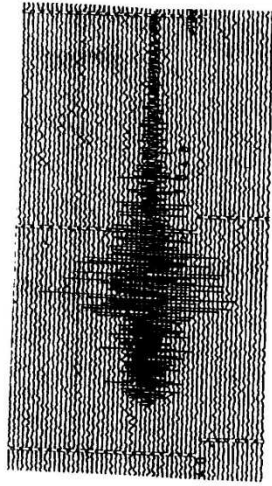
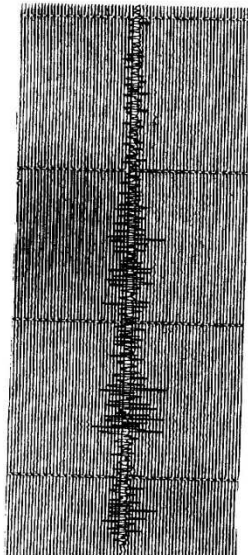
La **vitesse** de propagation et **l'amplitude** de ces ondes sont modifiées par les structures géologiques traversées.



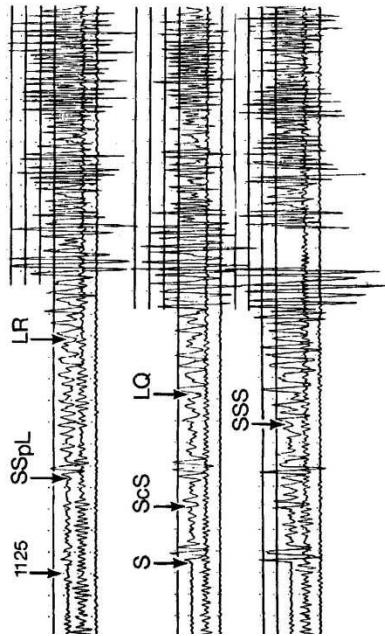
Courbes de réponse d'un instrument







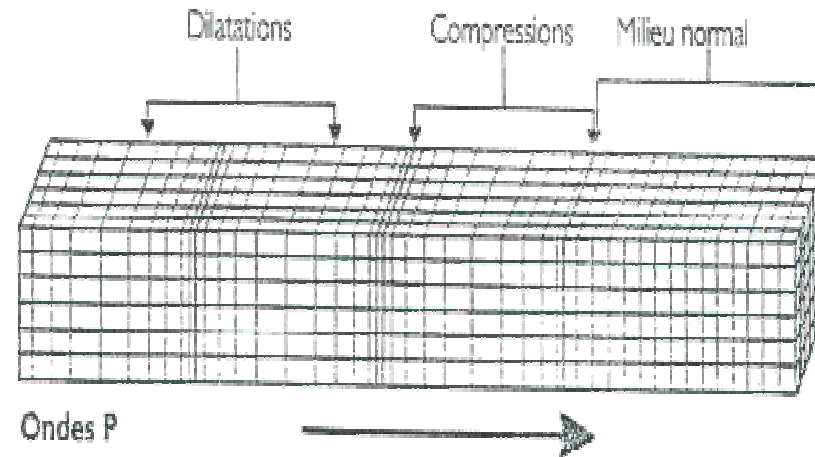
sismograma de largo periodo



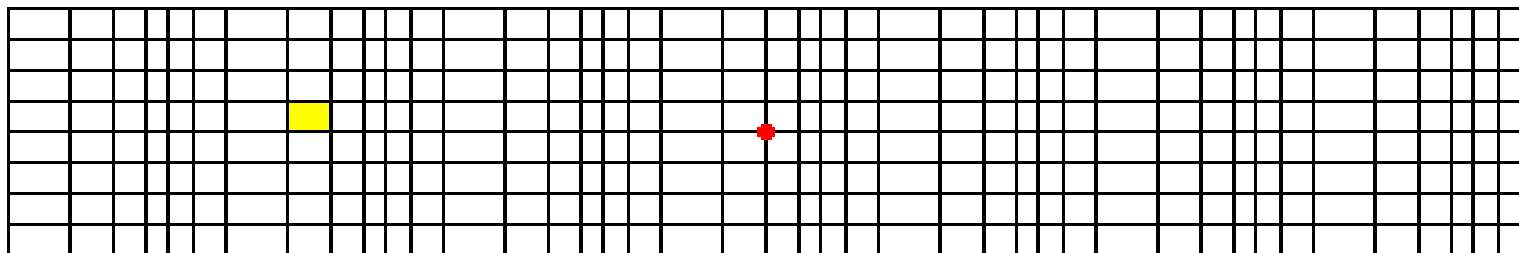
Nature des ondes sismiques

Les ondes de volume : **Ondes P**

☀ Les ondes P ou ondes primaires appelées aussi ondes de compression ou ondes longitudinales.



☀ Le déplacement du sol qui accompagne leur passage se fait par dilatation et compression successives, parallèlement à la direction de propagation de l'onde.

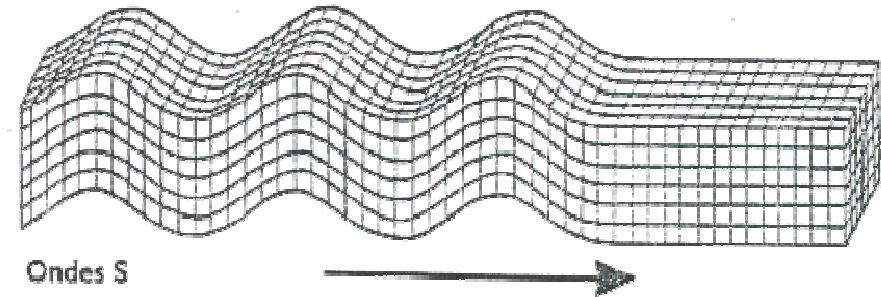


☀ Ce sont les plus rapides (6 km/s près de la surface) et sont enregistrées en premier sur le sismogramme

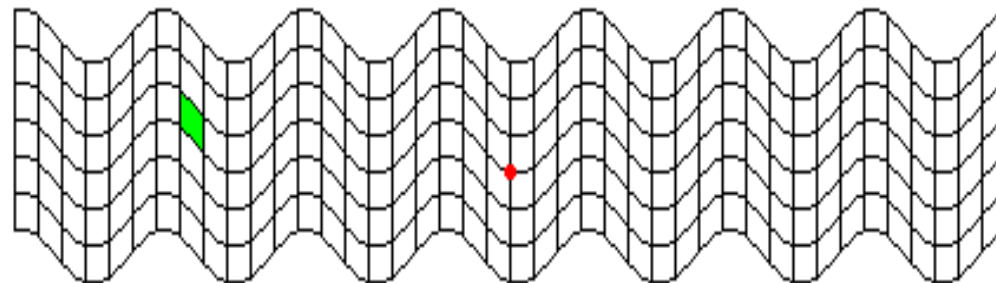
Nature des ondes sismiques

Les ondes de volume: **Ondes S**

- Les ondes S ou ondes secondaires appelées aussi ondes de cisaillement ou ondes transversales



- A leur passage, les mouvements du sol s'effectuent perpendiculairement au sens de propagation de l'onde



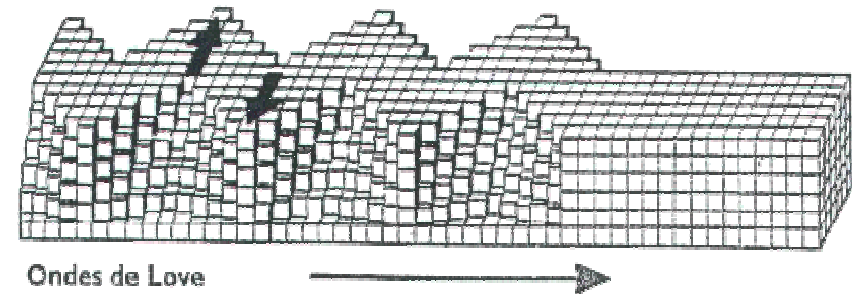
- Ces ondes ne se propagent pas dans les milieux liquides,

- Leur vitesse est plus lente que celle des ondes P (en surface de l'ordre de 4 km/s). elles apparaissent en second lieu sur les sismogrammes

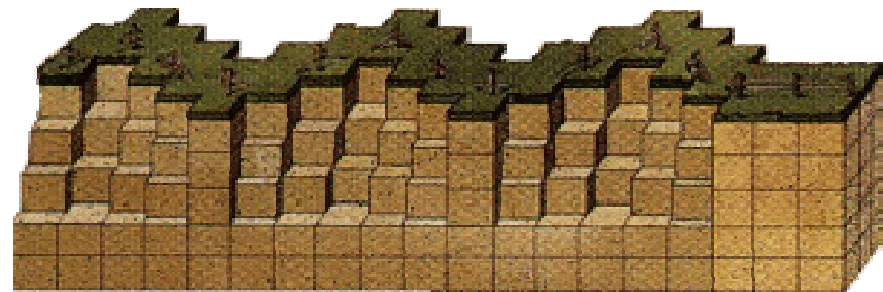
Nature des ondes sismiques

Les ondes de surface: **onde de Love**

✿ Le déplacement est essentiellement le même que celui des ondes S sans mouvement vertical



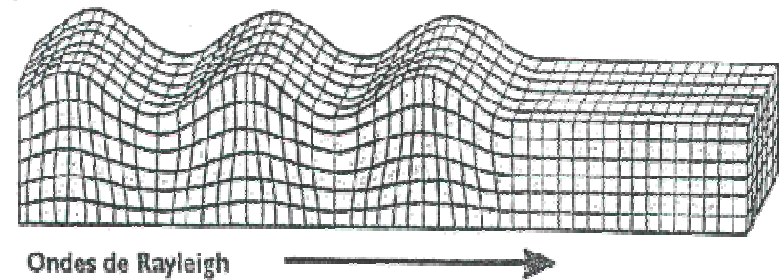
✿ Les ondes de Love provoquent un ébranlement horizontal qui est la cause de nombreux dégâts



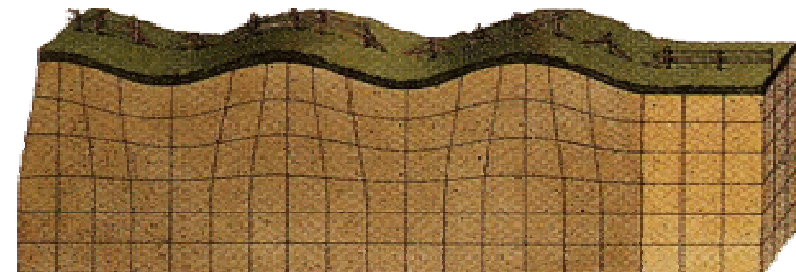
Nature des ondes sismiques

Les ondes de surface: **onde de Rayleigh**

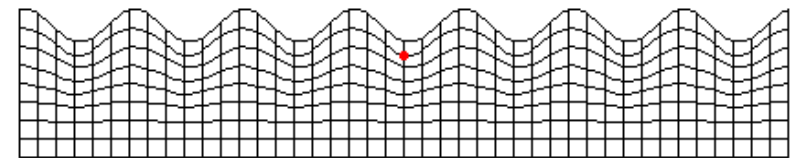
☀ Le déplacement est complexe, assez semblable à celui d'une poussière portée par une vague



☀ Un mouvement à la fois horizontal et vertical, elliptique.



Ellipse à grande axe verticale et à petit axe dans la direction du déplacement de l'onde.



Ondes P et S

- $V_p = [(K + 4/3\mu)/\rho]^{1/2}$
 - K = module de compression (résistance à la compression)
 - μ = Module de cisaillement (résistance au cisaillement)
 - ρ = densité
- $V_s = (\mu / \rho)^{1/2}$

Vitesse des rais sismiques

- Loi de Snell-Descartes :

$$\sin i/V_p = \sin r/V'_p$$

Où i = angle d'incidence

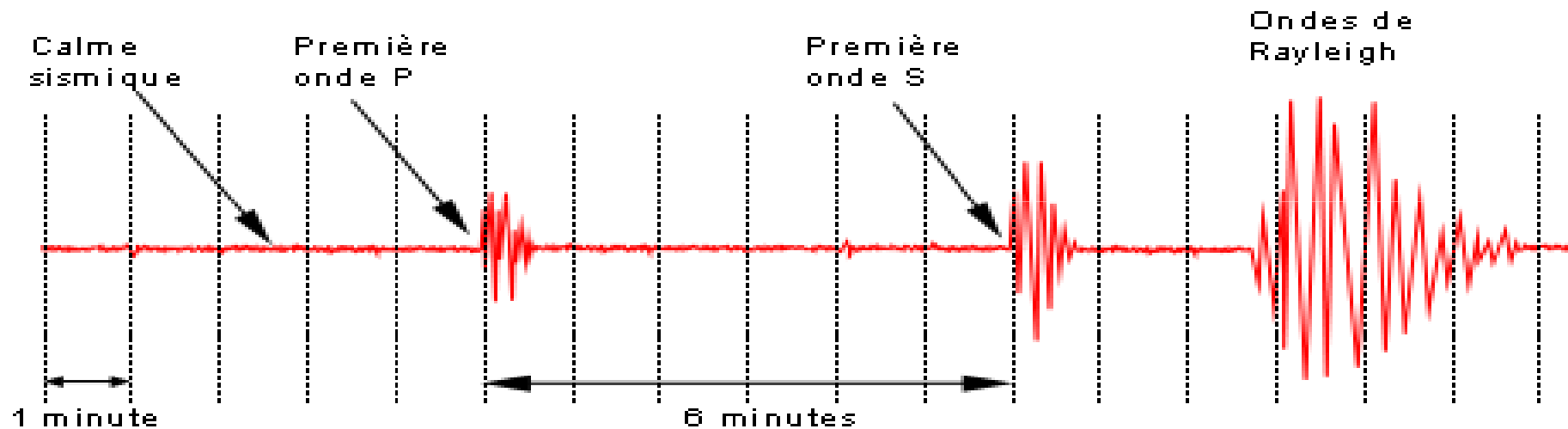
V_p = vitesse de l'onde P dans le milieu 1

R = angle de réfraction

V'_p = vitesse de l'onde P dans le milieu 2

Localisation d'un tremblement de terre

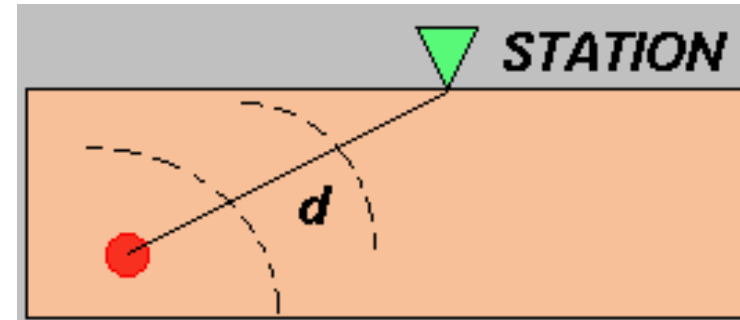
Elle se base sur l'analyse du sismogramme et surtout la différence entre le temps d'arrivée de l'onde S et de l'onde P.



Distance épacentrale

La méthode des cercles

basée sur la différence de propagation
des ondes P et S



Pour une station:

temps d'arrivée de l'onde P: $t_p = d/V_p$

temps d'arrivée de l'onde S: $t_s = d/V_s$

Différence entre les deux relations précédentes :

$$t_s - t_p = d \cdot (1/V_s - 1/V_p)$$

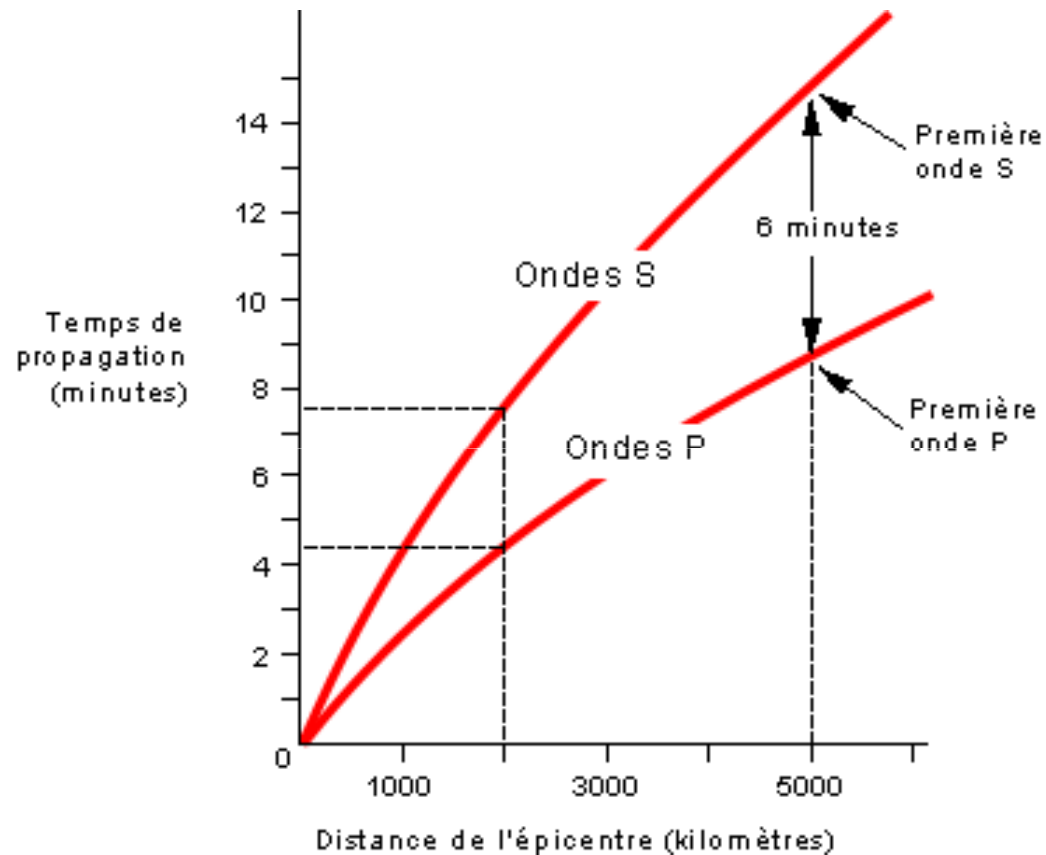
On connaît les vitesses des ondes P et S dans la croûte et on admet que :

$$(1/V_s - 1/V_p) = 1/8$$

$$\text{D'où : } \mathbf{d = 8 * (t_s - t_p)}$$

Il y'a des **abaques** qui donnent directement **d** en fonction de **(t_s - t_p)**

