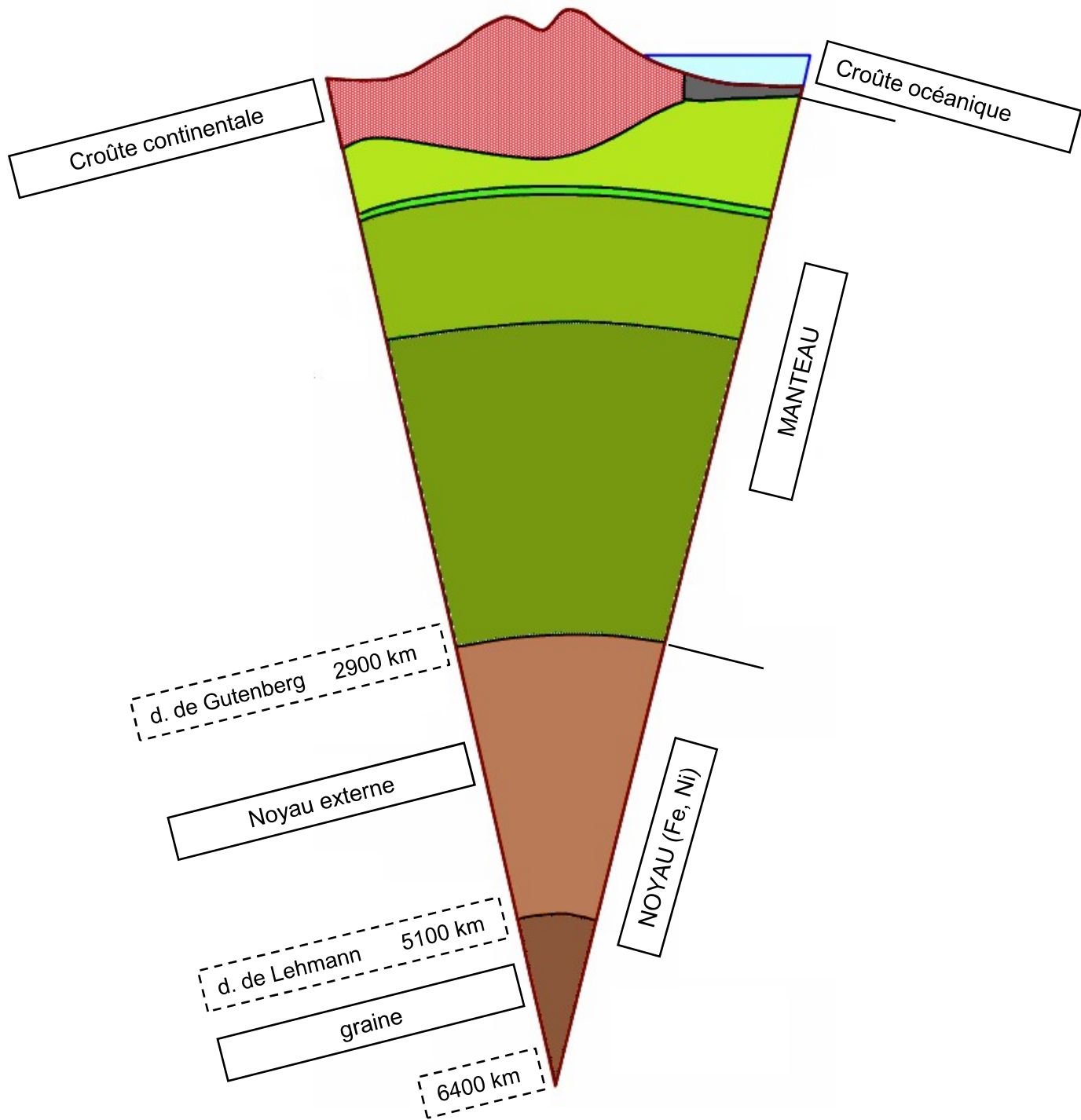


Thème : La dynamique interne de la Terre.

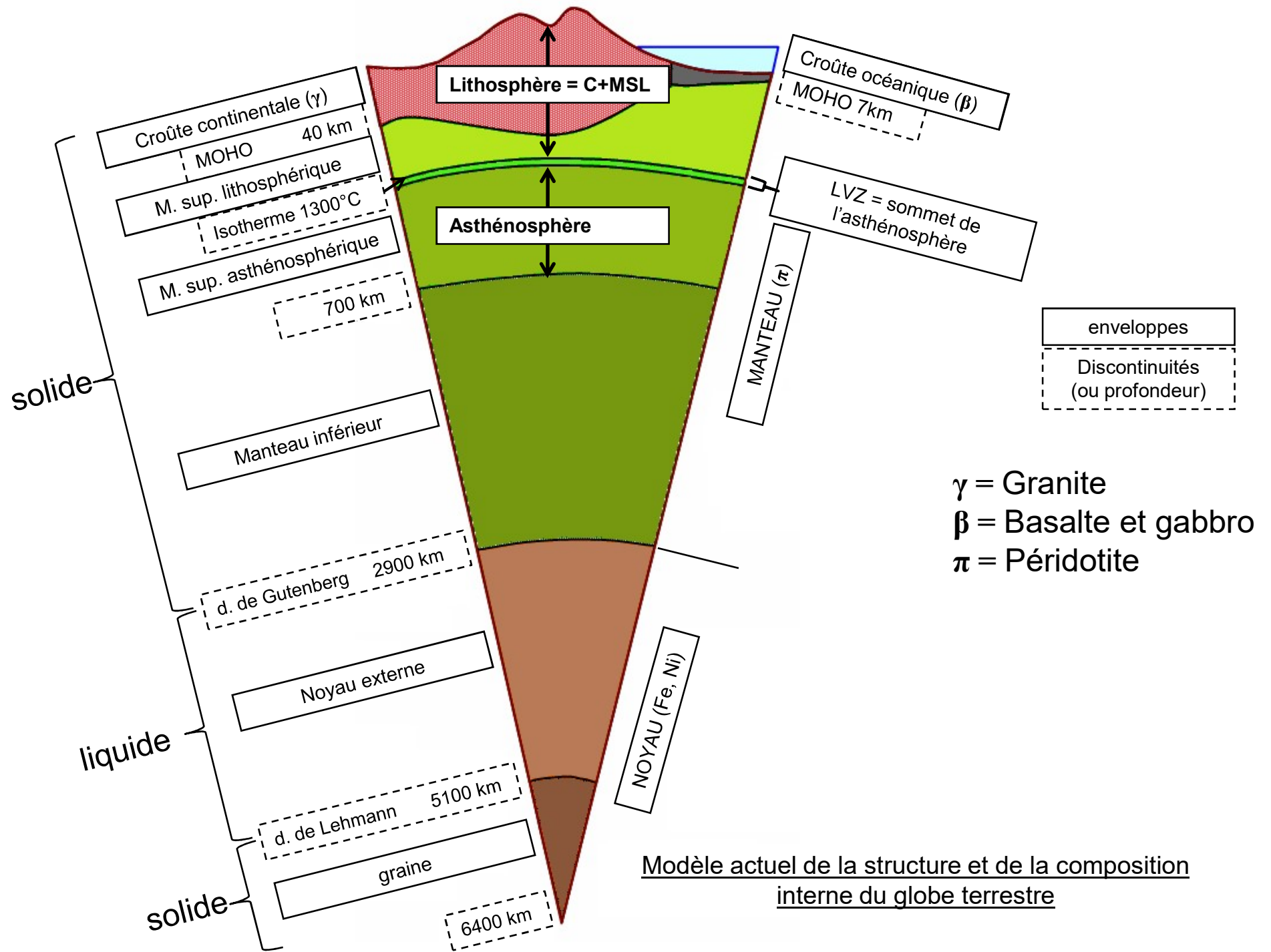
Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

Introduction : état actuel des connaissances sur la structure et la composition du globe



enveloppes

Discontinuités
(ou profondeur)



Modèle actuel de la structure et de la composition interne du globe terrestre

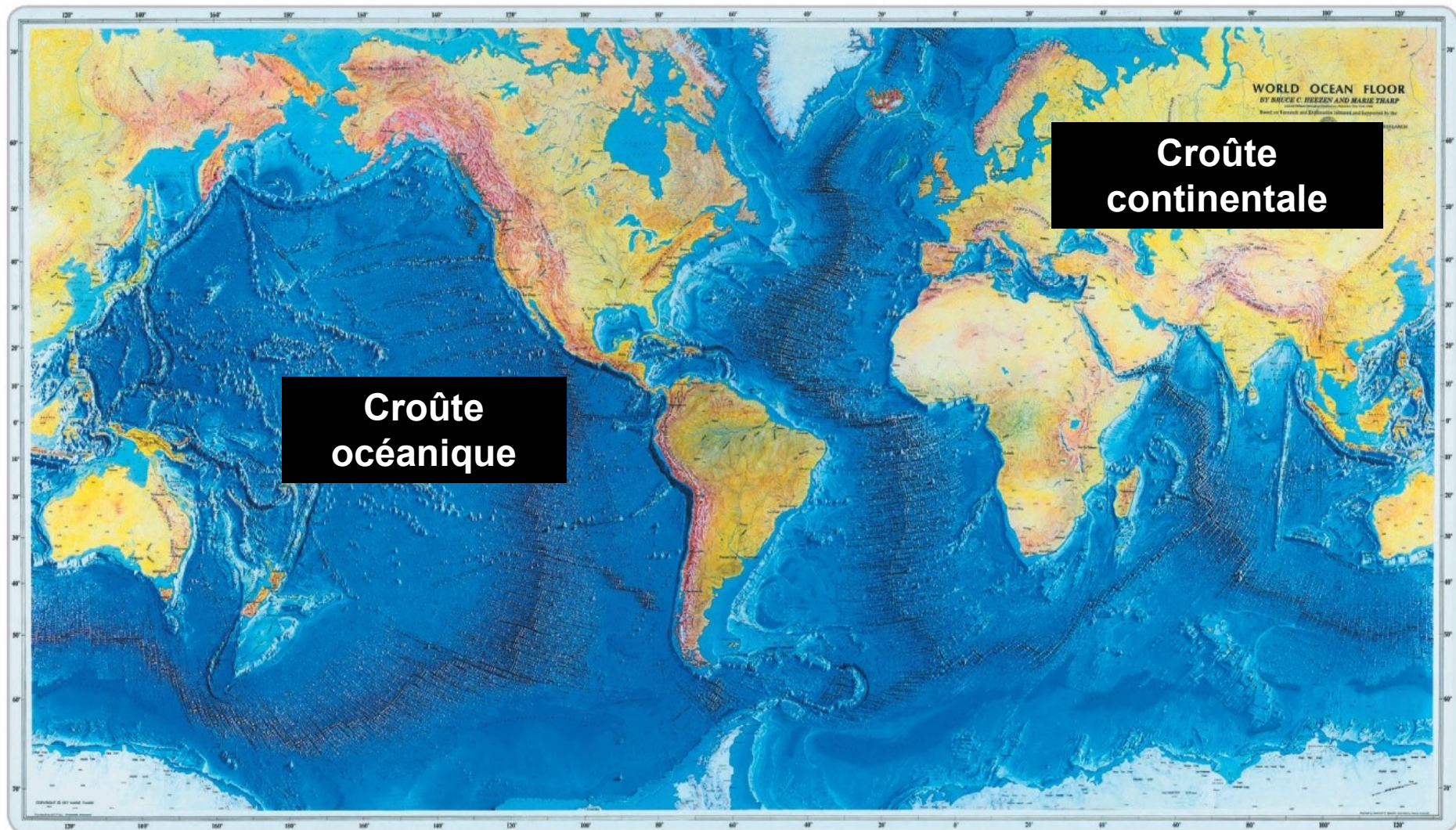
Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

Problème : Alors que la majeure partie du globe est inaccessible à l'observation, comment les scientifiques ont-ils pu proposer ce modèle ?

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles.

Des roches continentales et océaniques



a La carte des reliefs terrestres.

Des roches continentales peuvent être prélevées en surface



Des roches continentales peuvent être prélevées par forage

La profondeur de +/- 15 m atteinte, on remonte les tubes de forage

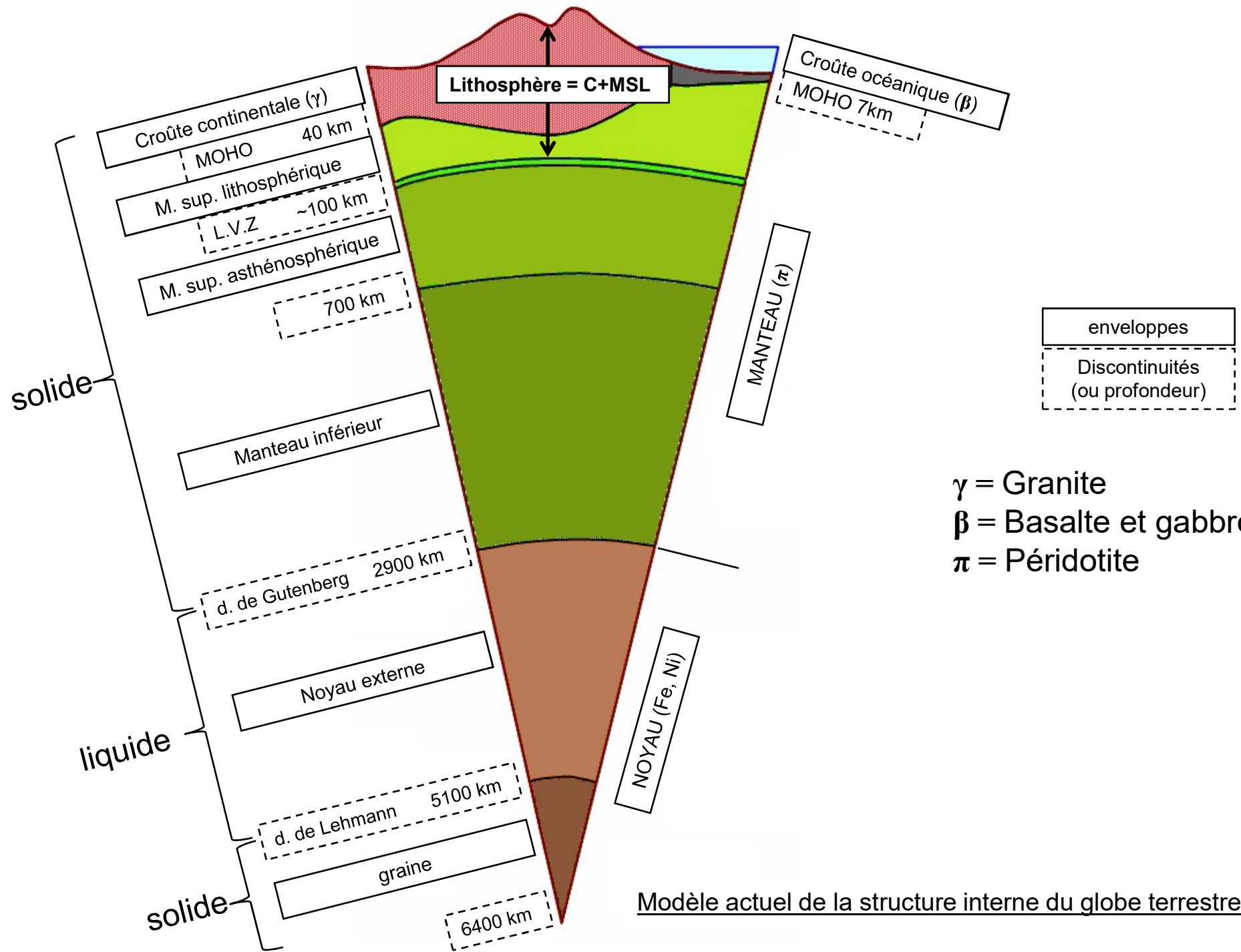


Une carotte de roche



Le forage le plus profond du monde





Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

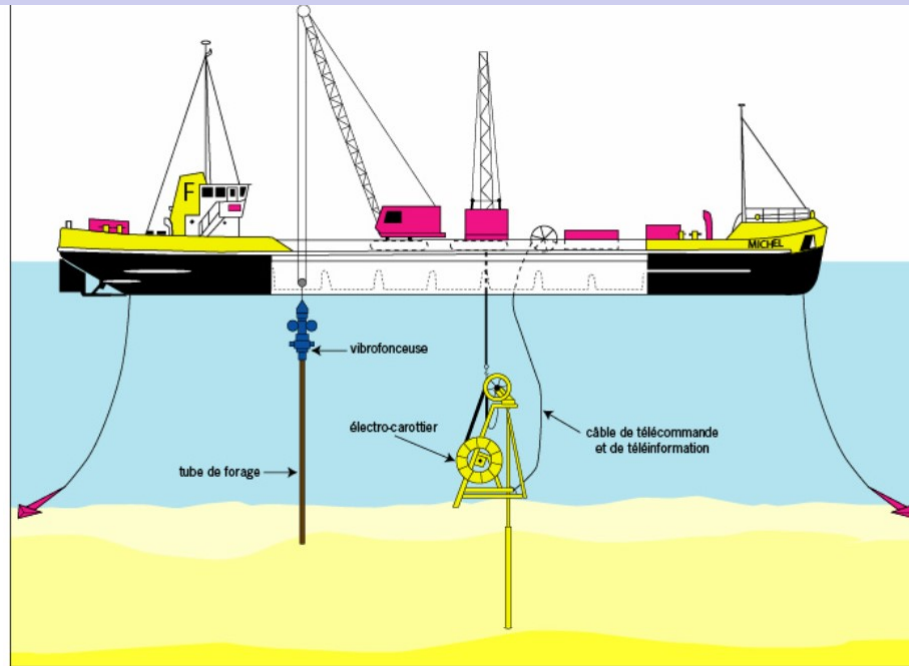
Des roches océaniques peuvent être prélevées par dragage

