

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

Carte des reliefs terrestre



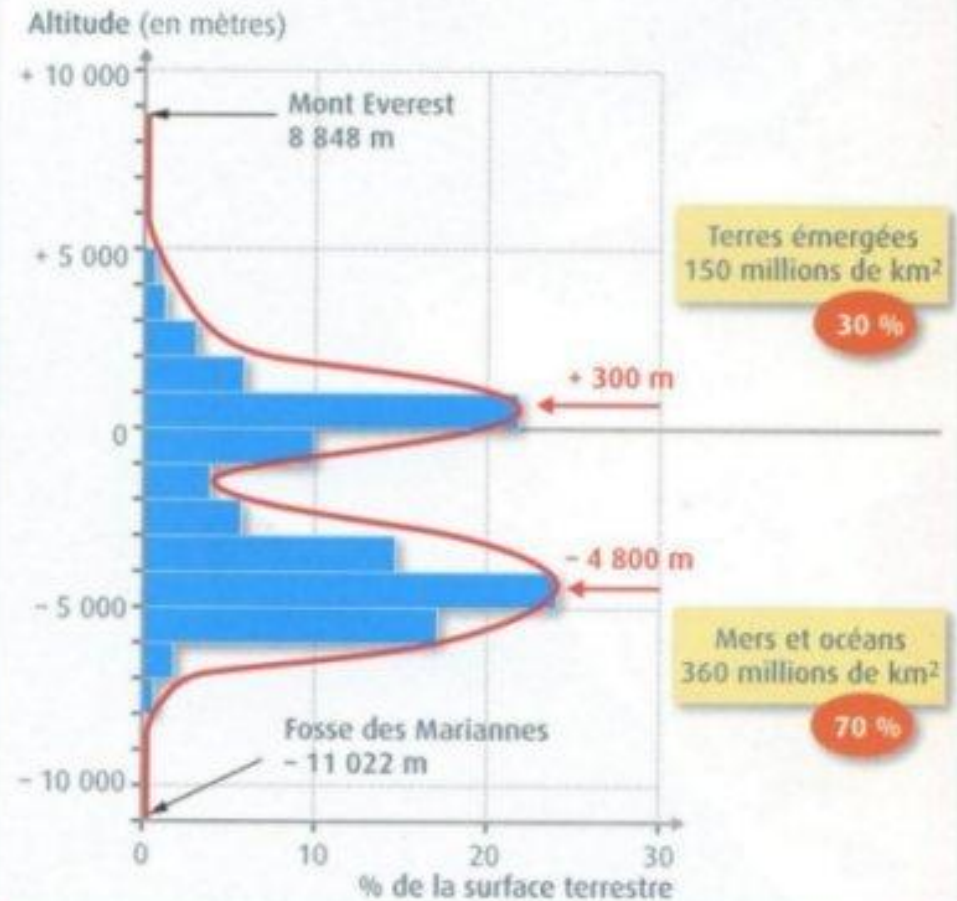
a La carte des reliefs terrestres.

Carte des reliefs terrestre

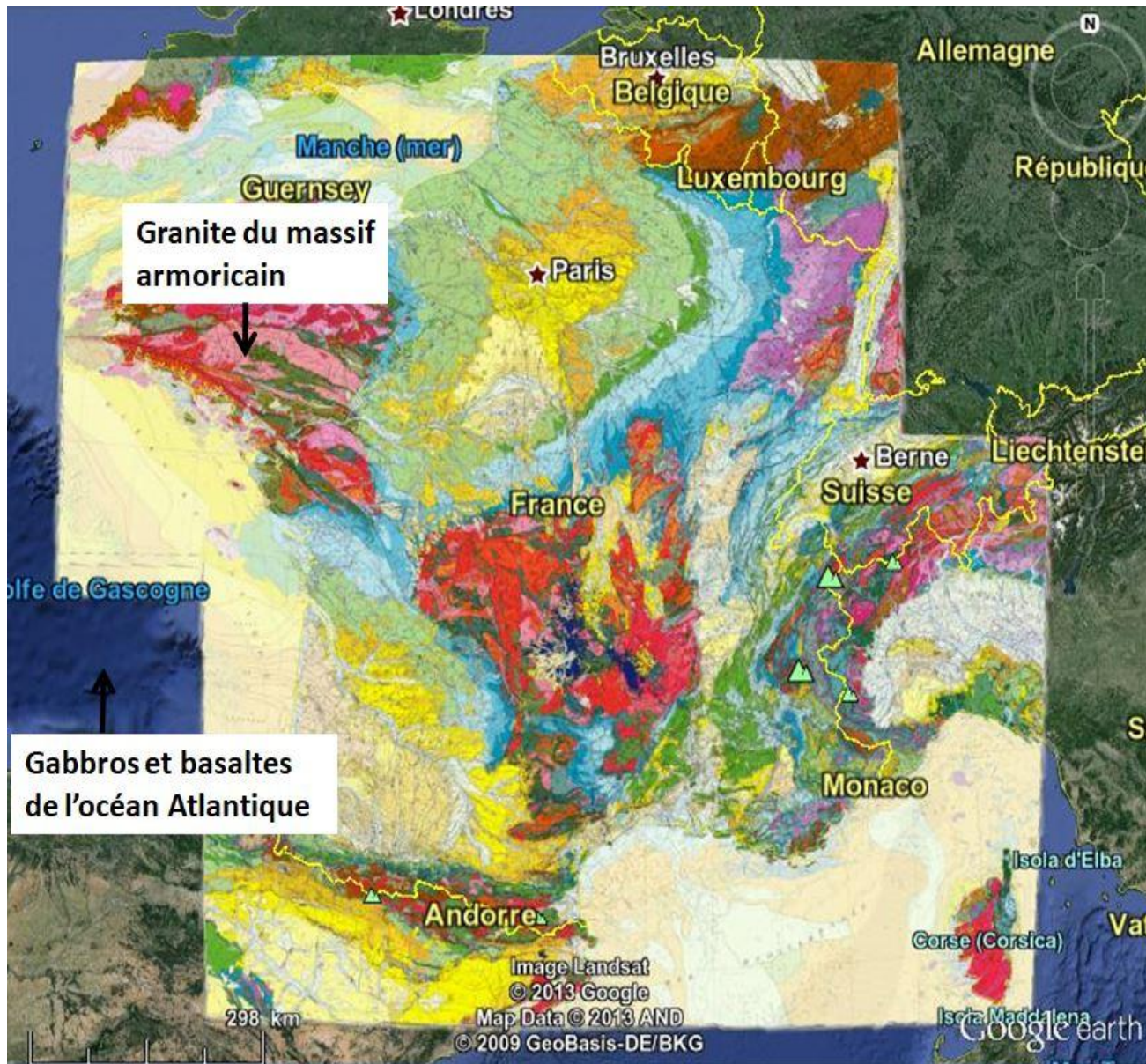


« La statistique des surfaces terrestres de même altitude met en lumière le fait curieux que l'écorce du globe présente deux niveaux nettement prédominants entre lesquels les surfaces d'altitude moyenne sont une minorité. De ces deux altitudes, la plus élevée répond aux aires continentales, la plus basse aux domaines abyssaux. Pour s'en rendre compte, il suffit de diviser la surface du globe en kilomètres carrés et de classer ces derniers par rang d'altitude. En portant en abscisses les surfaces et en ordonnées les altitudes on obtient une courbe connue sous le nom de courbe hypsographique. »

A. Wegener, *La genèse des continents et des océans*, 1924.



Localisation des roches prélevées



Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

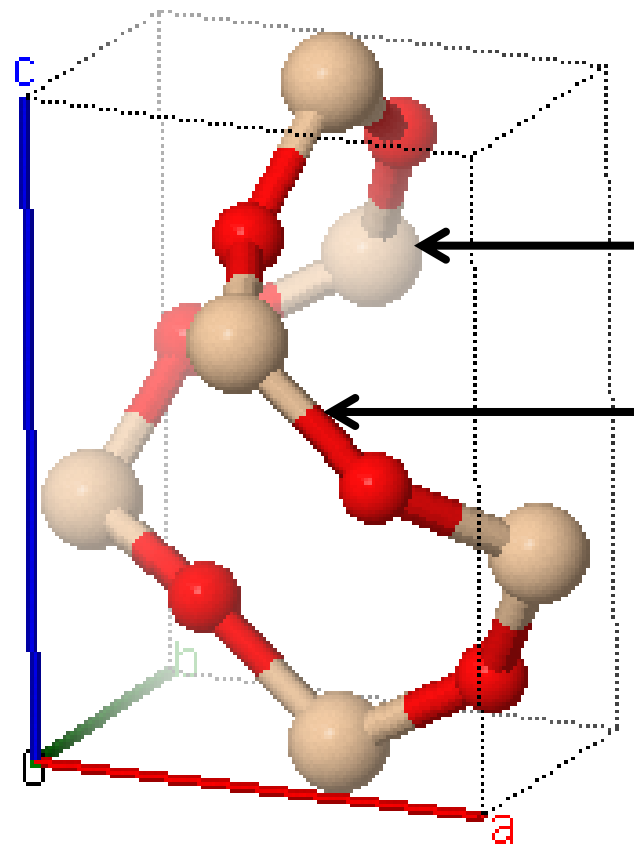
1°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

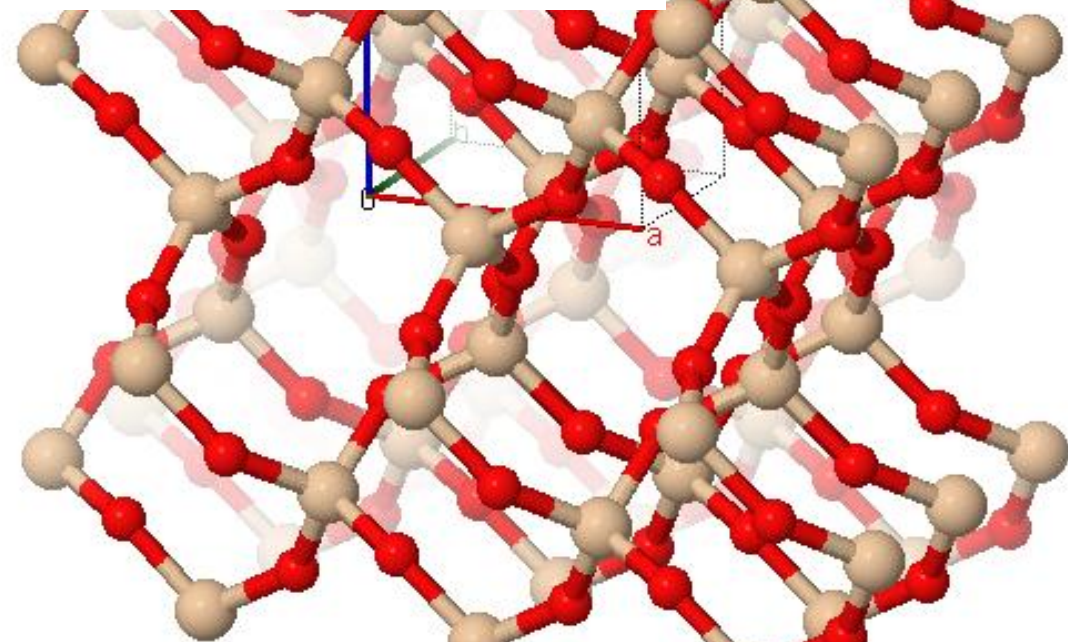
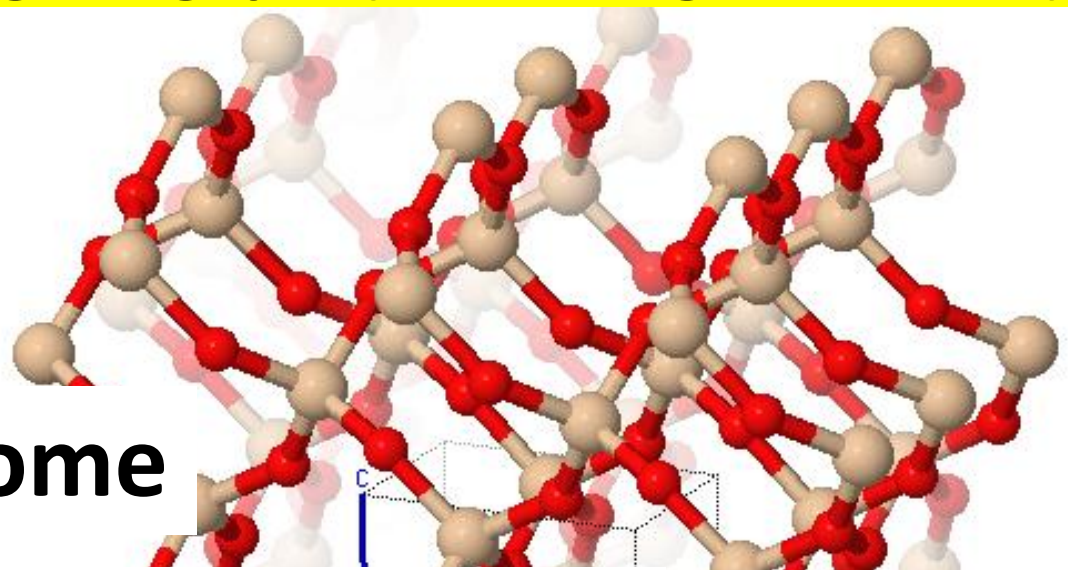
Le minéral, une molécule géologique (assemblage d'atomes)

Ex. du Quartz



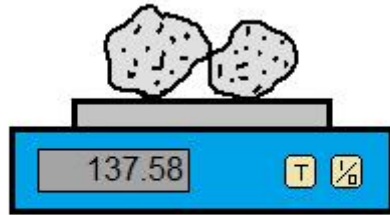
atome

liaison covalente

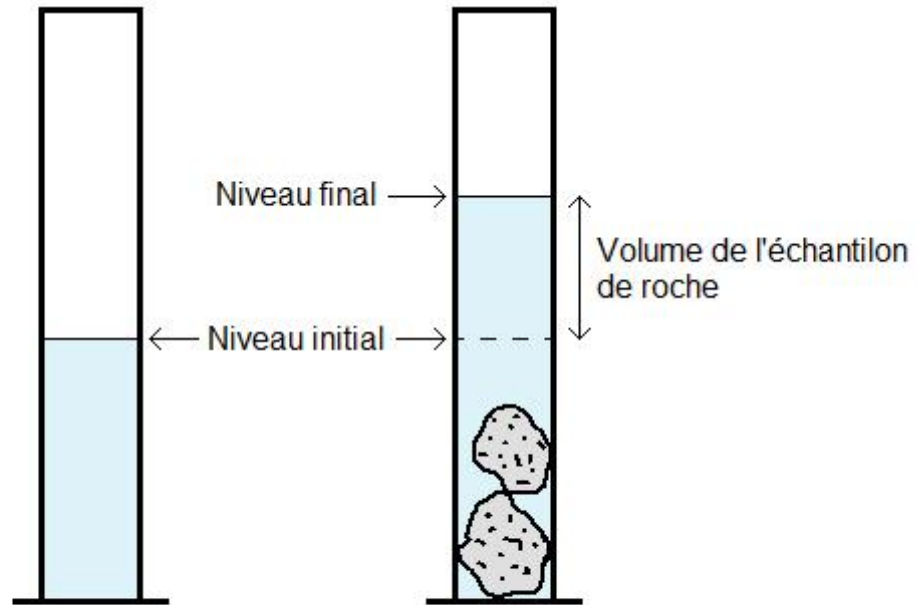


Atomes : O²⁻ Si⁴⁺

Etude macroscopique des roches



Détermination de la masse des échantillons de roches



Détermination du volume des échantillons de roche

$$\rho_{\text{échantillon}} = \frac{m_{\text{échantillon}}}{V_{\text{échantillon}}} \quad \text{en g.mL}^{-1} \text{ c'est-à-dire g.cm}^{-3}$$

$$d_{\text{échantillon}} = \frac{\rho_{\text{échantillon}}}{\rho_{\text{eau}}} \quad \text{rapport sans unité !}$$

Deux exemples de structure de roches : basaltes et gabbros

Gabbro



Roche grenue

Tous les cristaux sont visibles


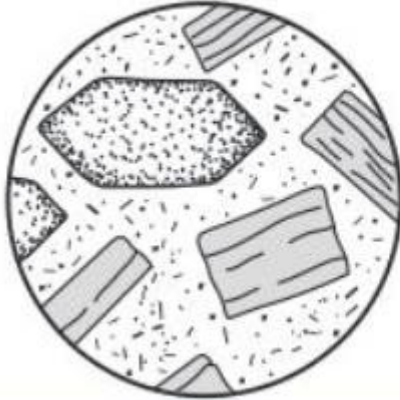
Basalte



Roche microlithique

Tous les cristaux ne sont pas visibles

Deux exemples de structure de roches : basaltes et gabbros

Texture grenue	Texture microlitique
<p>À l'œil nu : on discerne de gros cristaux, assemblés les uns aux autres.</p>	<p>À l'œil nu : des cristaux, plus ou moins nombreux, peuvent être visibles mais la roche apparaît en grande partie constituée d'une "pâte" qui semble homogène.</p>
<p>Au microscope polarisant : Les cristaux sont jointifs (ils apparaissent comme les pièces d'un puzzle) ; il n'y a pas de zones non cristallisées séparant les cristaux.</p> 	<p>Au microscope polarisant : Quelques grands cristaux (phénocristaux*) sont visibles. Ils sont séparés par des zones non cristallisées, dans lesquelles on distingue de nombreux cristaux de très petite taille appelés microlites*.</p> 

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Chapitre 5. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

1°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

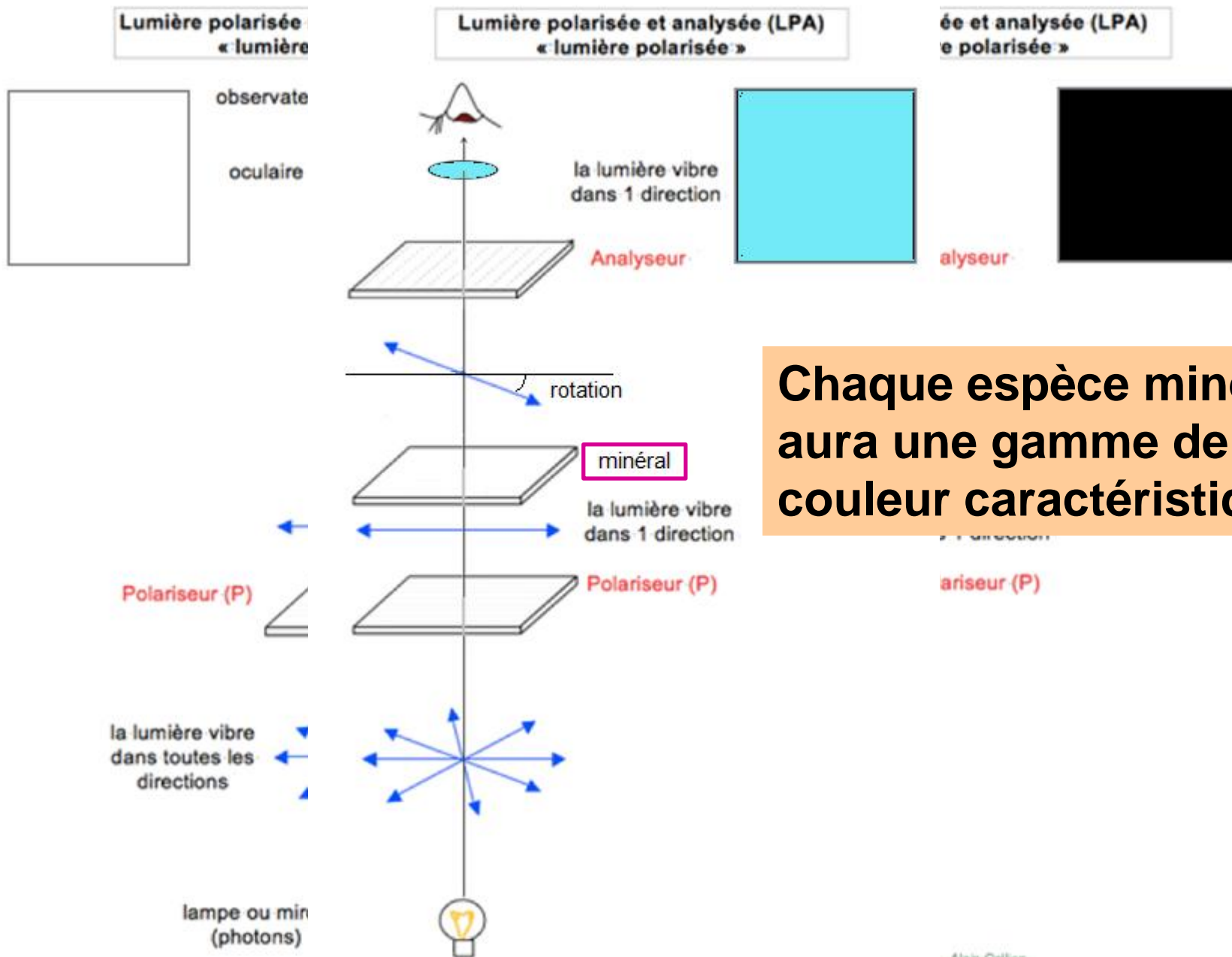
1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

Préparation de plaque mince de roche



Principe du microscope polarisant



Chaque espèce minérale aura une gamme de couleur caractéristique !