Localisation d'un tremblement de terre



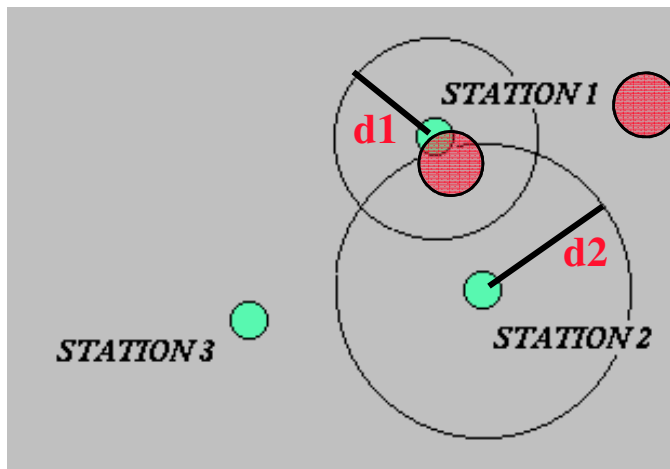
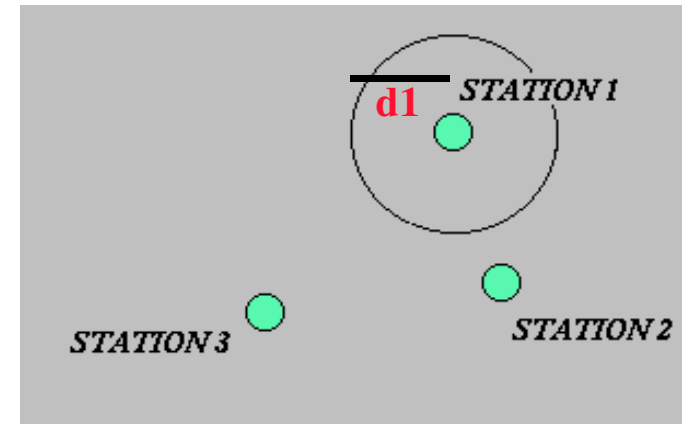
Les vitesses de propagation des deux types d'ondes (**S et P**) dans la croûte terrestre établies = courbes étalonnées

Pour une distance entre séisme et point d'enregistrement de 2000 Km, l'onde P mettra 4,5 min et l'onde S mettra 7,5 min = décalage de 3 min

Dans l'exemple, la distance correspondant à un décalage de 6 min = 5000 Km

Méthode de cercles

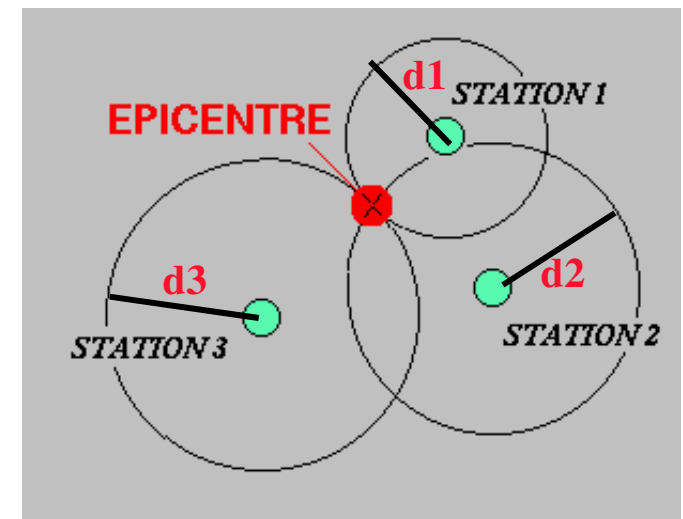
Le séisme se trouve sur le périmètre d'un cercle de **rayon d_1** centré sur une première station d'enregistrement



Avec une seconde station, on détermine la distance (**d_2**) séparant cette station de l'épicentre du séisme. Les deux points d'intersection des deux cercles définissent les deux localisations possibles de l'épicentre du séisme enregistré.

Avec une troisième station, détermination de la distance (**d_3**) séparant cette station de l'épicentre du séisme.

Un seul point d'intersection possible entre les trois cercles définit la **position précise** de l'épicentre du séisme enregistré.



Méthode de cercles



Intensité d'un séisme

L'intensité d'un séisme est définie en un lieu par rapport aux effets produits par ce séisme (observés et ressentis par l'homme).

Elle dépend du lieu d'observation
et de la distance épacentrale.

Il existe plusieurs échelles de **12 degrés**.

- Échelle de **Mercalli** (1902) modifiée en 1956.
- Échelle **MSK** (Medvedev-Sponheur-Karnik) créée en 1964.
- Échelle **EMS 92**.

Évaluation

- Intensité relative
 - Échelle M.S.K. et Mercalli
 - Utilisable en région habitée
 - Corrélation sensation + dégâts / intensité
- Magnitude
 - Échelle de Richter
 - Mesure de l'énergie libérée
 - $M = \log(A/T) + F(\Delta)$

Magnitude

- $M = \log (A/T) + F (\Delta)$
 - A = amplitude maximale en μ
 - T = période des ondes de volume en s
 - Δ = distance épacentrale en degré
 - F = terme empirique compensant l'amortissement du signal

Intensité d'un séisme

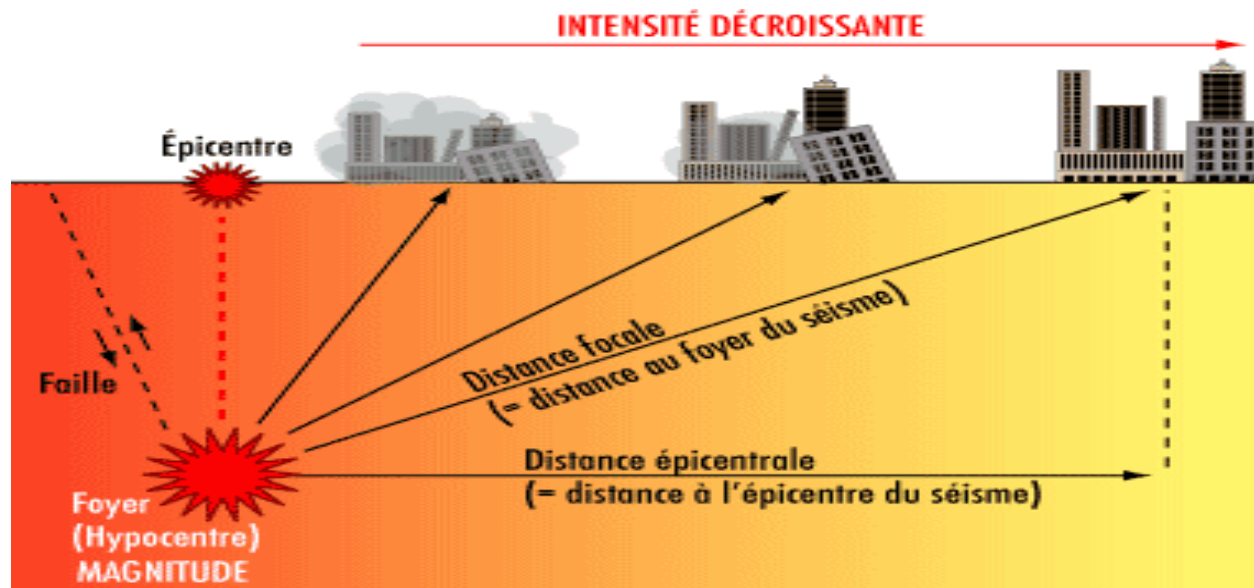
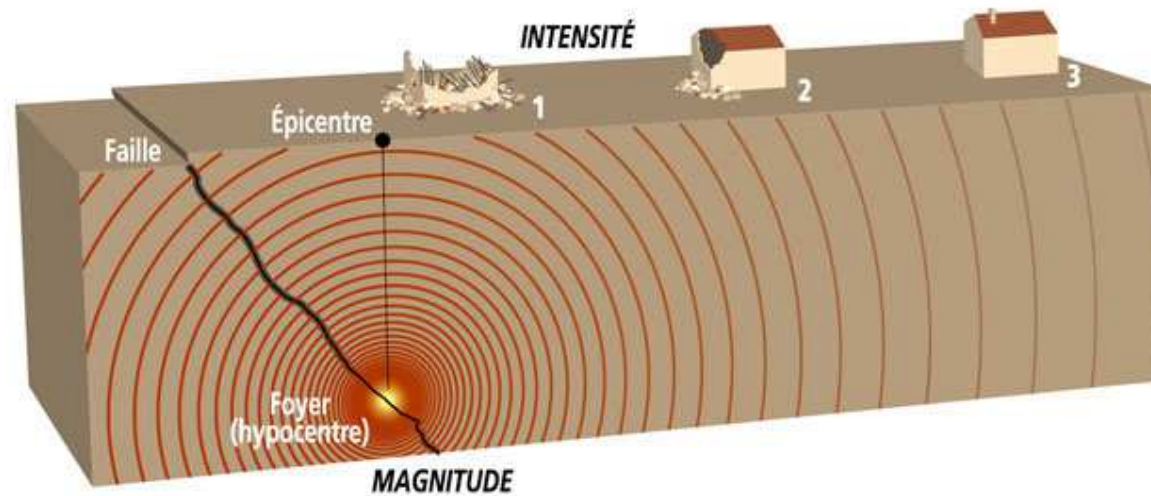
Échelle de Mercalli

Comporte 12 degrés, elle est relative et basée sur les dégâts

domaine où l'on doit faire de la construction parasismique

	secousse non ressentie, mais enregistrée par les instruments
II	secousse partiellement ressentie, notamment par des personnes au repos et aux étages
III	secousse faiblement ressentie, balancement des objets suspendus
IV	secousse largement ressentie dans et hors les habitations, tremblement des objets
V	secousse forte, réveil des dormeurs, chute d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres
VI	légers dommages, parfois fissures dans les murs, frayeur de nombreuses personnes
VII	dégâts, larges lézardes dans les murs de nombreuses habitations, chûtes de cheminées
VIII	dégâts massifs, les habitations les plus vulnérables sont détruites, presque toutes subissent des dégâts importants
IX	destructions de nombreuses constructions, quelquefois de bonne qualité, chute de monuments et de colonnes
X	destruction générale des constructions, même les moins vulnérables (non parasismiques)
XI	catastrophe, toutes les constructions sont détruites (ponts, barrages, canalisations enterrées...)
XII	changement de paysage, énormes crevasses dans le sol, vallées barrées, rivières déplacées...

- Un même séisme sera ressenti avec des intensités différentes selon la distance par rapport à l'épicentre et selon les caractéristiques du sol



Exemples

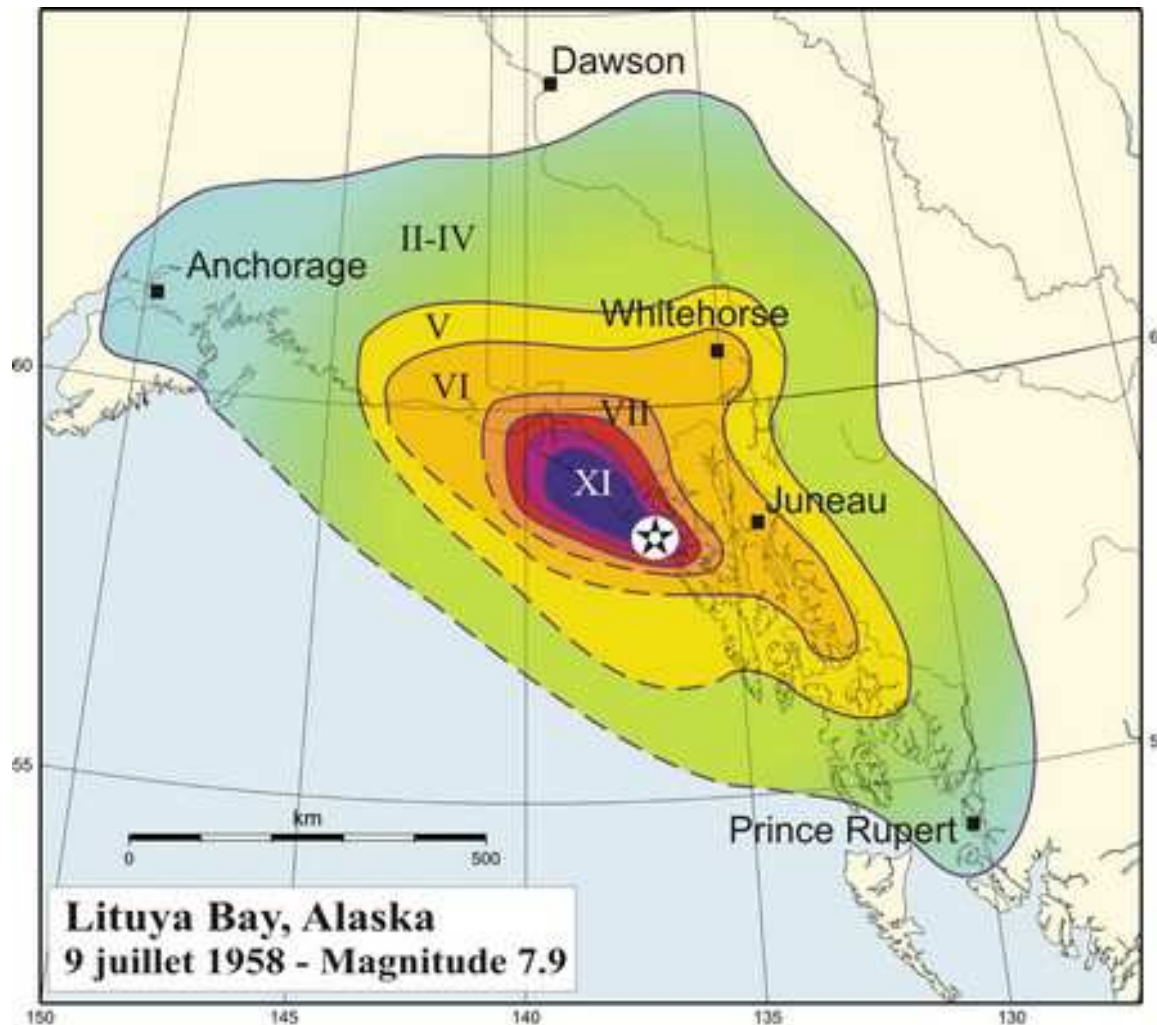
- Chili 1960 ($M = 8,9$ i-e $E = 5 \cdot 10^{24}$ erg)
- Bombe atomique (Hiroshima 1944) ,
 $E = 10^9$ erg
- Guadeloupe : annuellement environ 2-4 séismes de magnitude 4.
- Remarque : le nombre de victimes dépend svt de circonstances fortuites et n'est pas pris en compte dans l'échelle M.S.K.

Comparaisons avec TNT

• Magnitude	Energie TNT (approx.)
• 4,0	6 tonnes
• 5,0	199t
• 6.0	6.270t
• 7.0	199.000t
• 8.0	6.270.000t
• 9.0	99.000.000t

Carte isoséiste

On appelle ligne isoséiste, la courbe englobant les domaines de même intensité.
L'aire épiscopentrale correspond à la plage isoséiste d'intensité maximum



Lituya Bay, Alaska
9 juillet 1958 - Magnitude 7.9

Intensité de Mercalli Modifiée



MSK

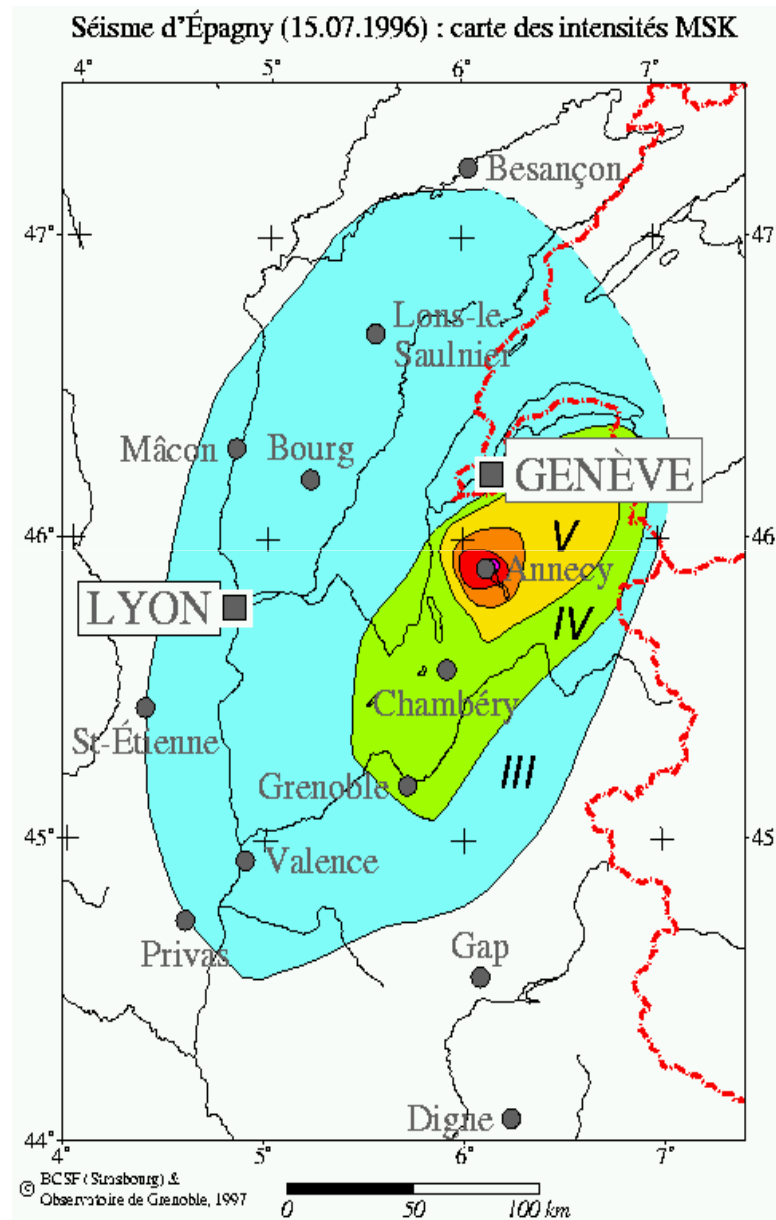
- I *imperceptible*** La secousse n'est pas perçue par les personnes, même dans l'environnement le plus favorable.
- II *à peine ressentie*** Les vibrations ne sont ressenties que par quelques individus au repos dans leur habitation, plus particulièrement dans les étages supérieurs des bâtiments.
- III *faible*** L'intensité de la secousse est faible et n'est ressentie que par quelques personnes à l'intérieur des constructions. Des observateurs attentifs notent un léger balancement des objets suspendus ou des lustres.
- IV *ressentie par beaucoup*** Le séisme est ressenti à l'intérieur des constructions par quelques personnes, mais très peu le perçoivent à l'extérieur. Certains dormeurs sont réveillés. La population n'est pas effrayée par l'amplitude de la vibration. Les fenêtres, les portes et les assiettes tremblent. Les objets suspendus se balancent.
- V *forte*** Le séisme est ressenti à l'intérieur des constructions par de nombreuses personnes et par quelques personnes à l'extérieur. De nombreux dormeurs s'éveillent, quelques-uns sortent en courant. Les constructions sont agitées d'un tremblement général. Les objets suspendus sont animés d'un large balancement. Les assiettes et les verres se choquent. La secousse est forte. Le mobilier lourd tombe. Les portes et fenêtres battent avec violence ou claquent.