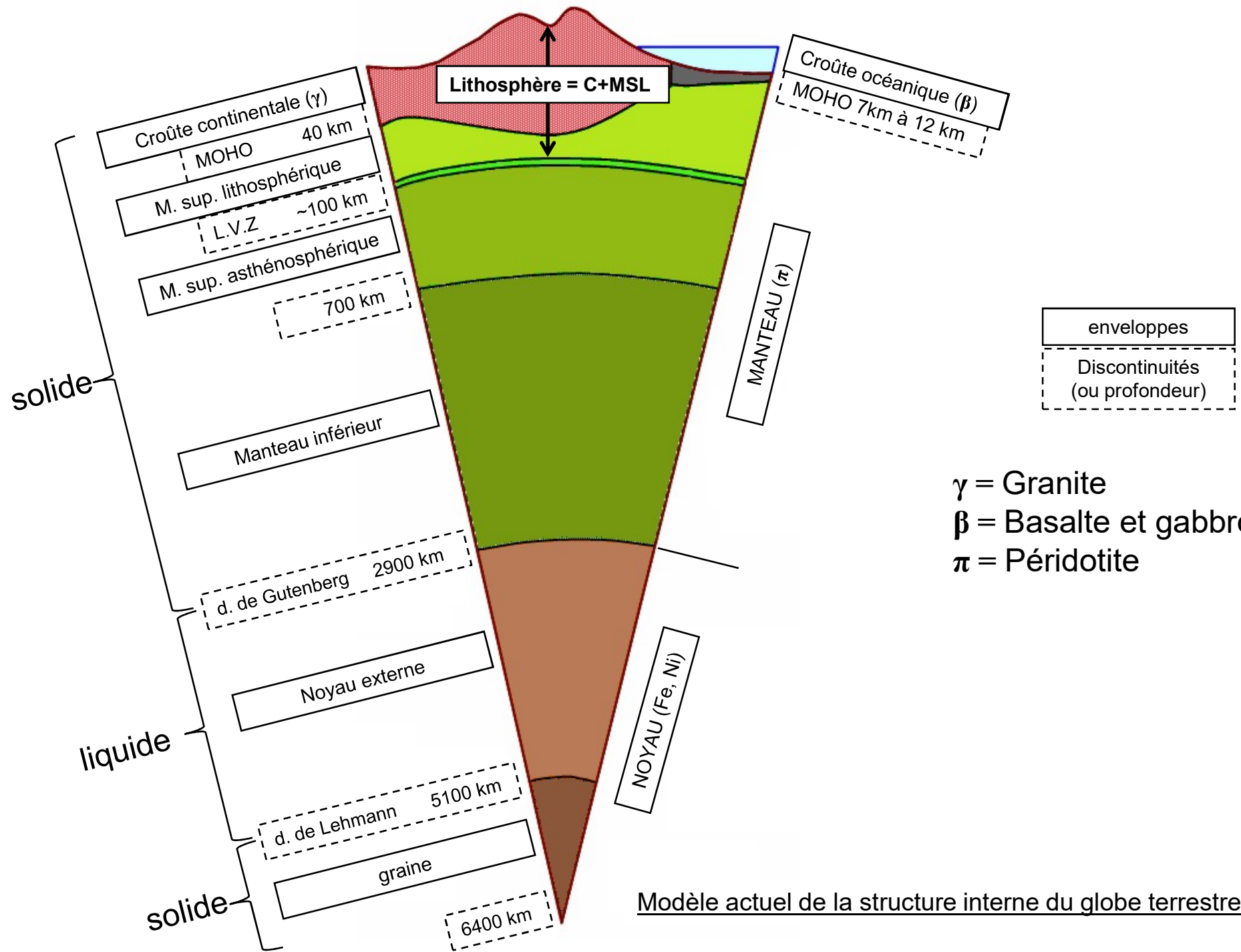


Basaltes en coussin



Des roches océaniques peuvent être prélevées par forage





Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

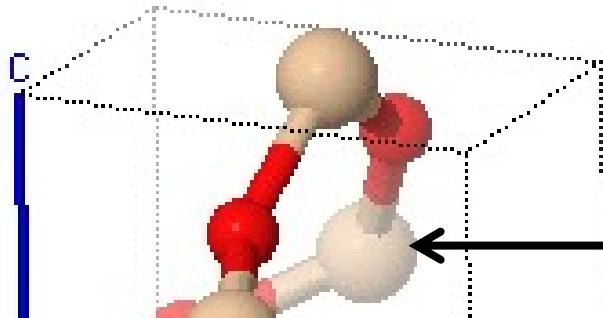
Une roche est un ensemble de minéraux



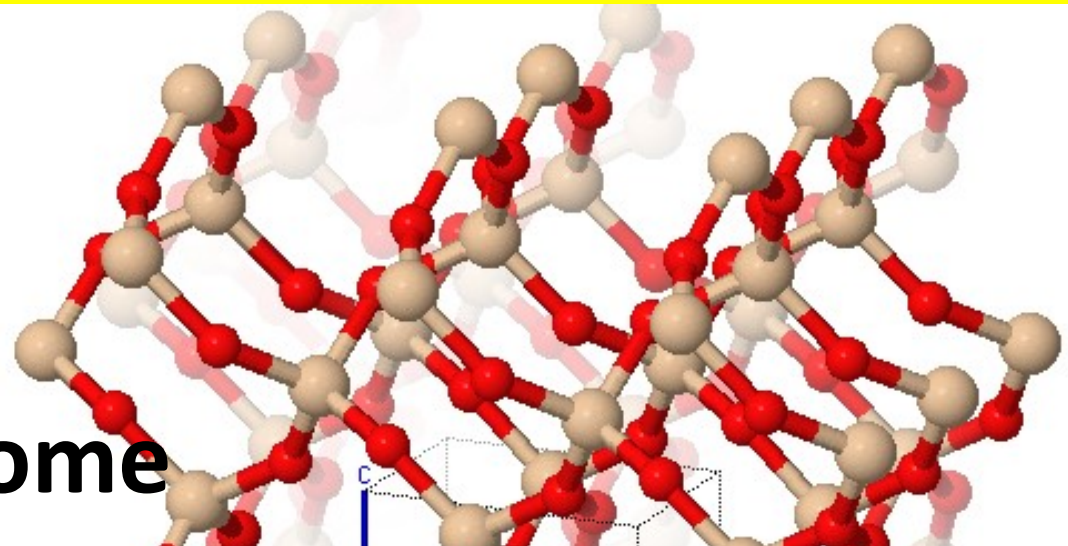
Identification des minéraux d'une roche

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

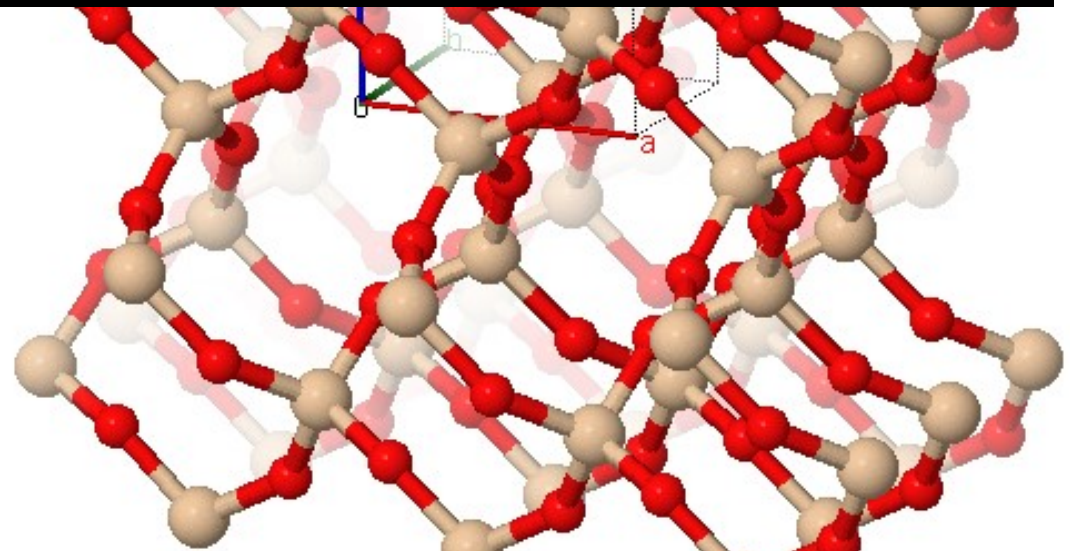
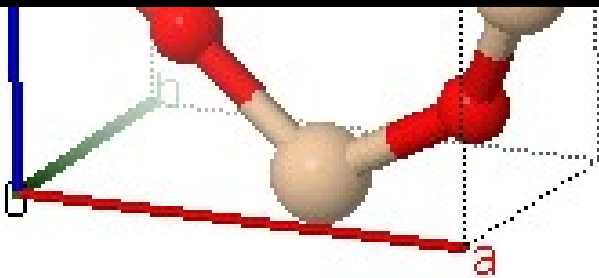
Ex. du Quartz SiO_2



← atome



**La nature des atomes et leur agencement géométrique => propriétés particulières (couleur, reflet, plan de clivage, ...)
=> permettent d'identifier les minéraux**



Atomes : O²⁻ Si⁴⁺

Une roche est un ensemble de minéraux



Identification de la structure de la roche

Deux exemples de structure de roches : basaltes et gabbros

Gabbro



Structure grenue

Tous les minéraux sont visibles

Basalte

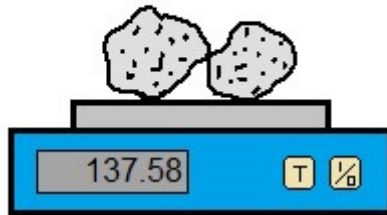


Structure microlithique

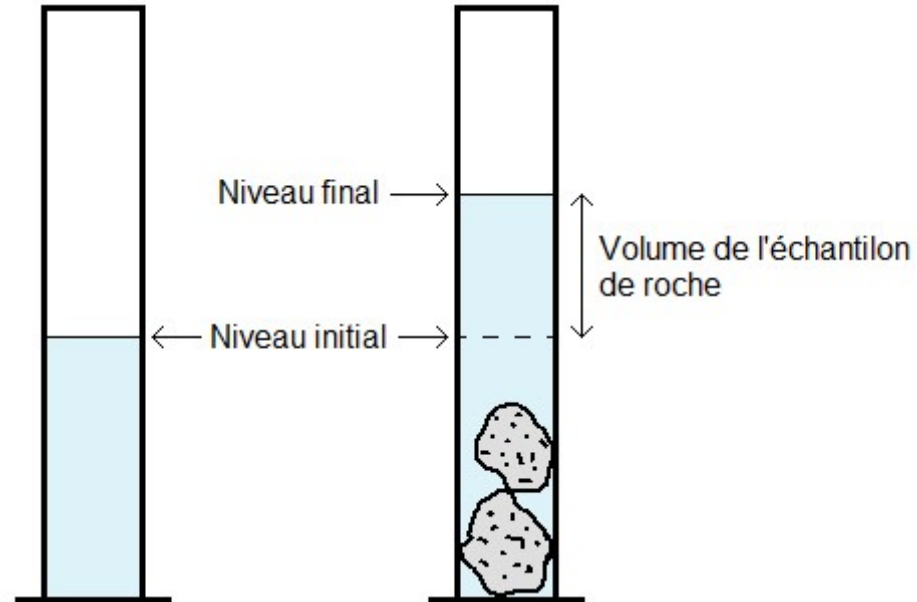
Tous les minéraux ne sont pas visibles

Mesure de la densité d'une roche

Etude macroscopique des roches : mesure de densité



Détermination de la masse des échantillons de roches



Détermination du volume des échantillons de roche

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

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

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.
2. Observation microscopique des roches.

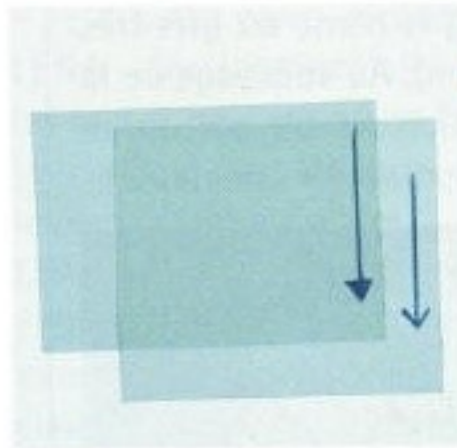
Préparation de plaque mince de roche



microscope polarisant

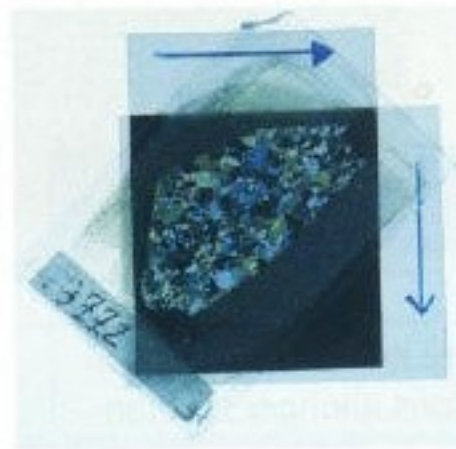
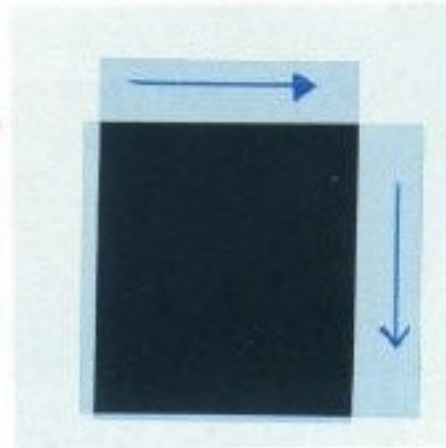


Principe du microscope polarisant



◀ a - Deux polariseurs (polaroïds) parallèles entre eux, posés sur fond blanc.