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

Identification des roches de la lithosphère océanique

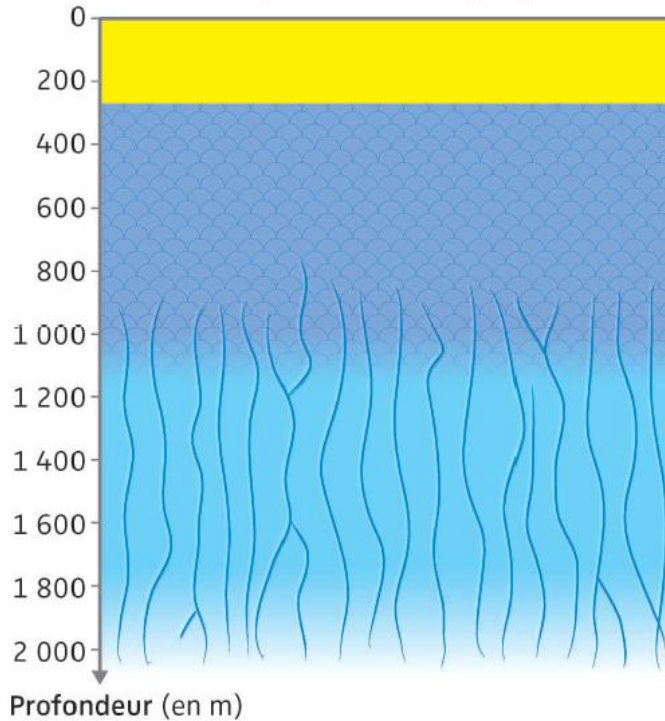
Localisation du forage



Légende

- Sédiments
- Basalte en coussins (pillow lavas)
- Basalte en filons

Colonne de plancher océanique prélevée



C Résultat d'un forage dans le Pacifique.

Identification des roches de la lithosphère océanique

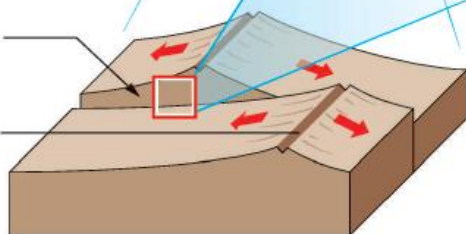


Localisation

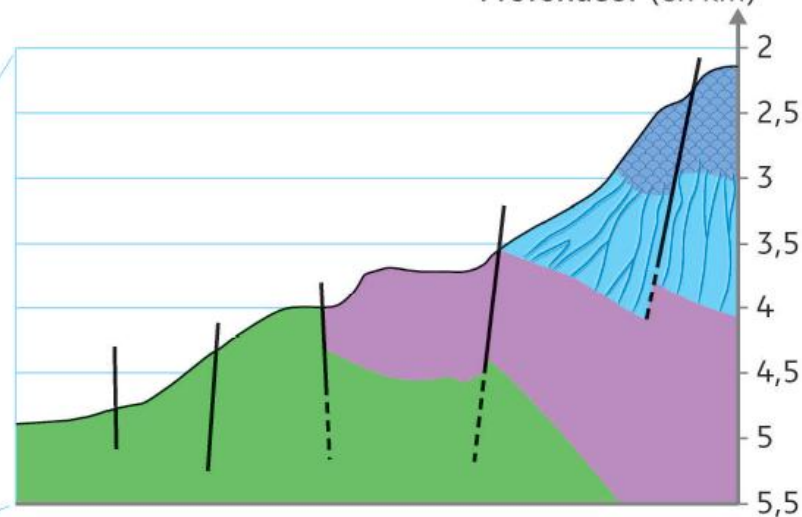


Faïlle transformante

Dorsale



Profondeur (en km)



Légende

● Péridotite du manteau

● Basalte en filons

● Basalte en coussins

● Gabbro

/ Faïlle

0 2 km

Les roches de la croûte océanique : gabbros et basaltes

Gabbro



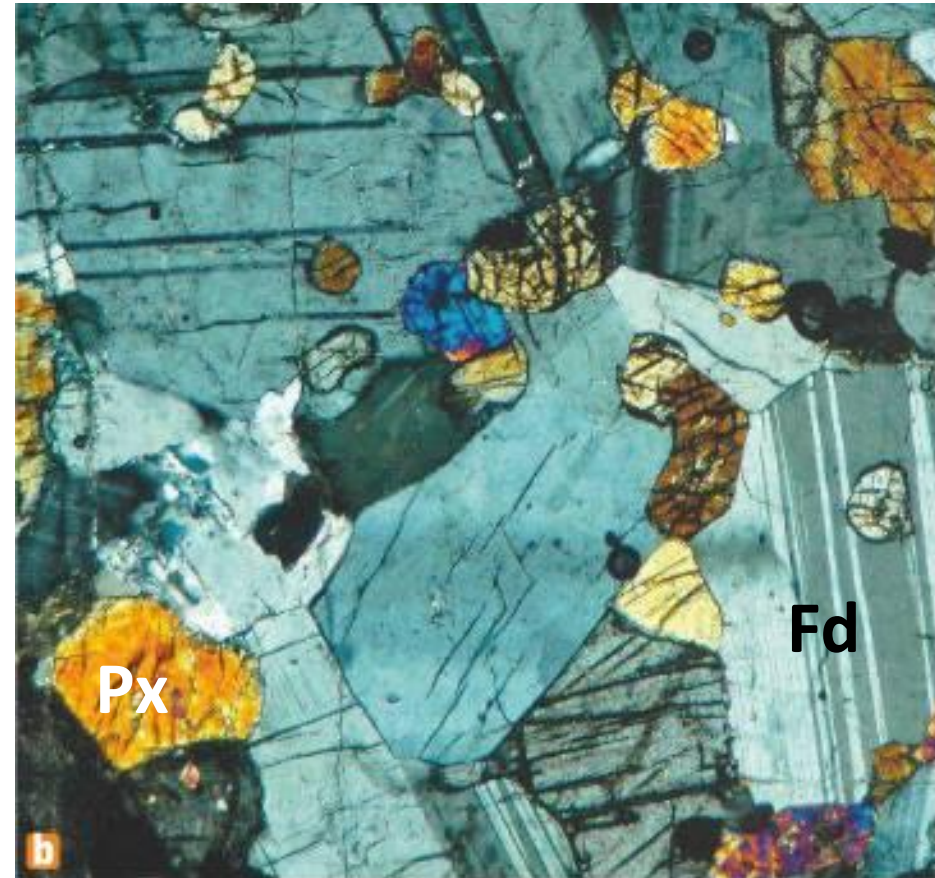
Roche grenue

Basalte



Roche microlithique

Composition des gabbros



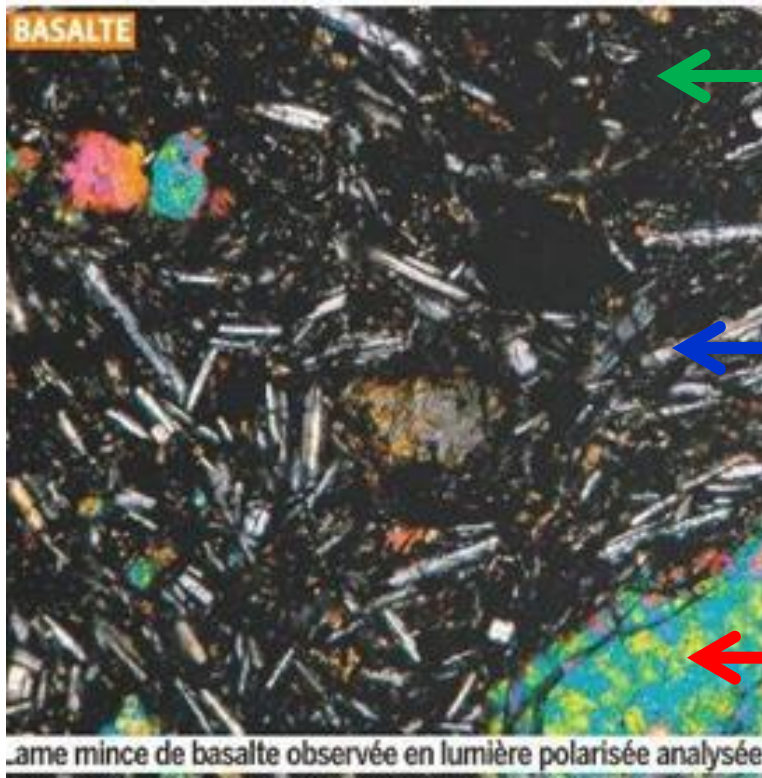
Lame mince de gabbro observée en lumière polarisée analysée

O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
43,5	23,7	7,4	8,3	3,8	7,4	1,6	0,6

Densité = 2,9

Formation des basaltes en 3 temps

Basalte



← Refroidissement très rapide,
au contact de l'eau => verre

← Refroidissement plus rapide
lors de l'ascension du magma
=> microlites

← Refroidissement lent en
profondeur => phénocristaux

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

Diversité des roches de la croûte continentale











3

Les roches situées à la surface des continents

Les cartes géologiques indiquent les roches se trouvant à l'affleurement*, ou sous la couche du sol lorsqu'il y en a un.

Activité pratique

- Sur le site InfoTerre (BRGM) ou Geoportail (IGN), afficher la carte géologique de la France afin de localiser les trois grands types de roches présentes en surface.
- Schématiser cette répartition sous la forme d'une carte simplifiée.
- Émettre des hypothèses sur la répartition en profondeur de ces roches.

Roches sédimentaires*	Roches métamorphiques*	Roches magmatiques*
 		volcaniques* 
 		plutoniques* 
 		

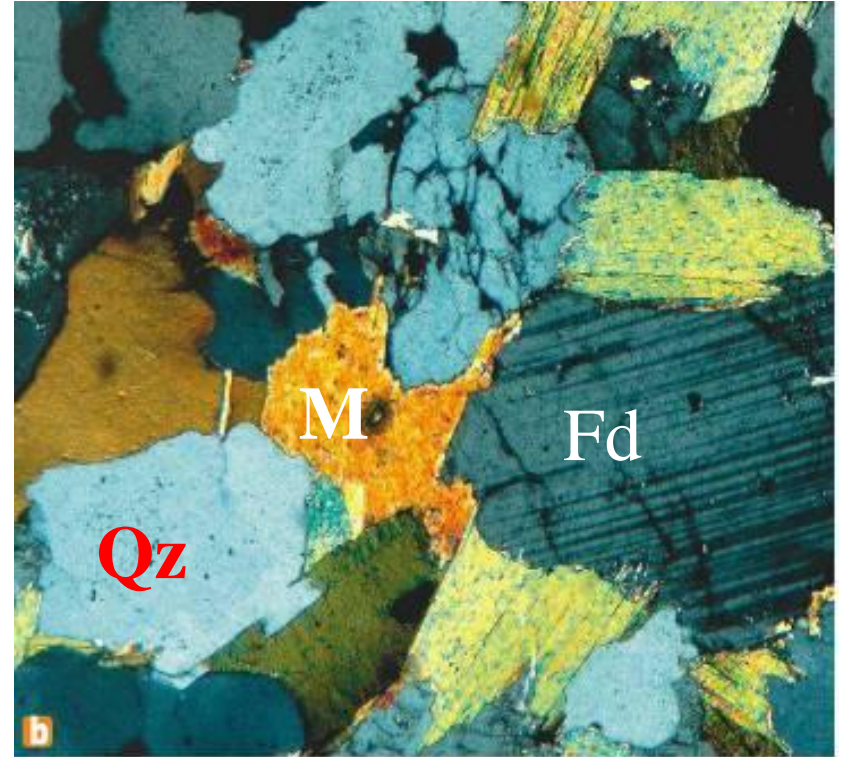


Roche caractéristique de la croûte continentale : le granite



• Principaux éléments chimiques (en %) :

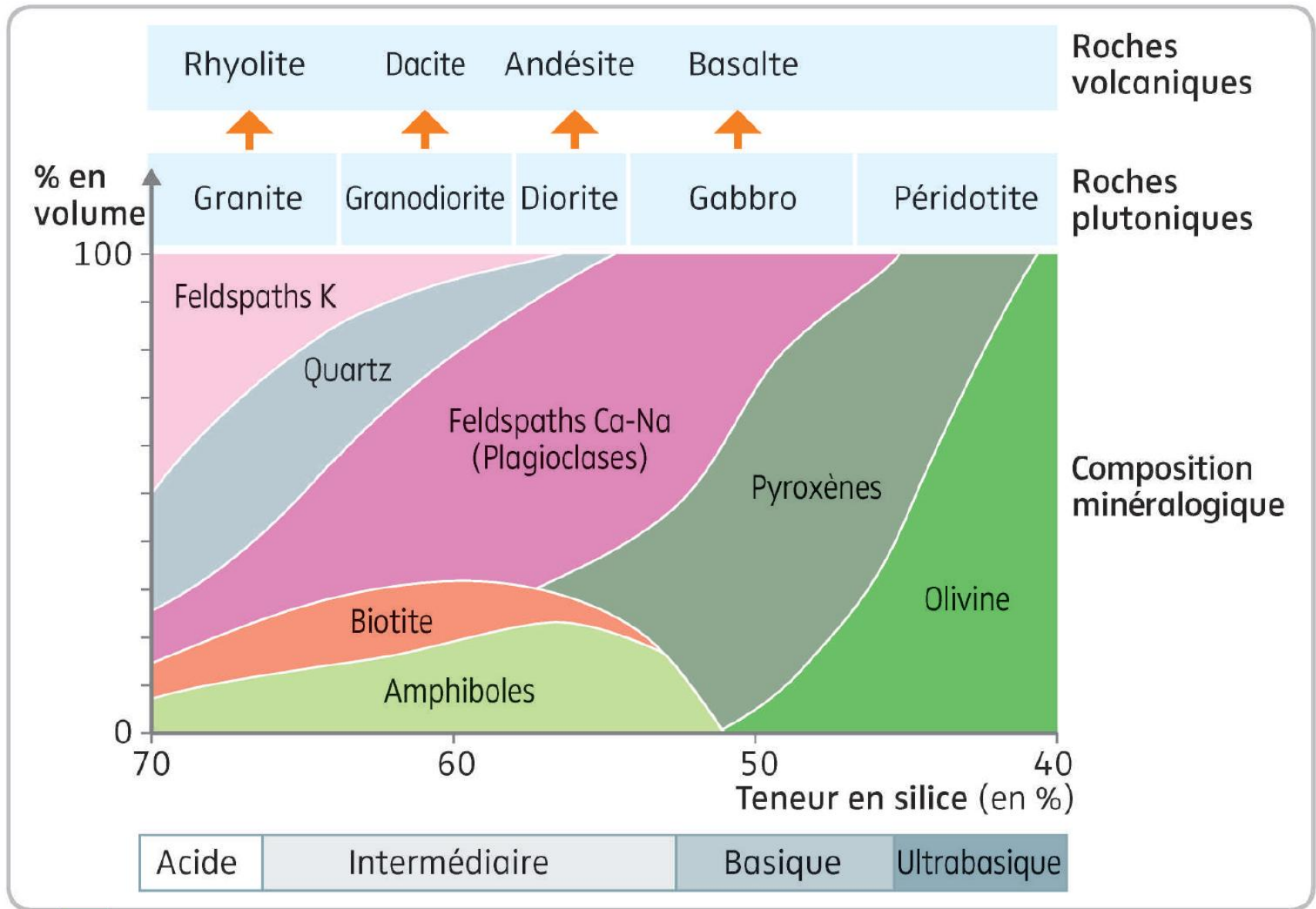
O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
47,4	32,6	7,6	2,2	0,5	1,4	2,4	4,1



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

Densité = 2,7

Classification des roches magmatiques



d Classification des roches magmatiques.

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

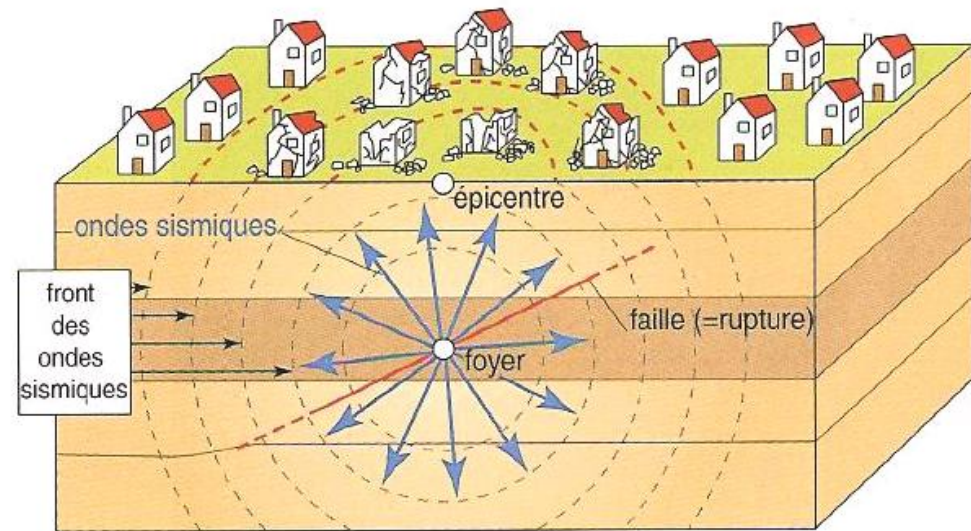
II°) Apport des études sismiques à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

Naissance des ondes sismiques

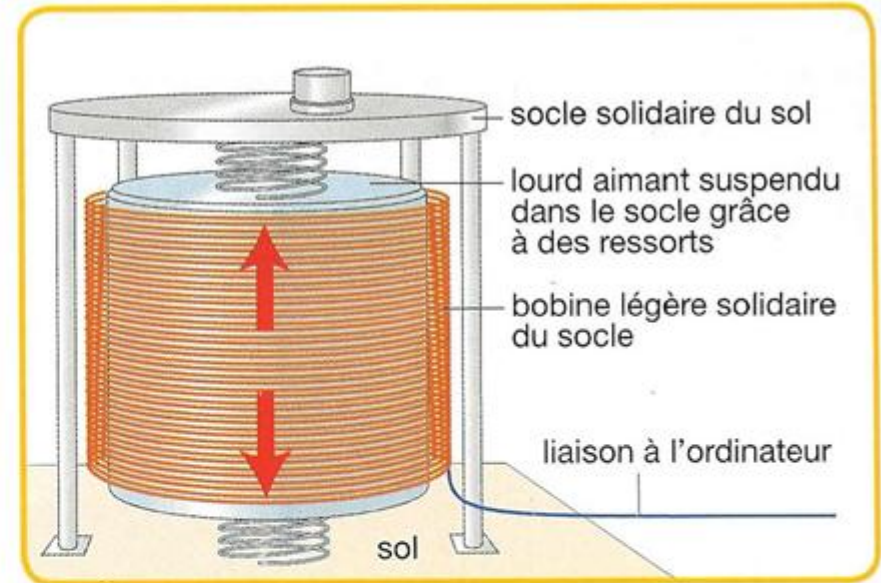


Effets en surface d'un séisme destructeur



Les foyers des séismes sont situés entre 1 et 700 km de profondeur, le plus souvent à moins de 30 km. Rappel : rayon de la Terre = 6 400 km.