MSK

- VI légers dommages** Le séisme est ressenti par la plupart des personnes, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur. De nombreuses personnes sont effrayées et se précipitent vers l'extérieur. Les objets de petite taille tombent. De légers dommages sur la plupart des constructions ordinaires apparaissent : fissurations des plâtres ; chutes de petits débris de plâtre.
- VII dommages significatifs** La plupart des personnes sont effrayées et se précipitent dehors. Le mobilier est renversé et les objets suspendus tombent en grand nombre. Beaucoup de bâtiments ordinaires sont modérément endommagés : fissurations des murs ; chutes de parties de cheminées.
- VIII dommages importants** Dans certains cas, le mobilier se renverse. Les constructions subissent des dommages ; chutes de cheminées ; lézardes larges et profondes dans les murs ; effondrements partiels éventuels.
- IX destructive** Les monuments et les statues se déplacent ou tournent sur eux mêmes. Beaucoup de bâtiments s'effondrent en partie, quelques uns entièrement.
- X très destructive** Beaucoup de constructions s'effondrent.
- XI dévastatrice** La plupart des constructions s'effondrent.
- XII catastrophique** Pratiquement toutes les structures au-dessus et au-dessous du sol sont gravement endommagées ou détruites.

Carte isoséiste

Exemple du
séisme d'Annecy
du 15 juillet 1996



Échelle de MSK

Magnitude d'un séisme (Échelle de Richter)

NE PAS CONFONDRE INTENSITÉ ET MAGNITUDE

La **magnitude** est mesurée par le **logarithme de l'amplitude maximale** des ondes, mesurée en microns, à partir d'un sismomètre placé à une distance d'environ 100 km par rapport à l'épicentre

Du fait que l'appareil de mesure n'est que rarement à 100 Km de l'épicentre:

$$M = \log A/T + F(\Delta)$$

A amplitude en microns

T période en secondes

F(Δ) terme empirique = amortissement du signal sismique en fonction de la distance Δ (en degré)

Échelle de Richter instaurée en 1935

Un séisme de magnitude 8,5 est 100 millions de fois plus fort qu'un séisme de magnitude 3

Valeur objective = une seule valeur pour un séisme donné

A ce jour, plus fort séisme = 9,5 sur l'échelle de Richter (Chili).

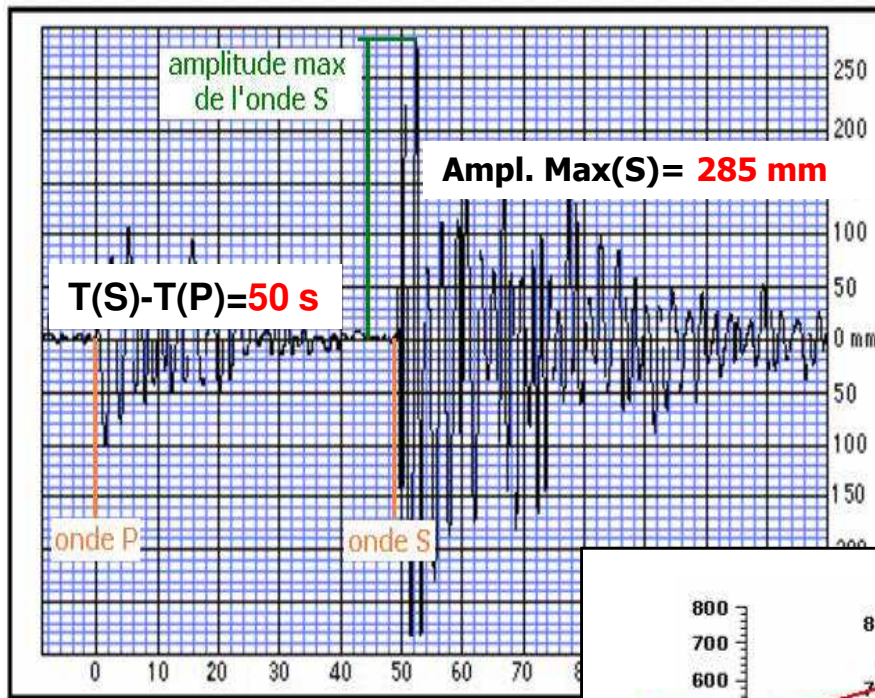
**Depuis janvier 2000, nouvelle échelle adoptée par les pays européens :
EMS 98 (European Macroseismic Scale 1998)**

Échelle de Richter

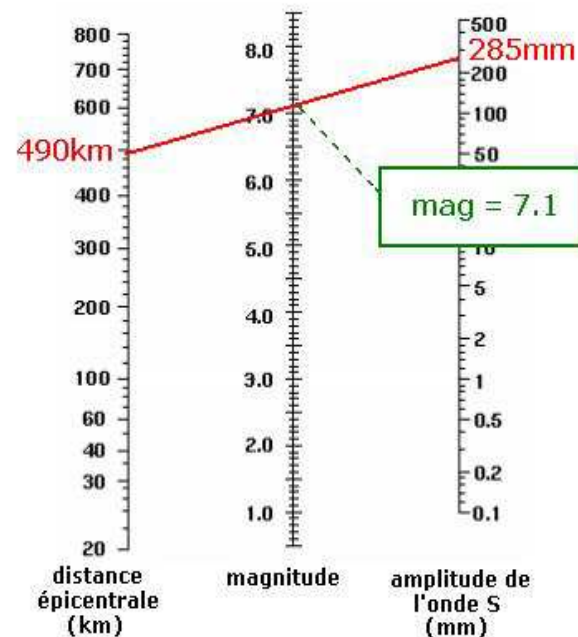
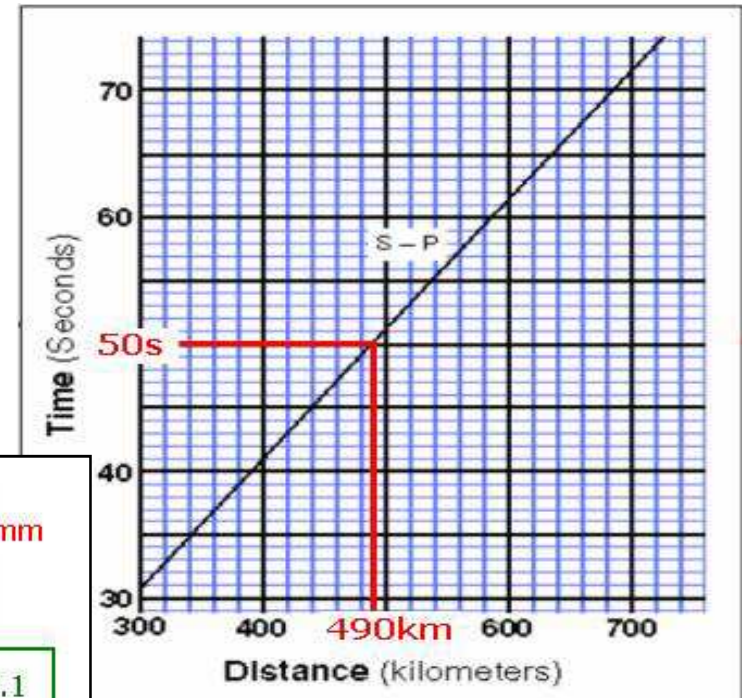
Magnitude (Richter)	Effets du tremblement de terre
Moins de 3,5	Le séisme est non ressenti, mais enregistré par les sismographes.
De 3,5 à 5,4	Il est souvent ressenti, mais sans dommage.
De 5,4 à 6	Légers dommages aux bâtiments bien construits, mais peut causer des dommages majeurs à d'autres bâtisses.
De 6,1 à 6,9	Peut être destructeur dans une zone de 100 km à la ronde.
De 7 à 7,9	Tremblement de terre majeur. Il peut causer de sérieux dommages sur une large surface.
Au-dessus de 8	C'est un très grand séisme pouvant causer de très grands dommages dans des zones de plusieurs centaines de kilomètres.

Mesure de la magnitude (Utilisation des abaques)

STATION EUREKA



on convertit le délai entre l'onde P et l'onde S en distance épicentrale

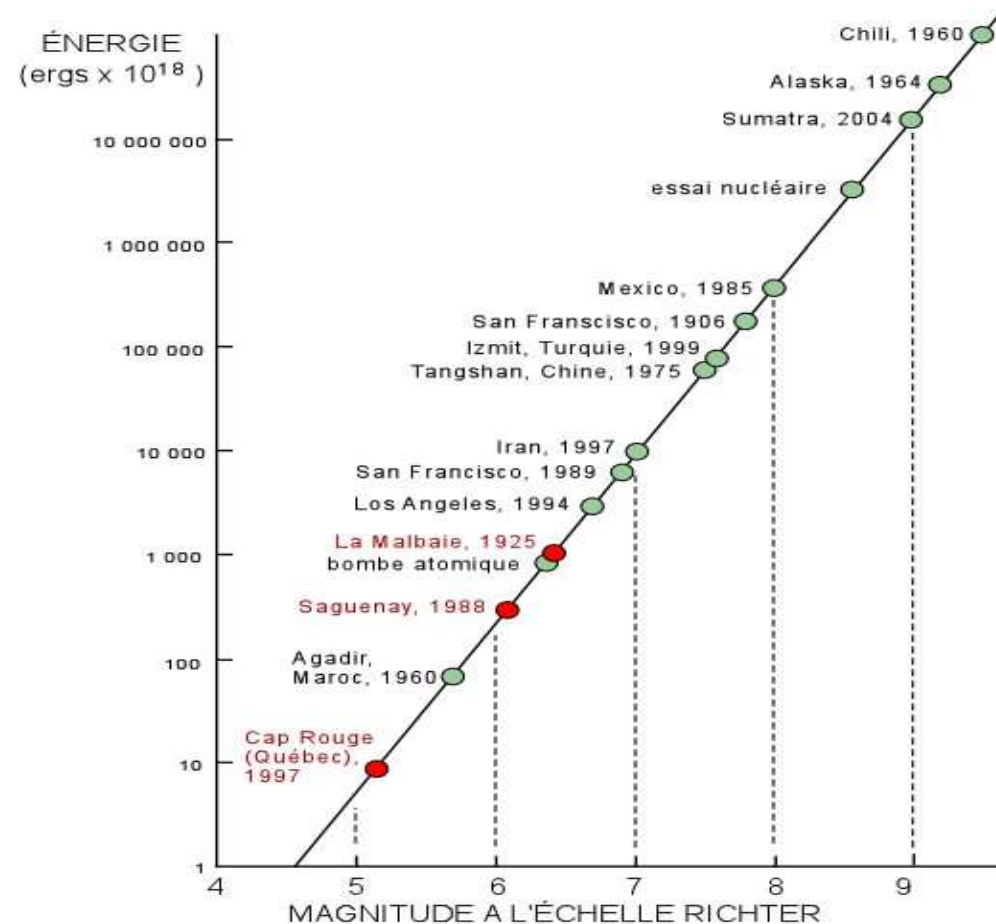


La magnitude de Richter

A partir des magnitudes on calcule l'énergie du séisme par une formule du type :

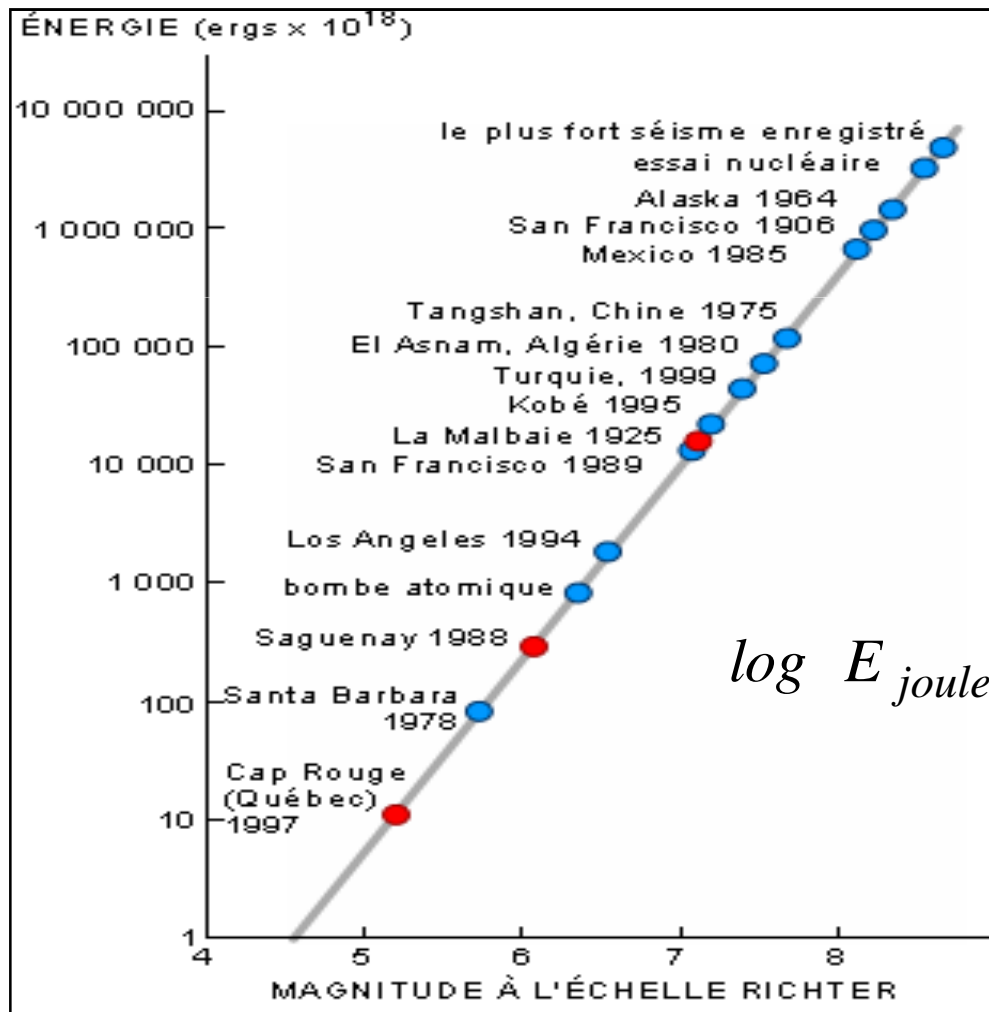
$$\text{Log } E = a + b M$$

Les coefficients a et b sont définis pour chaque type de magnitude



Énergie d'un séisme

Les américains Gutenberg et Richter (1956) observent une relation linéaire entre l'énergie (E) libérée par un séisme et une fonction logarithmique dépendant de l'amplitude et de la période de l'onde, de la profondeur du foyer et de la distance épacentrale du séisme.