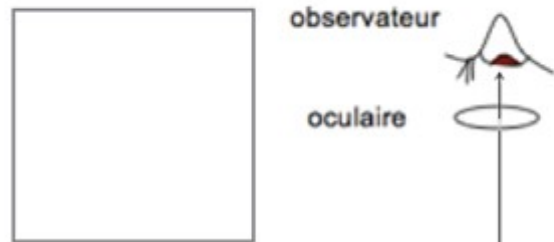
▶ b - Les deux polaroïds, toujours posés sur fond blanc, sont « croisés ».



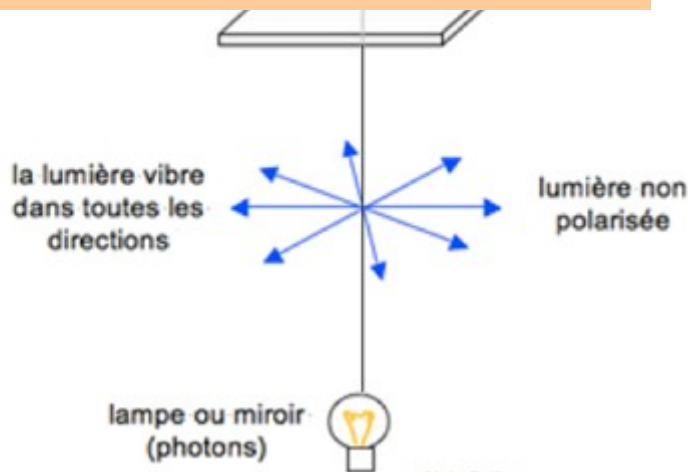
◀ c - Lame mince de péridotite placée entre deux polaroïds croisés.

Principe du microscope polarisant

Lumière polarisée non analysée (LPNA)
« lumière naturelle »

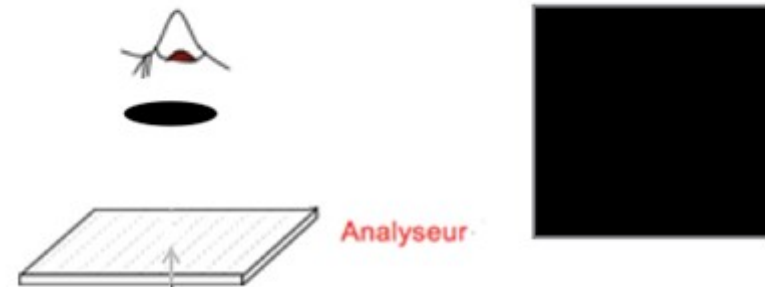


En LPNA, on peut voir la couleur des minéraux leur forme, leur plan de clivage

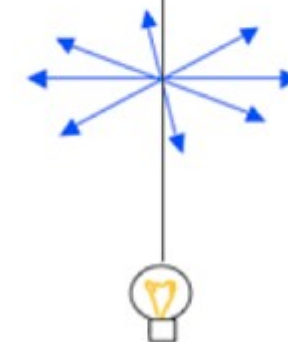


Alain Gallien

Lumière polarisée et analysée (LPA)
« lumière polarisée »

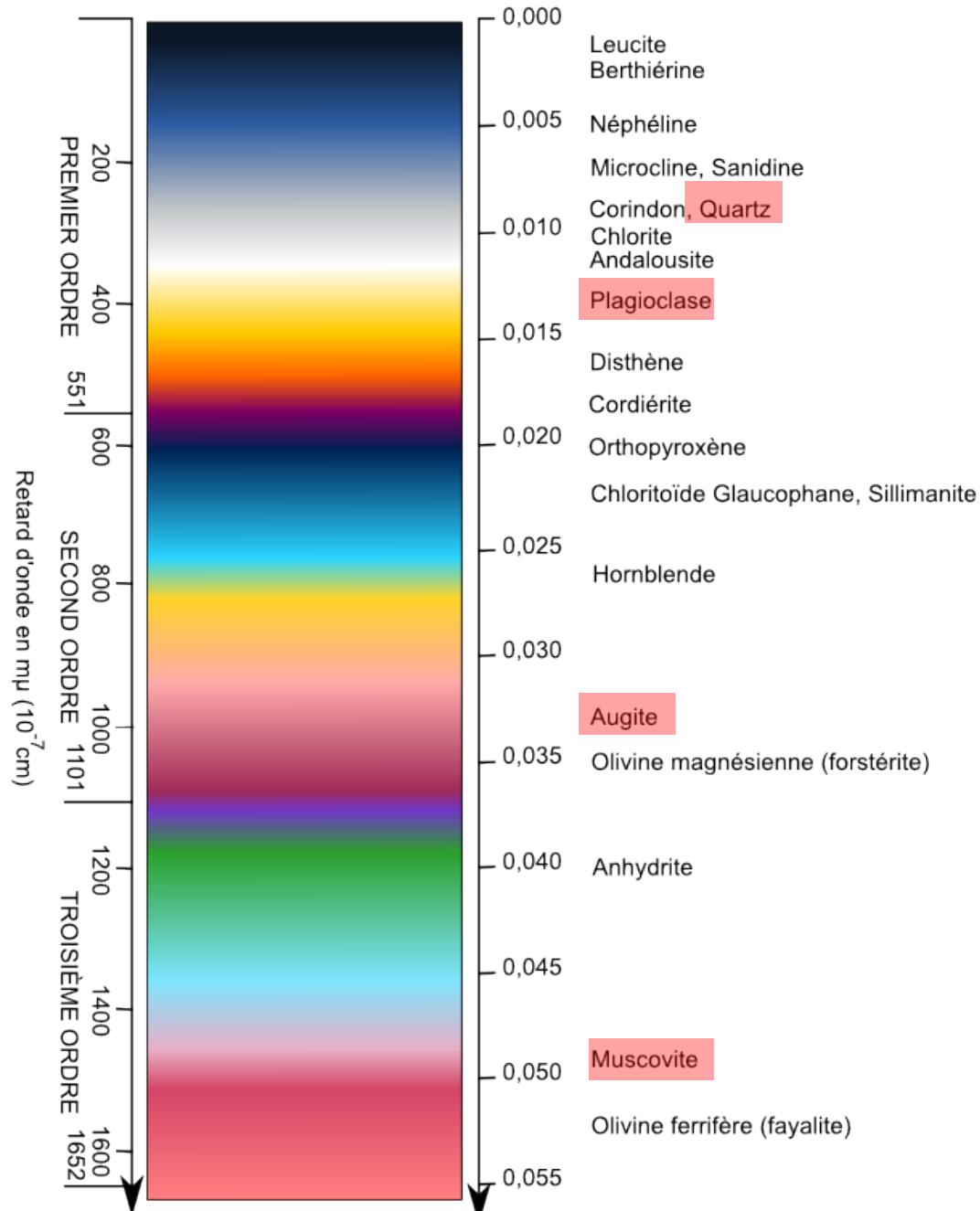


En LPA, on voit des teintes de polarisation. Chaque minéral aura une gamme de couleur caractéristique !



Alain Gallien

Principe du microscope polarisant : Echelle de birefringence



Du quartz observé au microscope polarisant



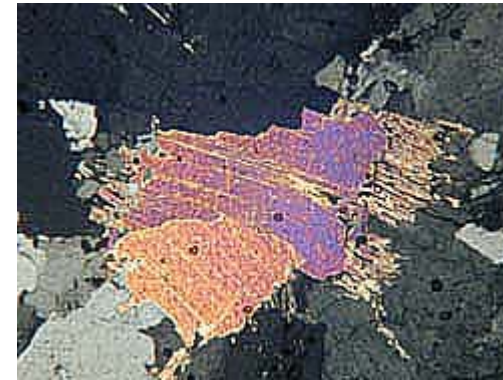
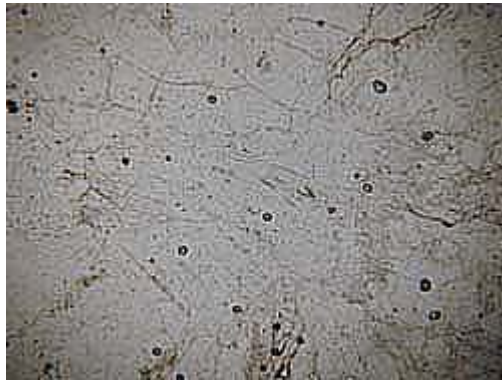
LPNA



LPA

Différents minéraux observés au microscope polarisant

Mica blanc



Plagioclase



Mica noir



LPNA

LPA

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

Les roches de la croûte océanique : gabbros et basaltes

Gabbro



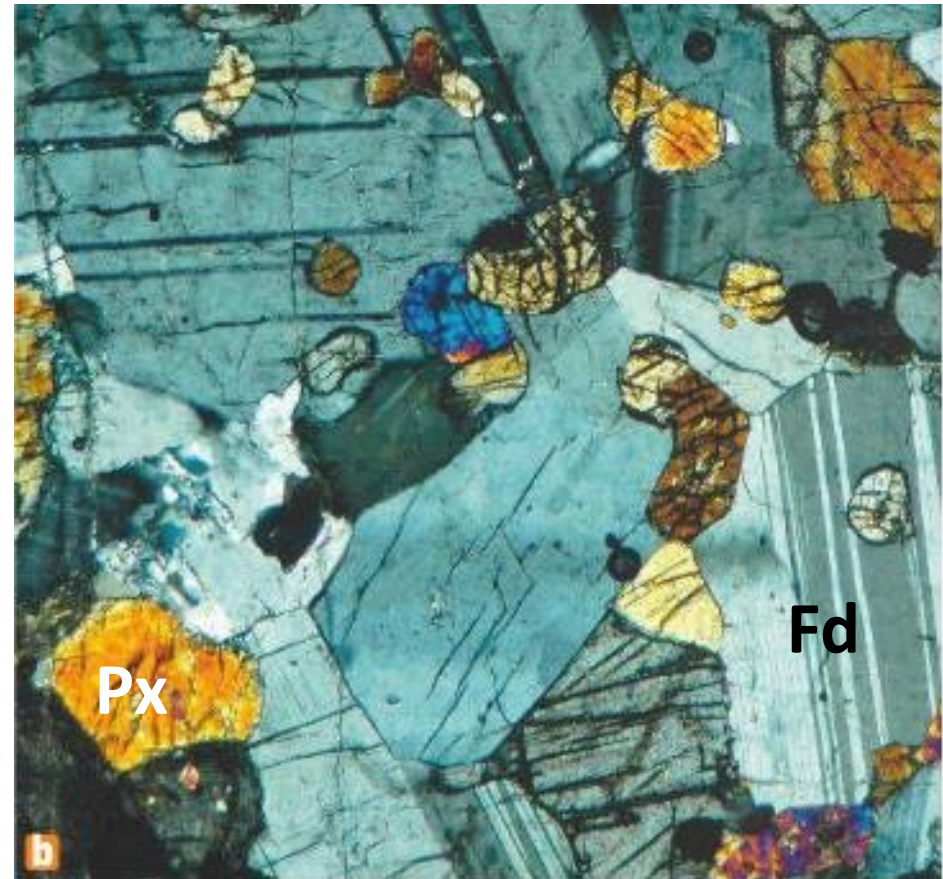
Roche grenue

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

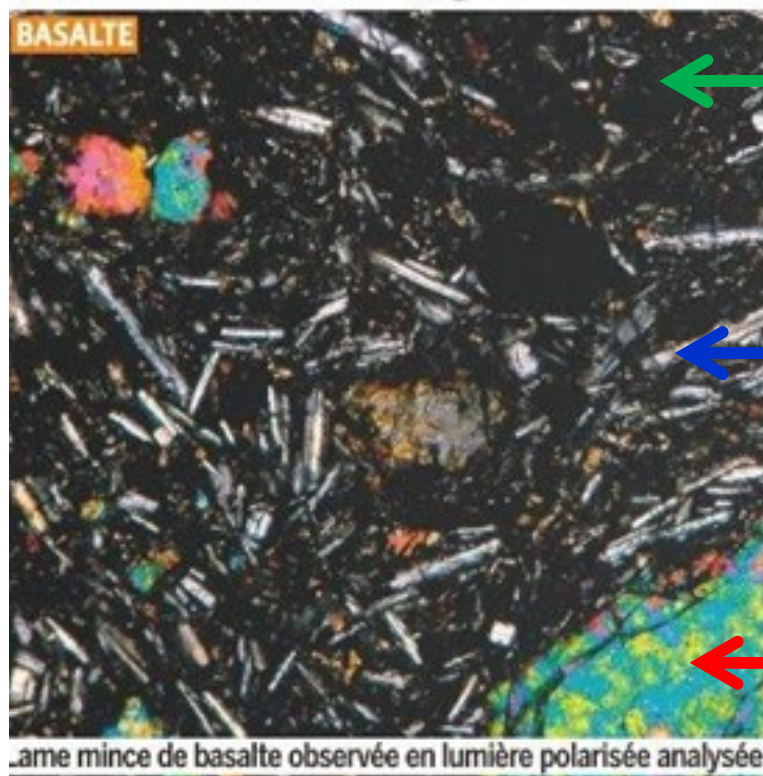
Composition des basaltes

Basalte



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



← verre

← Microlites (feldspath, pyroxène)

← Phénocristaux (pyroxène, olivine)

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

C. Composition de la croûte continentale

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

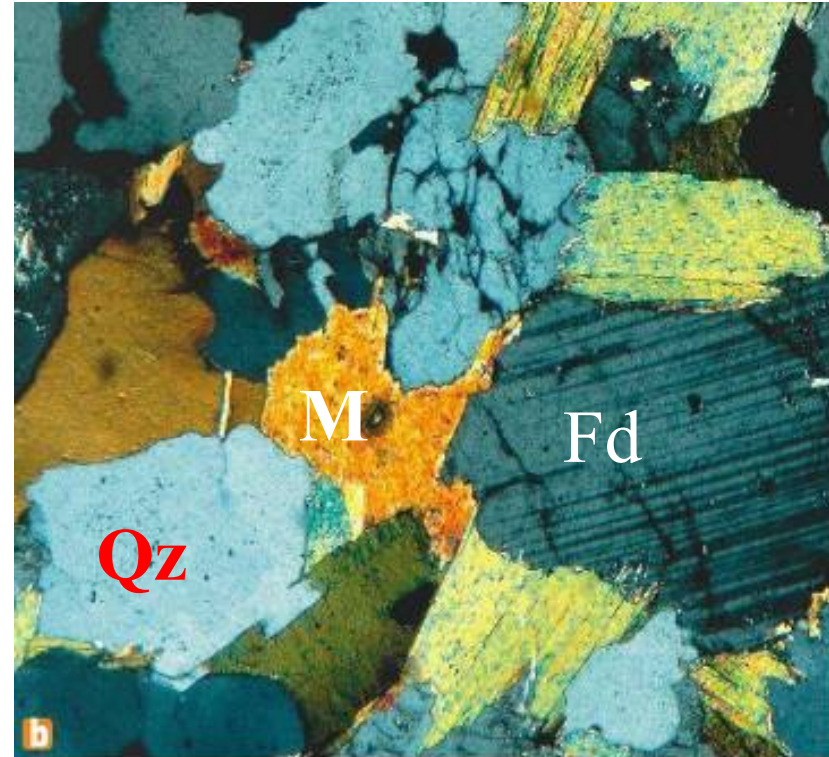


Roche grenue

• 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

Densité = 2,7



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles.