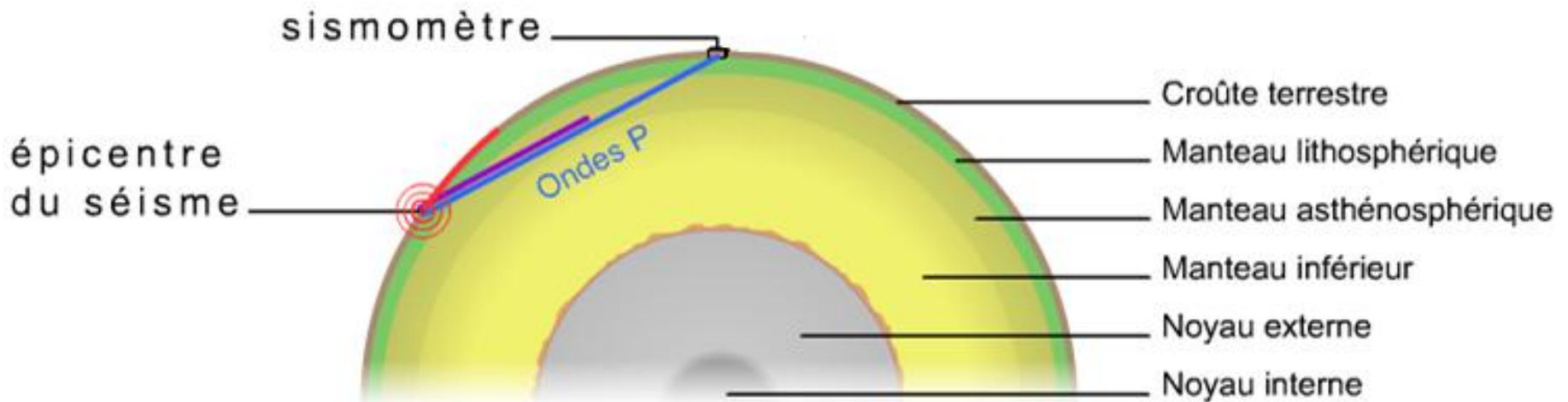
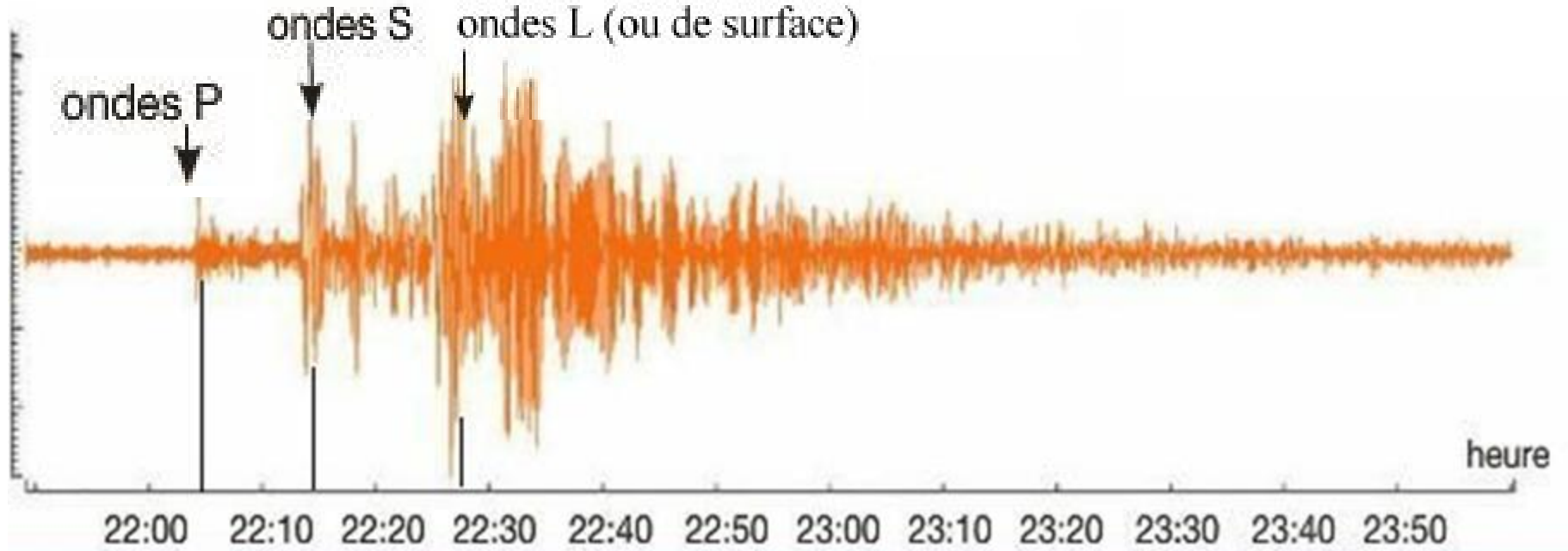
Principe du sismomètre ([animation en ligne](#))



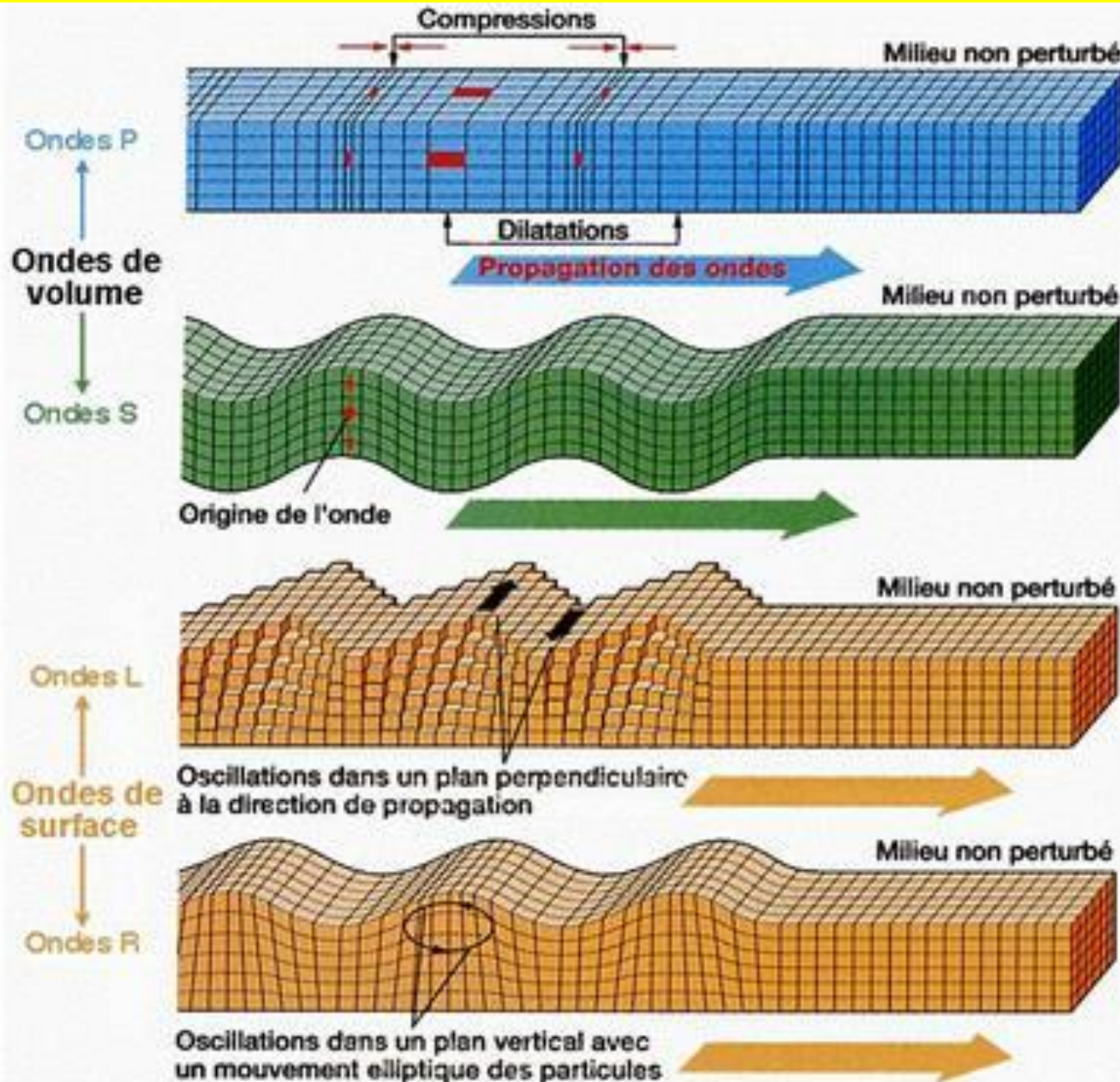
Principe d'un sismomètre.

Quand des vibrations arrivent au sismomètre, la bobine légère, solidaire du socle, suit ces vibrations. L'aimant, plus lourd, bouge plus lentement que la bobine. Les mouvements relatifs de la bobine et de l'aimant génèrent de faibles courants électriques proportionnels aux vibrations. Ces signaux sont envoyés vers un ordinateur où ils sont traduits sous forme de graphique appelé sismogramme.

Les différents types d'ondes sismiques



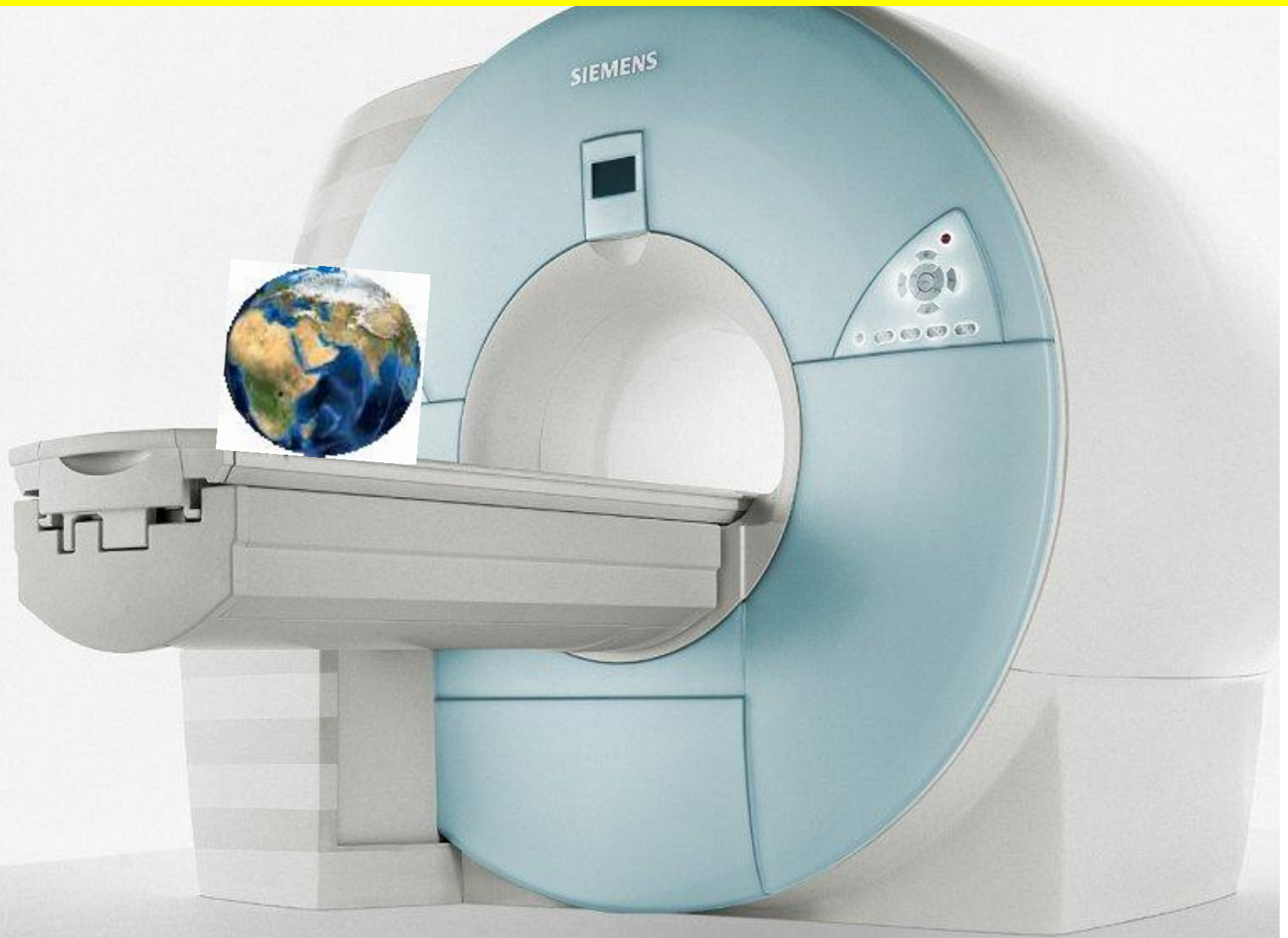
Les différents types d'ondes sismiques



Seules utiles pour l'étude du globe (elles traversent le globe)

inutiles pour l'étude du globe
Mais destructrices !

Connaître l'inaccessible



Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

II°) Apport des études sismiques à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

B°) Structure sismique du globe

1°) à grande échelle

La loi de Snell-Descartes

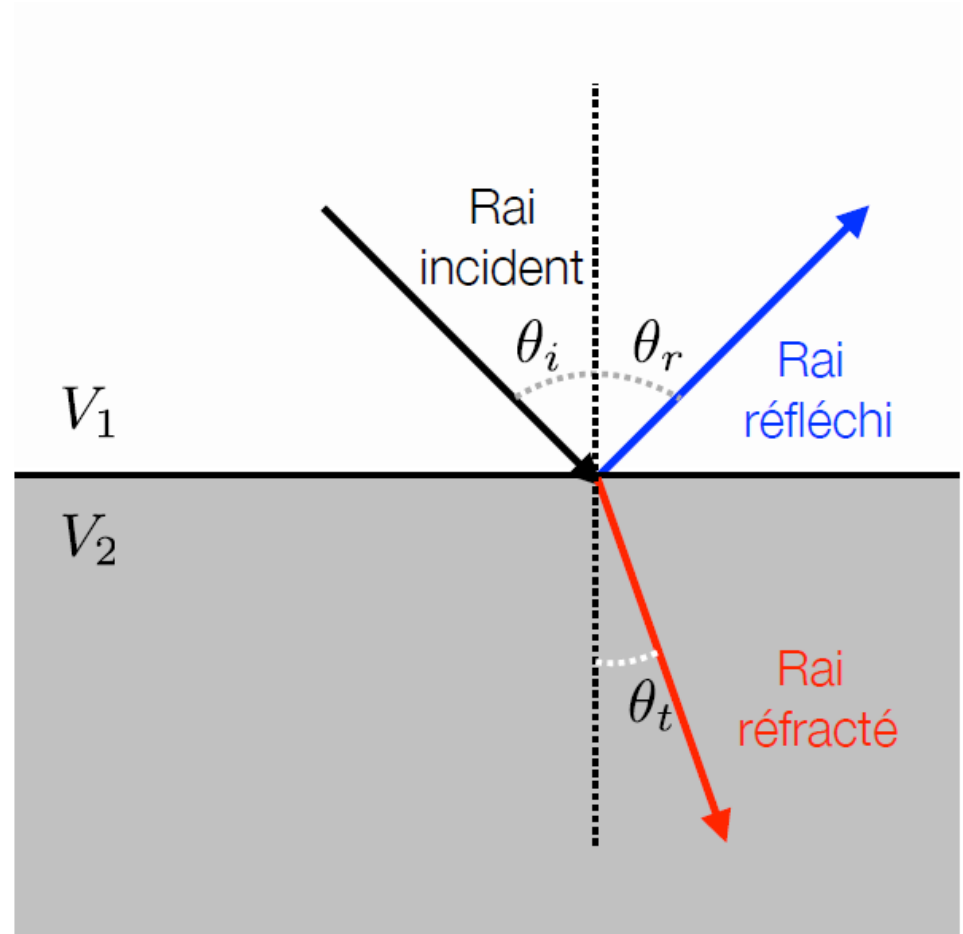
Il est possible de prédire le parcours des rais sismiques grâce à la loi de Snell-Descartes:

1. Loi de la réflexion:

$$\theta_t = \theta_r$$

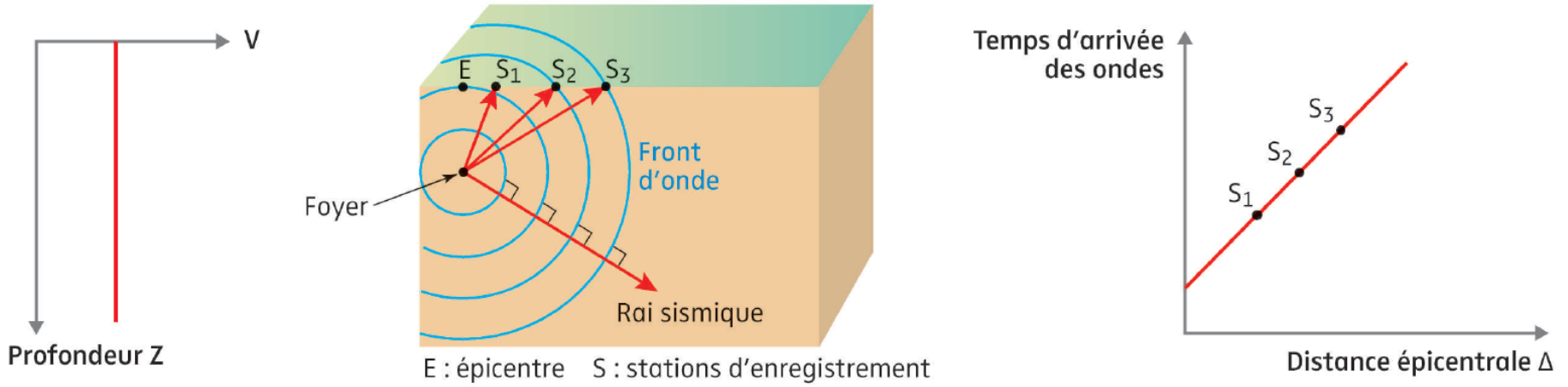
2. Loi de la réfraction:

$$\frac{\sin \theta_i}{V_1} = \frac{\sin \theta_t}{V_2}$$

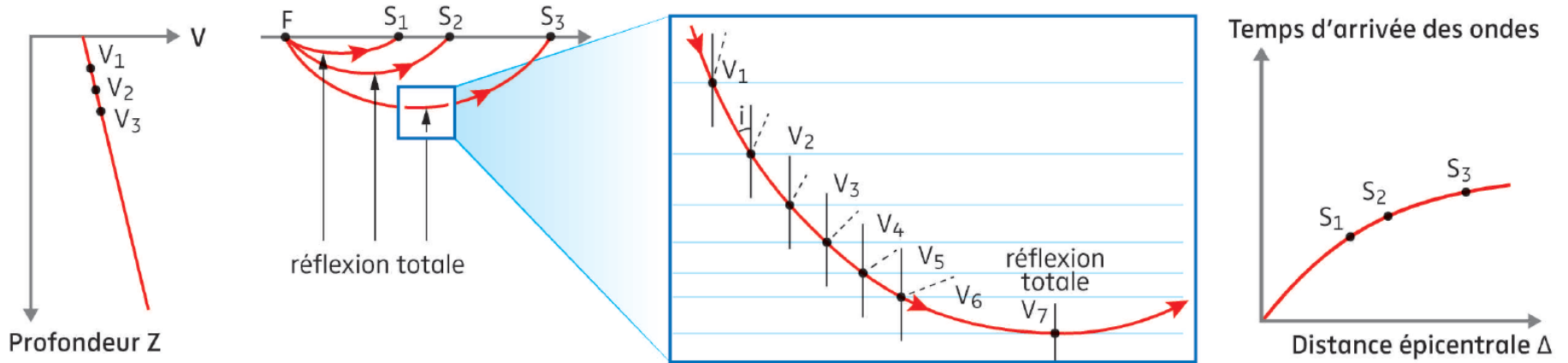


La vitesse des ondes sismiques augmente avec la profondeur Oldham (1906)

Hypothèse A : hypothèse d'un globe constitué d'un même matériau aux propriétés homogènes.

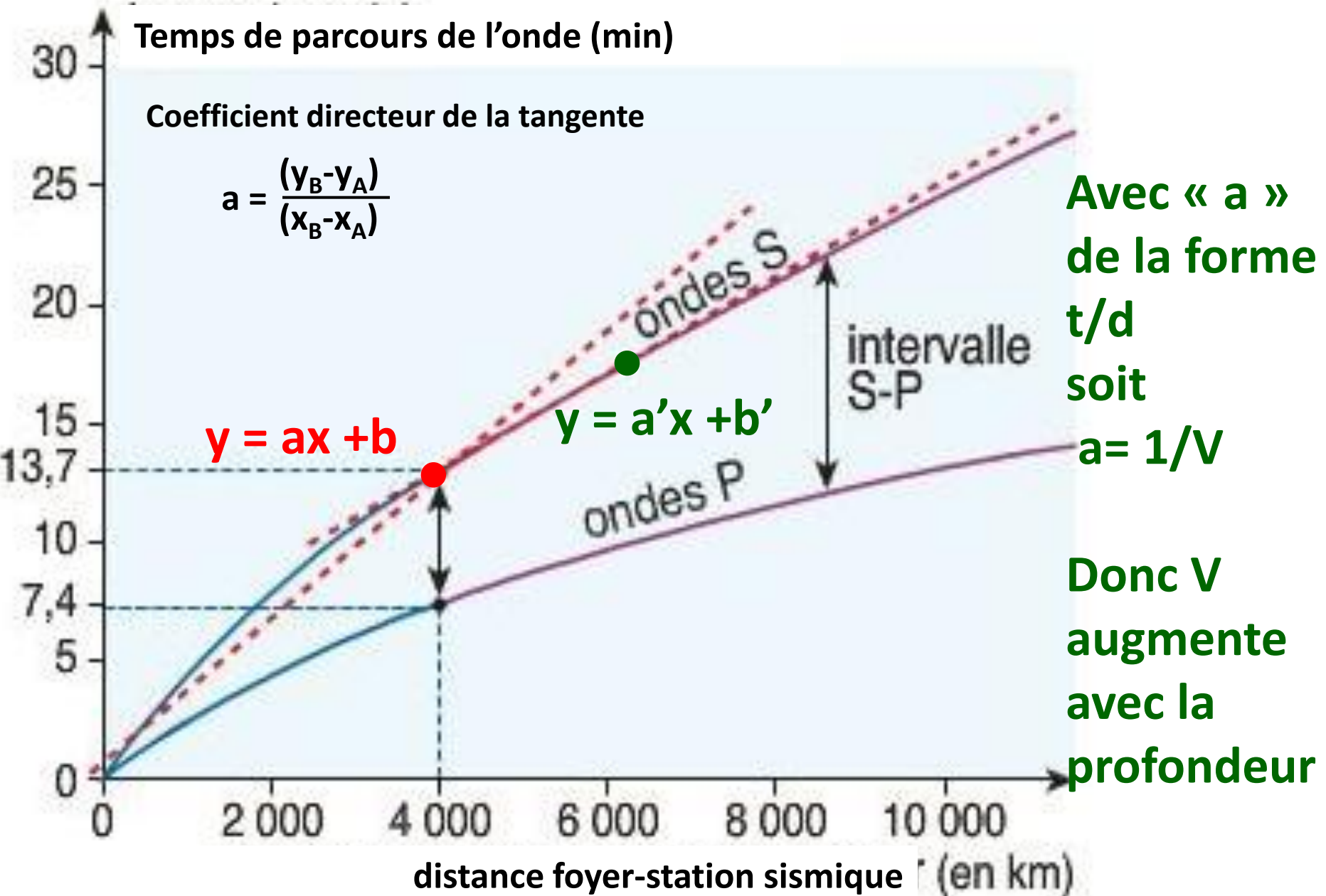


Hypothèse B : hypothèse d'un globe constitué de matériaux différents et/ou ayant des propriétés différentes.