$$\log E_{\text{joule}} = 4,8 + 1,5 M$$

Effets de séisme



▪ Rupture de la surface par jeu de failles

▪ Enfoncement d'un immeuble à cause des phénomènes de liquéfaction



▪ Destruction des bâtiments

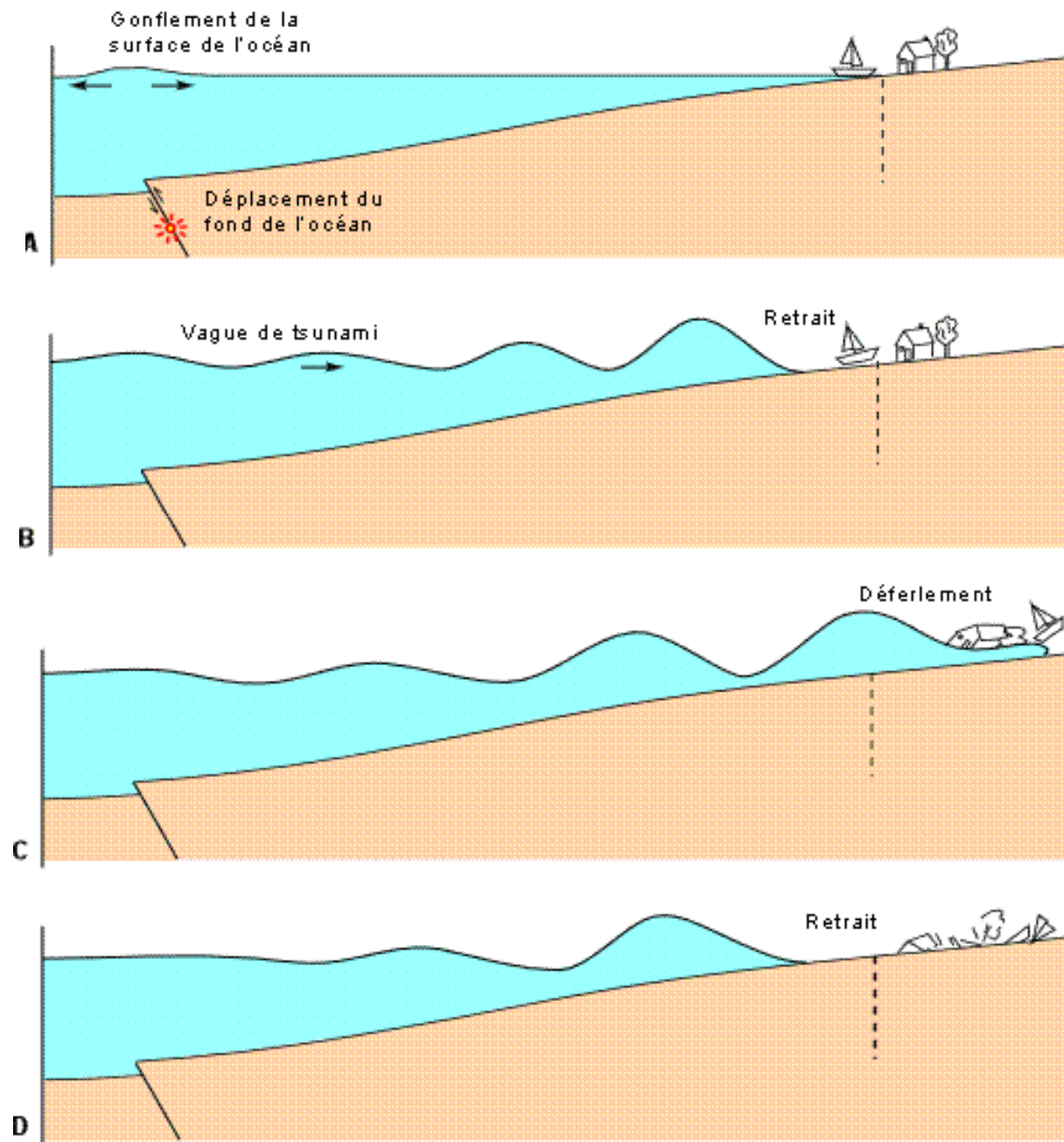
▪ Reprise d'activité volcanique



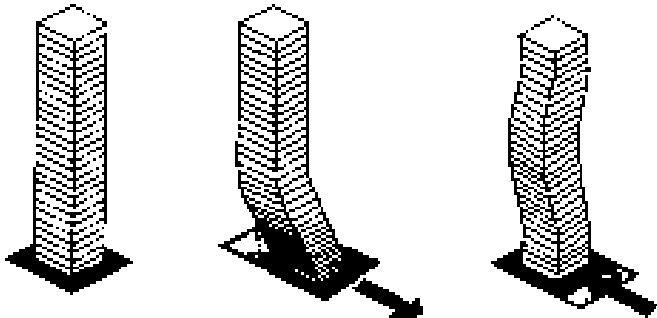
▪ Destructions de infrastructures



Tsunami ou raz de marée



Effet des ondes sur les constructions



Ondes L et R

- gamme des "basses fréquences » (< 1 hertz)
- nocives pour les bâtiments élevés
- destructrices à des distances plus grandes que les ondes P et S (quelques dizaines de kilomètres)



Ondes P et S

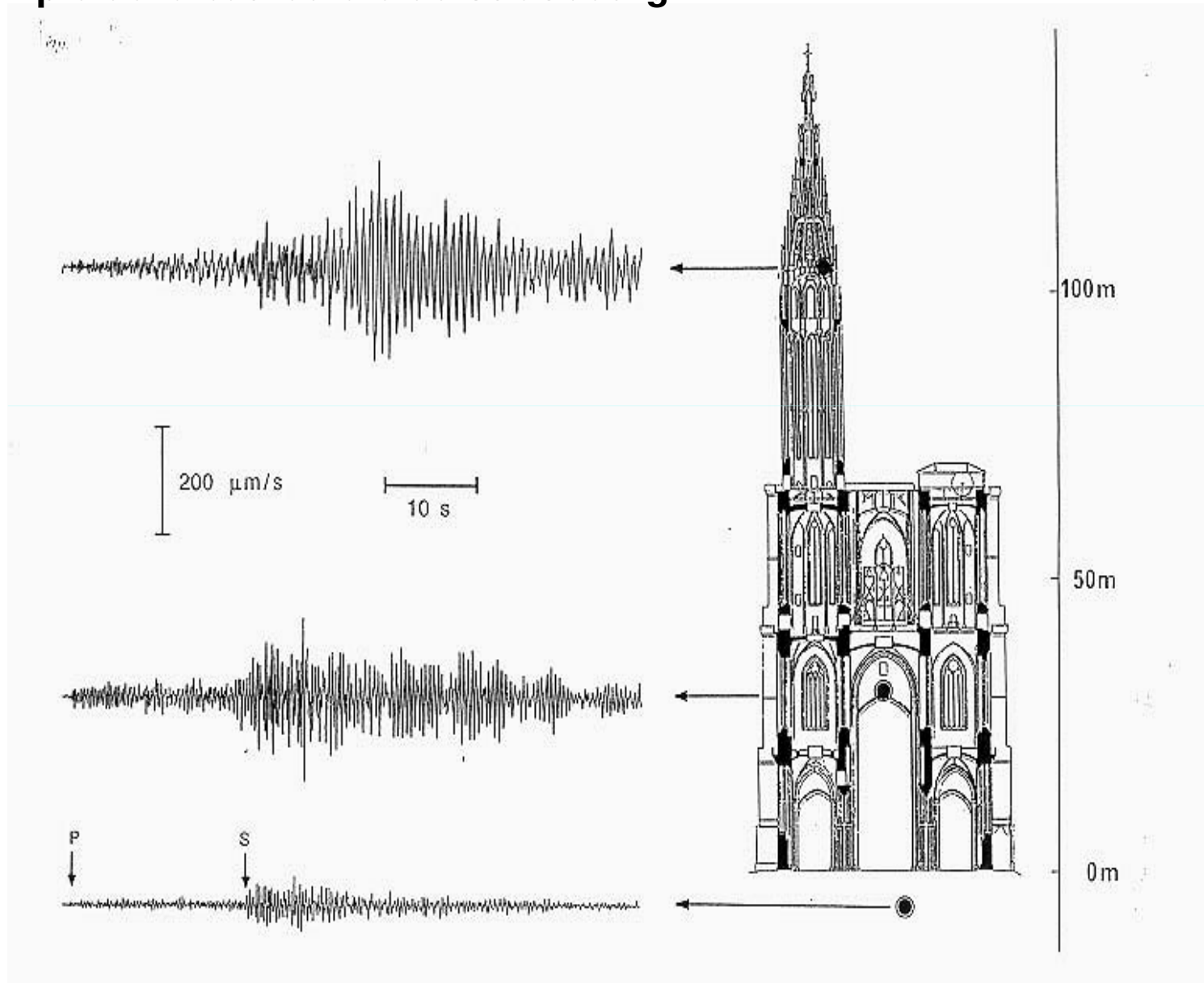
- gamme des "hautes fréquences » (> 1 hertz)
- dangereuses pour diverses catégories de bâtiments bas

deux types de mouvements (et leurs combinaisons)

- à la verticale du foyer, à l' épicrocentro = mouvement vertical
- plus loin effet dominant = horizontal, lié au mouvement de la faille

Etude de l'amplification des ondes par des bâtiments

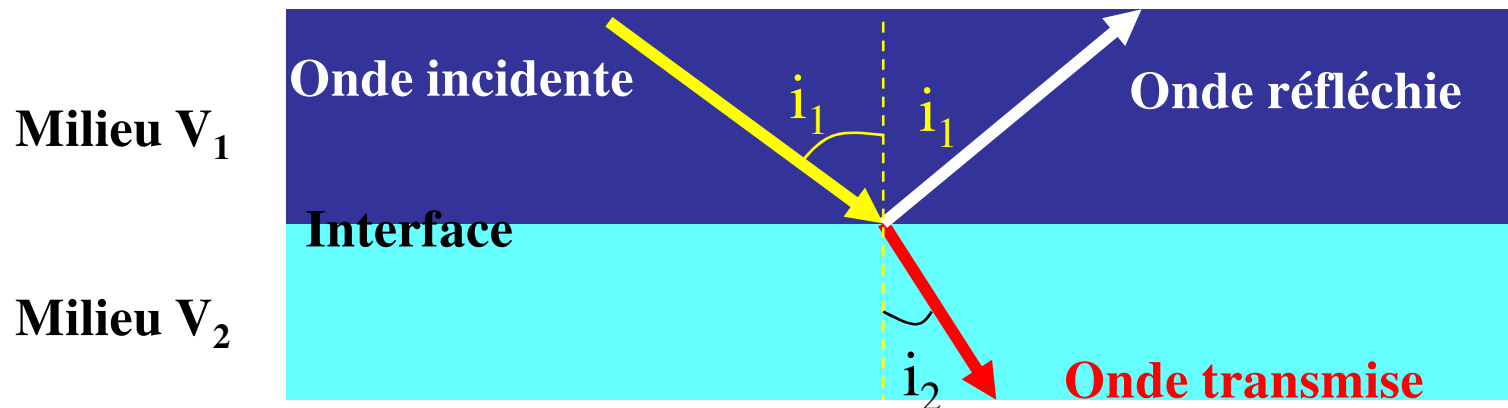
Exemple de la cathédrale de Strasbourg.



Transmission des ondes à travers le Globe

- Propagation des ondes
 - vitesse : fonction de la nature et de la densité du milieu traversé
 - rappel : P traverse liquide et solide ; S ne passe qu'à travers un solide.
- Les discontinuités internes du Globe
 - sismique réflexion
 - sismique réfraction

Les ondes de volumes se propagent en suivant les lois de l'optique géométrique.



Loi de Snell-Descartes
$$\frac{\sin i_1}{V_1} = \frac{\sin i_2}{V_2}$$

Les lois nous permettent de déterminer ainsi les vitesses V_1 , V_2 , et Les profondeurs des interfaces.

$$V_1 > V_2$$

Quelque soit i_1 , l'angle i_2 existe.

$$\sin i_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot \sin i_1$$

$$\text{Pour } i_1 = \pi/2 \quad \implies \quad \sin i_2 = \frac{V_2}{V_1} < 1$$

$$\text{Pour } i_1 = 0 \quad \implies \quad i_2 = 0$$

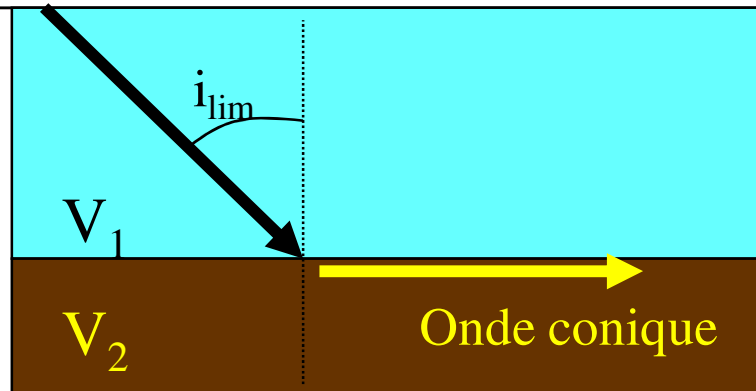
$$V_1 < V_2$$

L'angle i_2 n'existe que pour certaines valeurs de i_1 .

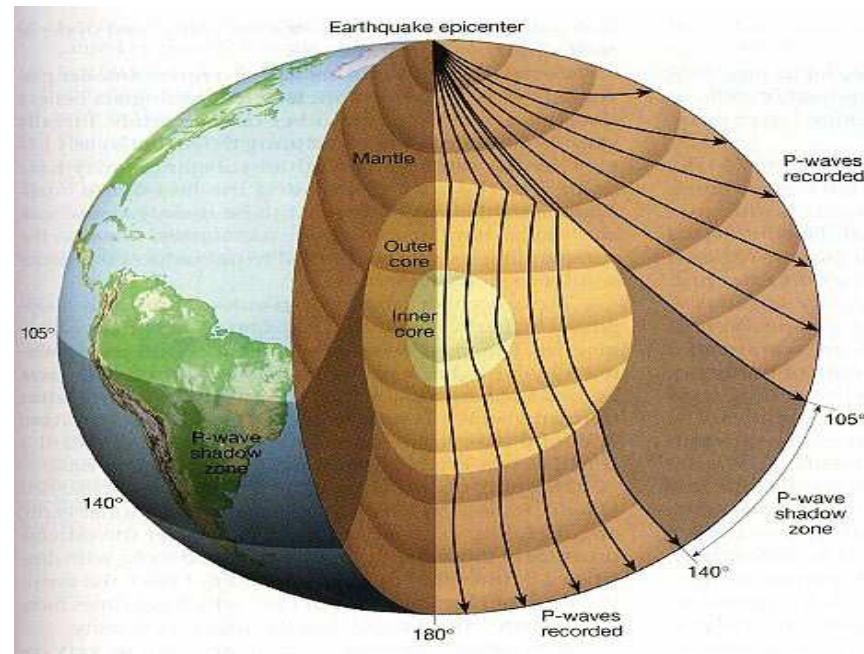
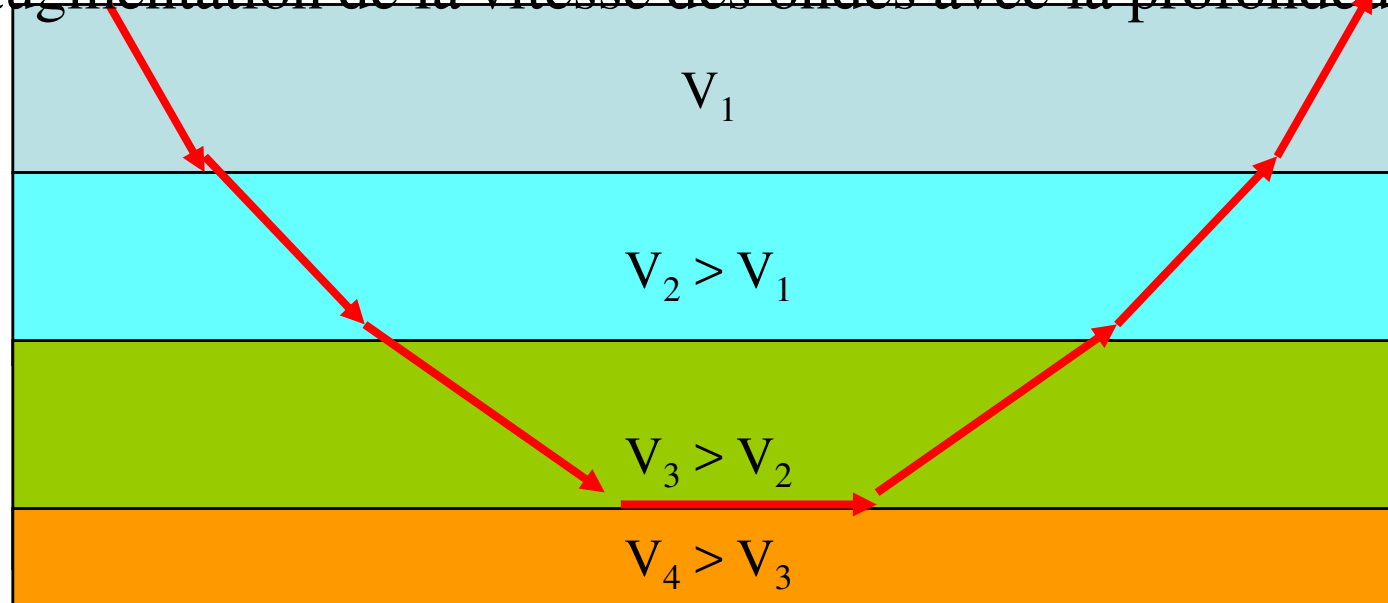
$$\sin i_2 = \frac{V_2}{V_1} \cdot \sin i_1$$

Pour $i_1 = \pi/2 \implies \sin i_2 = \frac{V_2}{V_1} > 1$ impossible

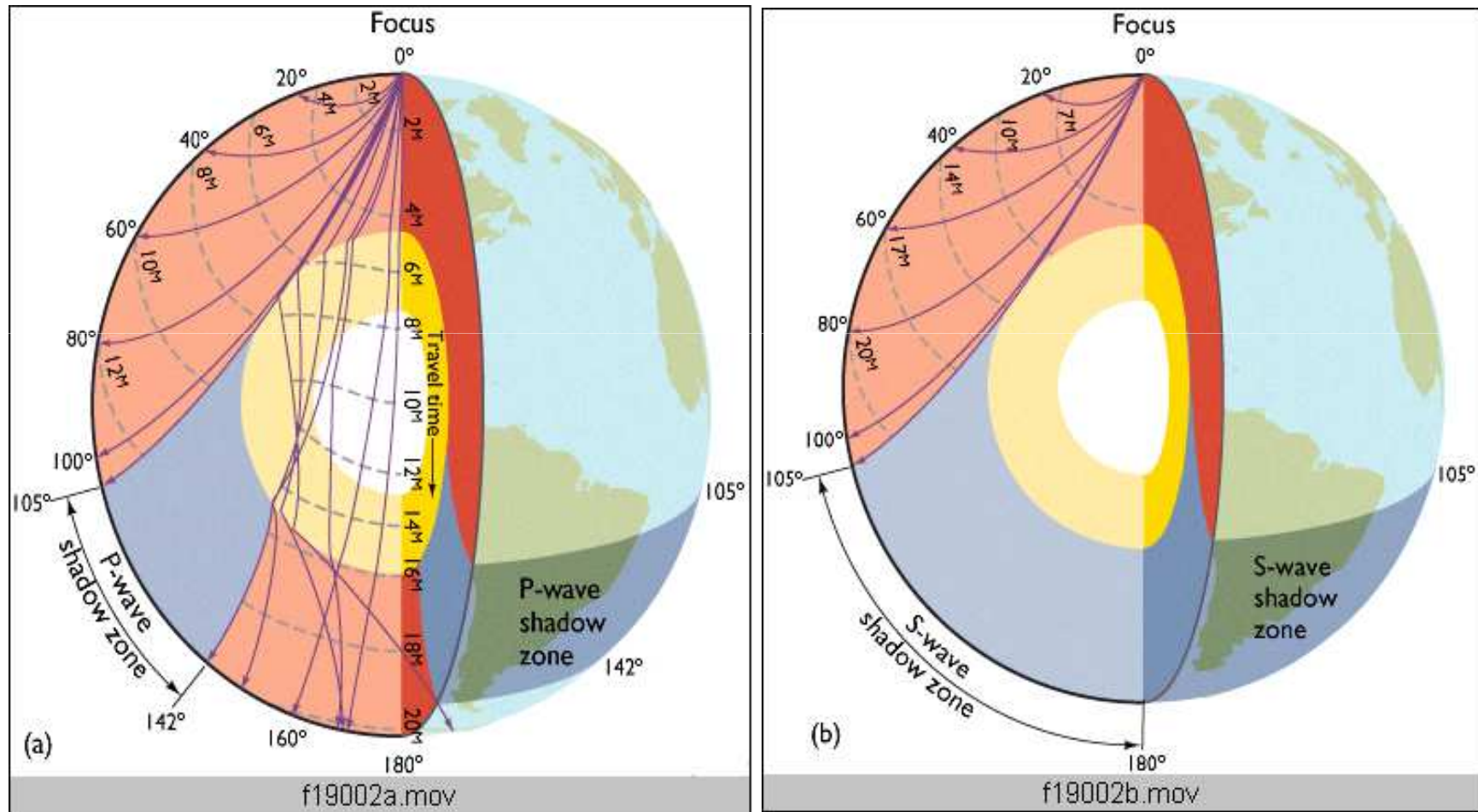
Il existe donc un angle $i_1 = i_{\text{limite}}$ au-delà duquel il n'y a plus d'onde transmise. Pour $i_1 = i_{\text{limite}}$, $i_2 = \pi/2$, l'onde est une **onde réfractée** appelée **onde conique**.