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

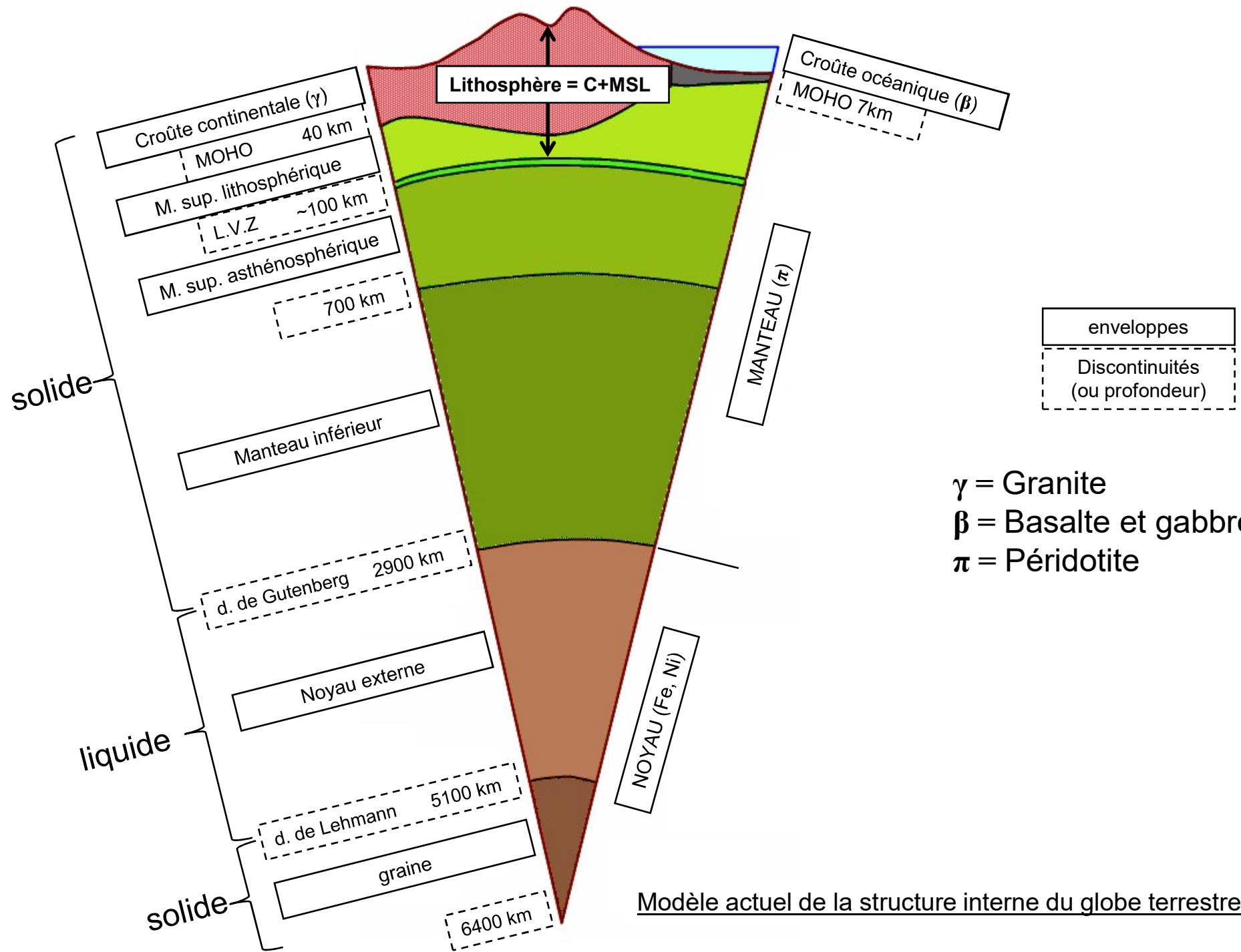
1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

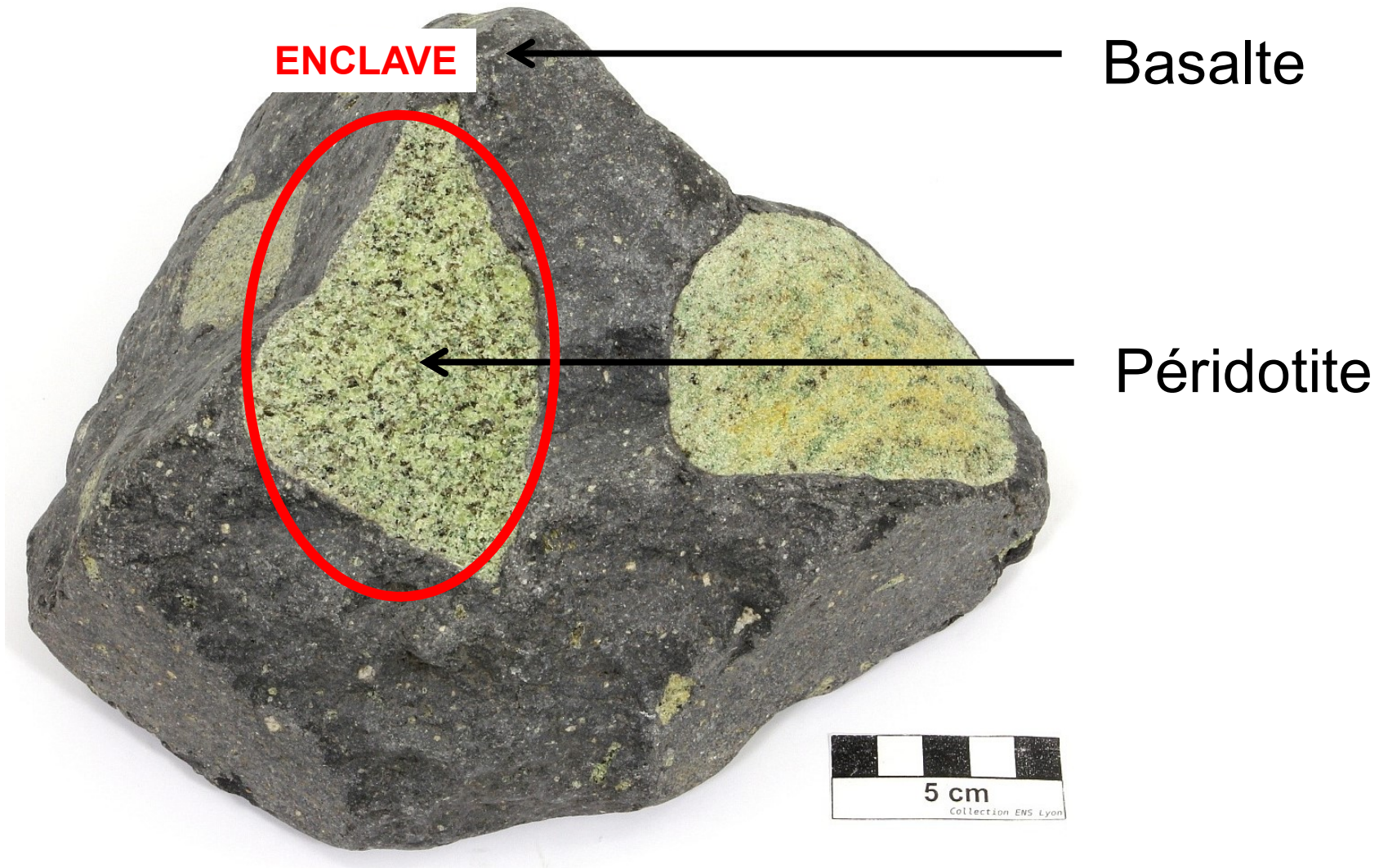
C. Composition de la croûte continentale

D. Composition du manteau

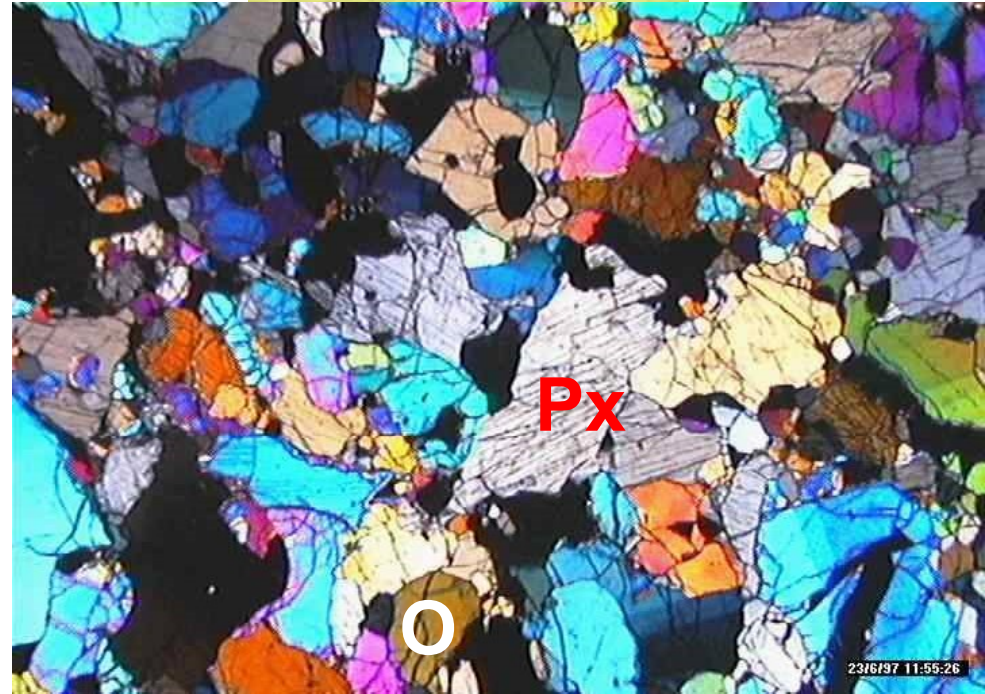


Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Enclaves : des échantillons de manteau



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

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des couches les plus superficielles.

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

C. Composition de la croûte continentale

D. Composition du manteau

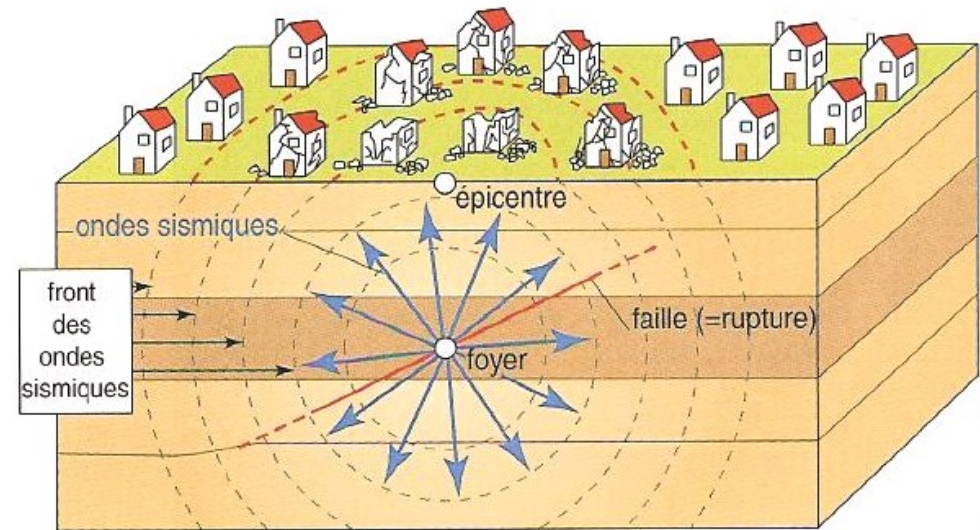
II. Des informations déduites de l'étude des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne du globe.

A. Méthode d'étude.

Naissance des ondes sismiques

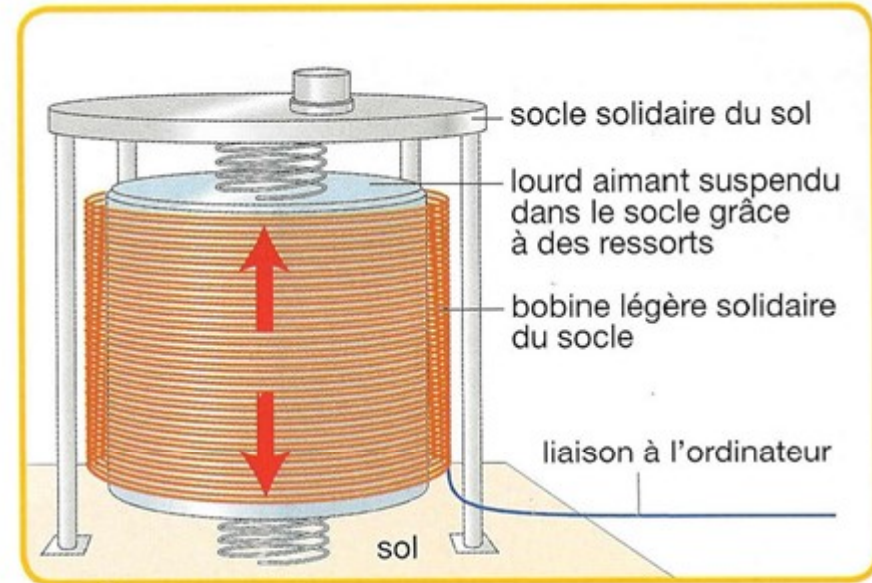
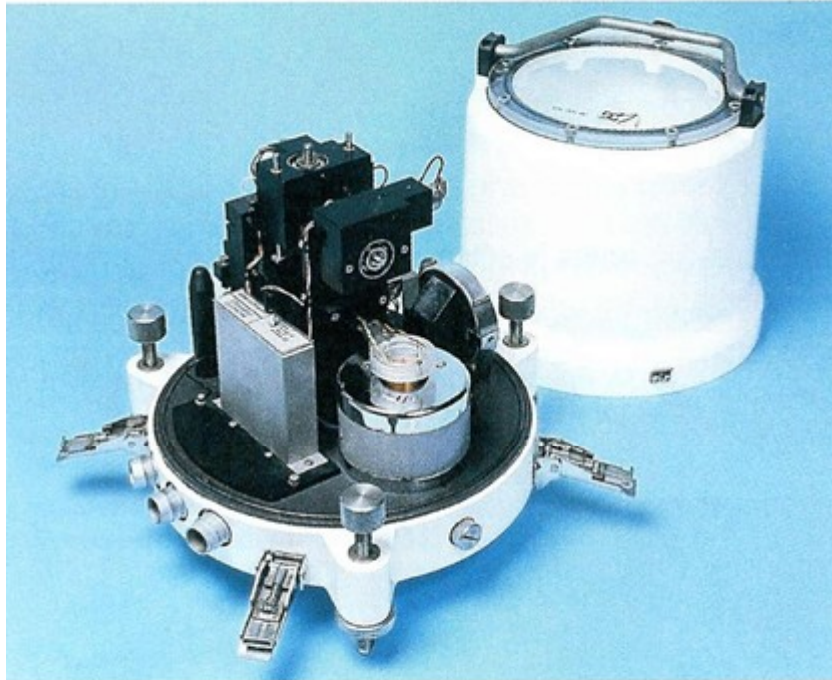


Effets en surface d'un séisme destructeur



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.