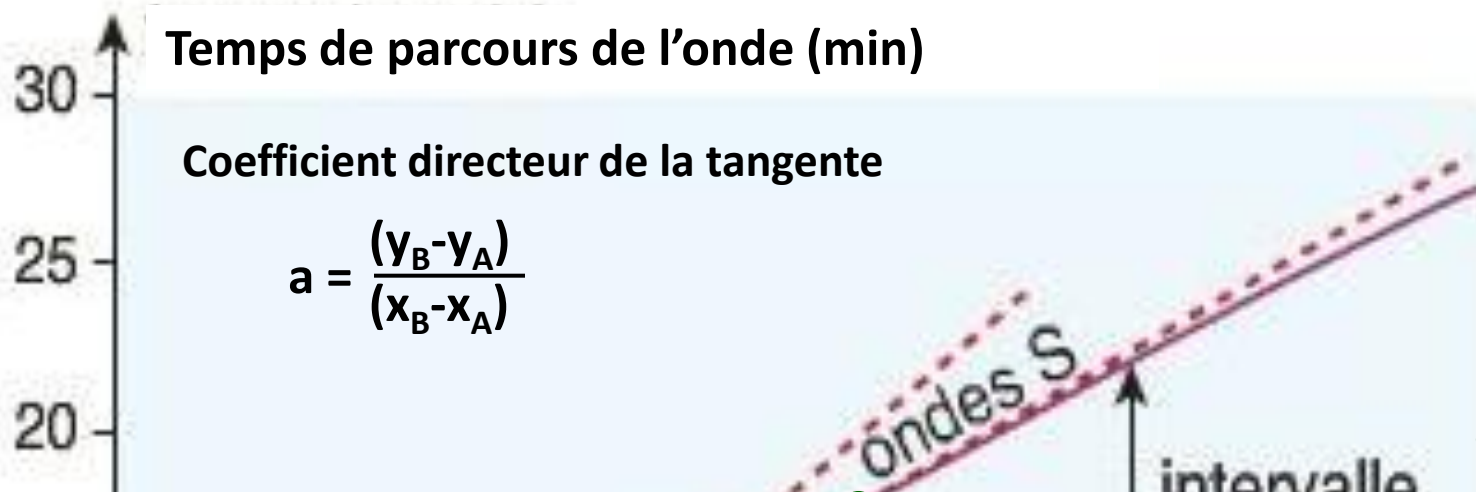


f **Hodochrones des ondes de volume.** Un hodochrone est une courbe obtenue en représentant graphiquement le temps d'arrivée d'une onde à la station en fonction de la distance épicentrale. Si la constitution du globe entraîne l'augmentation de la vitesse des ondes en fonction de la profondeur, alors les rais sismiques sont courbes avec une concavité dirigée vers la surface et l'hodochrone correspondant tend vers l'horizontale.

La vitesse des ondes sismiques augmente avec la profondeur Oldham (1906)

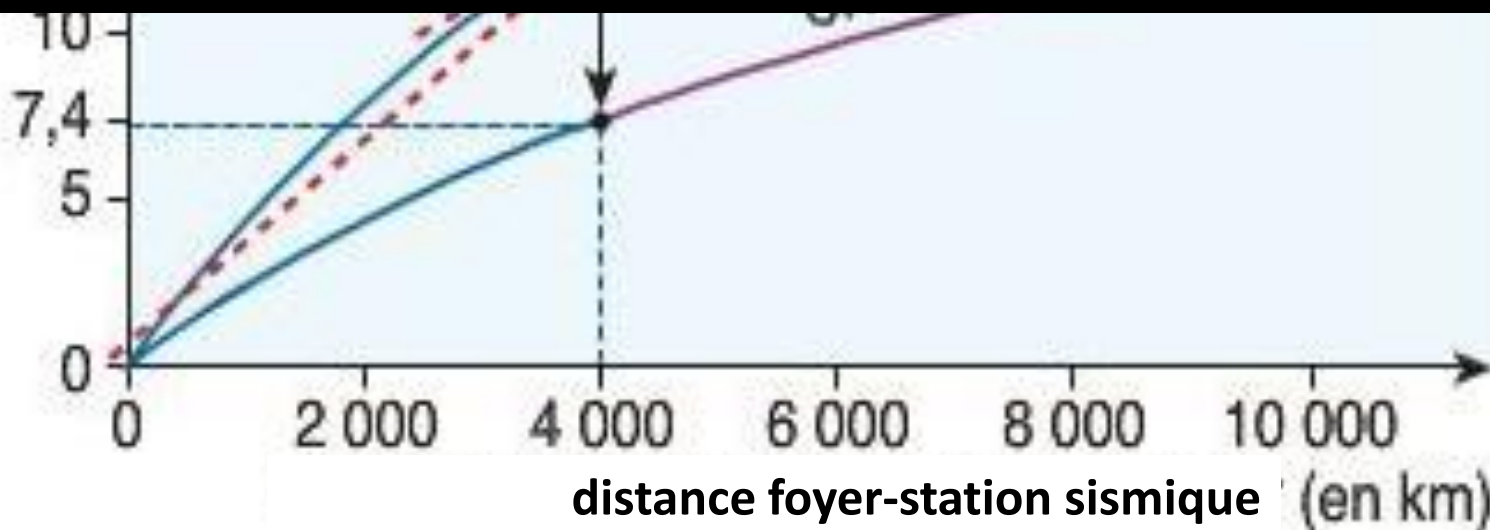


La vitesse des ondes sismiques augmente avec la profondeur Oldham (1906)



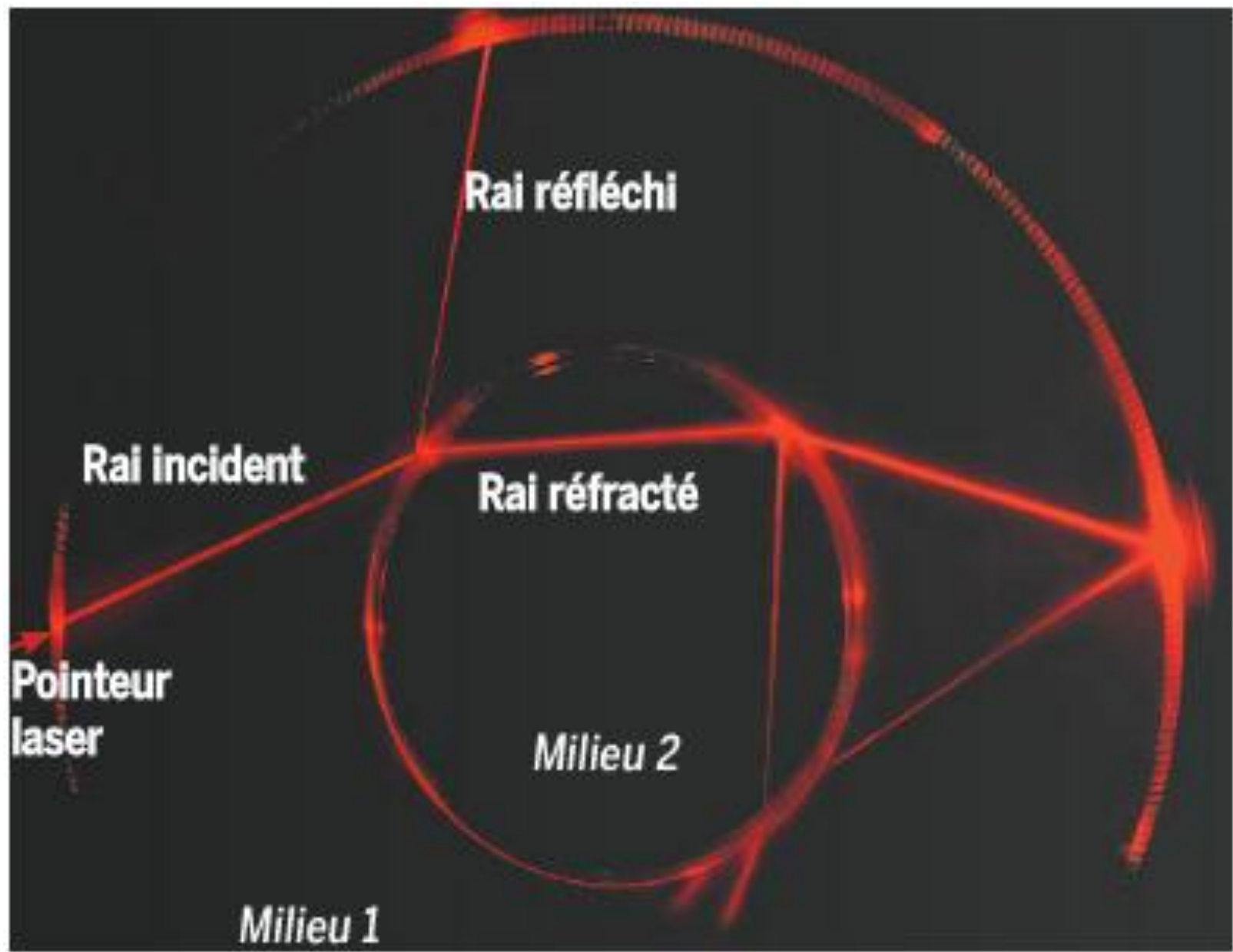
Avec « a »
de la forme
t/d

l'intérieur du globe est rigide, de plus en plus rigide jusque vers 2900 km de profondeur...

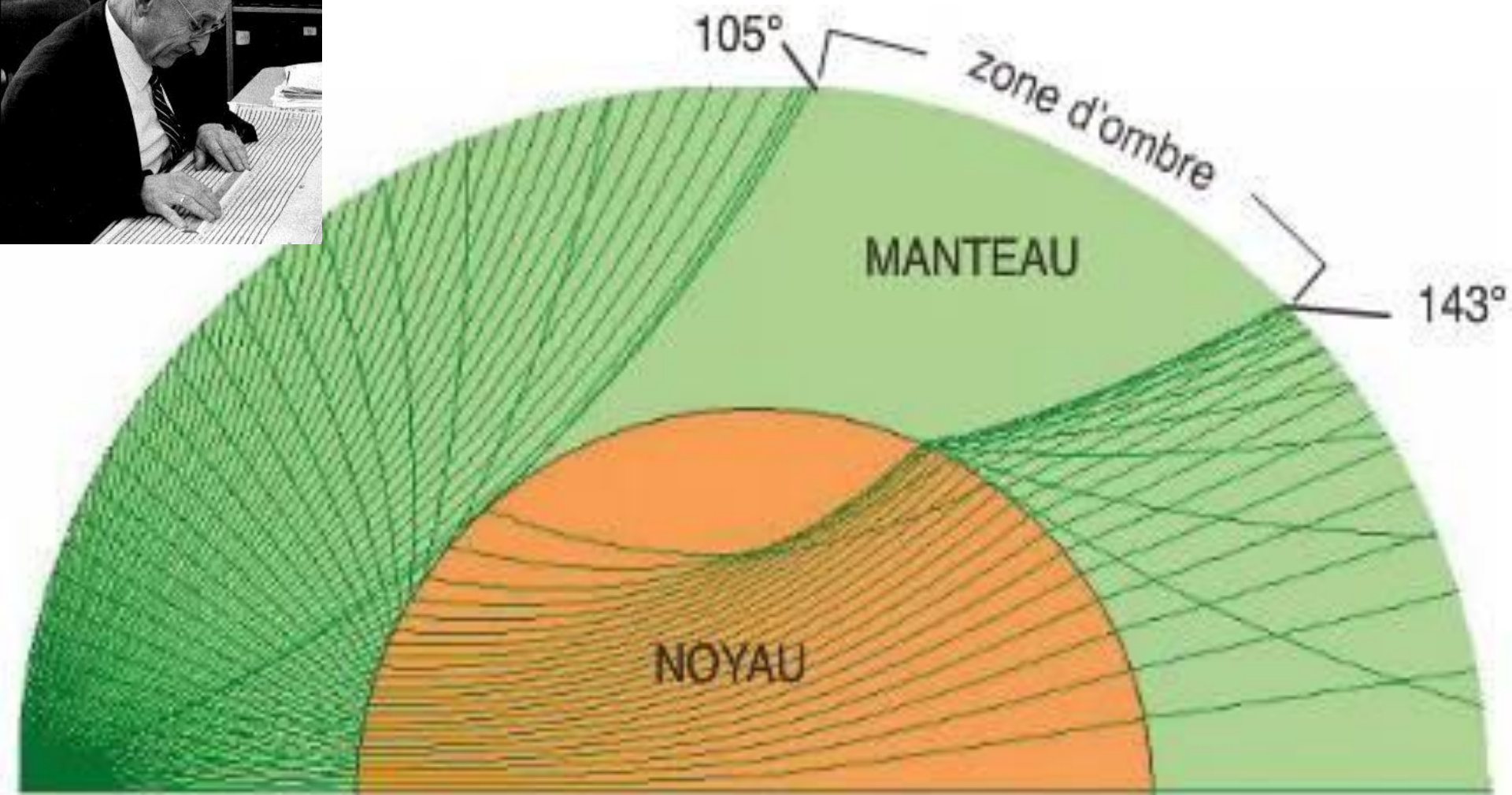


Donc V
augmente
avec la
profondeur

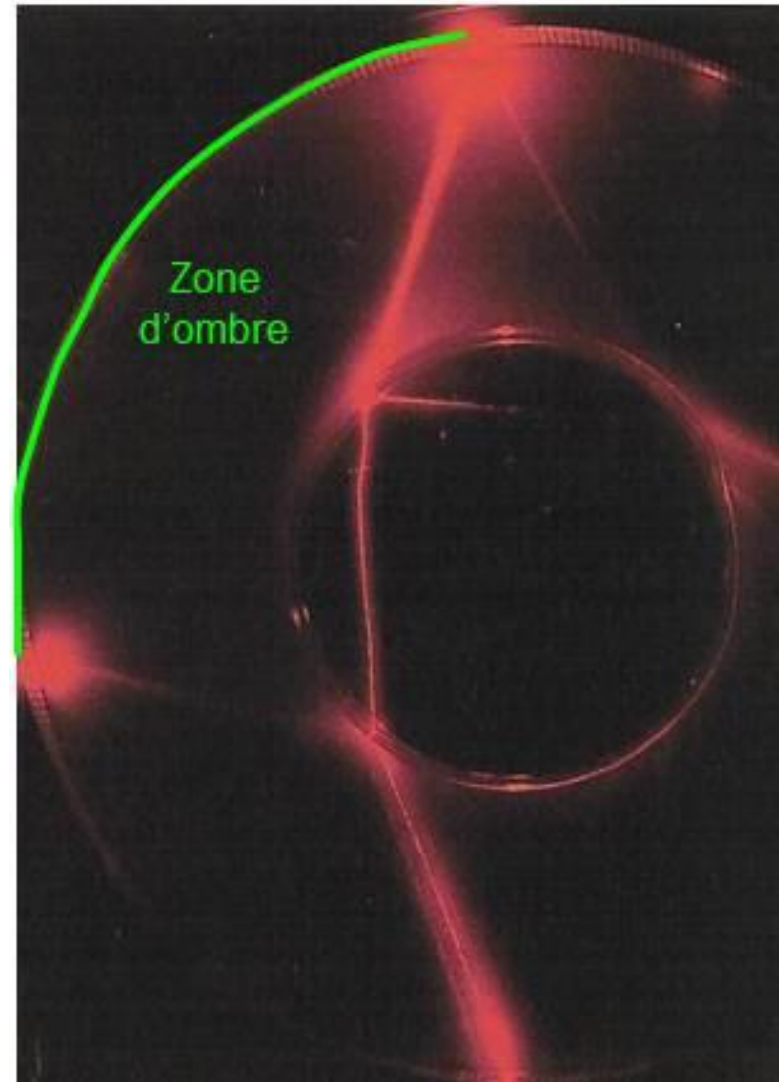
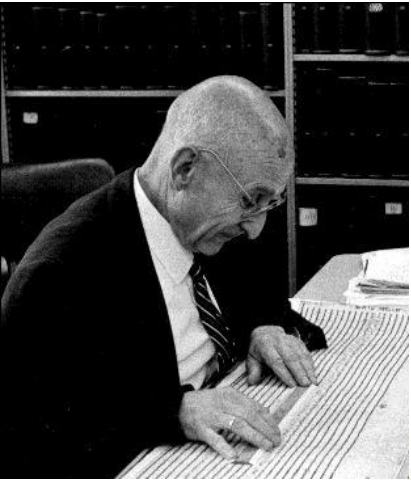
Modélisation pour comprendre le comportement des ondes sismiques à l'intérieur du globe.



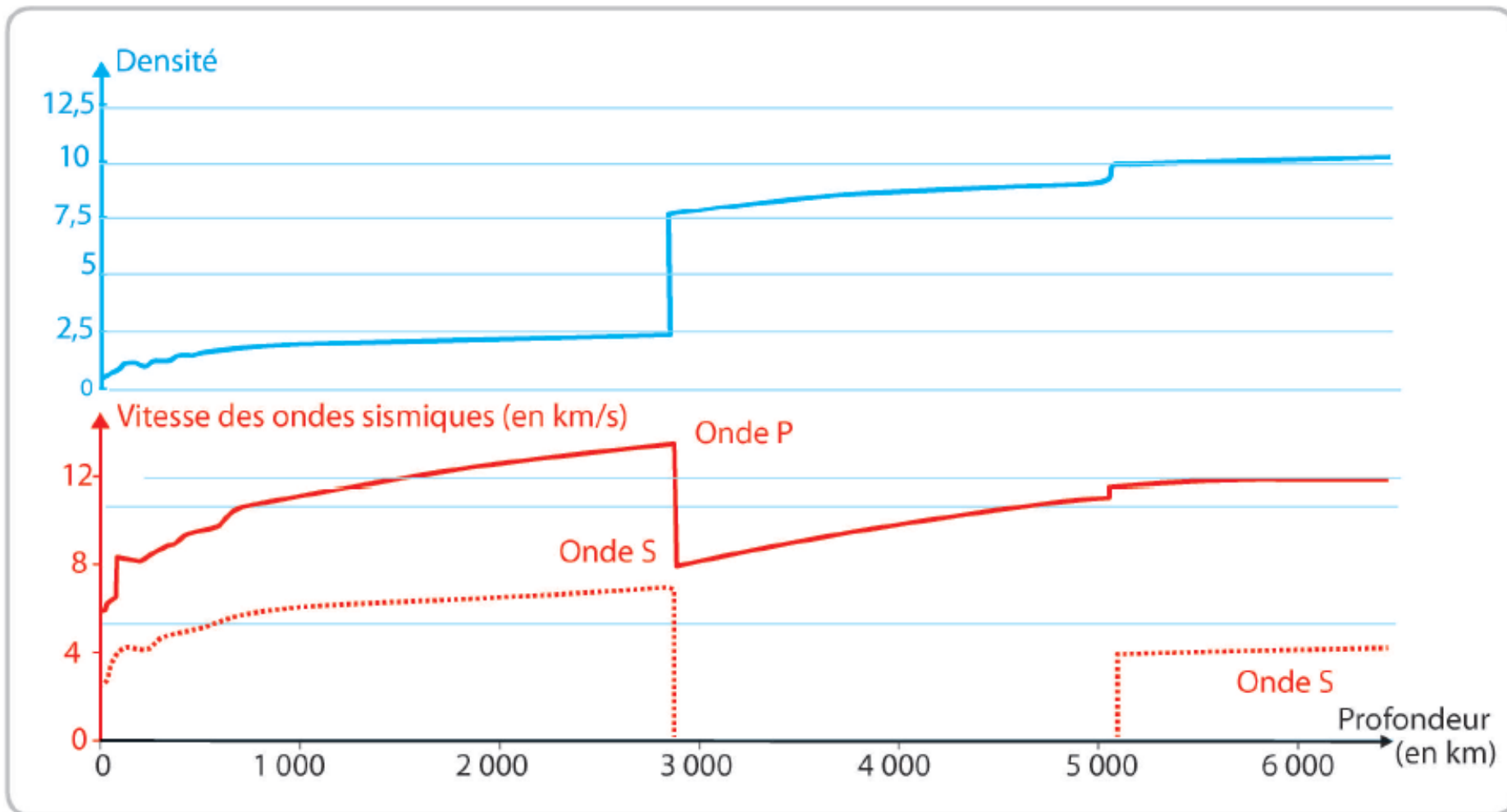
La zone d'ombre de Beno Gutenberg



La zone d'ombre de Beno Gutenberg



Les résultats du modèle PREM



e **Une discontinuité au sein du noyau.** En 1936, Inge Lehmann repère sur des sismogrammes, des ondes P très atténuées qui, selon elle, ont traversé le noyau en subissant plusieurs réfractions. En s'enfonçant dans le noyau, à 5 150 km de profondeur, une onde P peut donner naissance à une onde S par réfraction, et inversement lorsqu'elle remonte vers la surface.