La trajectoire courbe des rayons sismiques s'explique par l'augmentation de la vitesse des ondes avec la profondeur.

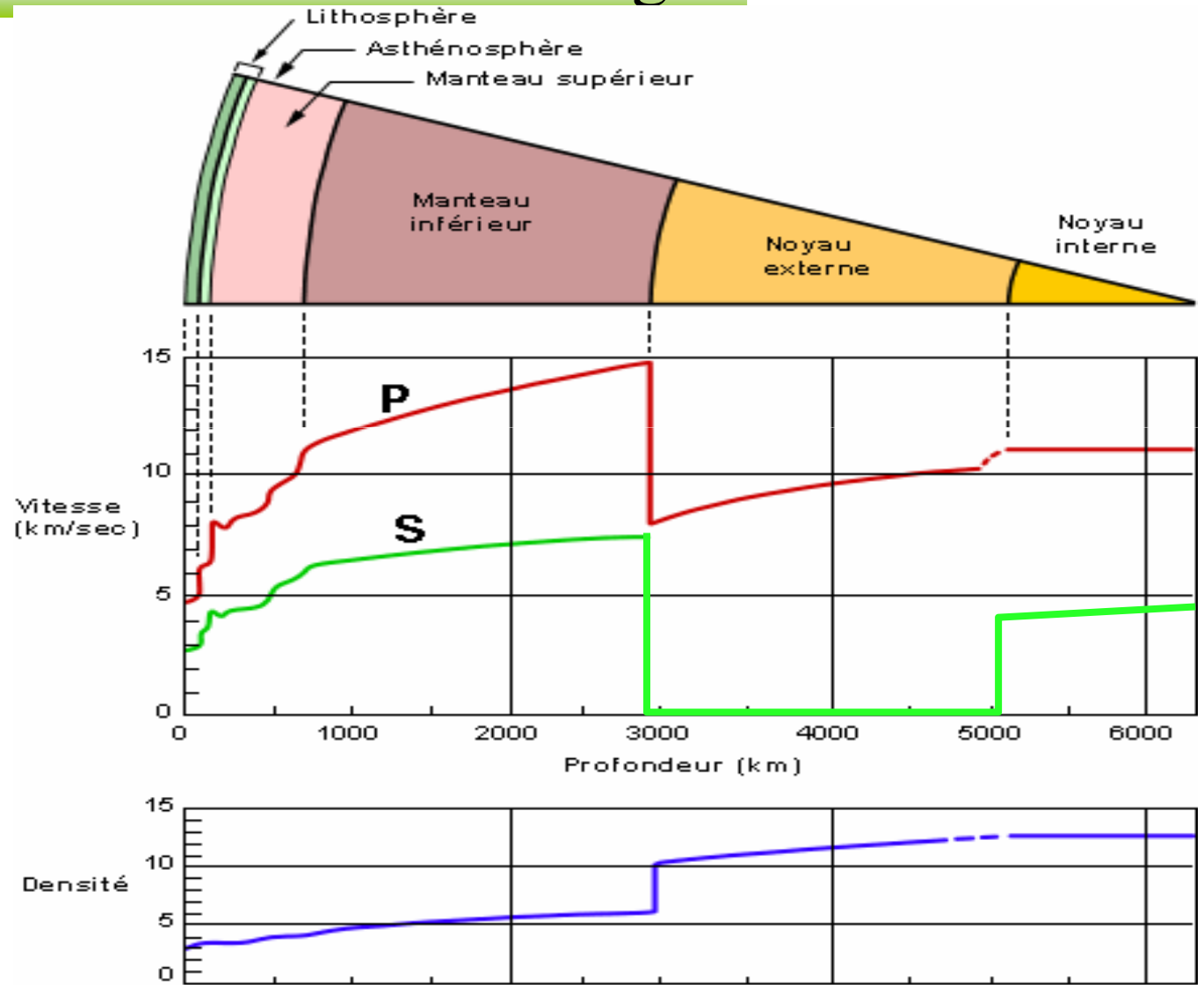


Existence de zones d'ombre pour les ondes P et les ondes S



Les apports de la sismologie

La structure interne du globe



La connaissance du temps d'arrivée des Ondes en plusieurs point de la surface du globe permet d'obtenir des modèles de vitesse en fonction de la profondeur.

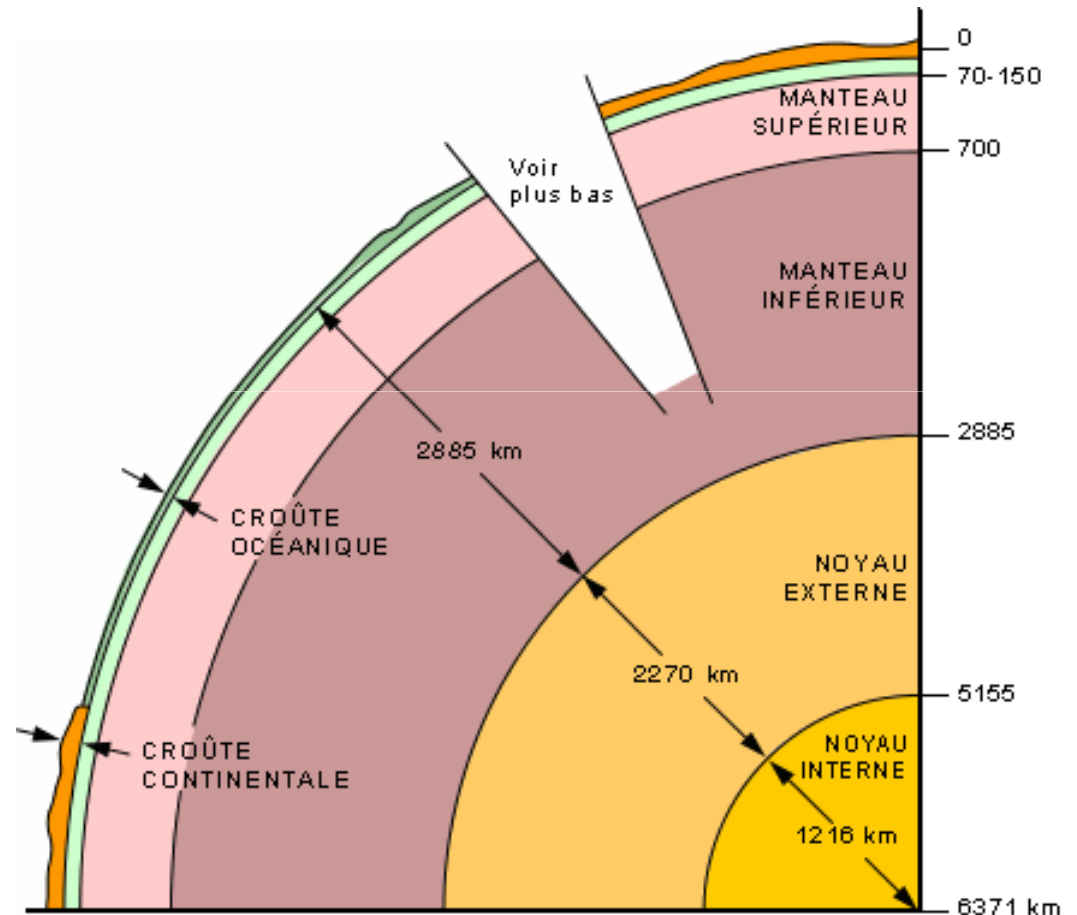
La structure interne de la terre

L'intérieur de la Terre est constitué d'une succession de couches de propriétés physiques différentes:

le noyau, qui forme 17% du volume terrestre

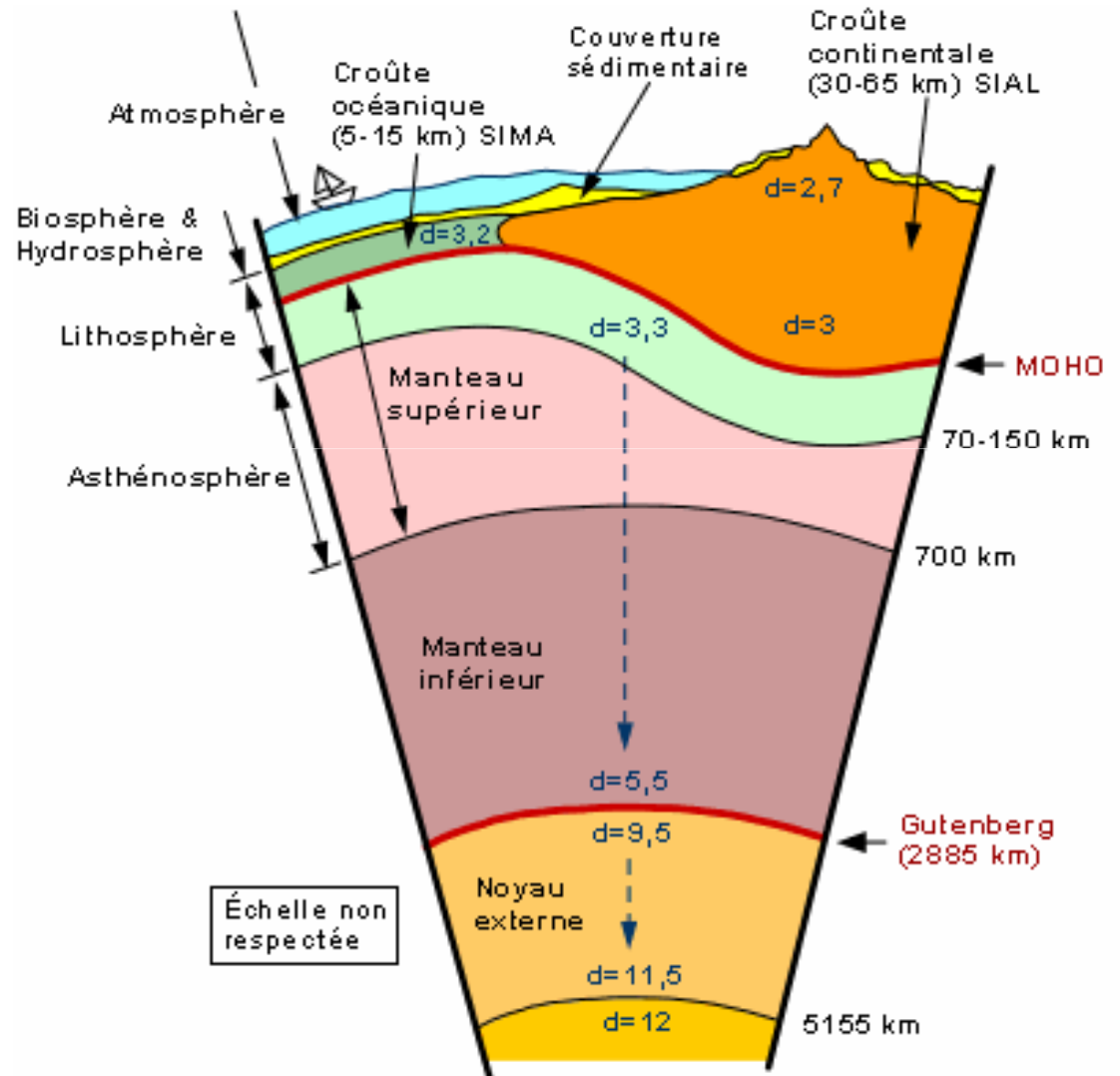
le manteau, qui constitue la majorité du volume terrestre, 81%

la croûte (ou écorce), qui compte pour moins de 2% en volume



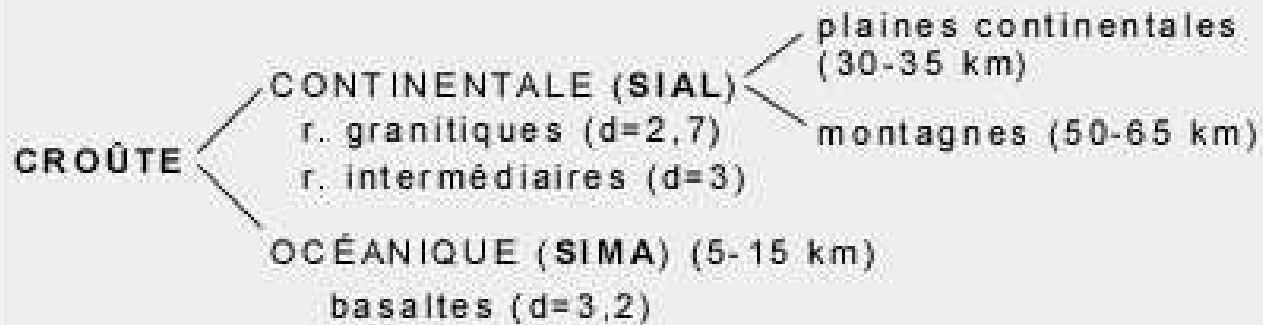
La structure interne de la terre

Deux discontinuités importantes séparent croûte, manteau et noyau: la discontinuité de Mohorovicic (moho) qui marque un contraste de densité entre la croûte terrestre et le manteau, et la discontinuité de Gutenberg qui marque aussi un contraste important de densité entre le manteau et le noyau.

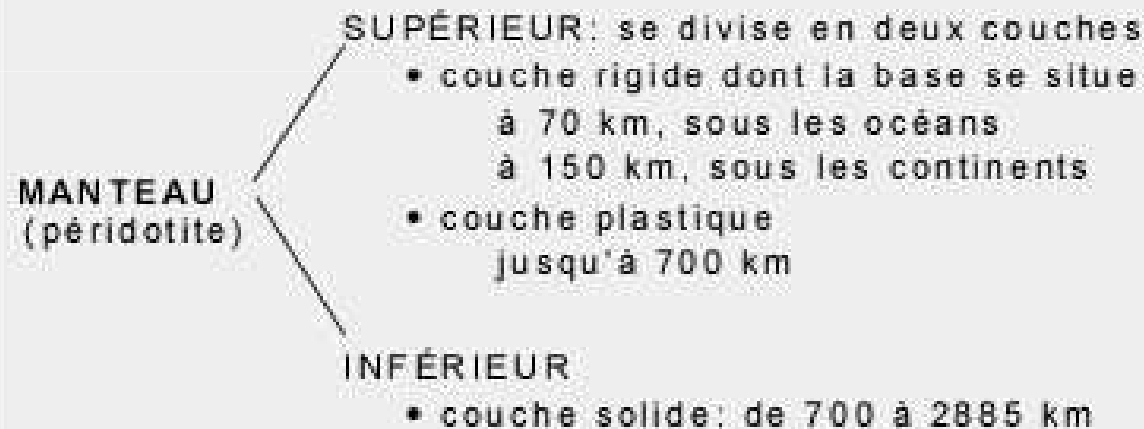


La structure interne de la terre

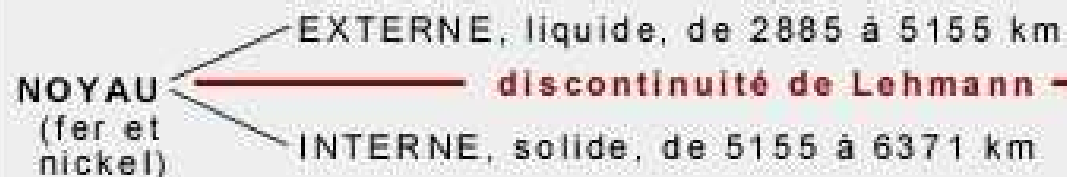
En résumé ...