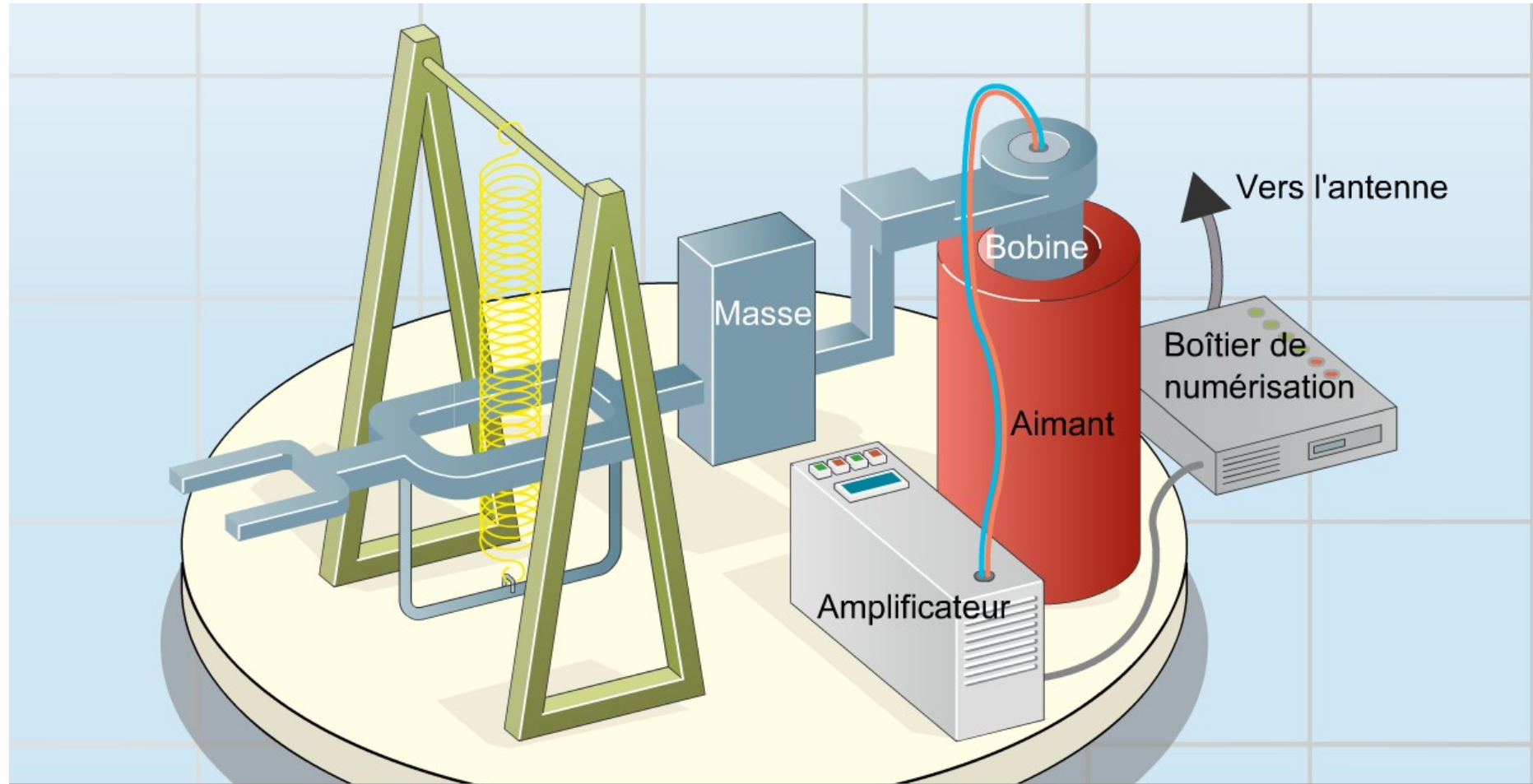
Principe du sismomètre ([animation en ligne](#))



Principe d'un sismomètre.

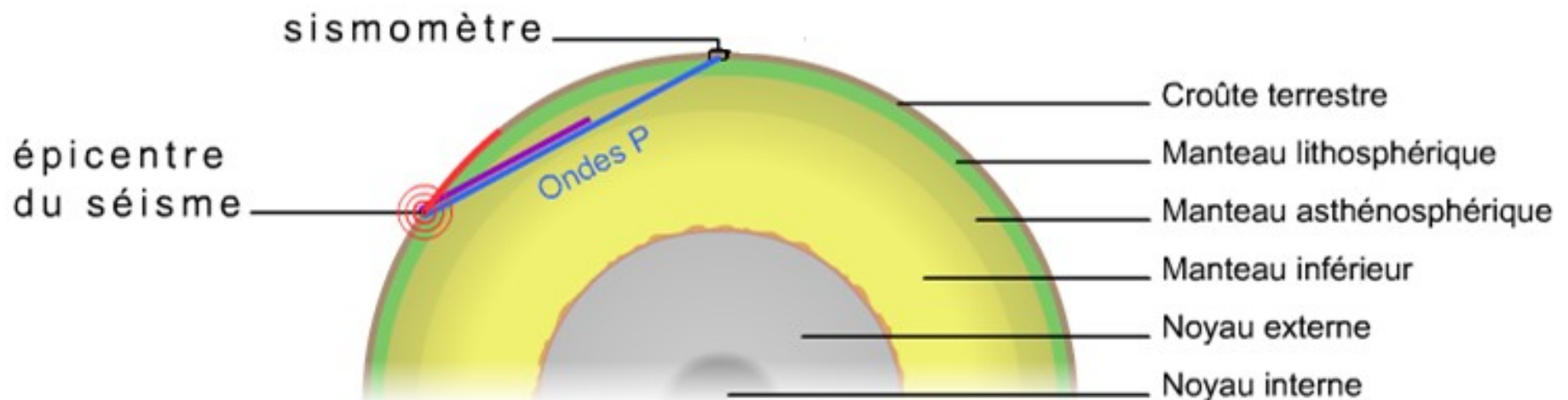
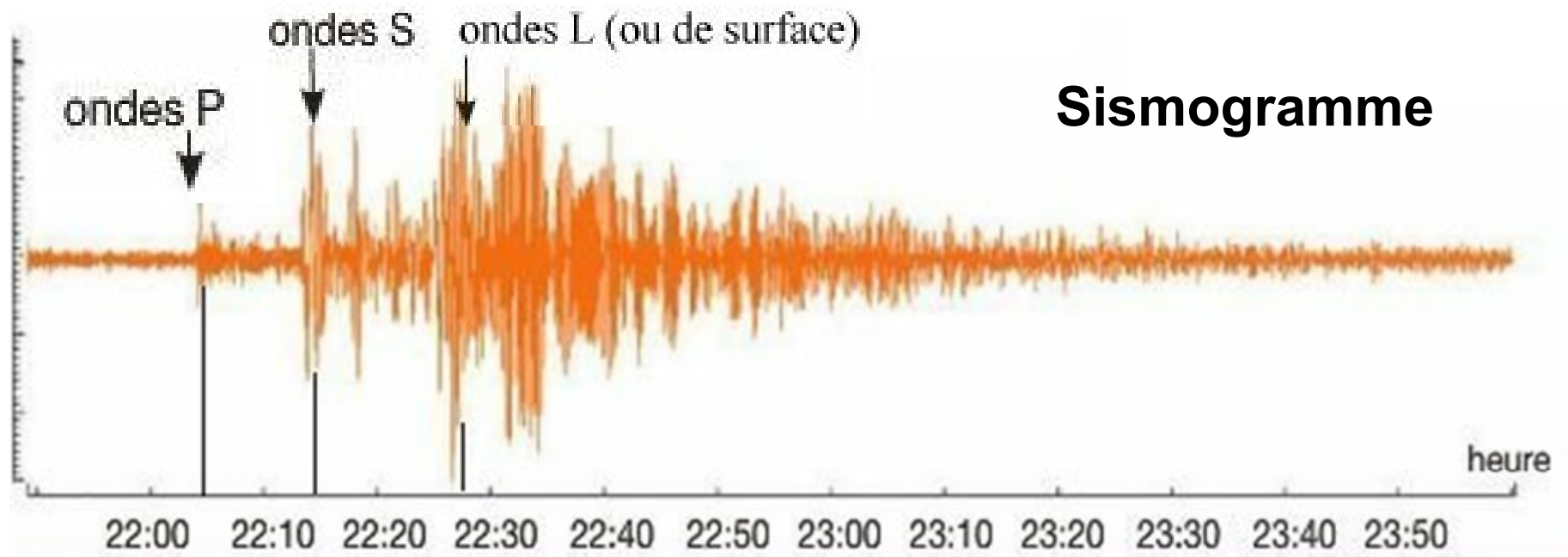
Quand des vibrations arrivent au sismomètre, la bobine légère, solidaire du socle, suit ces vibrations. L'aimant, plus lourd, bouge plus lentement que la bobine. Les mouvements relatifs de la bobine et de l'aimant génèrent de faibles courants électriques proportionnels aux vibrations. Ces signaux sont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

Principe du sismomètre

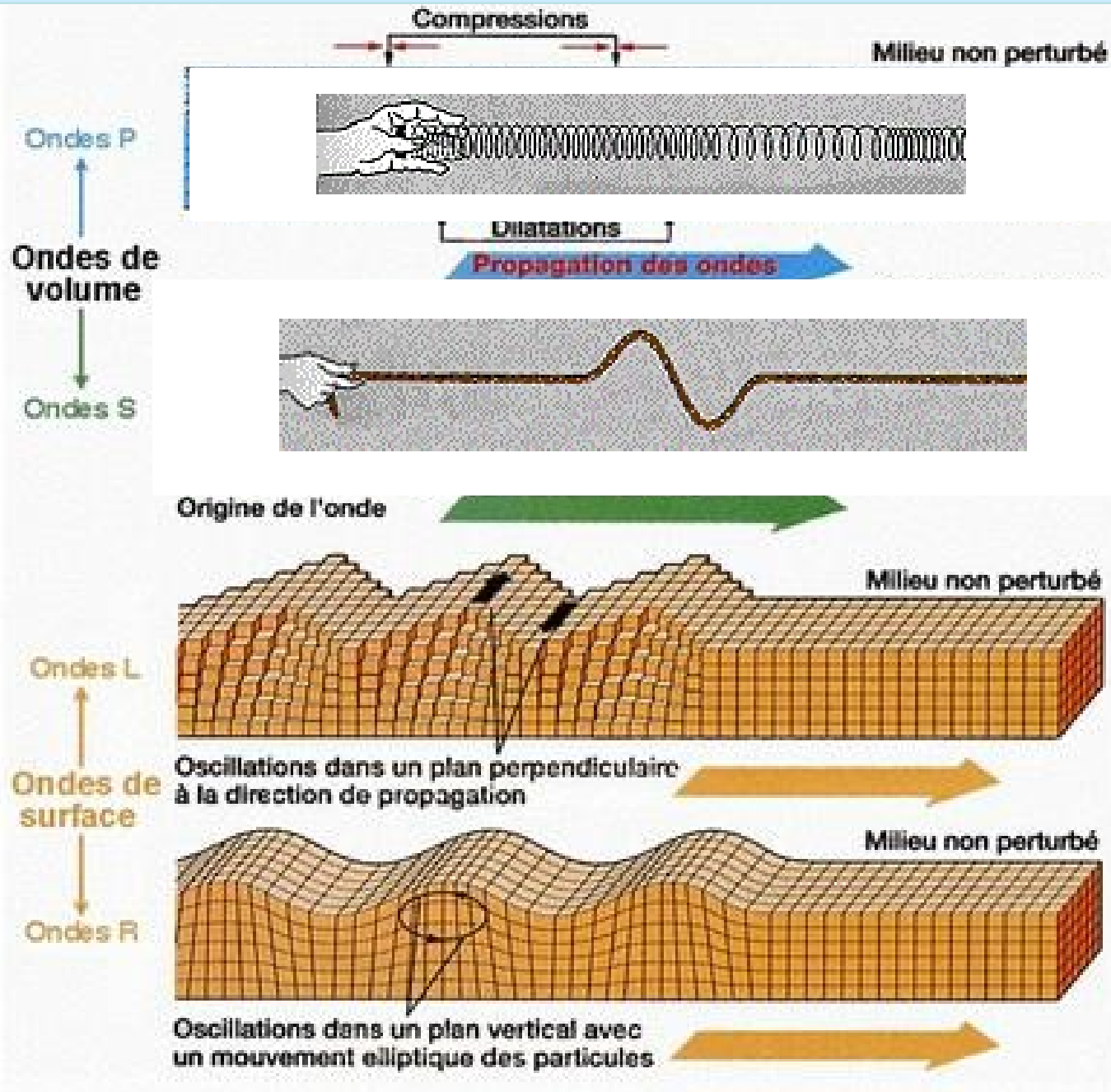


Une masse **assez lourde** est **fixée sur un bras** suspendu par un ressort au-dessus d'un bâti solidaire du sol. À l'autre extrémité du bras, une **bobine conductrice** est plongée dans un **aimant** qui repose sur le bâti.

Les différents types d'ondes sismiques



Les différents types d'ondes sismiques



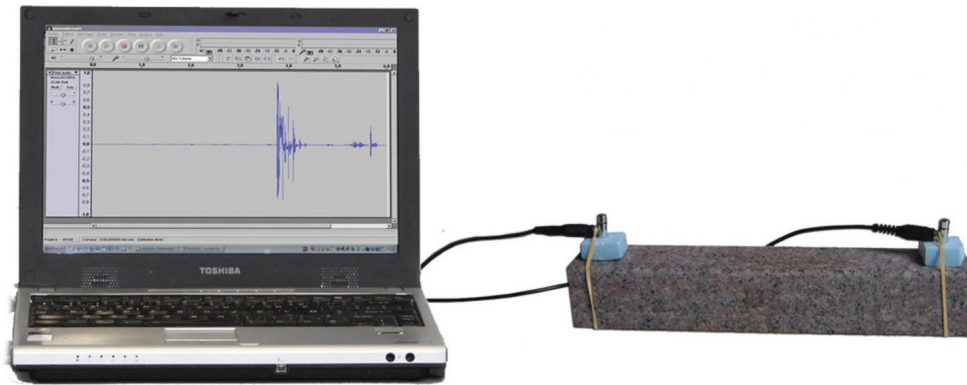
Seules utiles pour l'étude du globe (elles traversent le globe)

inutiles pour l'étude du globe

Mais destructrices !