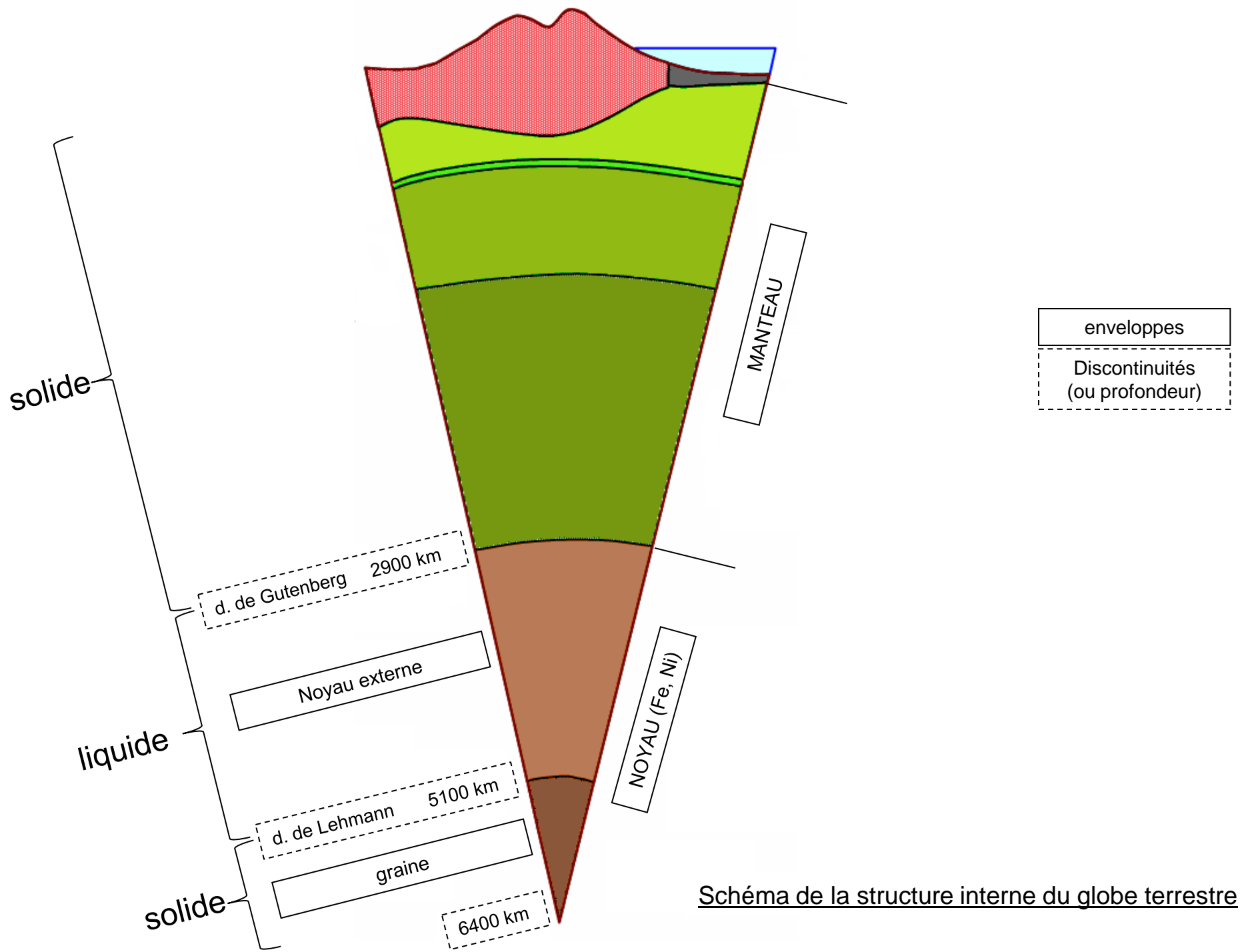


Schéma de la structure interne du globe terrestre

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

II°) Apport des études sismiques à la connaissance du globe terrestre

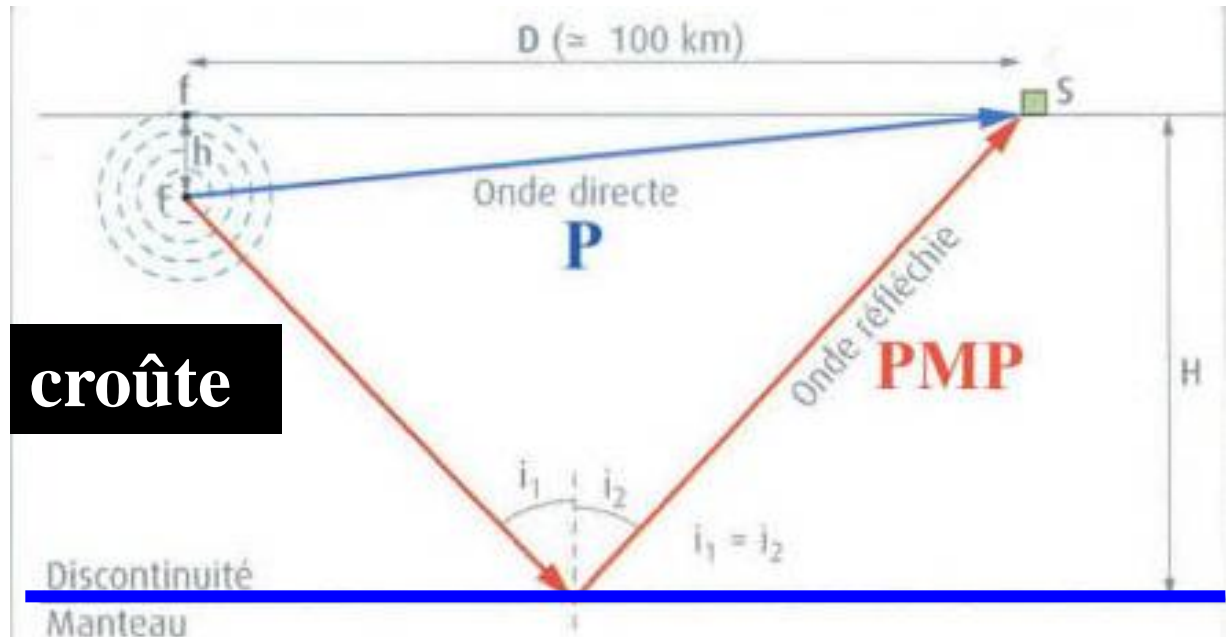
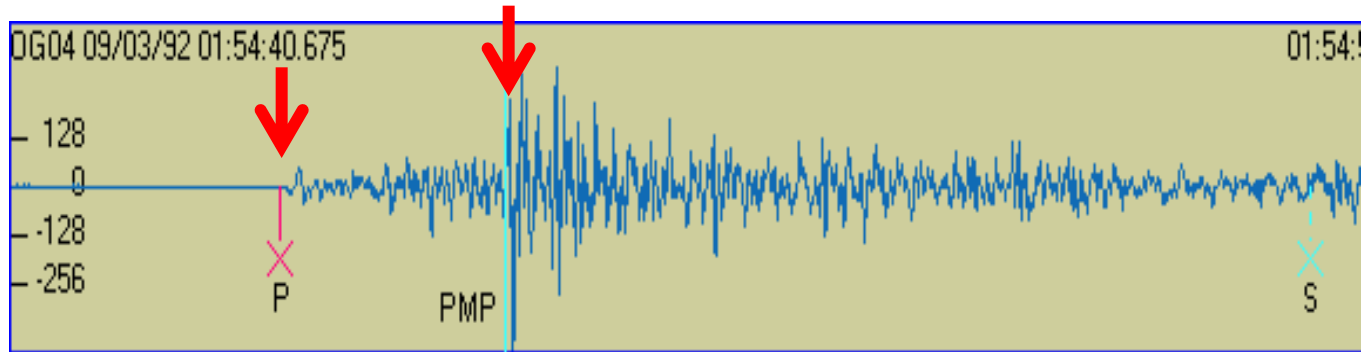
A°) Méthodes d'étude

B°) Structure sismique du globe

1°) à grande échelle

2°) au niveau des deux types de lithosphère

Les observations de Mohorovičić (1909)



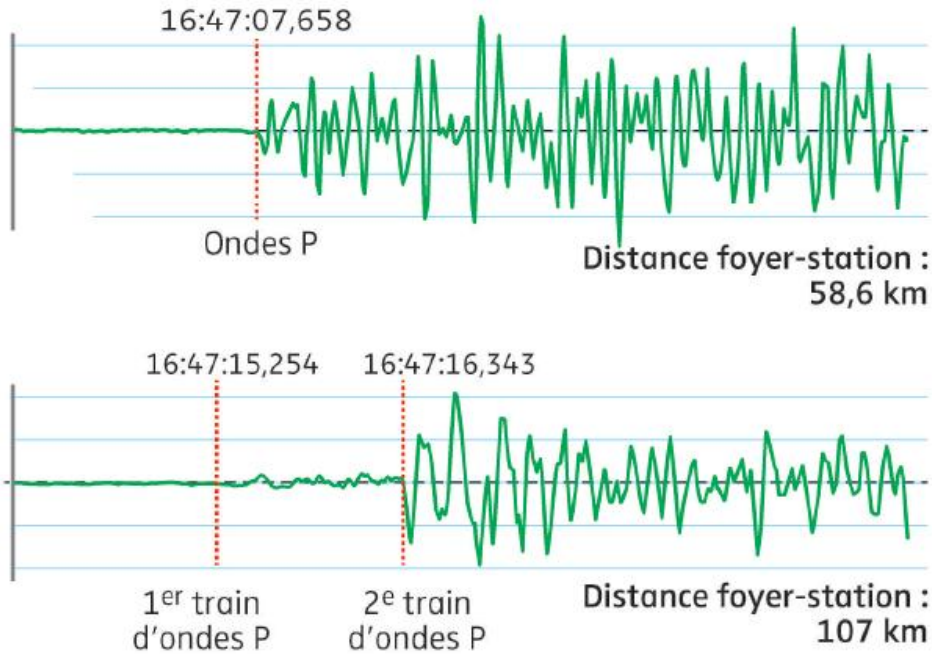
croûte

Moho

manteau

D : distance épicerentre-sismographe
S : sismographe
h : profondeur du séisme
H : profondeur de la discontinuité

Les observations de Mohorovičić (1909)

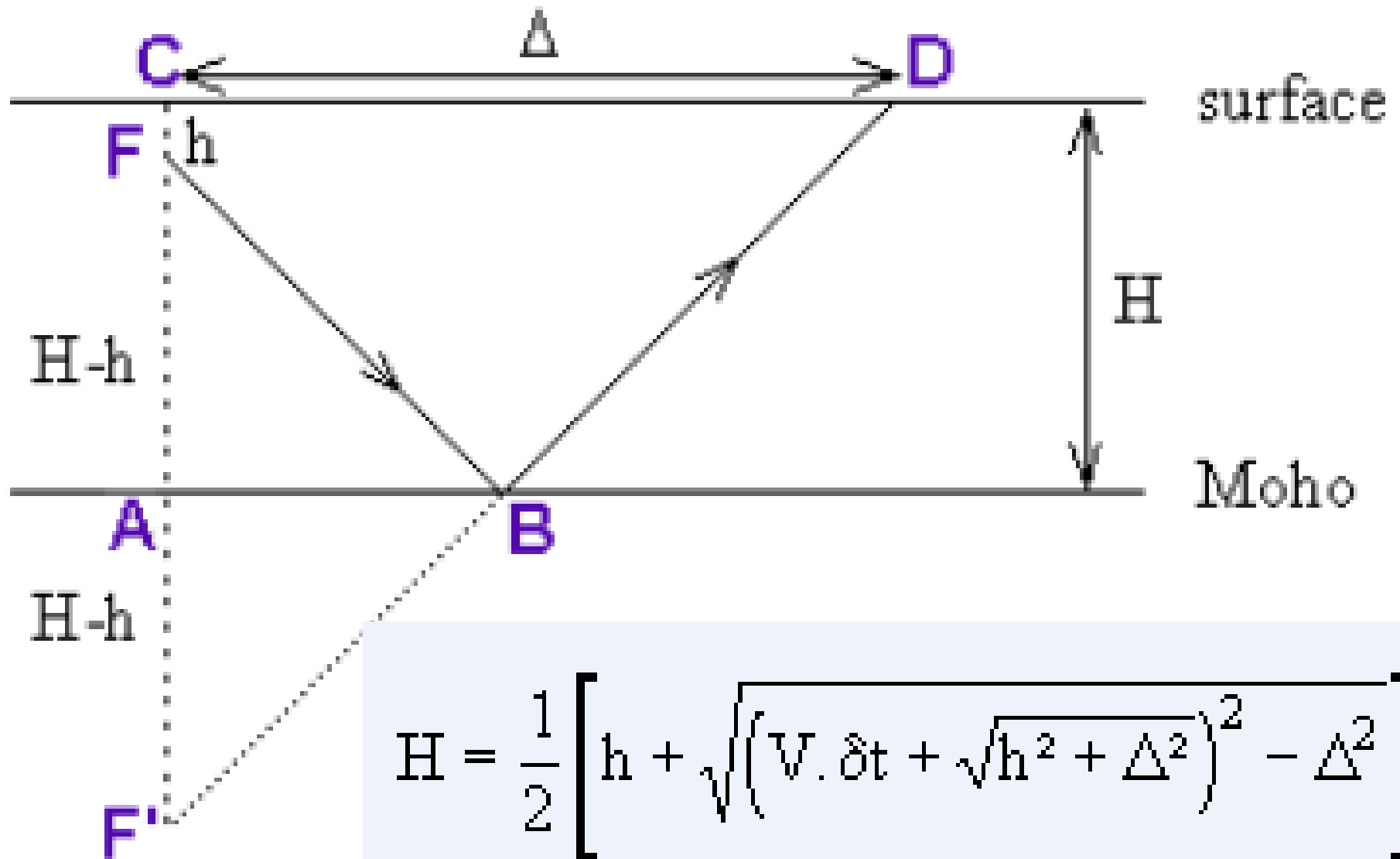


a Le problème posé par le séisme de Zagreb

(Croatie, 8 octobre 1909).

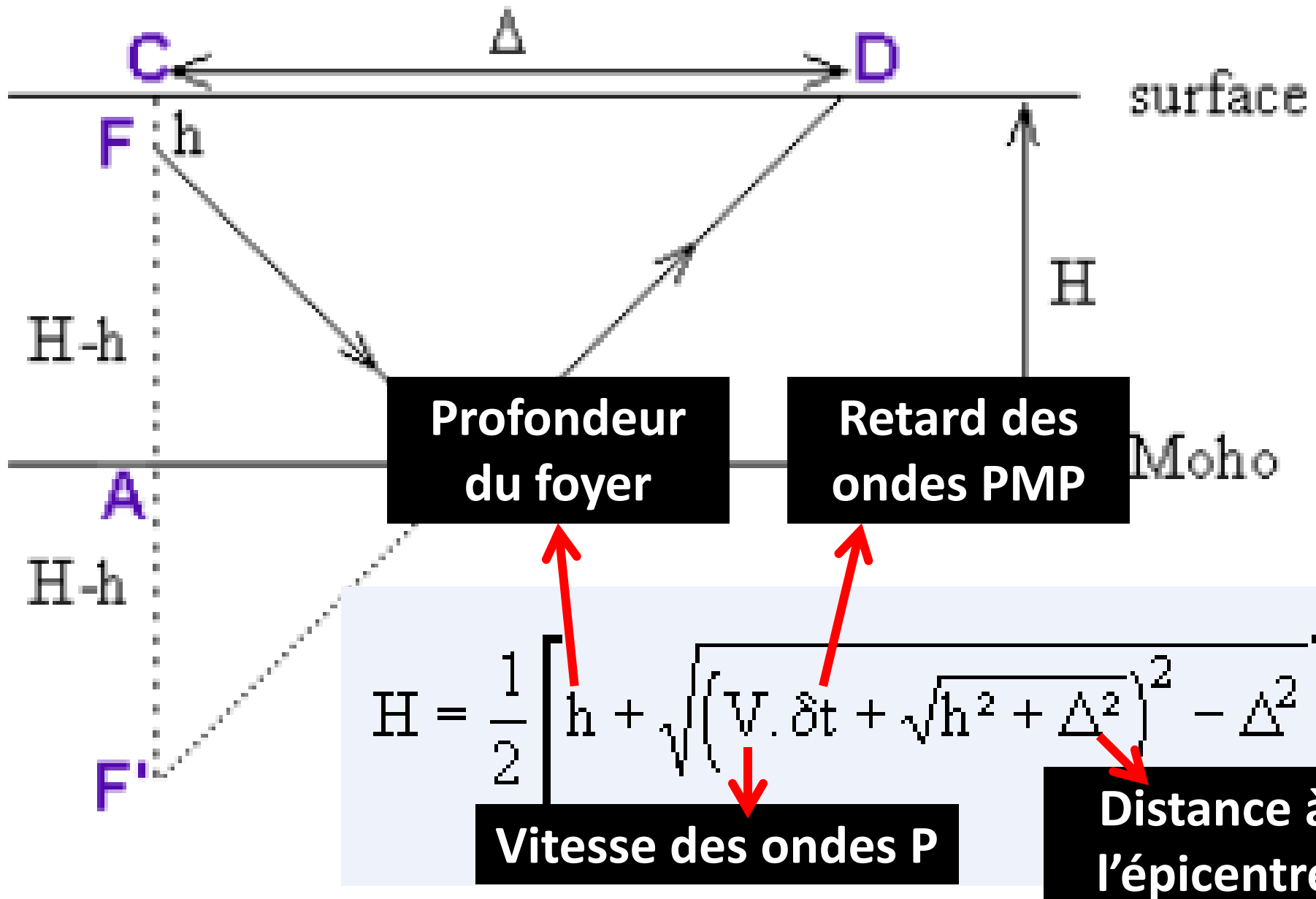
Suite à ce séisme, André Mohorovicic constate sur des sismogrammes enregistrés dans différentes stations, qu'à une certaine distance de l'épicentre, on enregistre deux trains d'ondes P et deux trains d'ondes S, comme si les ondes avaient suivi des cheminements différents. D'après ses calculs, le deuxième train d'ondes enregistré correspond à des ondes directes, c'est-à-dire ayant cheminé dans la croûte et n'ayant subi ni réflexion ni réfraction. Ce qui a été observé par Mohorovicic en Croatie peut aussi s'observer sur les sismogrammes enregistrés lors d'un séisme en Savoie en 1991 dans deux stations OG09 et OG03.

Calcul de la profondeur du Moho

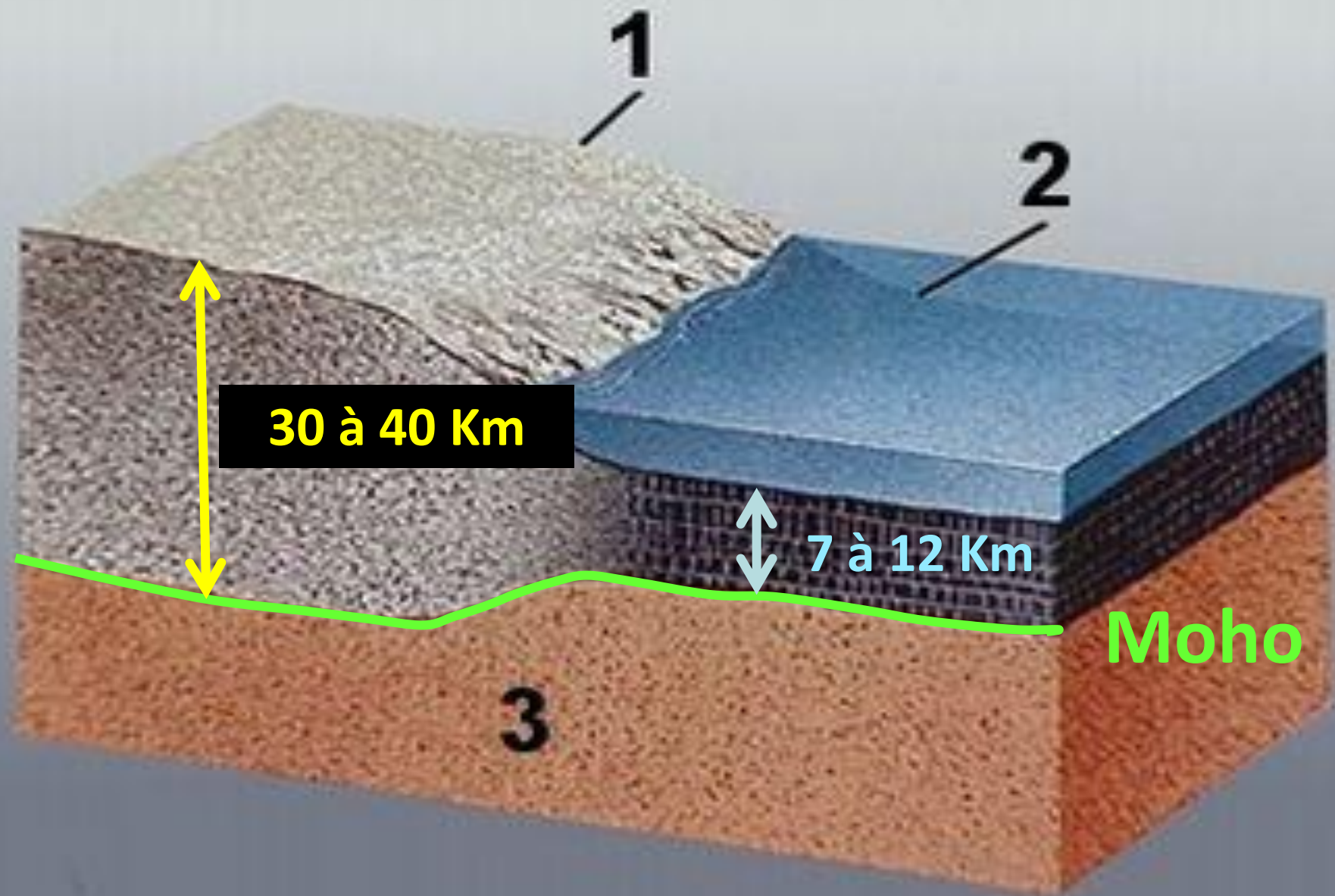


$$H = \frac{1}{2} \left[h + \sqrt{\left(V \cdot \delta t + \sqrt{h^2 + \Delta^2} \right)^2 - \Delta^2} \right]$$