— discontinuité de Mohorovicic (MOHO) —



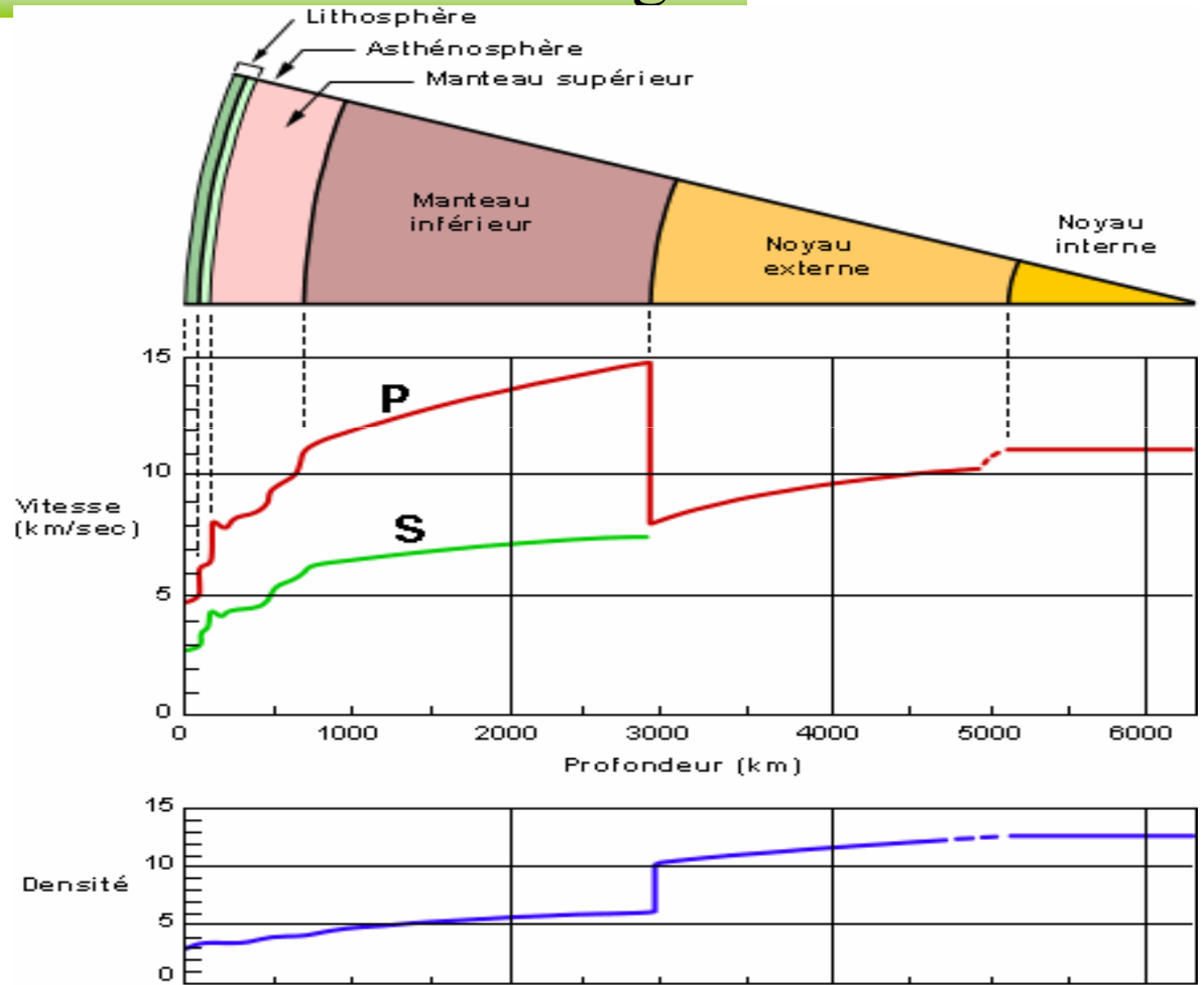
— discontinuité de Gutenberg —



— discontinuité de Lehmann —

Les apports de la sismologie

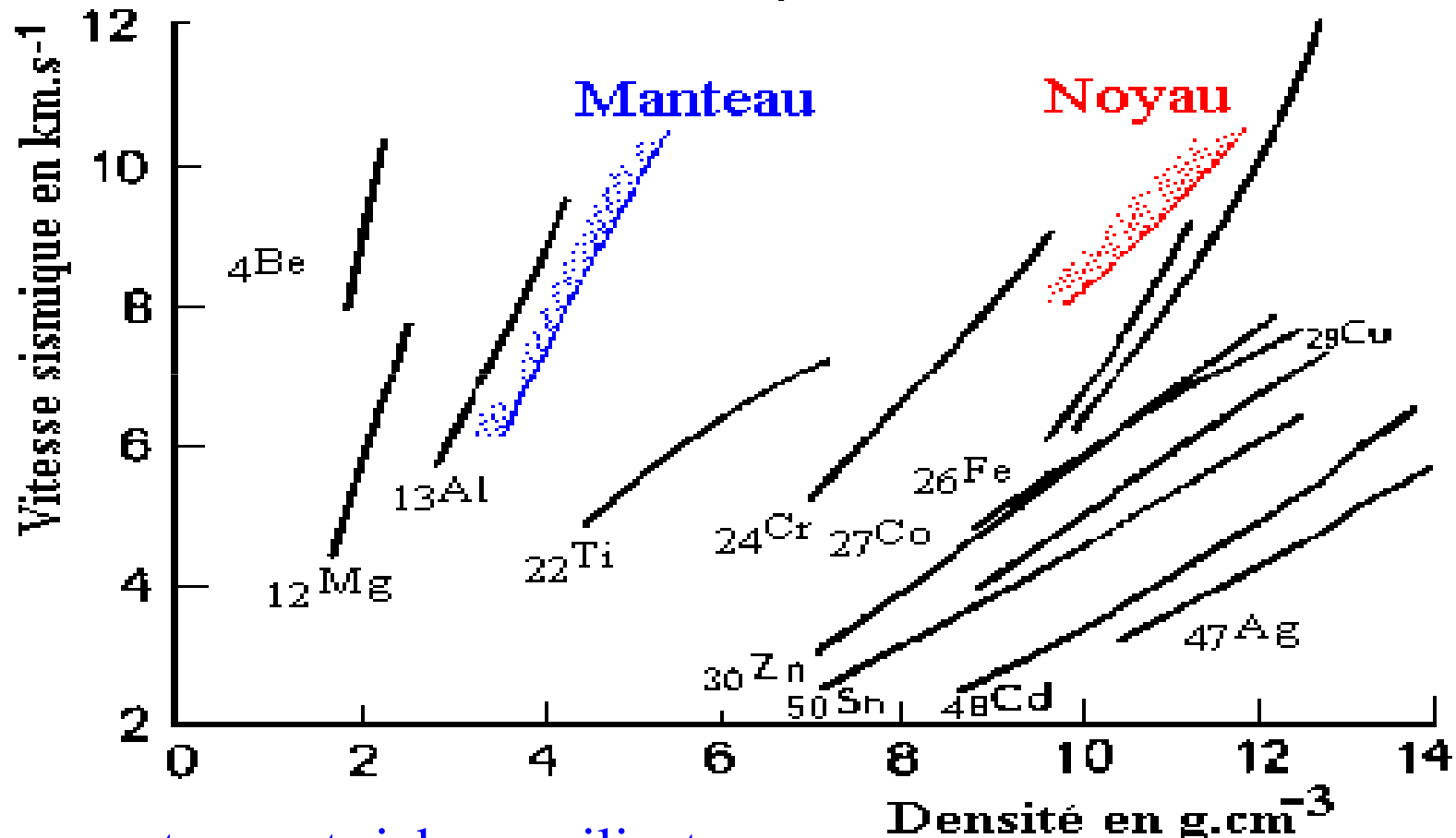
La structure interne du globe



La connaissance du temps d'arrivée des Ondes en plusieurs point de la surface du globe permet d'obtenir des modèles de vitesse en fonction de la profondeur.

De quoi sont constitués le manteau et le noyau terrestres ?

La comparaison entre l'étude des ondes sismiques et les données de laboratoire permettent :



- Le manteau est riche en silicates.
- Le noyau est riche en fer (Fe) et en nickel (Ni).

Société face au risque sismique

Que faire en cas de tremblement de terre ?

▪ Dans tous les cas, **il faut rester calme**

➤ Si vous êtes à la maison, dans un magasin, au bureau, à l'école

- ⊕ **Ne sortez pas, Une exception, si vous êtes au rez-de-chaussée, et non loin d'un espace à ciel ouvert suffisamment large;**
- ⊕ **Réfugiez-vous sous les structures portantes (murs porteurs, poutres,) ou bien sous un meuble robuste (table, bureau ou lit);**
- ⊕ **Tenez-vous loin des fenêtres, vitres, miroirs ou glaces, tableaux et meubles hauts et pesants (étagères);**
- ⊕ **Attendez la fin de la secousse. Inutile de courir tout de suite vers les escaliers, qui seront soit détruits, soit encombrés de gens paniqués;**
- ⊕ **Ne pas utiliser les ascenseurs qui seront en panne ou présenteront trop de risques;**
- ⊕ **N'allez pas sur le balcon;**

Que faire après la secousse ?

Immédiatement après la secousse

- ✦ Ouvrir la porte de la maison pour s'assurer une issue
- ✦ Sortez après avoir rassemblé tous ceux qui étaient à proximité de vous. Aidez les personnes âgées et les malades
- ✦ Ne courez pas à travers ou près des constructions.
- ✦ Coupez l'eau, l'électricité et le gaz
- ✦ N'allumez pas de flamme nue
- ✦ Si vous êtes bloqués par des effondrements, essayez de signaler votre présence en frappant de temps en temps sur une canalisation métallique ou une poutre.
- ✦ Vérifiez l'état des conduites en remettant en circuit successivement l'eau, le gaz puis l'électricité..

Que faire ensuite ?

- ✦ **Mettez-vous à l'écoute de votre radio portative**
- ✦ **Réconfortez les personnes choquées, soignez les blessés autour de vous.**
- ✦ **N'essayez pas de déplacer les personnes sérieusement blessées, sauf s'il y a un risque immédiat de nouvelle blessure (chute de mur, etc).**
- ✦ **Collaborez avec les personnes chargées des secours, renseignez-les.**
- ✦ **Ne téléphonez pas, sauf pour signaler les urgences médicales, un incendie, ..**
- ✦ **Portez des chaussures fermées**
- ✦ **Balayez et nettoyez les médicaments éparpillés et les matériaux nocifs**
- ✦ **Ne faites pas fonctionner les interrupteurs ou les appareils électriques si cela sent le gaz,**

Que faire ensuite ?

- ⊕ **Ne touchez pas aux fils électriques tombés à terre, ni aux objets en contact avec ces fils.**
- ⊕ **Vérifiez l'état des cheminées de votre maison**
- ⊕ **Prenez garde aux objets en équilibre instable sur les étagères.**
- ⊕ **Si l'eau est coupée, faites le bilan de vos provisions**
- ⊕ **Si l'électricité est coupée, planifiez l'utilisation de la nourriture périssable de manière à consommer d'abord ce qui se gâtera le plus vite.**
- ⊕ **N'encombrez pas les rues**

Soyez prêts pour les répliques

Évaluation du Risque sismique

- Le risque sismique est donc fonction :
 - *de l'aléa sismique*
 - *des dispositions constructives prises pour diminuer le risque*

$$\text{Risque sismique} = \text{Aléa sismique} \times \text{Vulnérabilité}$$

Risque sismique:

- peut être évalué pour une construction, une ville, une région spécifique
- probabilité de perte en biens, en activités productives et en vies humaines dans un laps de temps donné
- augmente avec :
 - *la densité de population*
 - *le potentiel économique du pays*
- nul en l'absence de constructions et de personnes

développement des sociétés



accroissement de leur propre vulnérabilité face aux tremblements de terre

Vulnérabilité (%) = coût des dommages attendus pour un séisme d'une intensité donnée/ coût de la construction

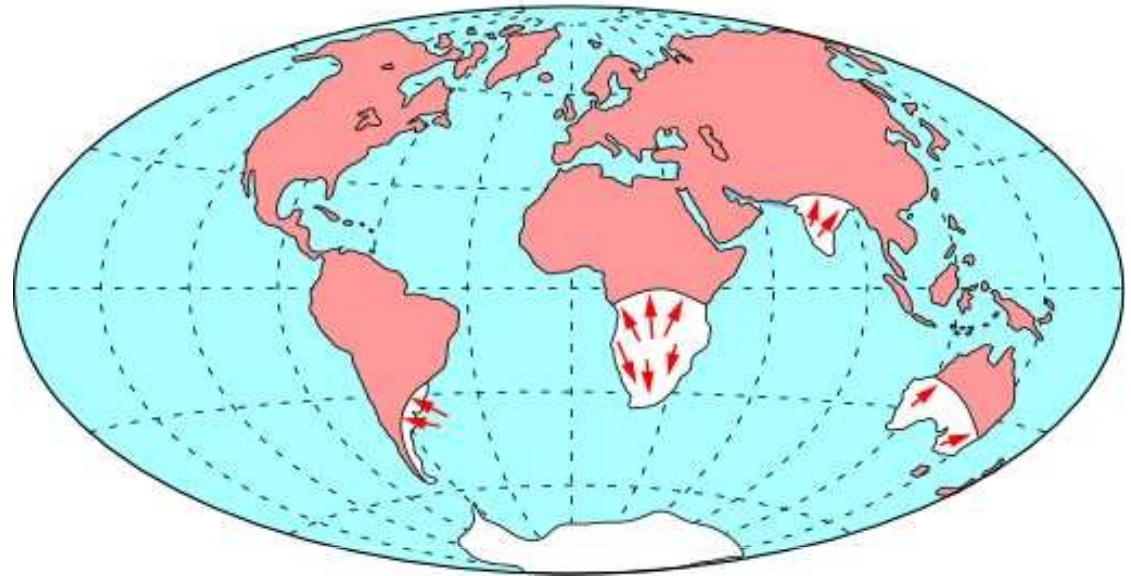
0% : séismes d'intensité MSK < VI *pas de dommages aux bâtiments*

100% : séismes d'intensité MSK XI et XII *constructions non parasismiques*

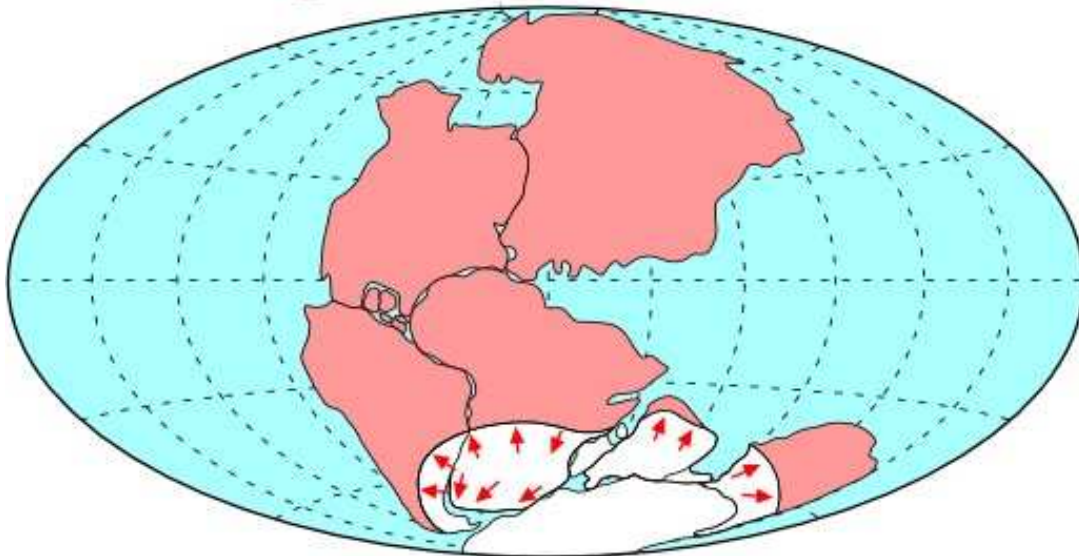
Tectonique des plaques (dérive des continents)

3. Les traces d'anciennes glaciations.

→ sens d'écoulement de la glace

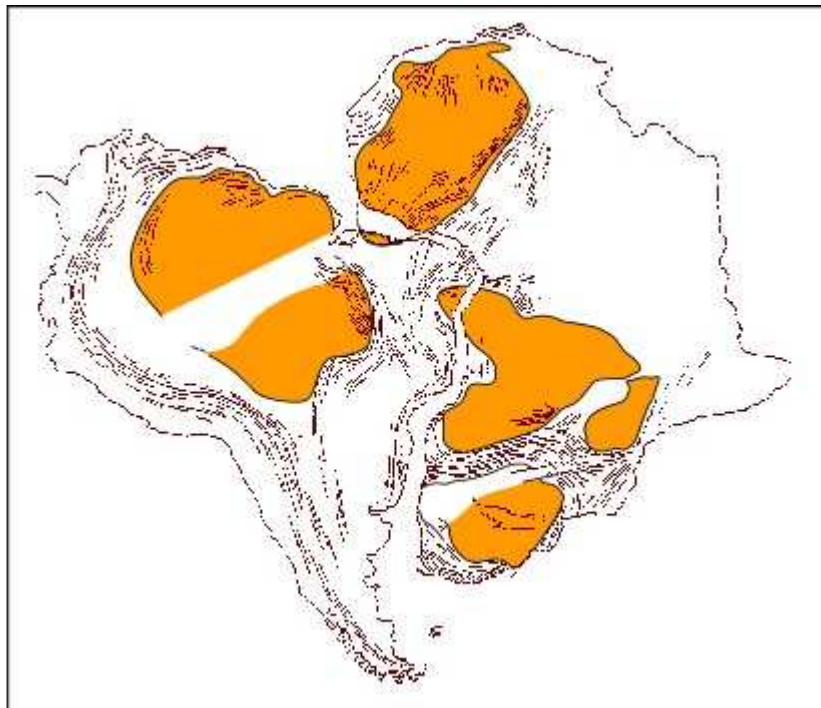
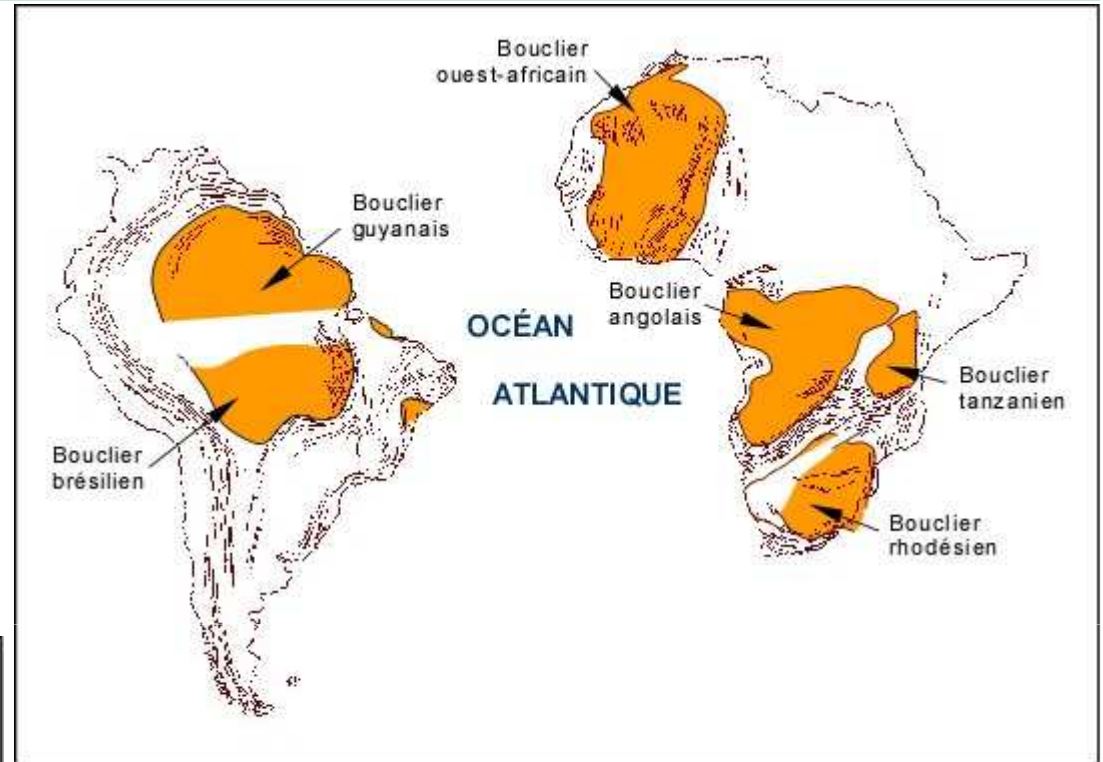