Vitesse des ondes P et nature des roches

La vitesses des ondes dépend de la nature des roches :

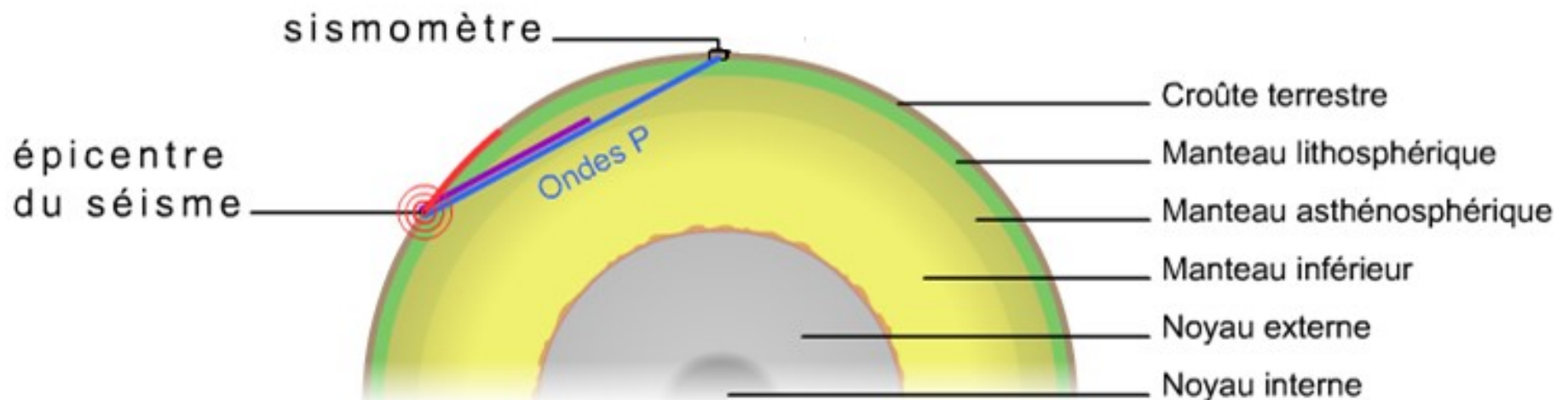
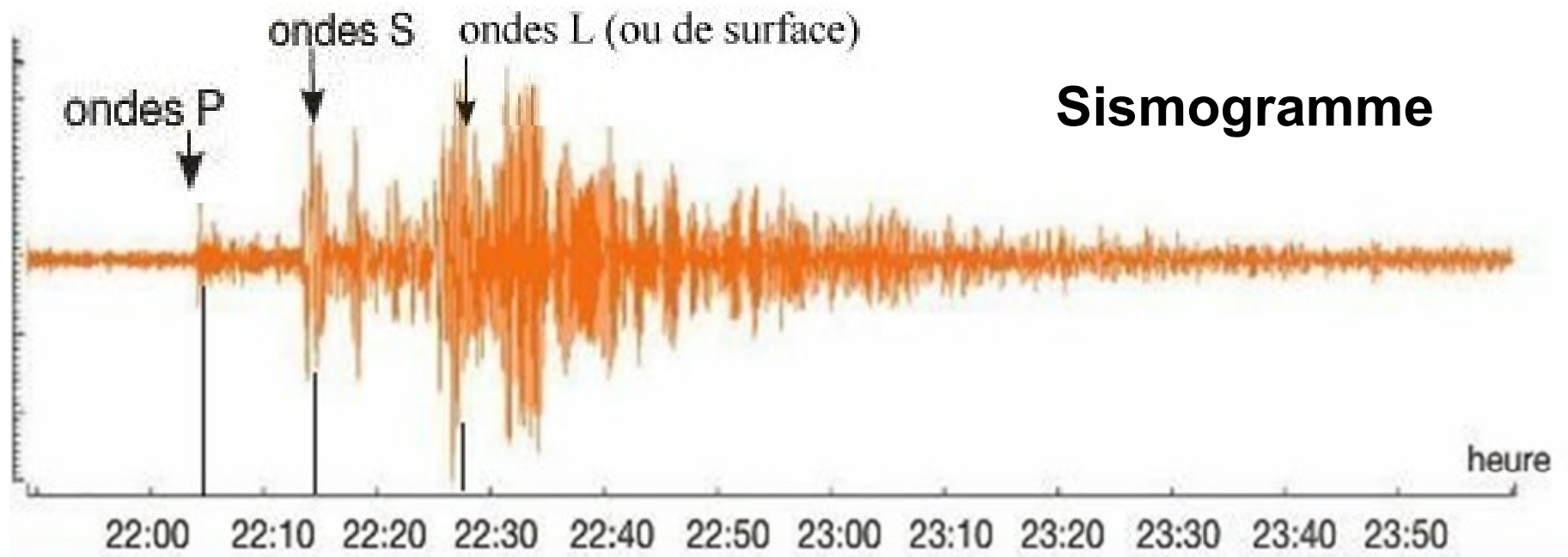


$$V = D/T$$

Roches	Vitesse des ondes P (Km.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

Résultats d'études réalisées en laboratoire

Les différents types d'ondes sismiques



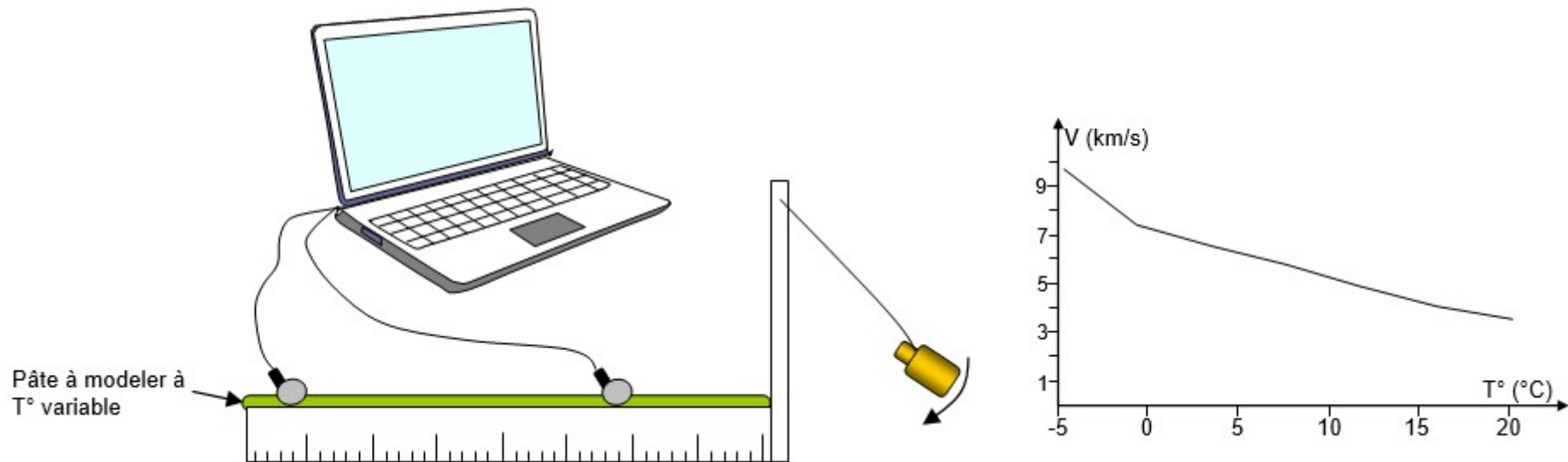
Vitesse des ondes P et propriétés du milieu

La vitesses des ondes dépend de la rigidité des roches :

La vitesse des ondes sismiques est plus importante dans les milieux rigides et plus faible dans les milieux ductiles

La vitesses des ondes dépend de température :

La vitesse des ondes sismiques diminue quand la température augmente



La loi de Snell-Descartes

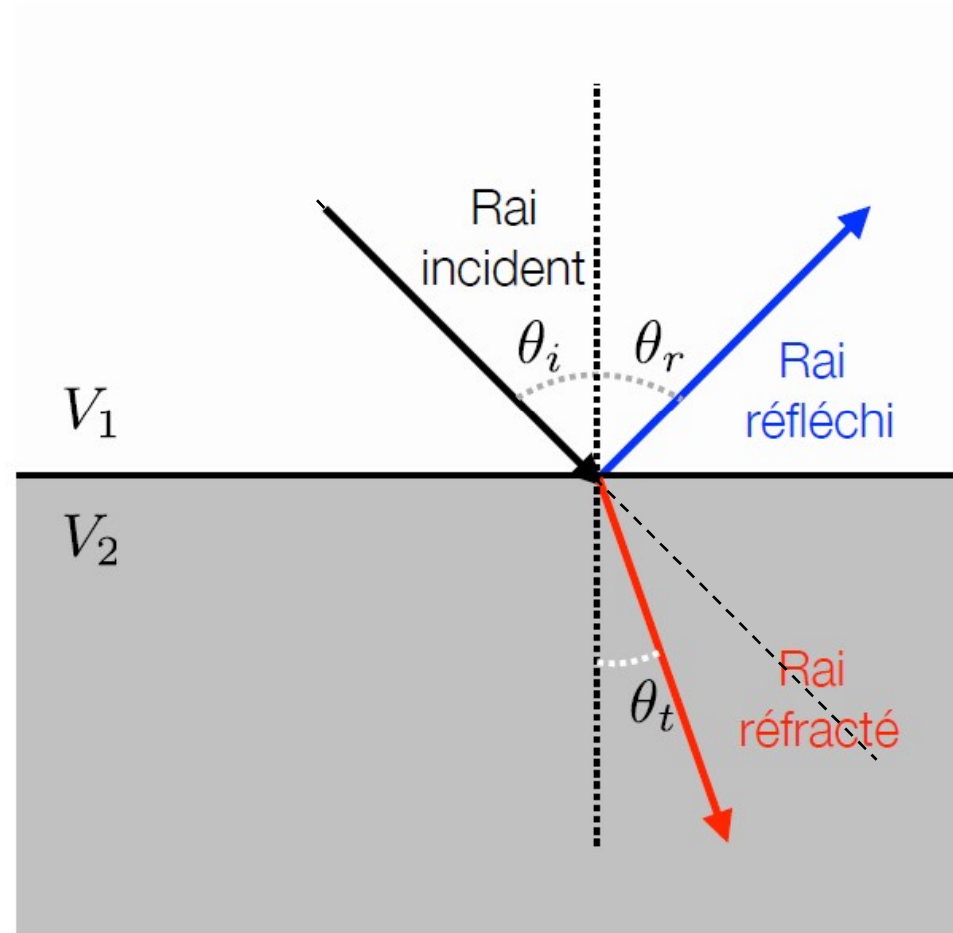
Il est possible de prédire le parcours des rais sismiques grâce à la loi de Snell-Descartes:

1. Loi de la réflexion:

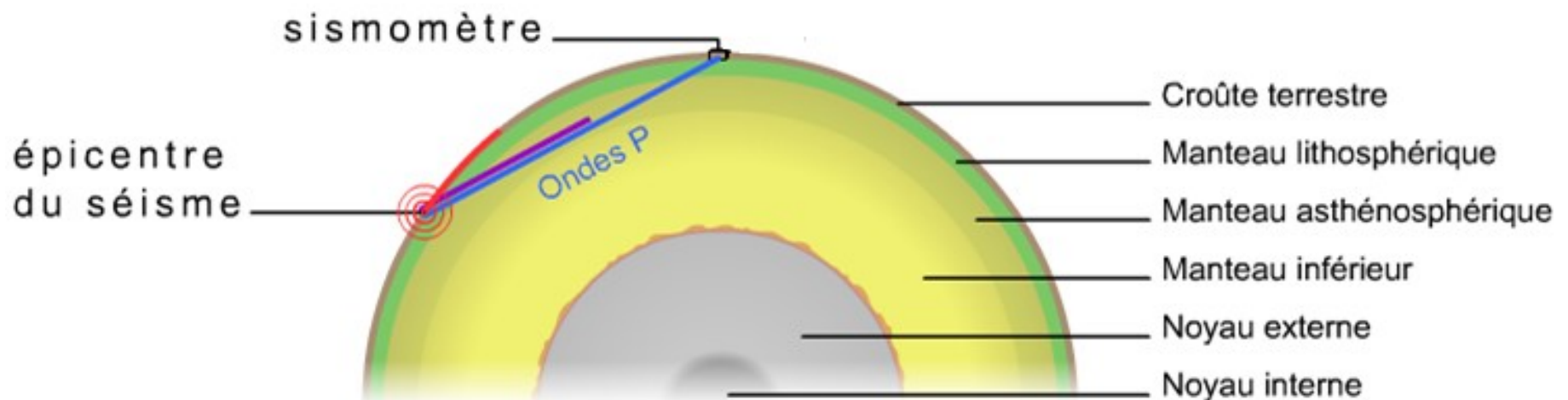
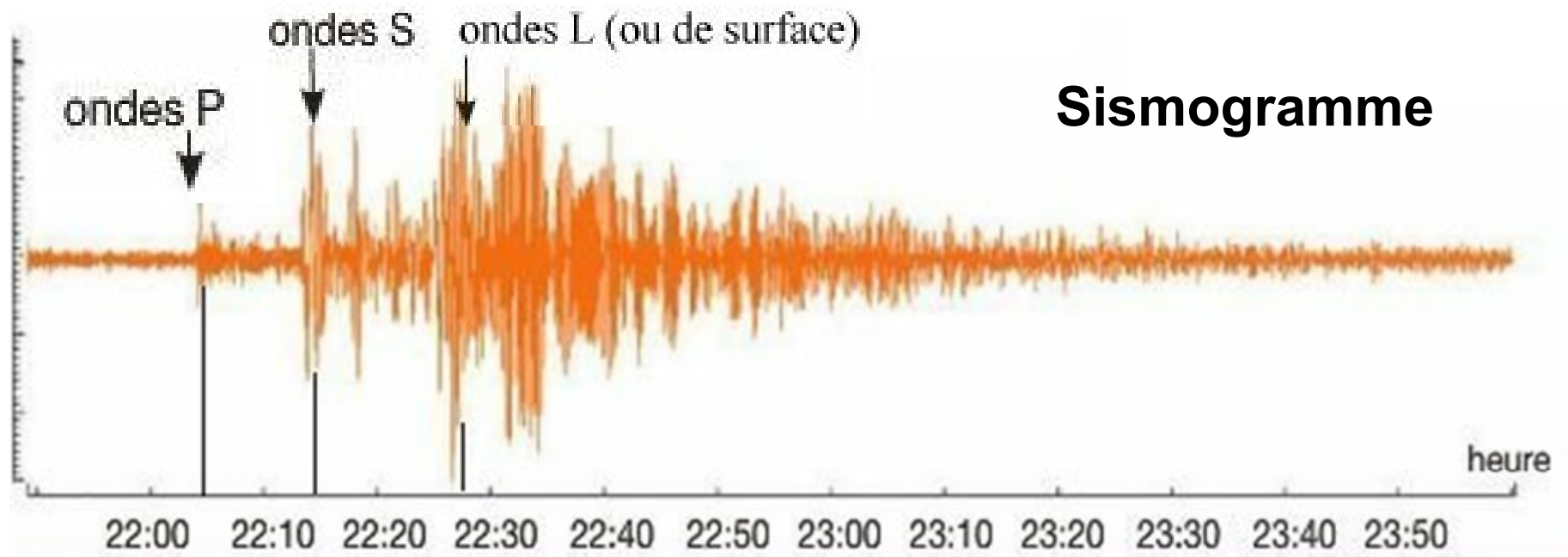
$$\theta_t = \theta_r$$