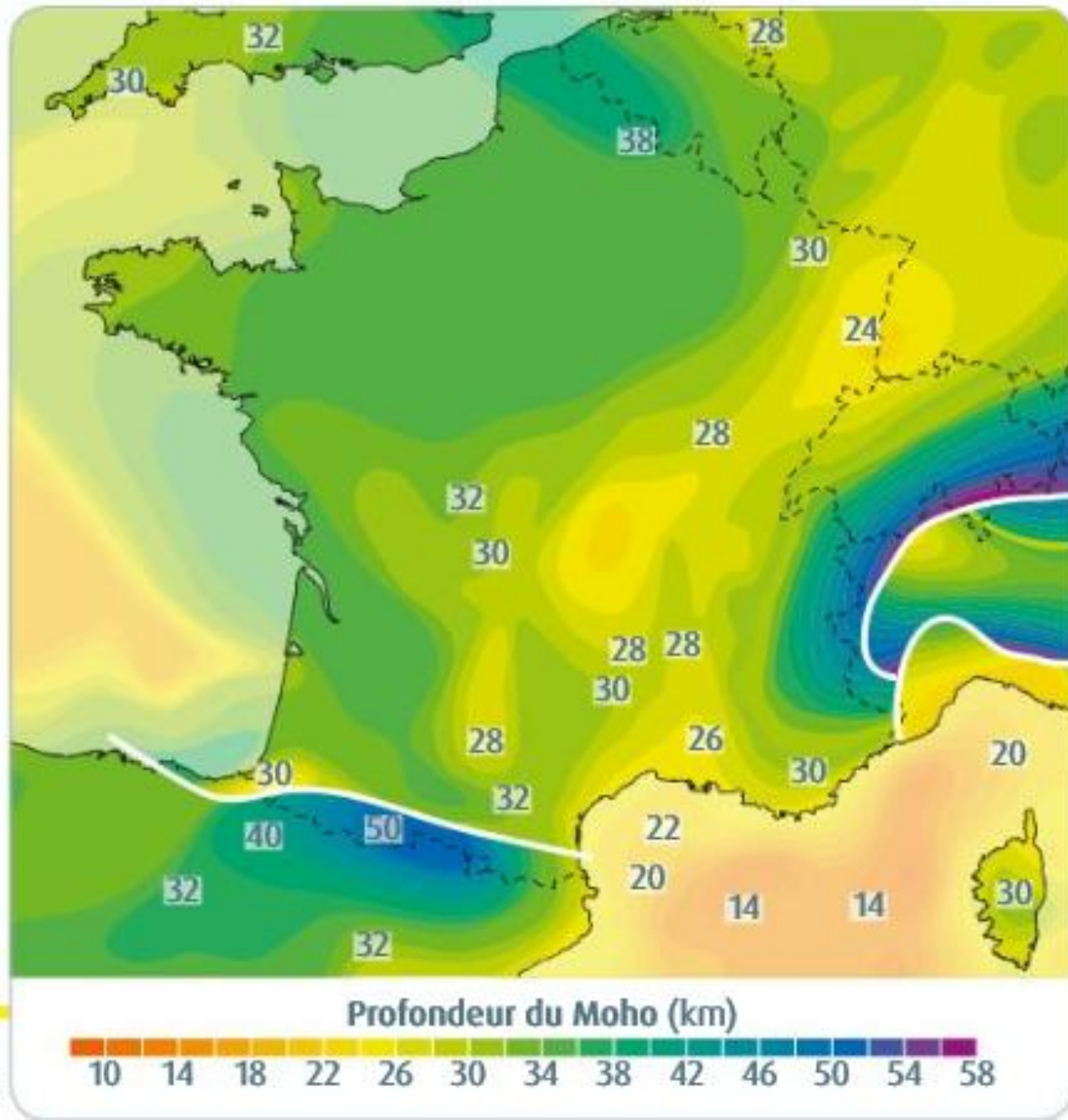
Calcul de la profondeur du Moho



Profondeur du Moho



Profondeur du Moho sous la France



Enclaves : des échantillons de manteau

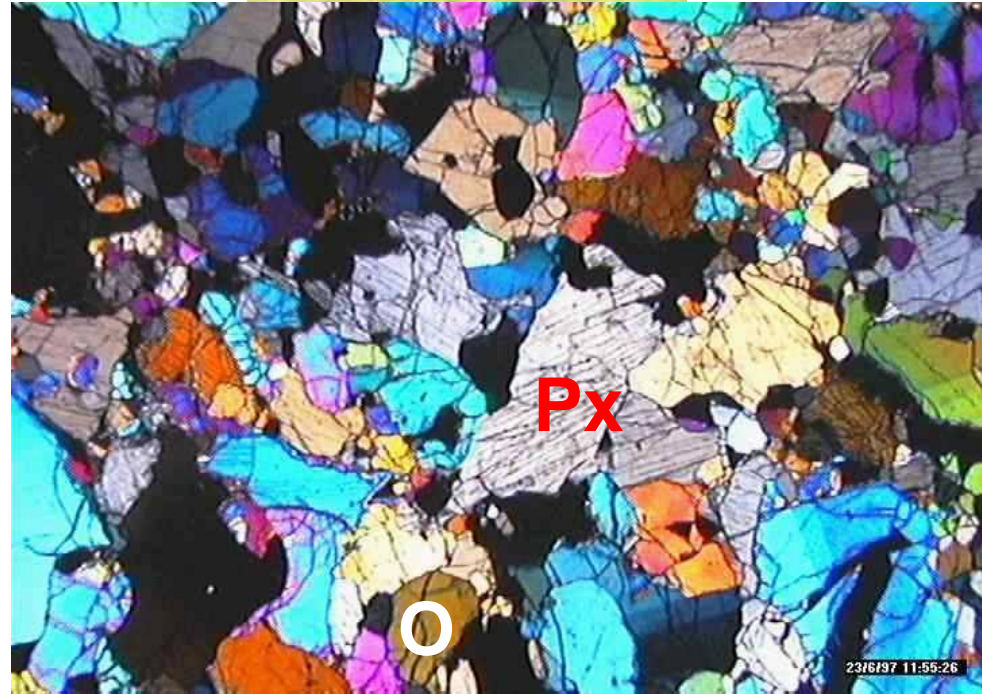
ENCLAVE

Basalte

Péridotite



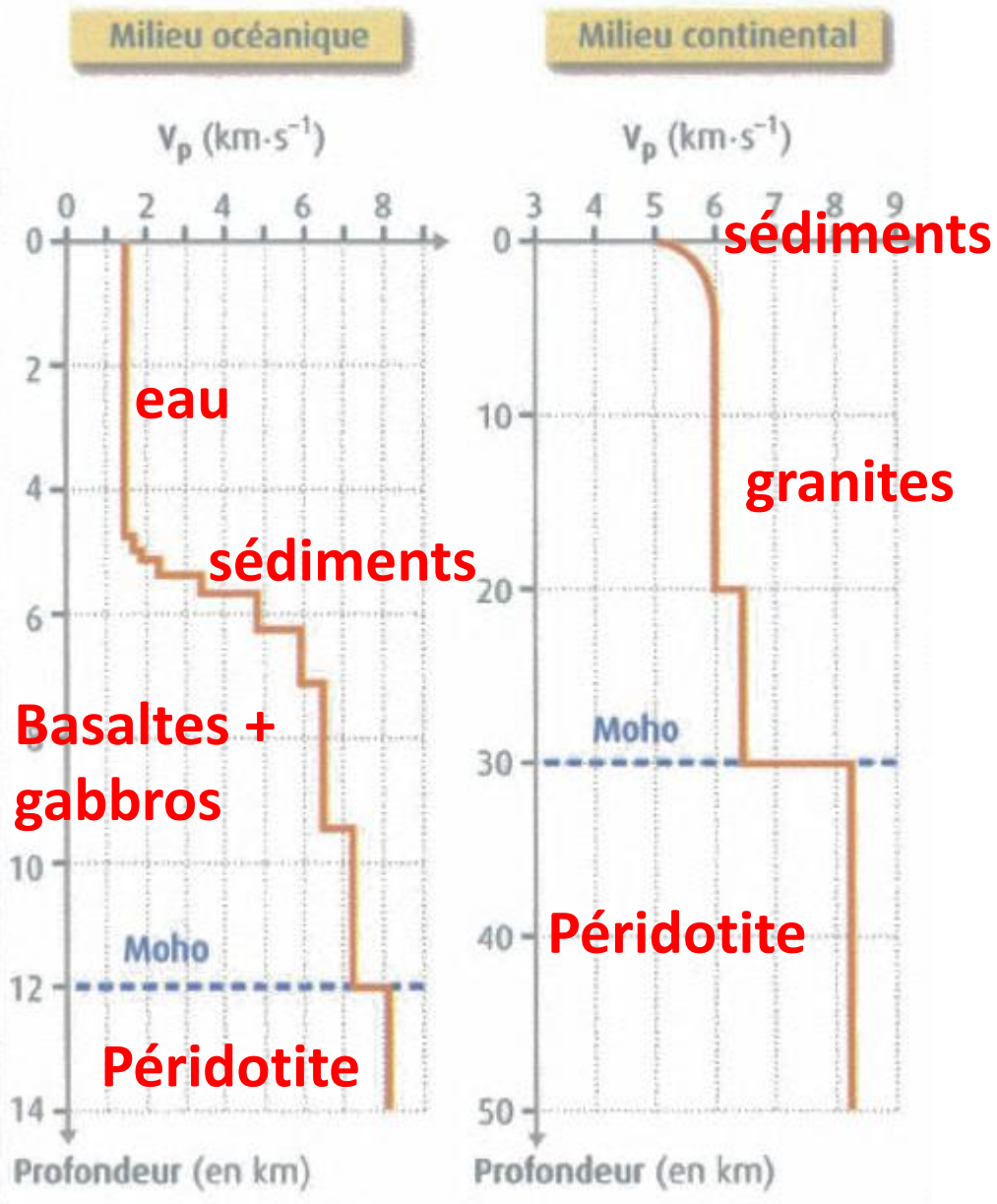
Roches caractéristiques du soubassement : la péridotite



O	Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K
42,7	20,3	2,1	9,4	20,5	2,4	0,4	0,2

Densité = 3,2

Vitesse des ondes P et nature des roches



Roches	Vitesse des ondes P ($\text{Km}\cdot\text{s}^{-1}$)
granite	5,5 à 6,3
sédiments	2 à 5
basaltes	6,4 à 6,9
Gabbro	6,4 à 7,2
péridotites anhydres	7,9 à 12

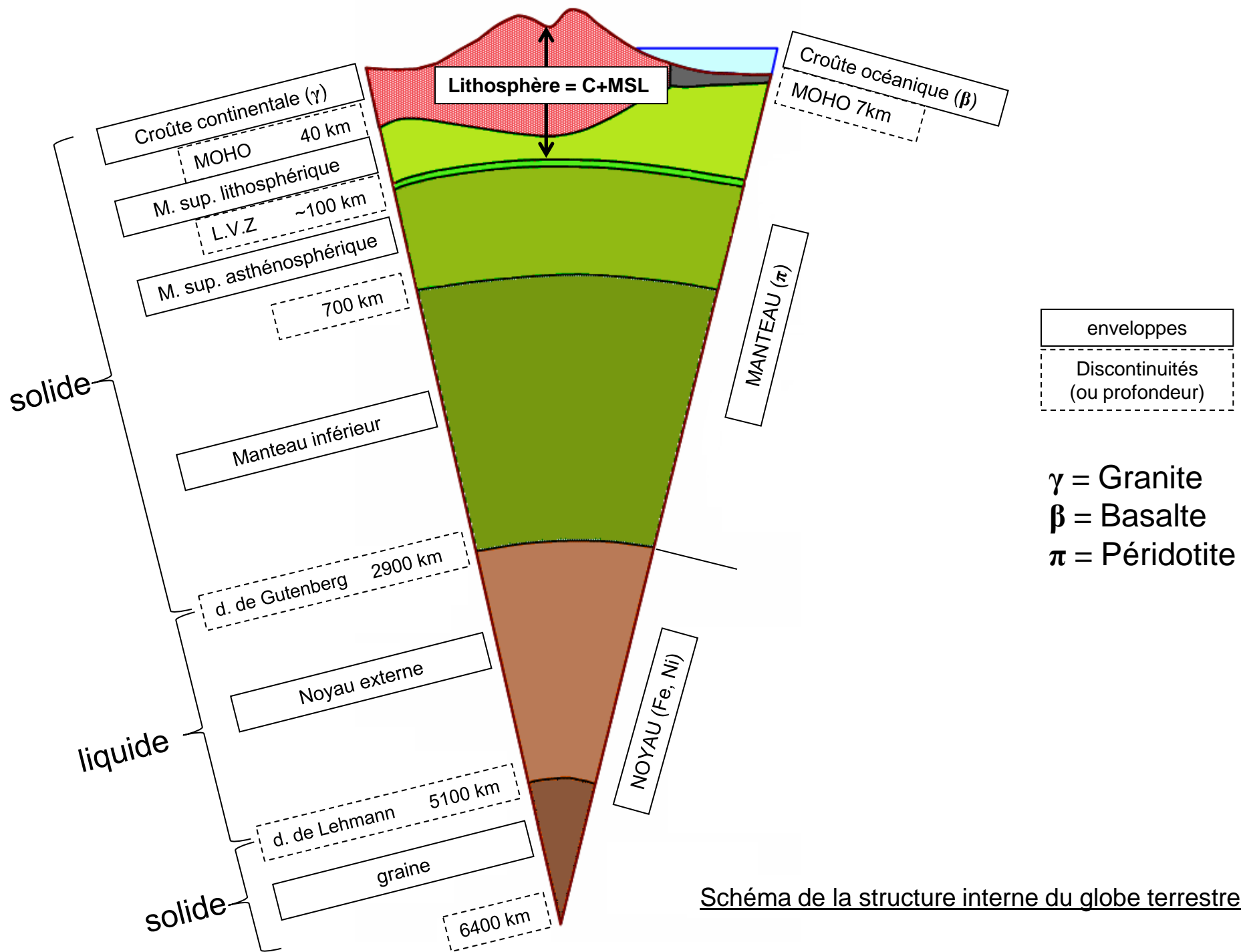
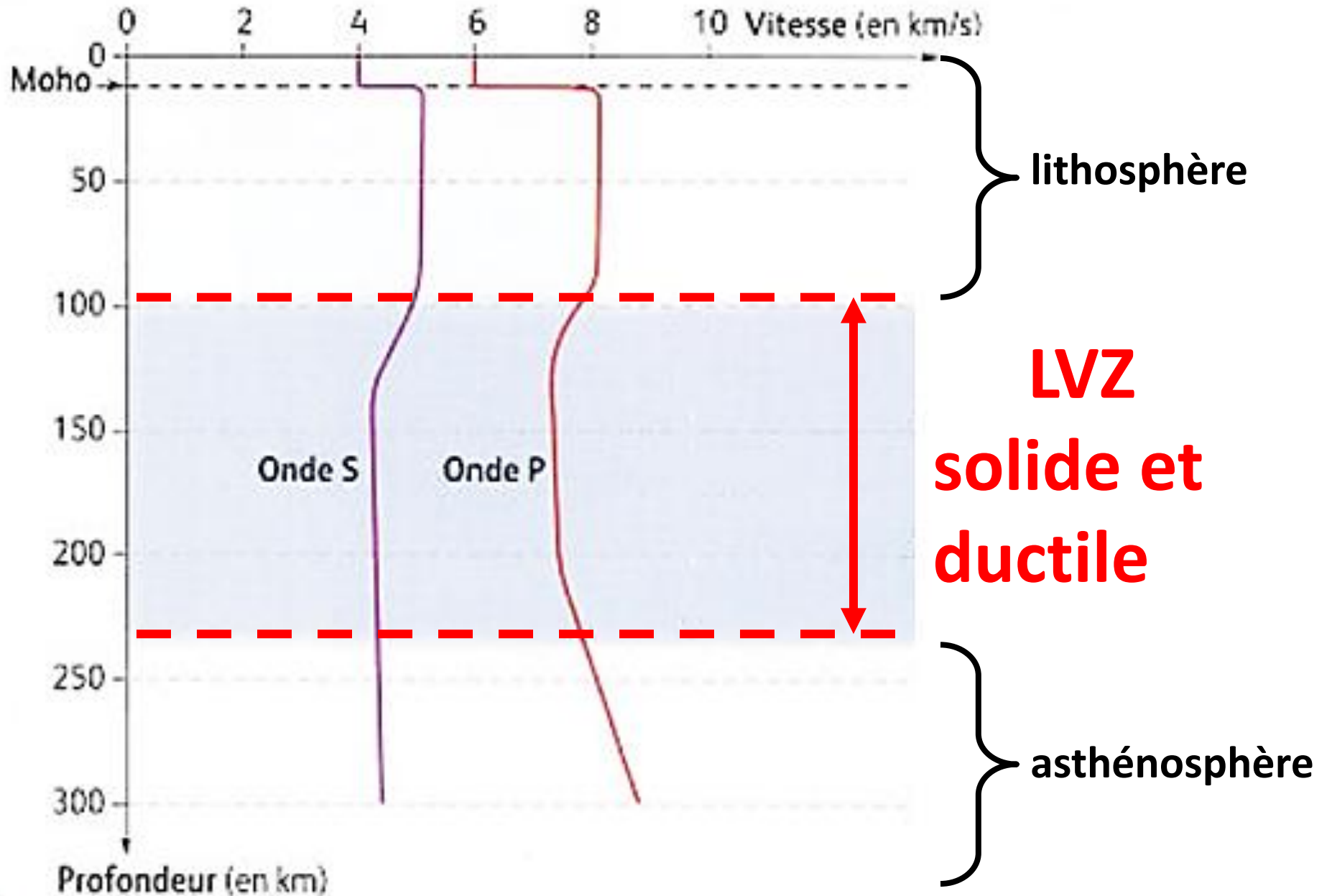


Schéma de la structure interne du globe terrestre

La Low Velocity Zone



La Low Velocity Zone

Matériaux	Viscosité (en Pa.s)
Lithosphère	10^{21} à 10^{22}
LVZ	10^{18} à 10^{19}
Glace à 0 °C	10^{11}
Huile d'olive à 20 °C	1
Eau liquide	10^{-2}

g Propriétés mécaniques de quelques matériaux.

Un matériau est ductile s'il se déforme sans se casser. Le caractère déformable d'un corps peut se quantifier en calculant sa viscosité (plus la viscosité est faible, plus la déformation ductile/plastique est facile).

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

II°) Apport des études sismiques à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