La solution de Wegener



Tectonique des plaques (dérive des continents)

4. La correspondance des structures géologiques.



Les limites de plaques

a - Limite de divergence de plaques ou zones d'accrétion océanique

b - Limite de convergences de plaques ou zones orogéniques

Zones de subduction

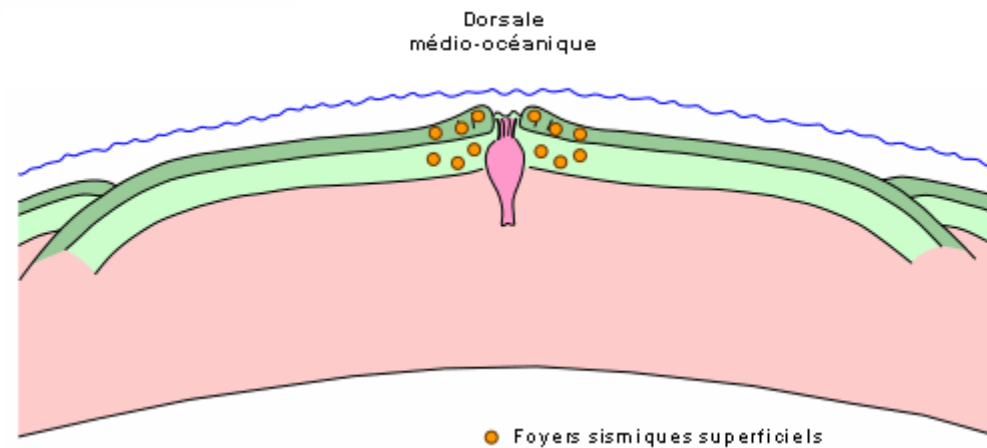
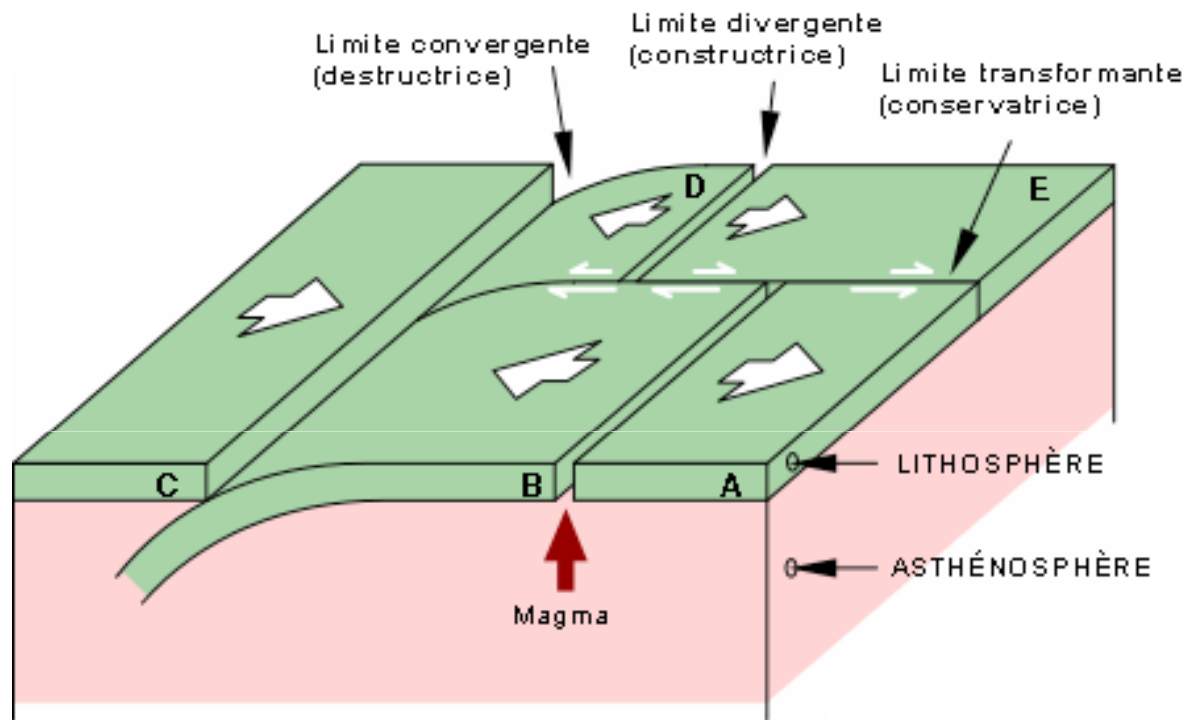
zones de collision intra-continentale.

**Zones de subduction de
type marge continentale
active**

**Zones de
subduction de type
arcs insulaires**

Les limites de plaques

a - Zones de divergence de plaques. ou zones d'accrétion océanique



Les limites de plaques

Zones de coulissage : failles transformantes

→ Ce sont des zones de cisaillement caractérisées par une activité sismique intense

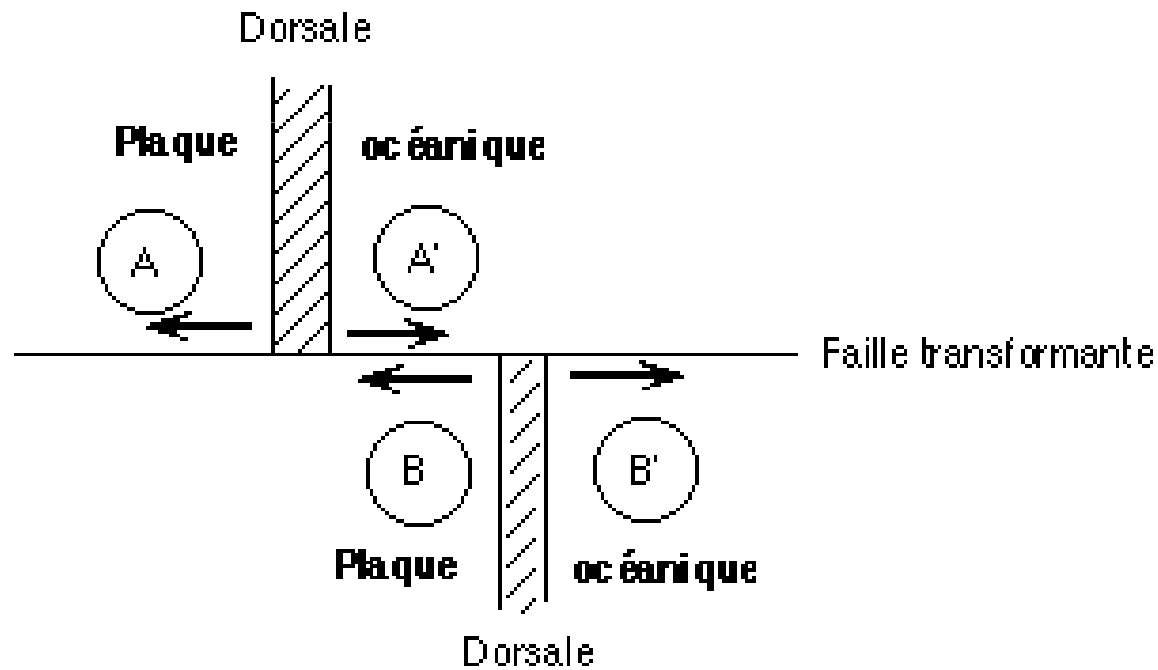
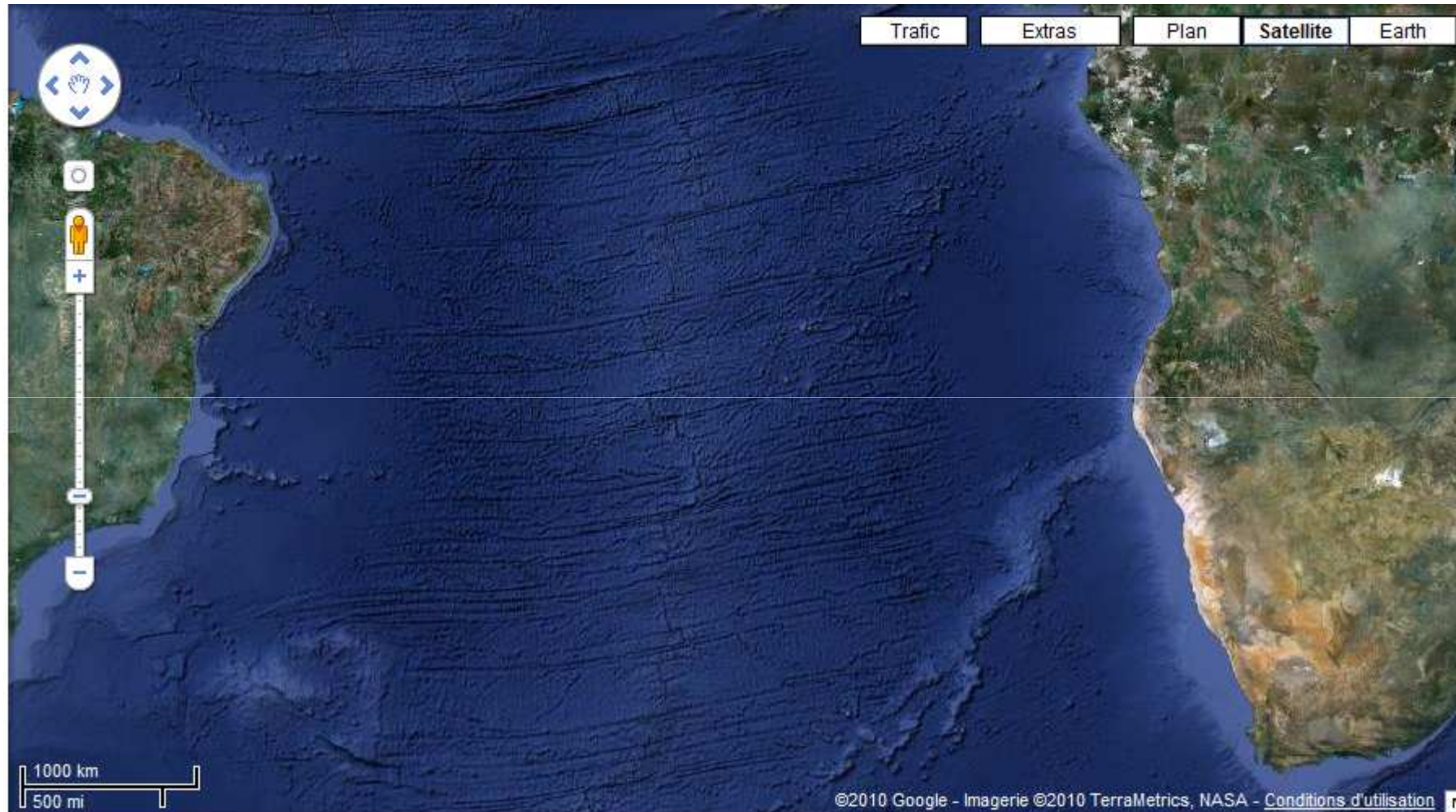


fig.3.4 : faille transformante

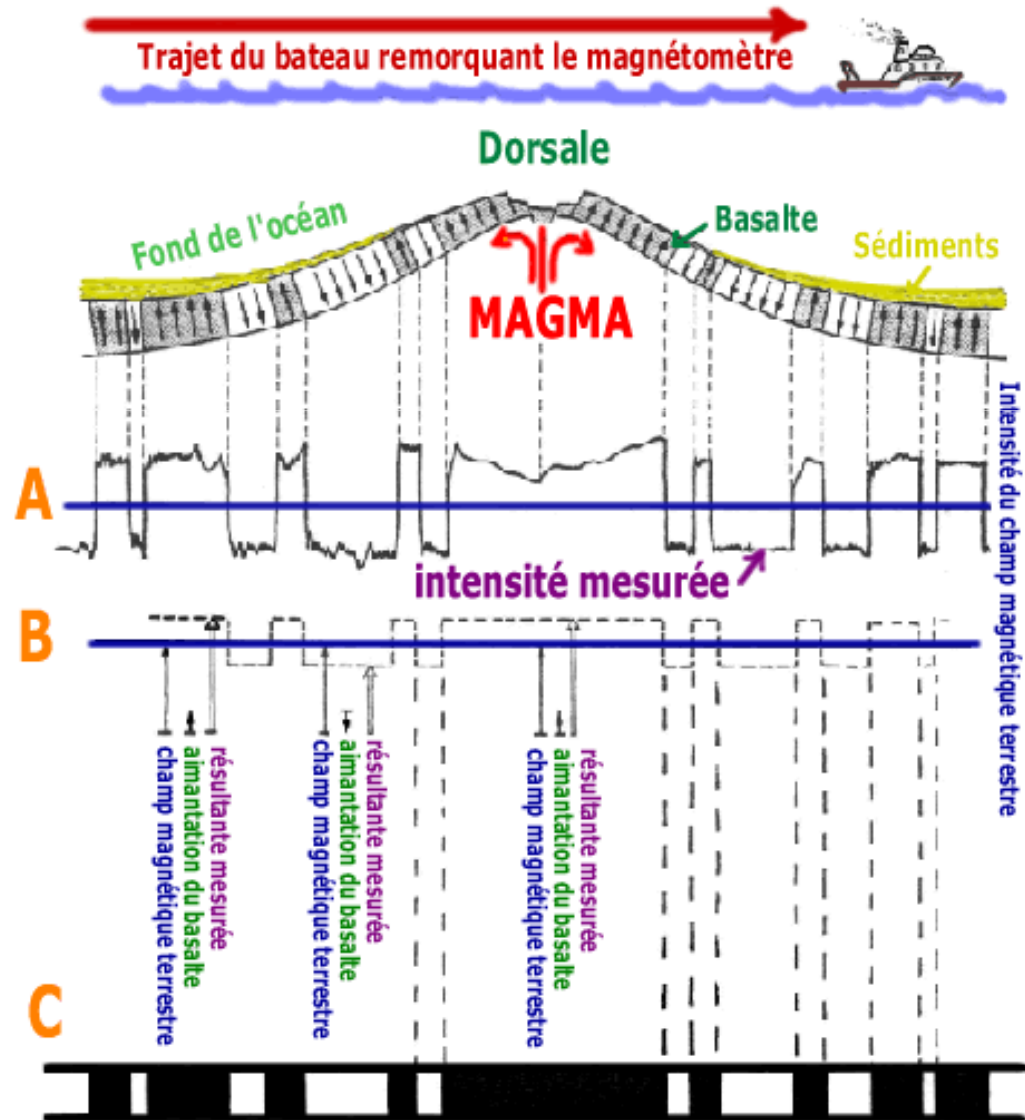
Les limites de plaques



Les limites de plaques

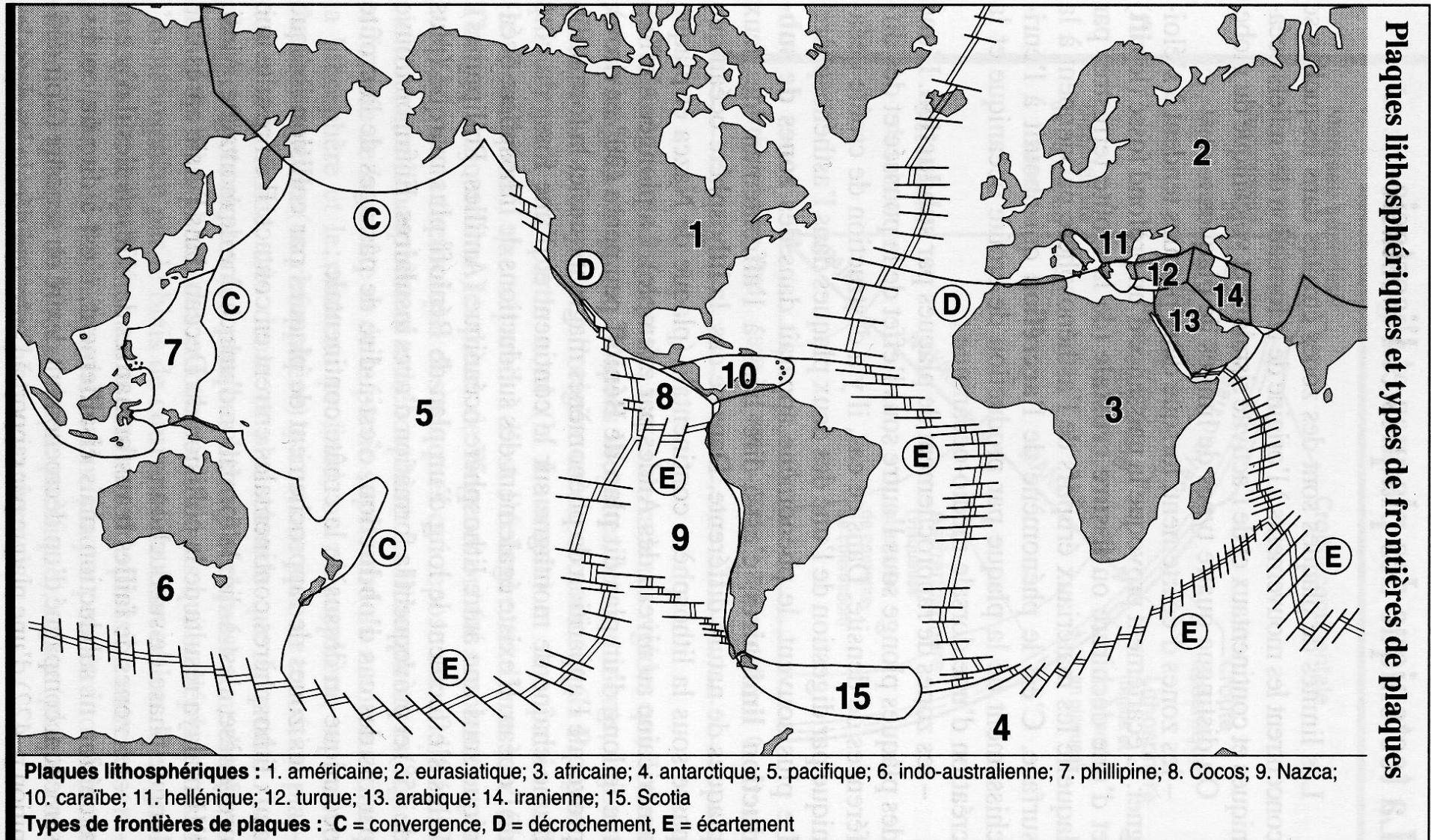
a - Zones de divergence de plaques. ou zones d'accrétion océanique