2. Loi de la réfraction:

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



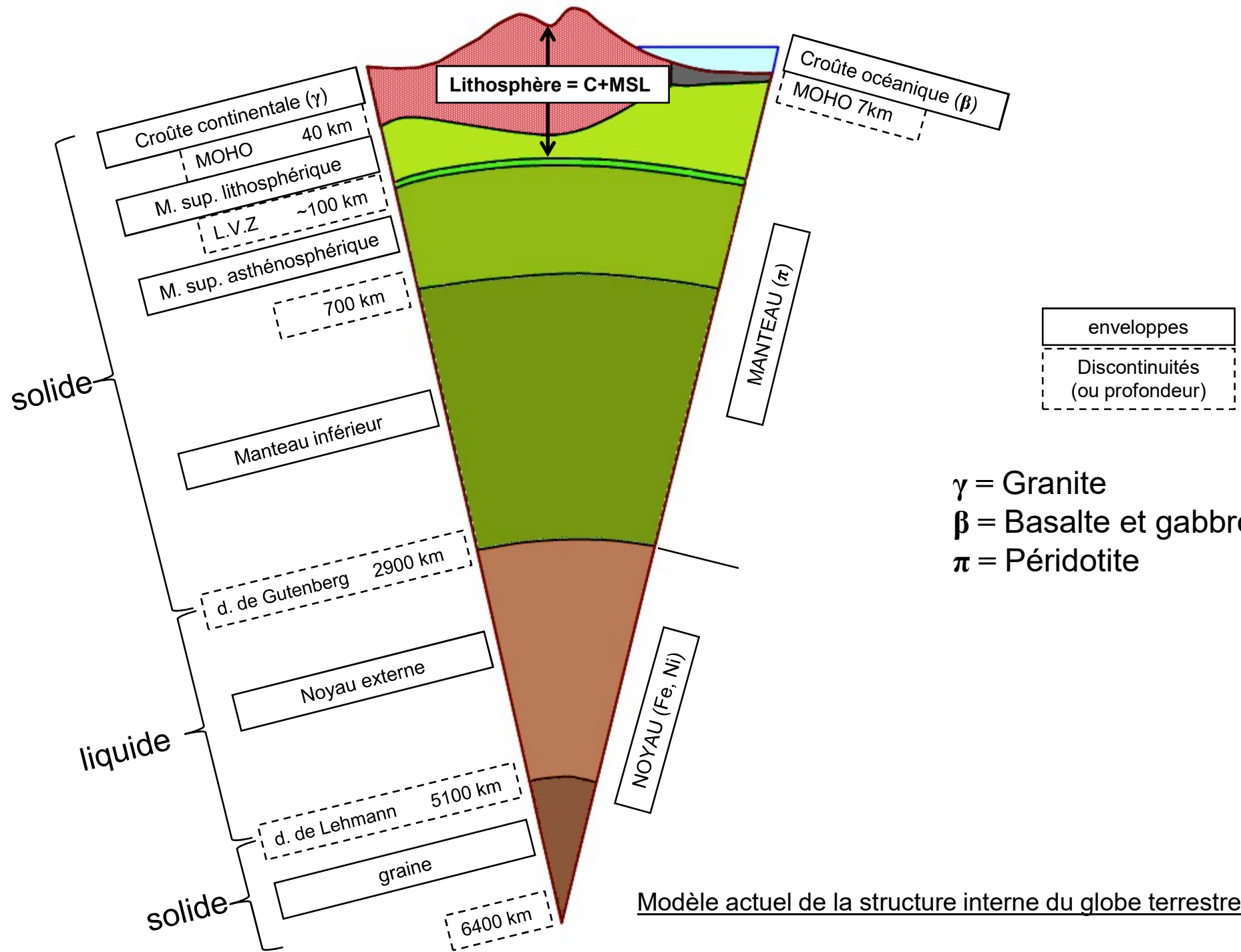
Les différents types d'ondes sismiques



Connaître l'inaccessible



L'étude des sismogrammes permet de déduire le trajet et la vitesse des ondes sismiques à l'intérieur du globe



Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des croûtes

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

C. Composition de la croûte continentale

D. Composition du manteau

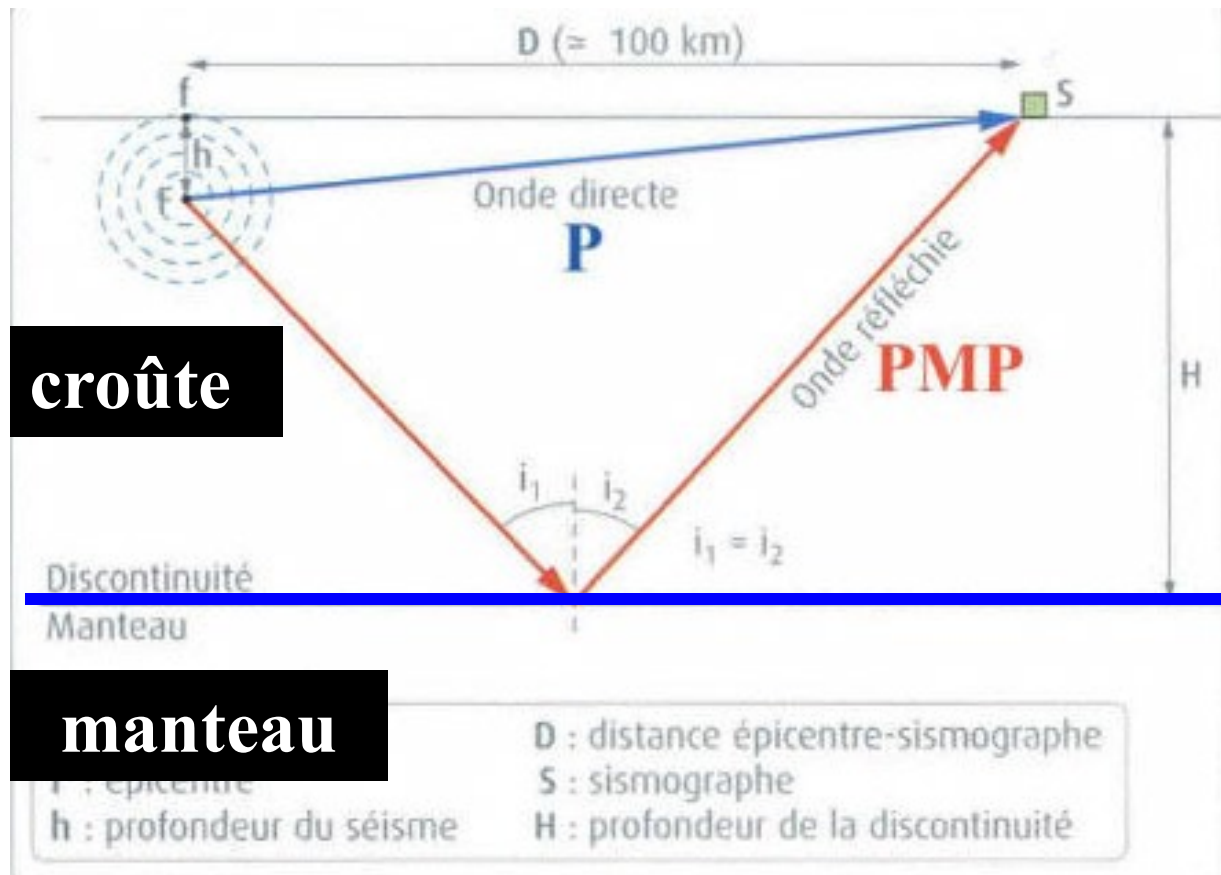
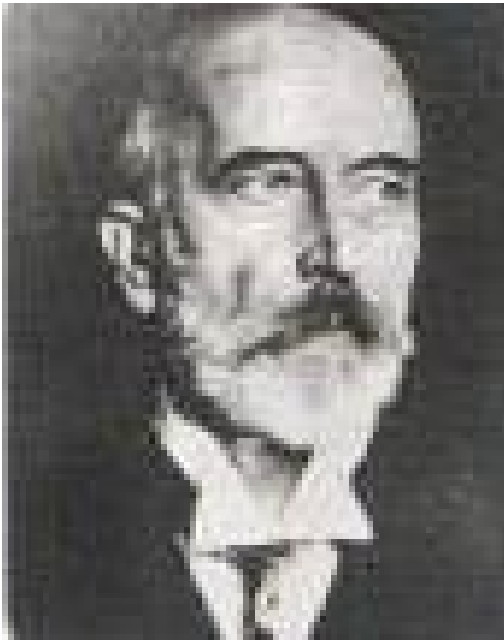
II. Des informations déduites de l'étude des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne du globe.

A. Méthode d'étude.

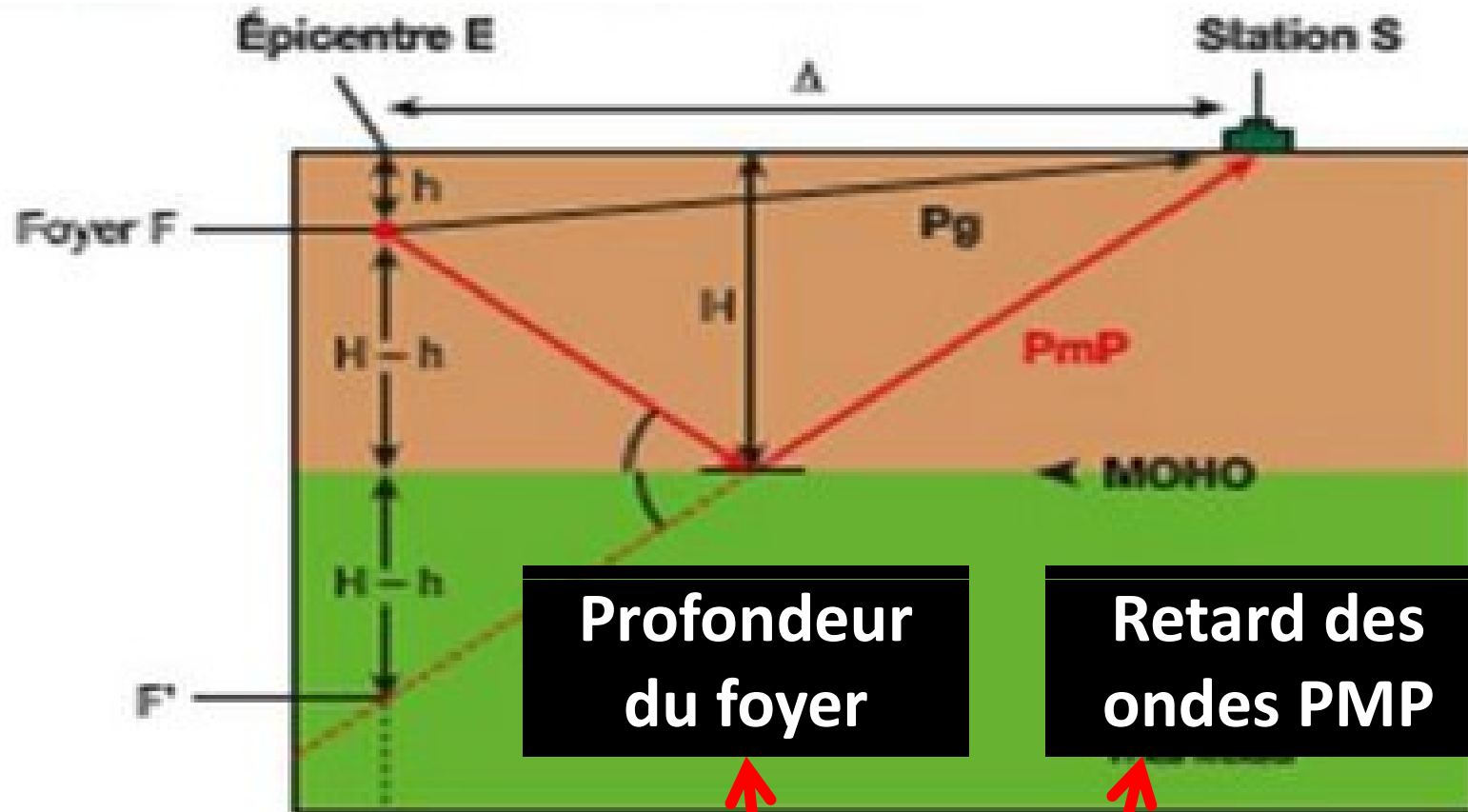
B. Ondes sismiques et mise en évidence de surfaces de discontinuité

1. La discontinuité de Mohorovicic

Les observations de Mohorovičić (1909)



Calcul de la profondeur du Moho



**Profondeur
du foyer**

**Retard des
ondes PMP**

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

Vitesse des ondes P

**Distance à
l'épicentre**

Calcul de la profondeur du Moho

Entrer les données dans les cases prévues, le calcul est automatique



Profondeur du foyer en km =>	10
Distance épacentrale en km =>	135,8
Vitesse des ondes P en km.s ⁻¹ =>	6,25
Retard des ondes PMP en <u>secondes</u> par rapport aux ondes P =>	3,32

Profondeur du Moho en km

H = 44,3 km

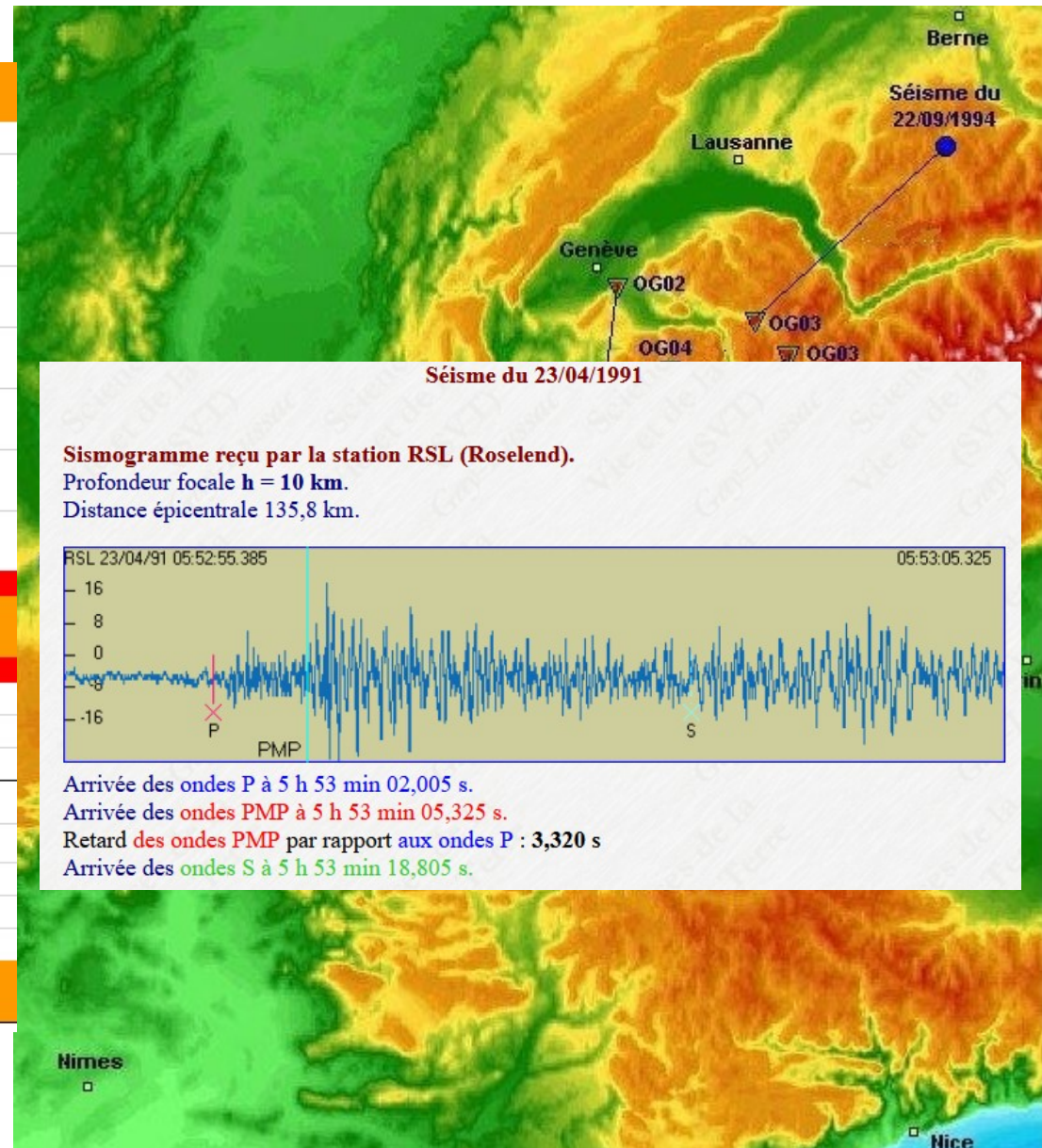
Distance (en surface) entre l'épicentre et le