B°) Structure sismique du globe

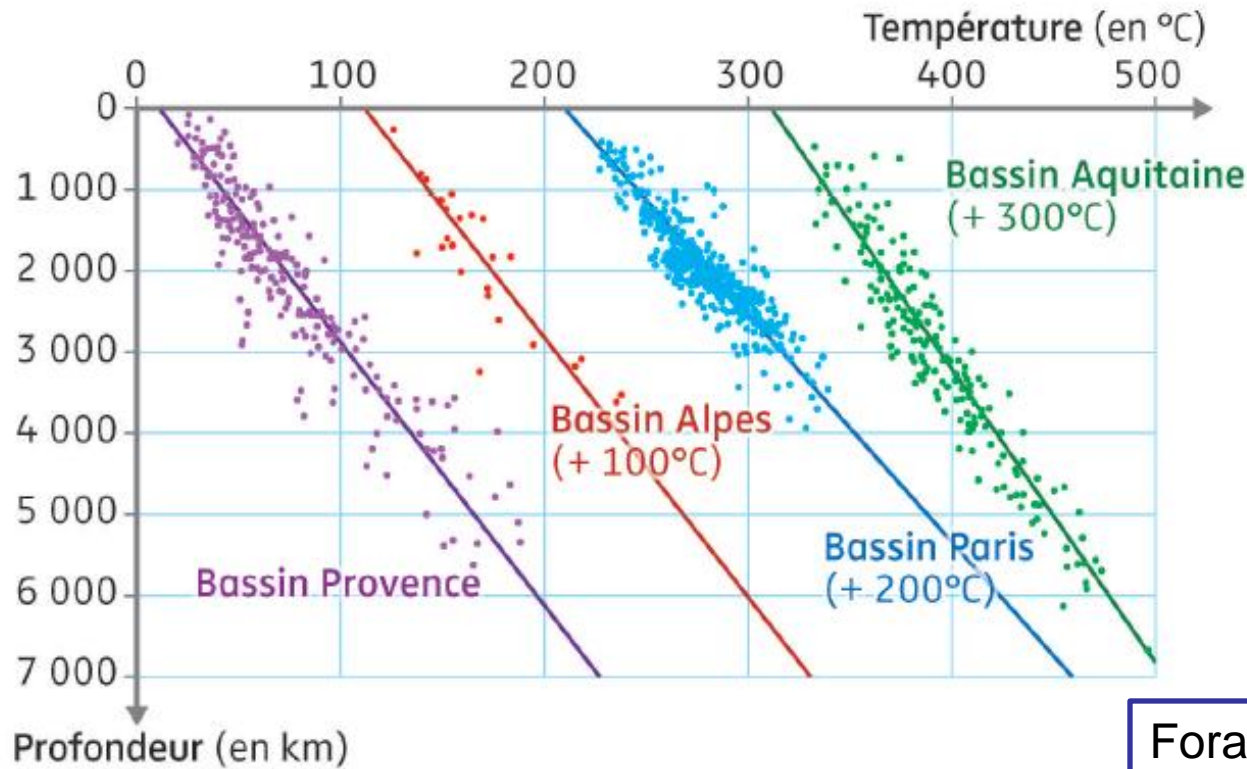
1°) à grande échelle

2°) au niveau des deux types de lithosphère

III°) Apport des études thermiques à la connaissance du globe terrestre

A°) Structure thermique globale de la Terre

Un constat... l'apport des forages



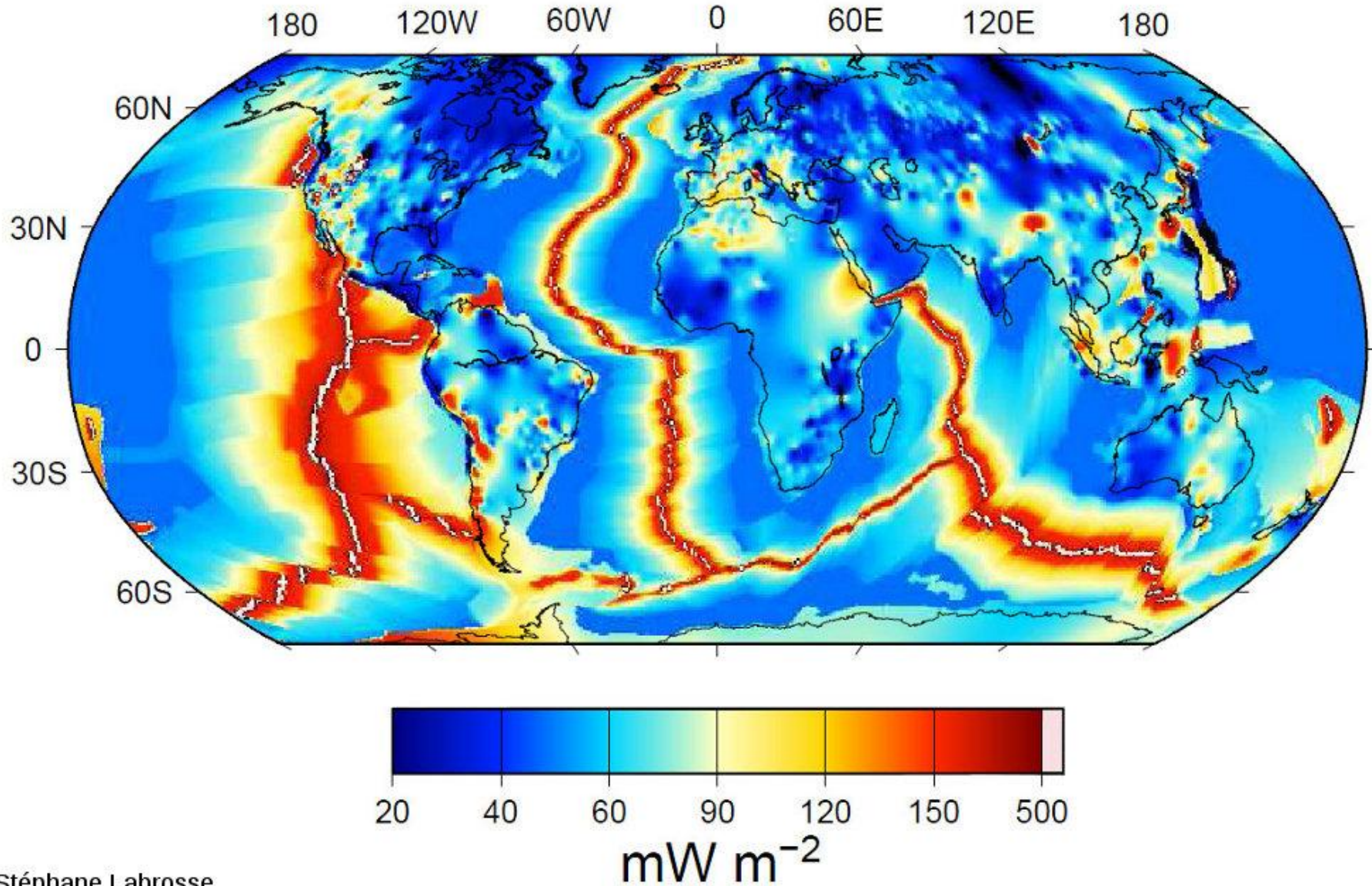
a



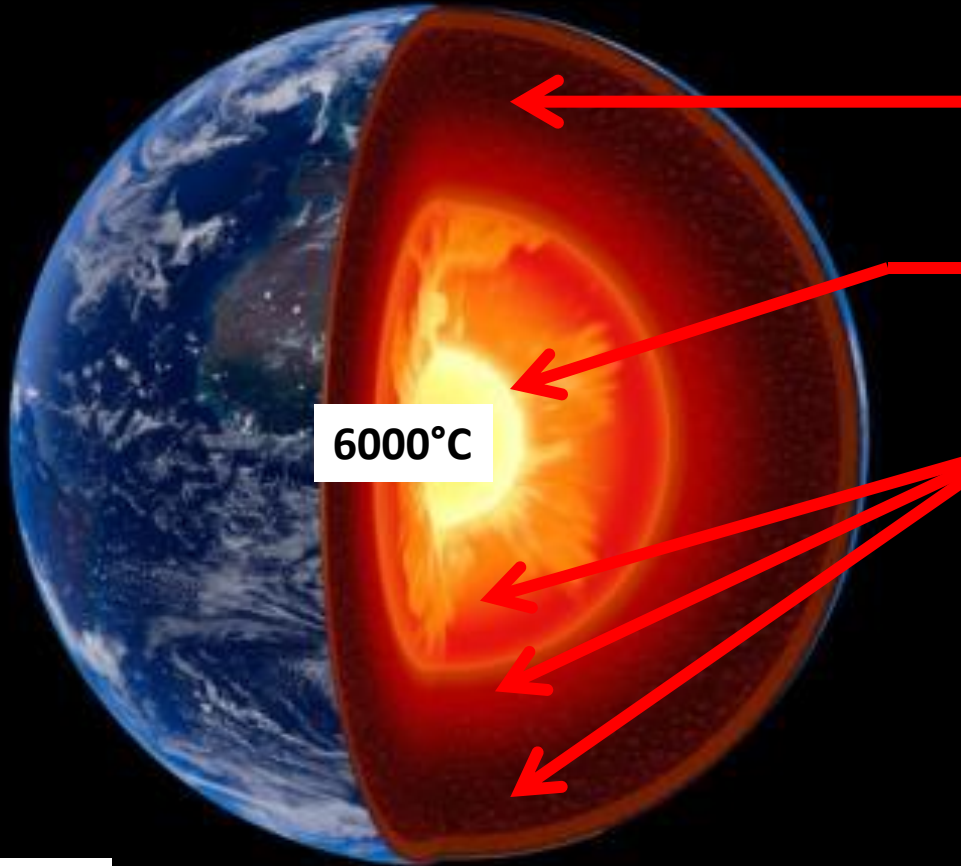
Forage le plus profond = 12 km !

Résultats de plusieurs forages réalisés dans différentes régions françaises. Pour une meilleure lisibilité, les températures d'un bassin donné sont décalées de 100 °C par rapport à celles du précédent bassin.

Carte du flux thermique mondial



La chaleur de la Terre



-270°C

6000°C

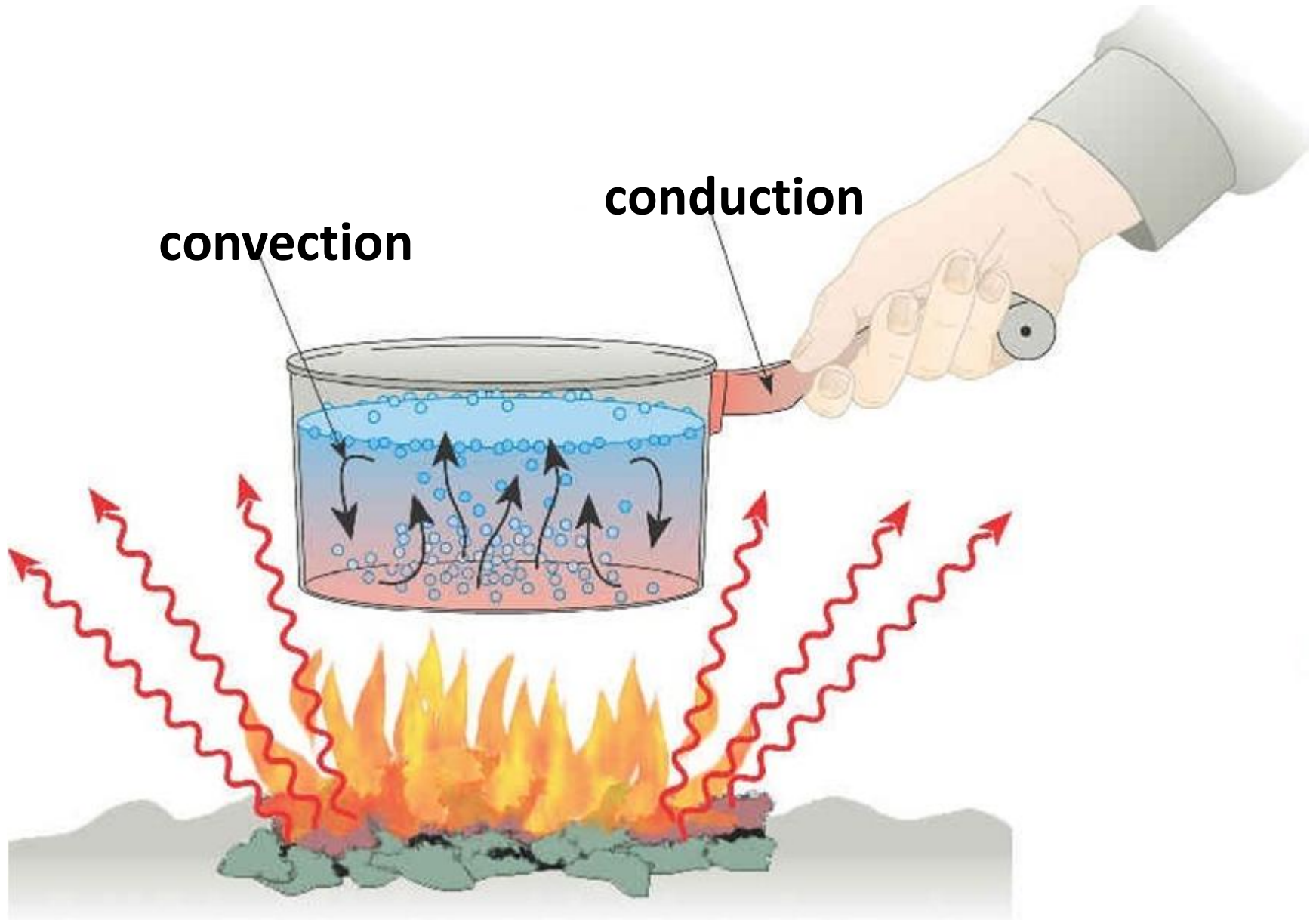
Désintégration d'éléments radioactifs du manteau

Chaleur latente de cristallisation de la graine

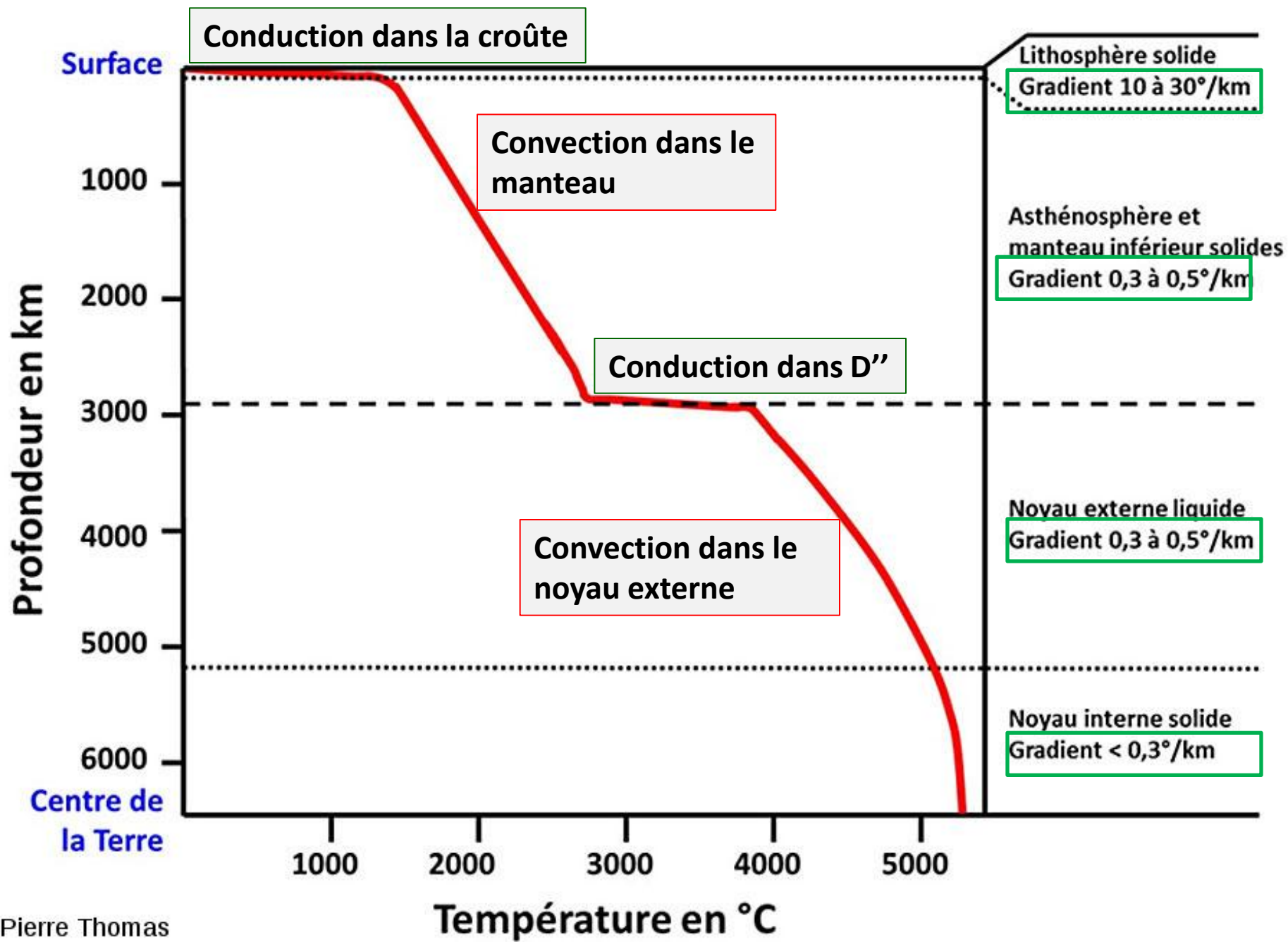
Chaleur accumulée lors de sa formation par agrégation de météorites

Depuis sa formation la Terre perd de la chaleur

Les transferts thermiques

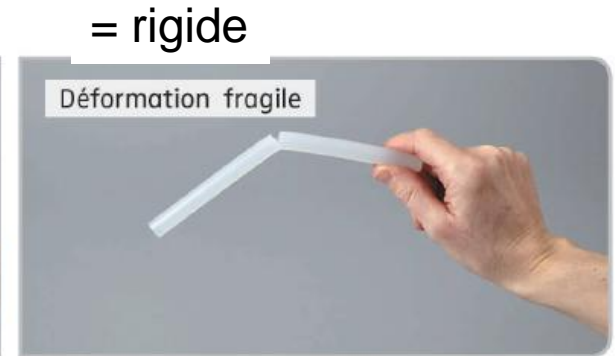
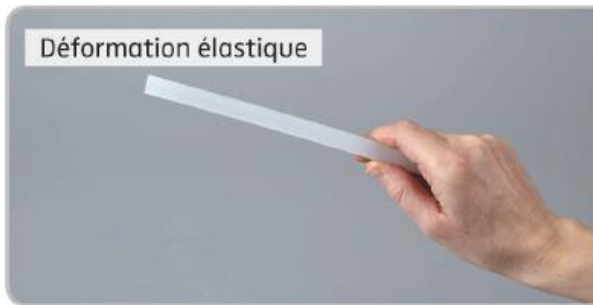


La température augmente avec la profondeur : gradient géothermique



Comportement **rhéologique** des matériaux terrestres

Branche de la mécanique qui étudie la résistance des matériaux aux contraintes et aux déformations



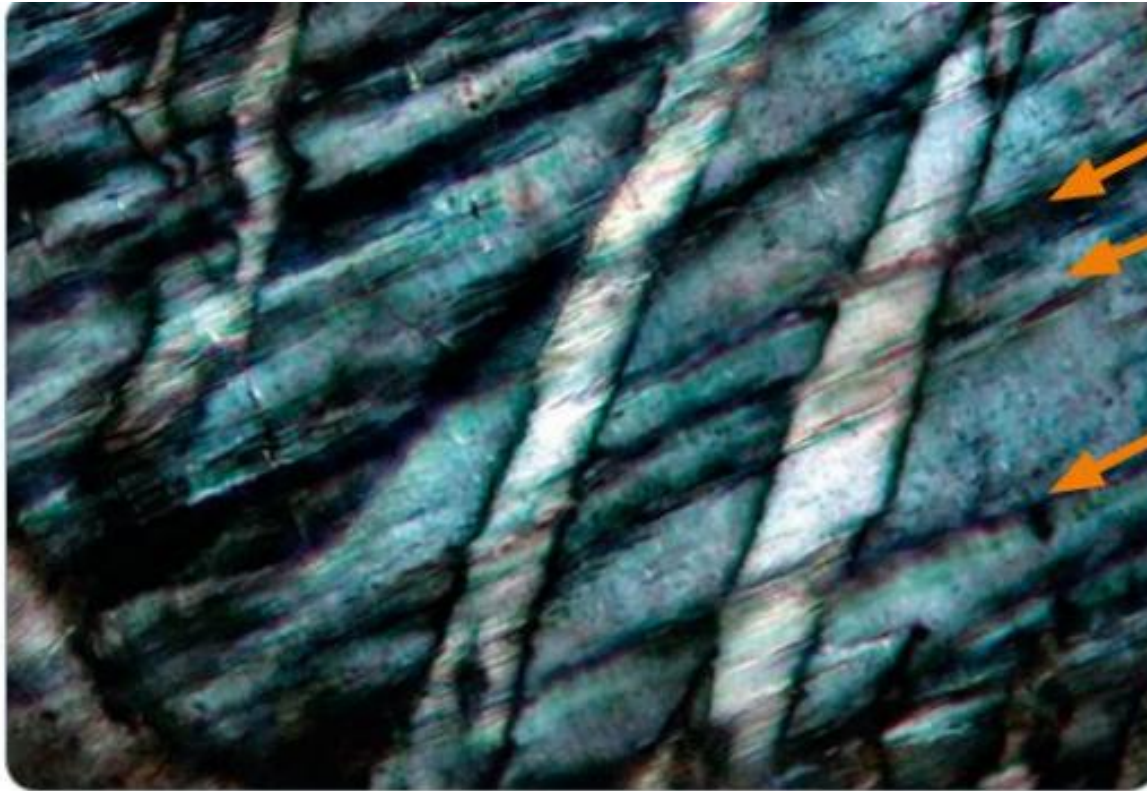
ASTHENOSPHERE

LITHOSPHERE

Les séismes ne produisent que dans la lithosphère

NOYAU EXTERNE = LIQUIDE = comportement fluide

Preuves expérimentales de la déformation des péridotites



4

La déformation d'une péridotite du manteau rigide.

Le manteau est animé de mouvements de convection, mais ces mouvements se réalisent bien plus lentement et selon des modalités différentes de celles des doc. 2 et 3. Ils impliquent des cisaillements des minéraux les uns contre les autres (flèches orange), lentement mais inexorablement aux cours des temps géologiques. Ces cisaillements sont vus ici au microscope sur une roche soumise à des pressions de 25 GPa et une température de 1400 °C.

Thème : La dynamique interne de la Terre.