Paléomagnétisme



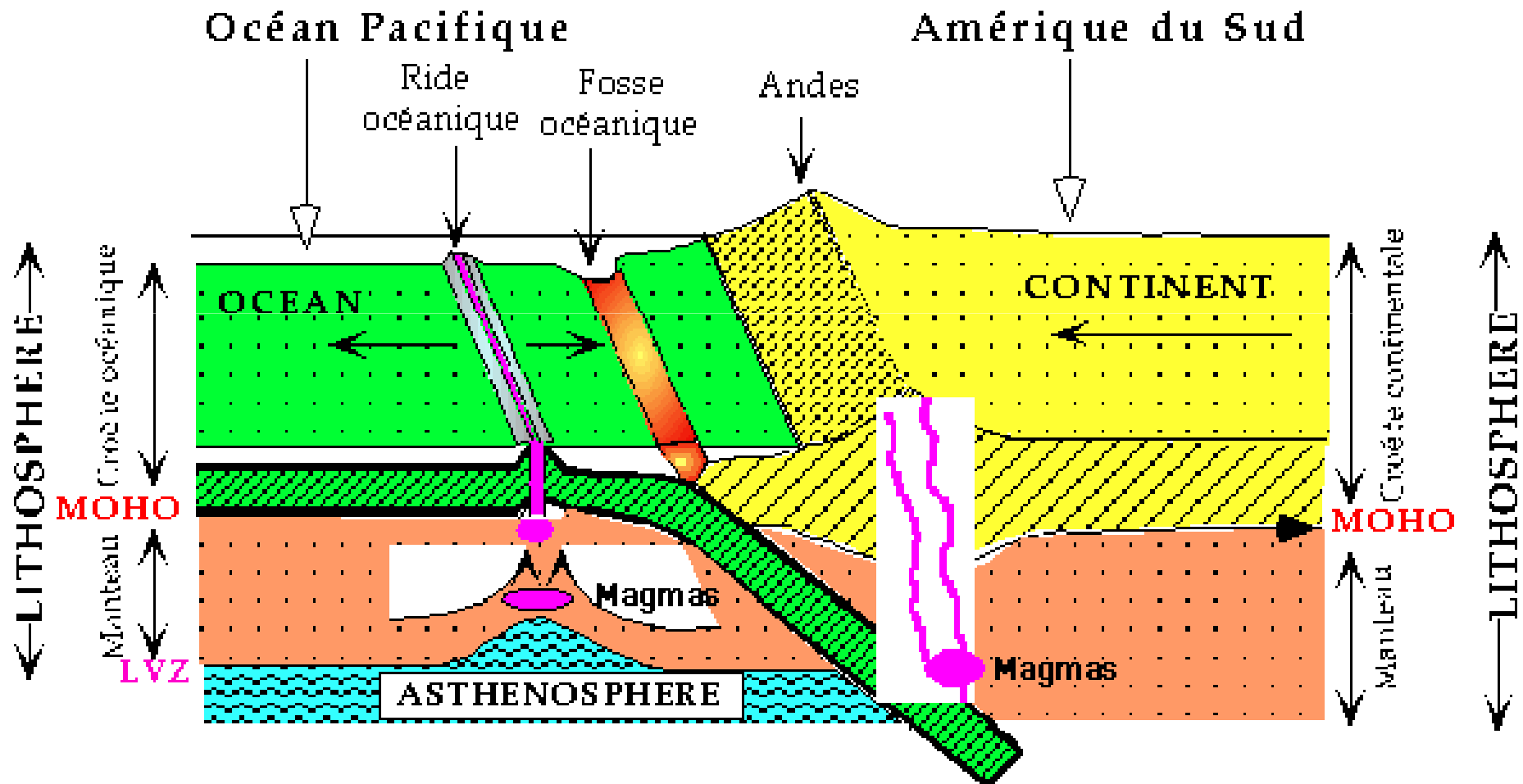
Les limites de plaques

a - Zones de divergence de plaques ou zones d'accrétion océanique au niveau des rides médio-océaniques

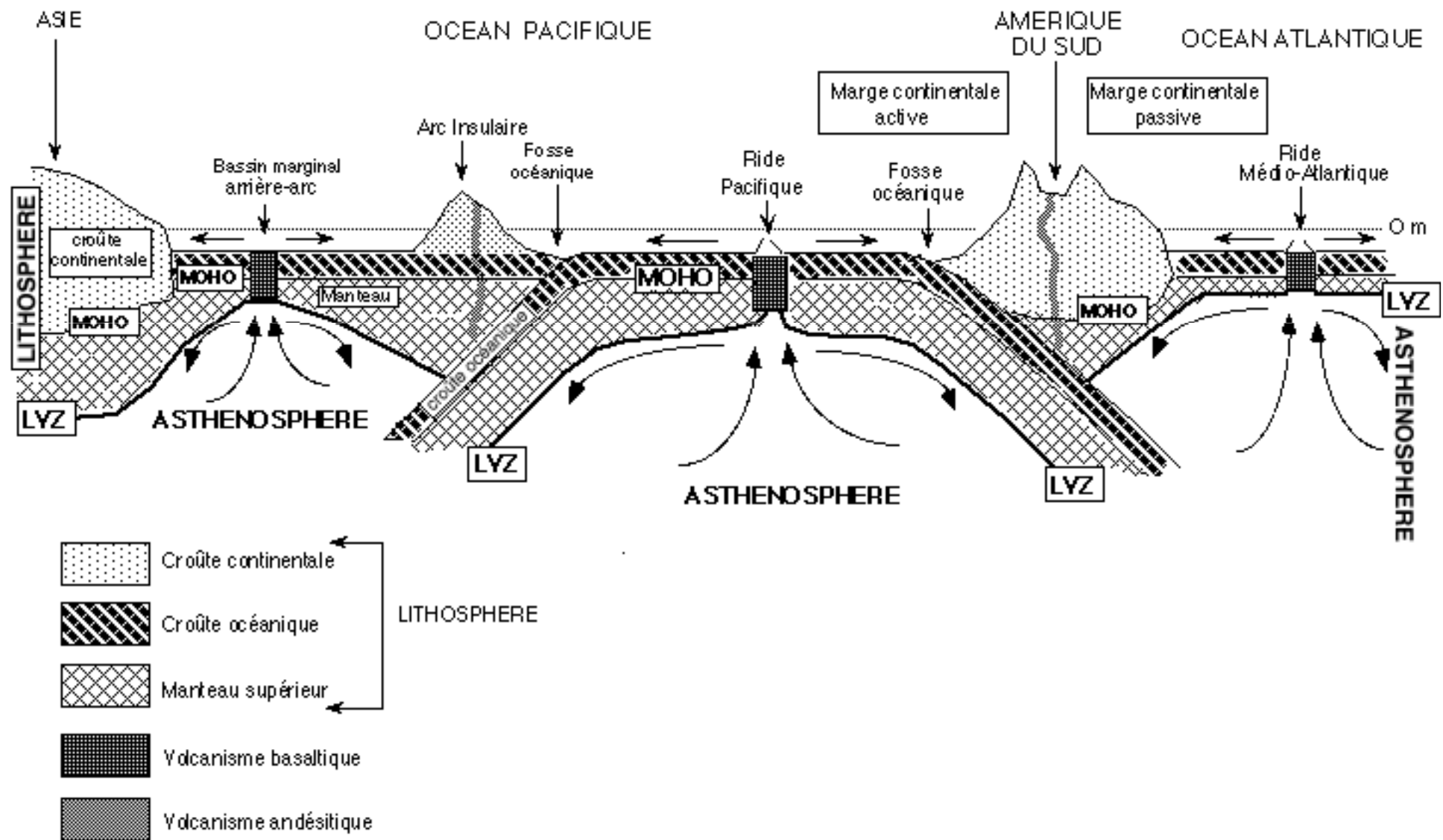


Géodynamique interne et tectonique globale

b - Limite de convergences: Zone de subduction



Géodynamique interne et tectonique globale



Géodynamique interne et tectonique globale

La **Tectonique des Plaques** intègre de nombreuses données géologiques et permet d'expliquer l'activité de la terre en relation avec sa géodynamique interne. C'est la raison pour laquelle on préfère aujourd'hui lui substituer le terme de **Tectonique Globale**.

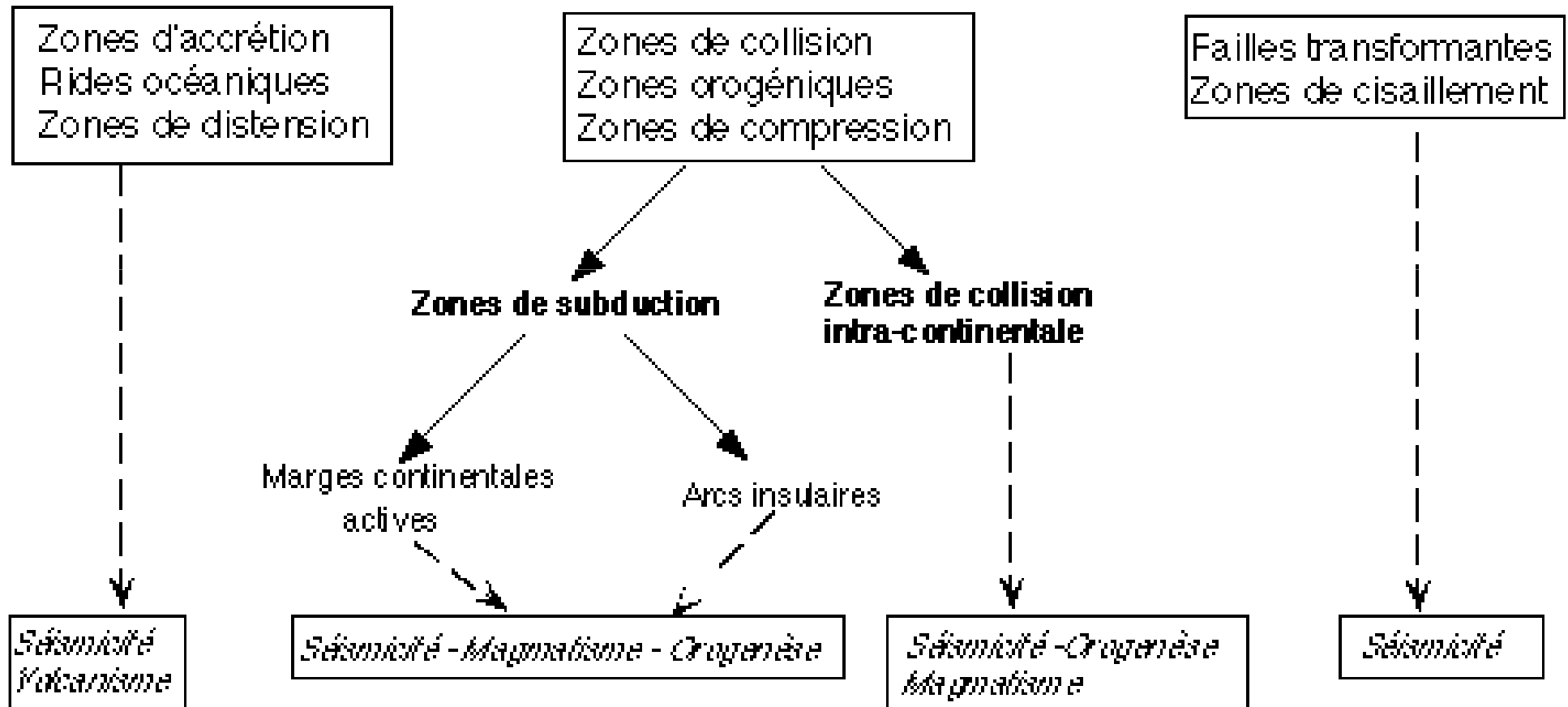
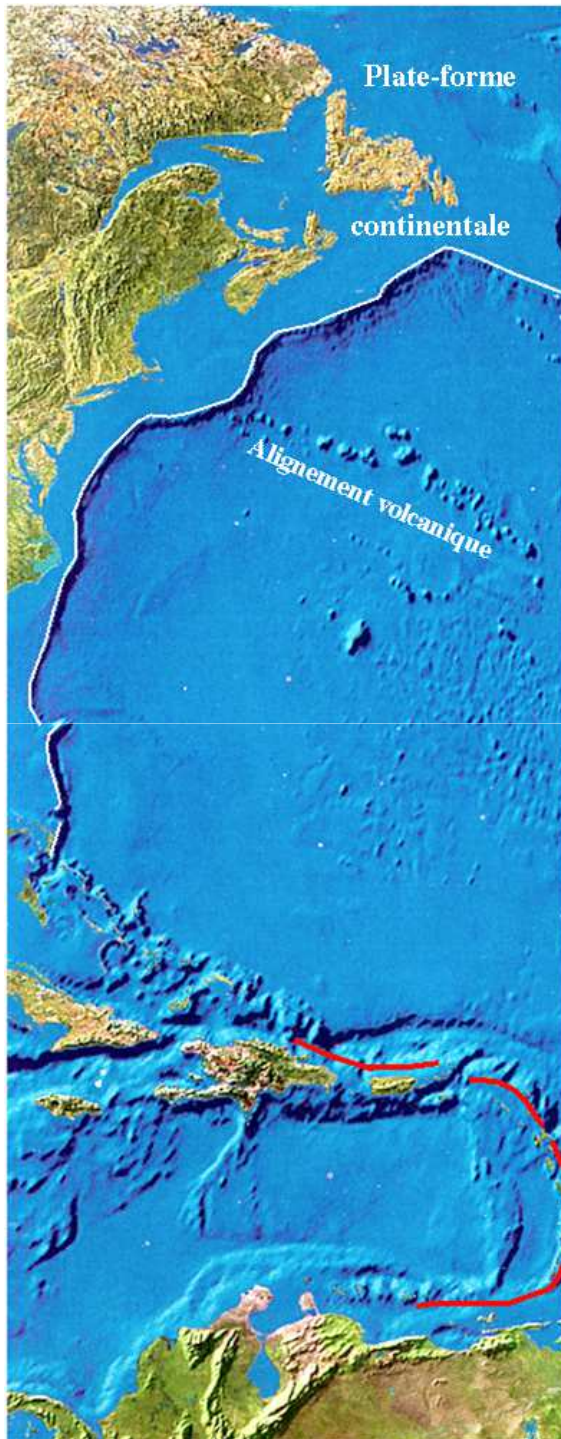


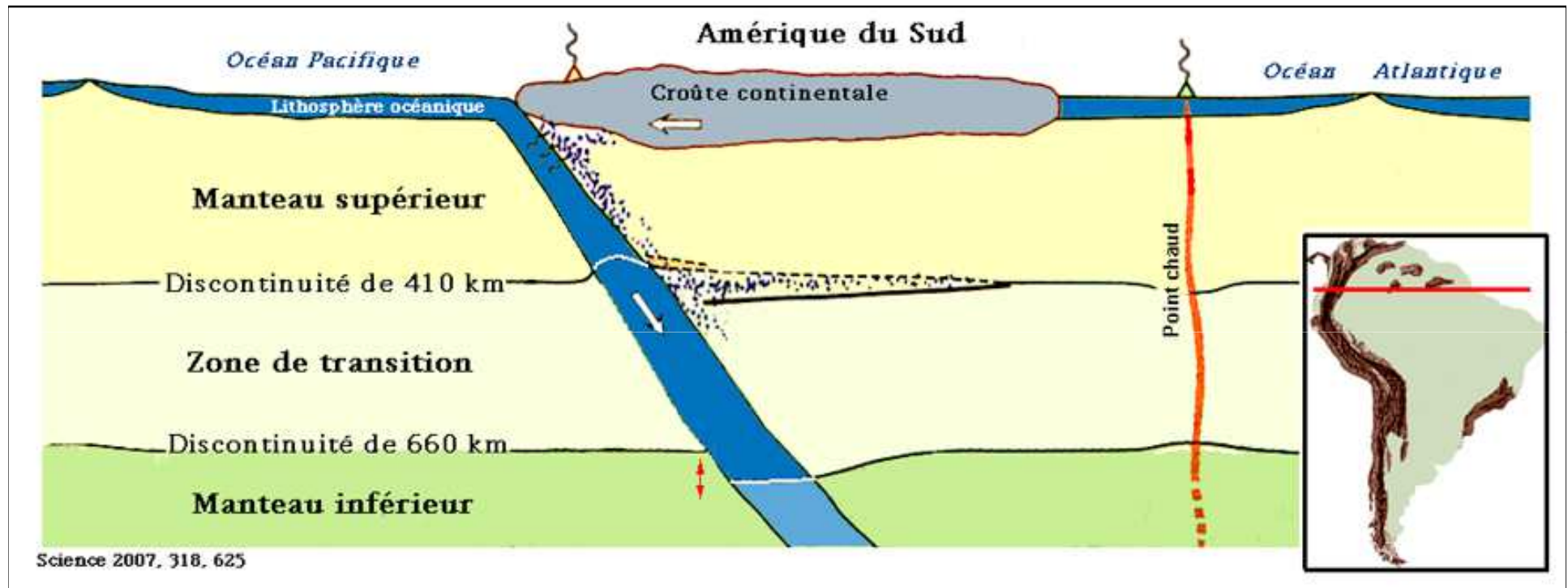
fig. 3.5 : tectonique globale et activité de la terre



Exercice

Nommez les types de marges continentales visibles sur cet extrait de carte.

Exercice



Identifiez sur cette coupe:

- 1 Les plaques tectoniques
2. Les marges continentales actives et passives
3. La zone de Benioff
4. Le coins mantellique

Éléments de réponse