Leçon 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction

I°) Apport de la composition des croûtes à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

1°) observation macroscopique

2°) observation microscopique

B°) La croûte océanique est basaltique

C°) La croûte continentale est granitique

II°) Apport des études sismiques à la connaissance du globe terrestre

A°) Méthodes d'étude

B°) Structure sismique du globe

1°) à grande échelle

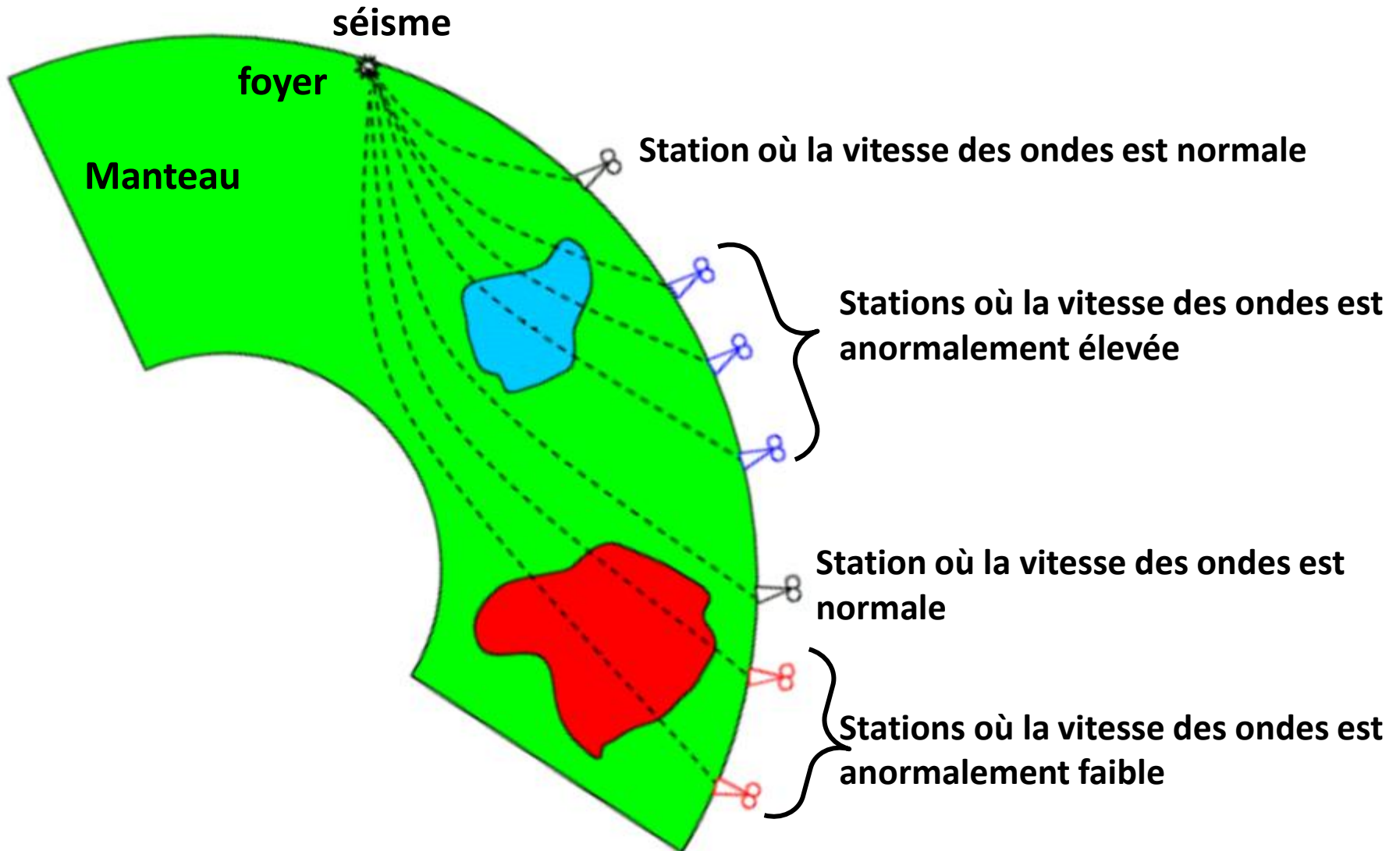
2°) au niveau des deux types de lithosphère

II°) Apport des études thermiques à la connaissance du globe terrestre

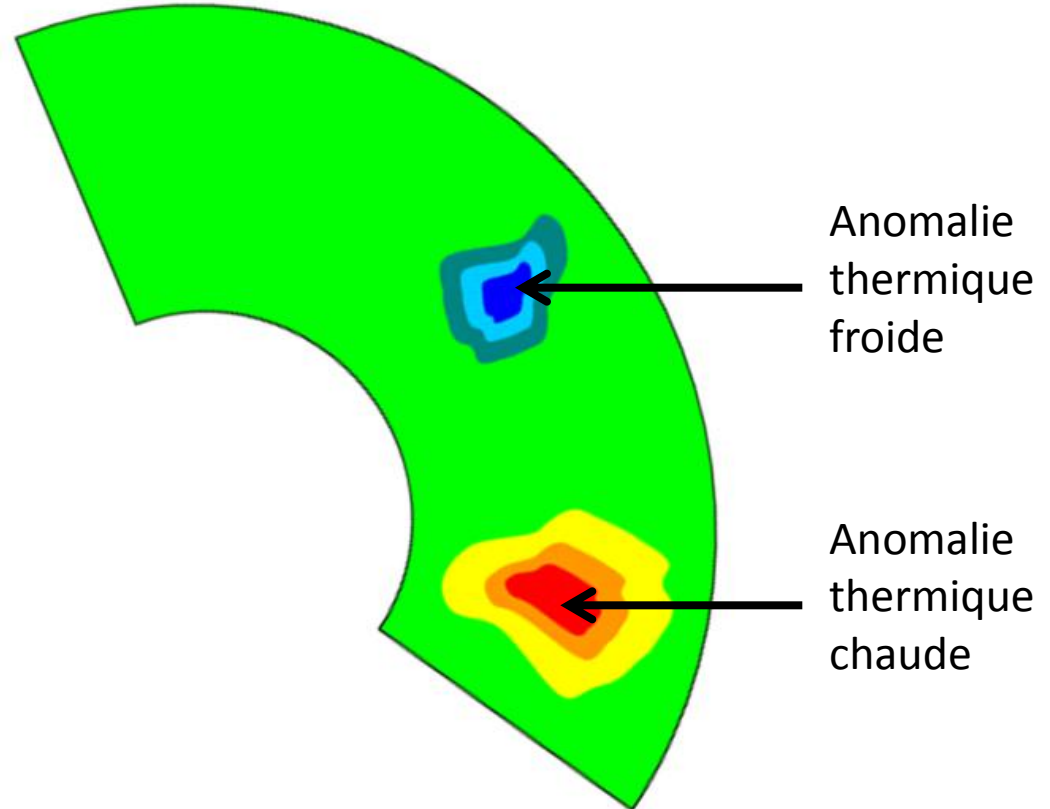
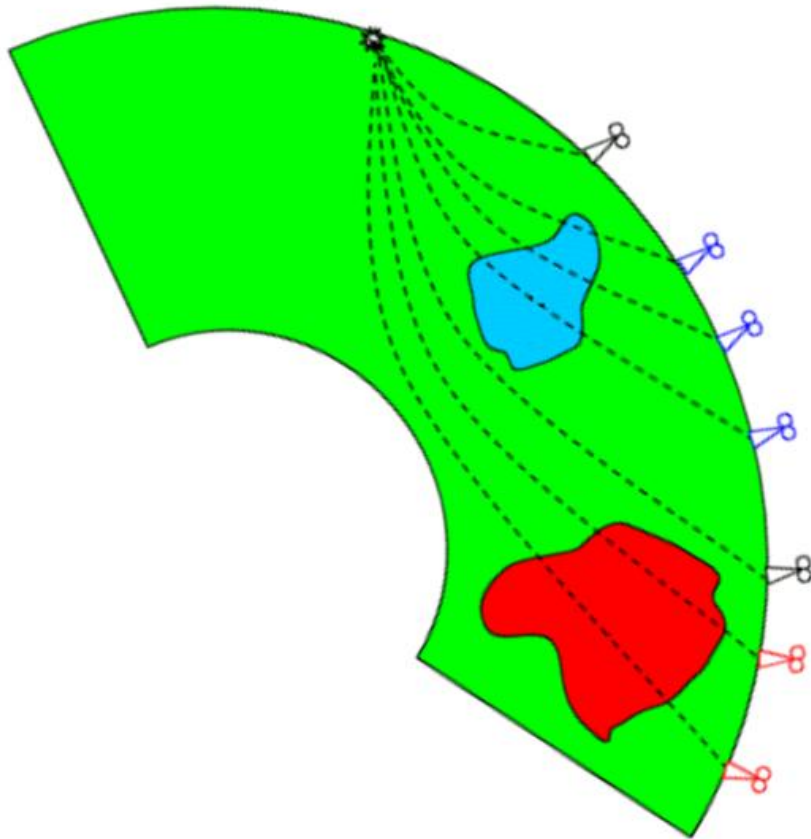
A°) Structure thermique globale de la Terre

B°) Anomalies thermiques et interprétations

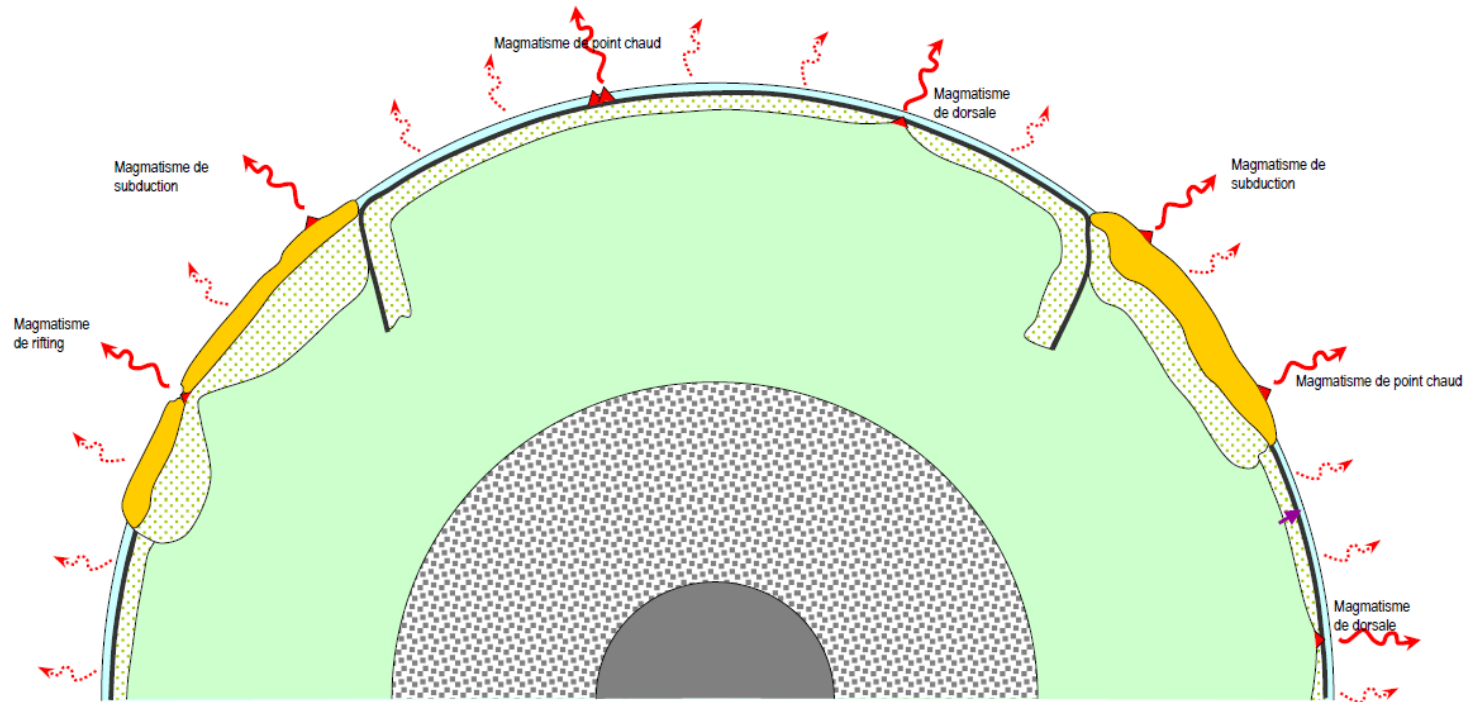
La tomographie sismique : principe




La tomographie sismique : interprétations




Correction TP3





(les échelles ne sont pas respectées)

 Flux géothermique


Mouvements convectifs


 Conduction thermique


 Magmatisme de rifting et de dorsale

 Volcans

 Noyau interne


 Noyau externe

 Manteau inférieur
+ asthénosphère

 Manteau lithosphérique

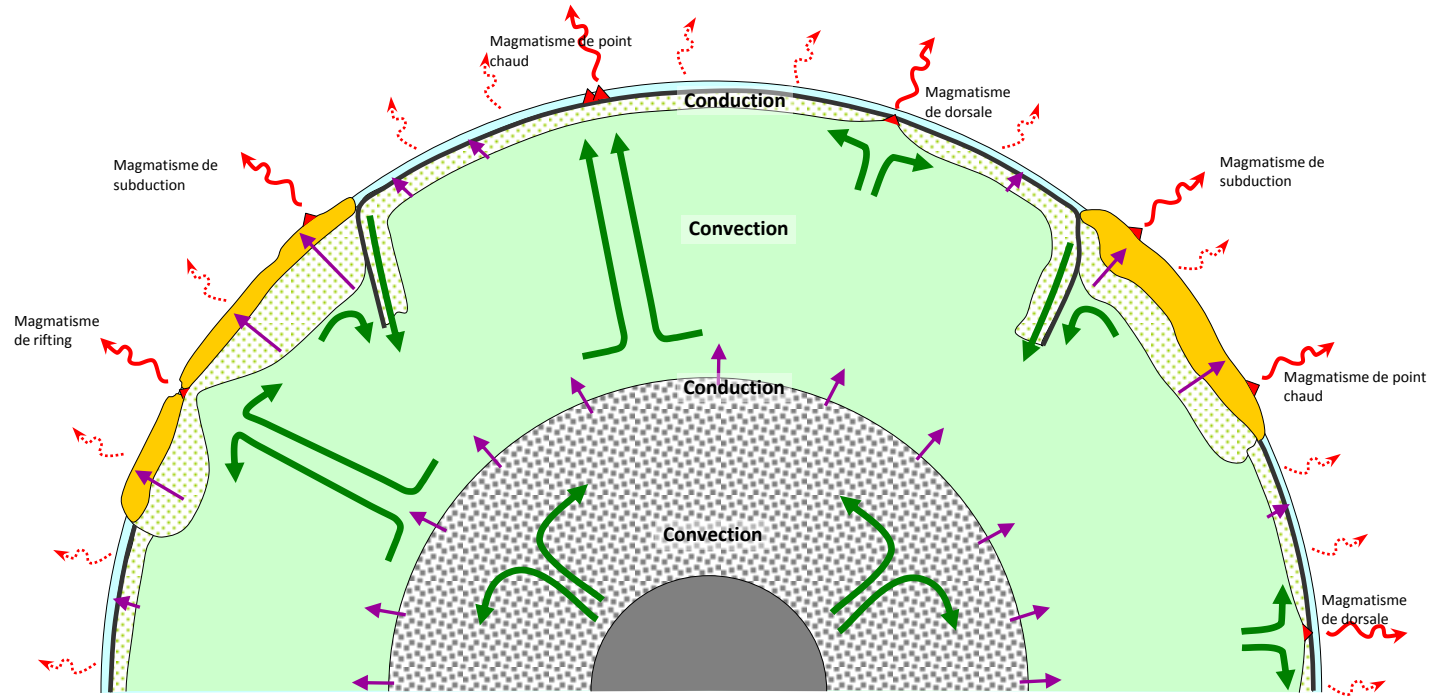
 Croute continentale

 Croute océanique

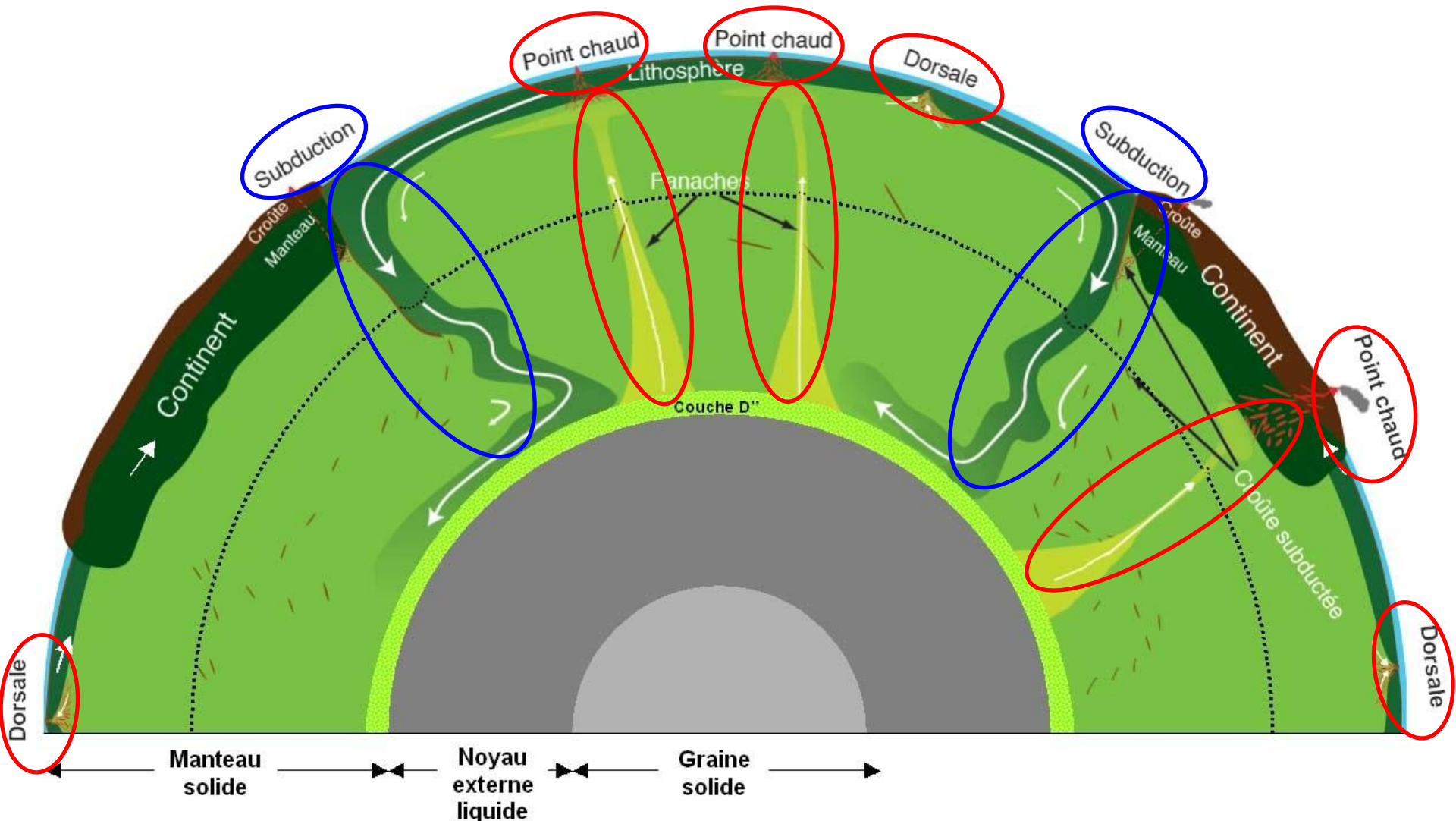
 Océan

 LVZ

Correction TP3

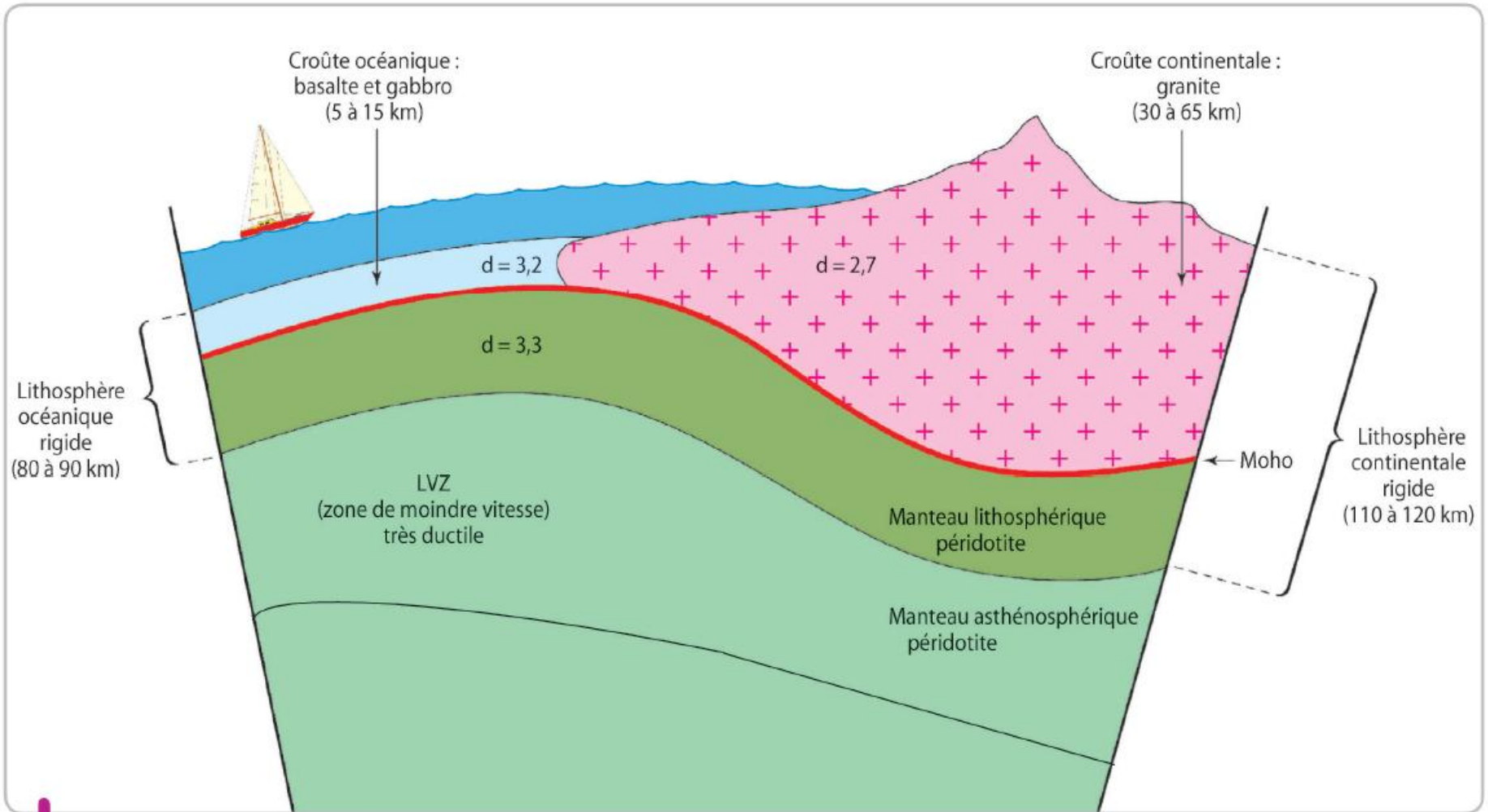


Modèle de Terre (ENS Lyon 2011-2014)



Les anomalies thermiques sont dues à des mouvements de matière

Conclusion



Principales enveloppes de la partie superficielle du globe (les échelles de profondeur ne sont pas respectées).

Conclusion