Calcul de la position du point de réflexion des ondes sur le Moho

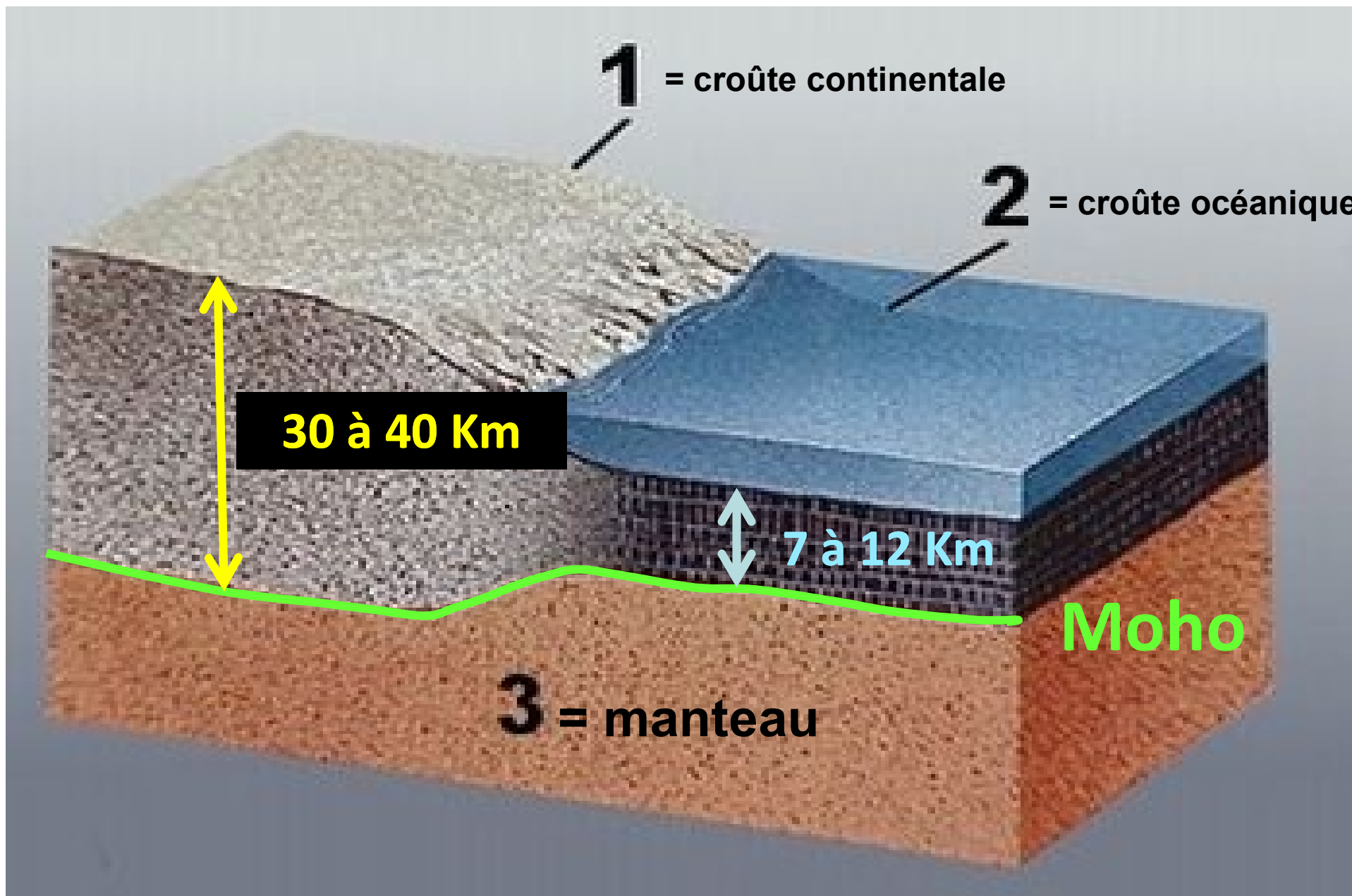
Il dépend de la profondeur du foyer, de la profondeur du Moho et de la distance épacentrale

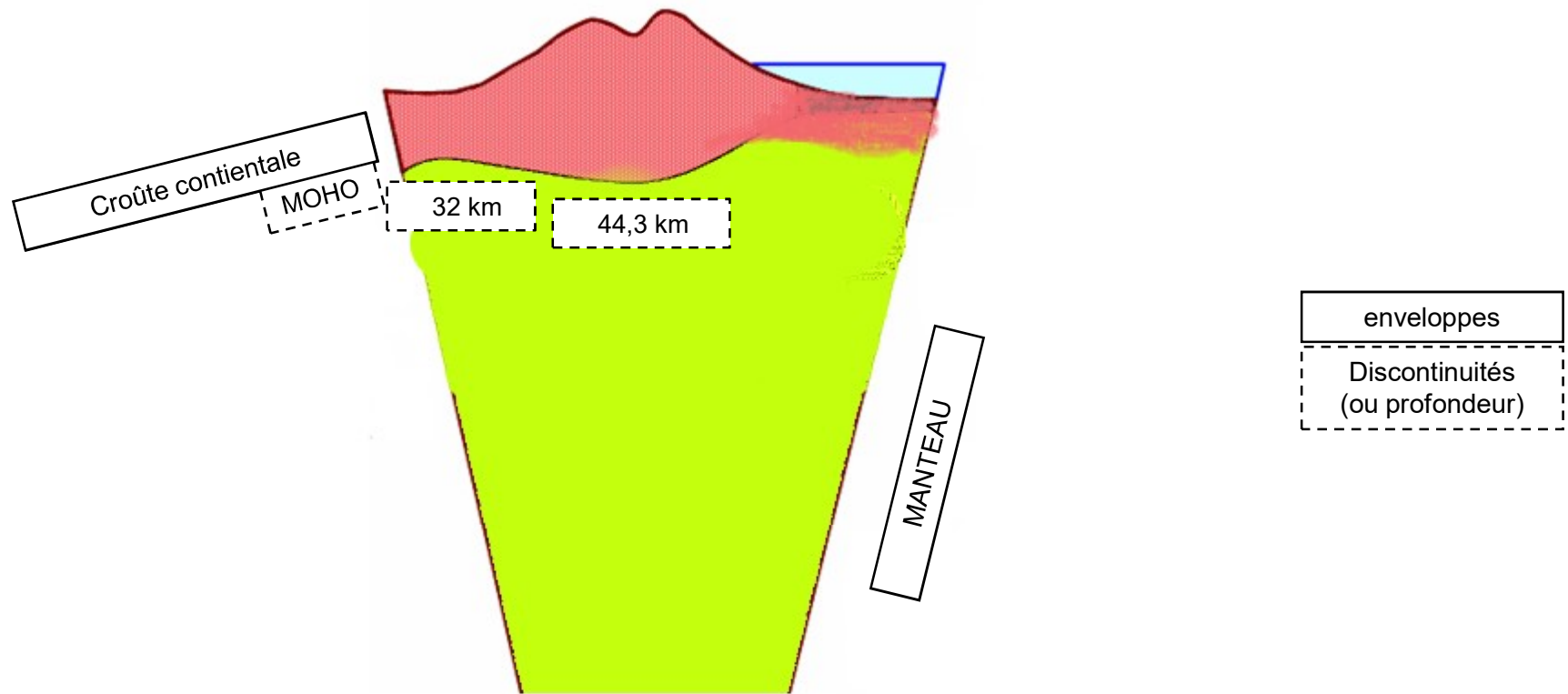
Distance épacentre-point de réflexion =>

59,3 km



Profondeur du Moho





Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des croûtes

A. Méthodes d'étude des roches prélevées

1. Observation macroscopique des roches.

2. Observation microscopique des roches.

B. Composition de la croûte océanique

C. Composition de la croûte continentale

D. Composition du manteau

II. Des informations déduites de l'étude des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne du globe.

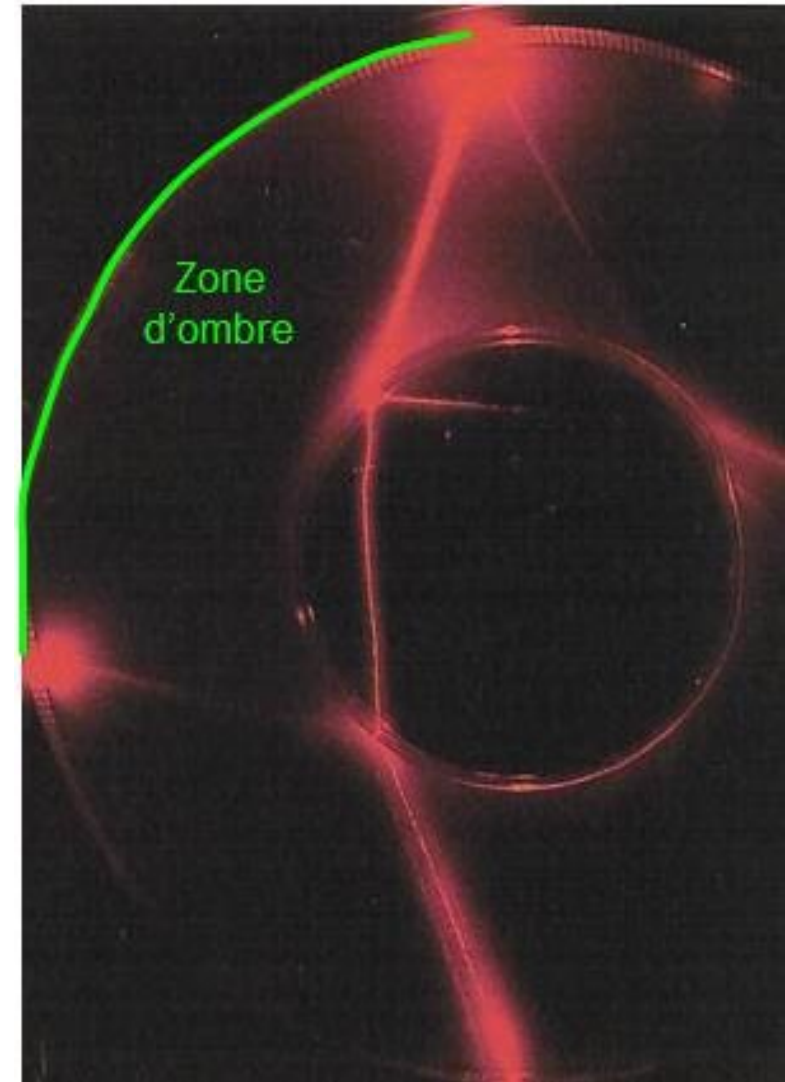
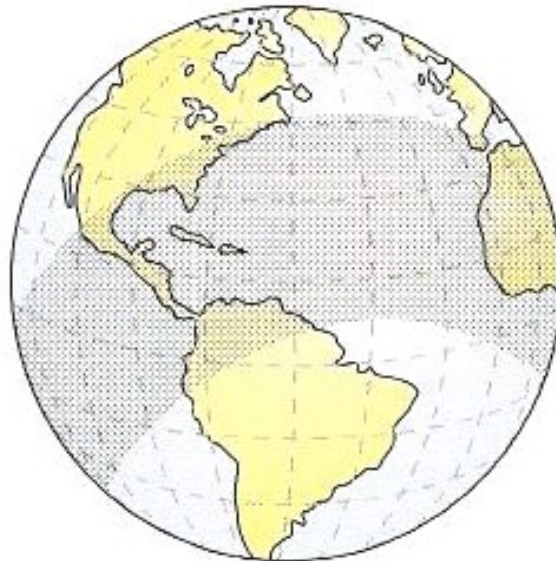
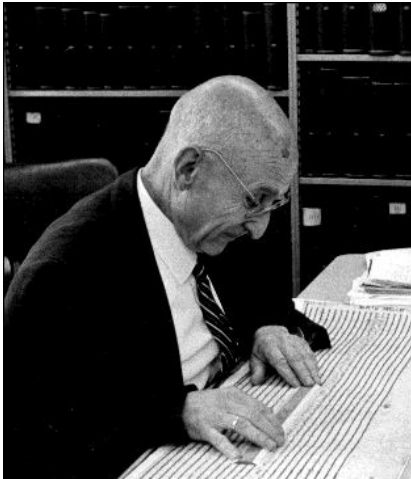
A. Méthode d'étude.

B. Ondes sismiques et mise en évidence de surfaces de discontinuité

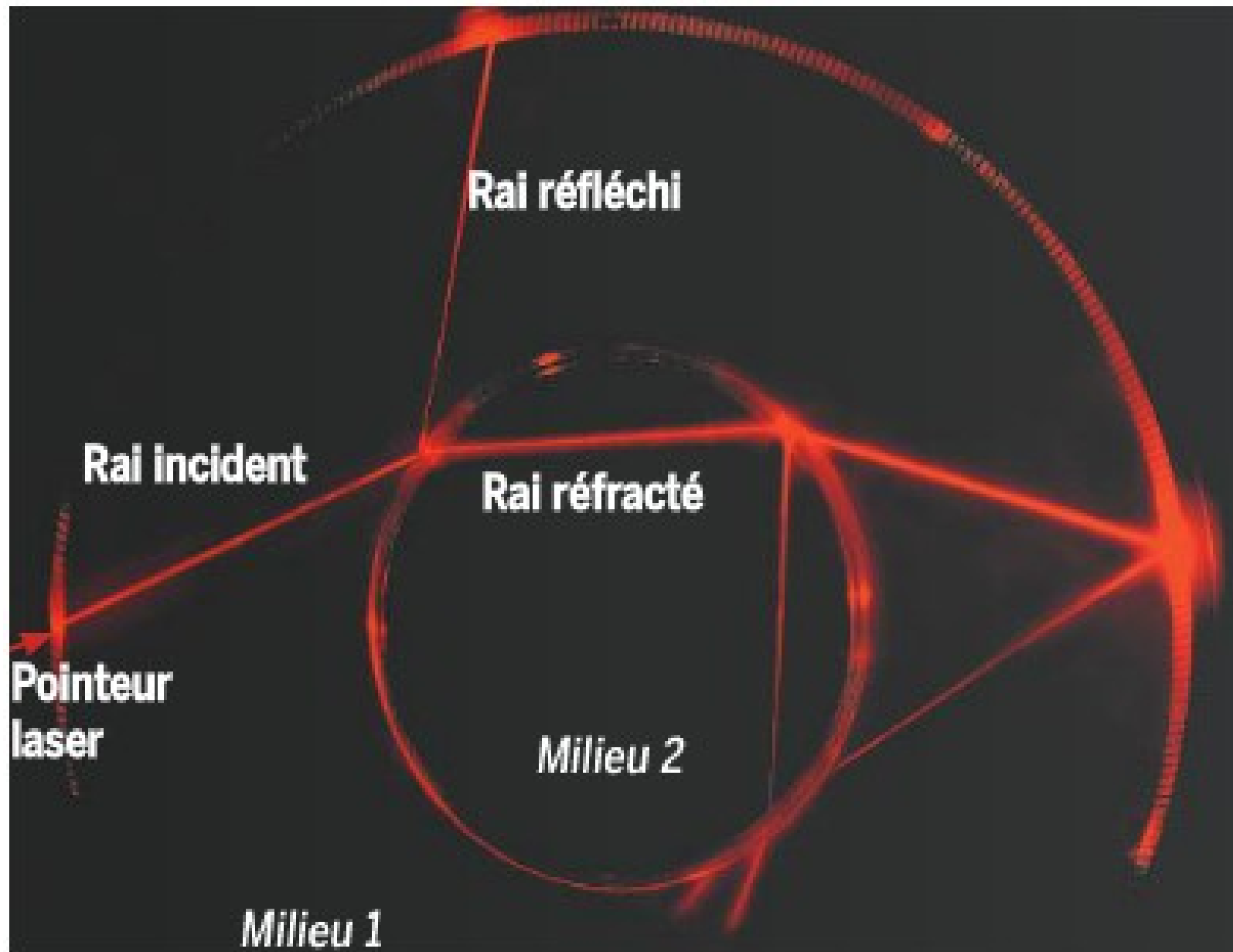
1. La discontinuité de Mohorovicic

2. La discontinuité de Gutenberg

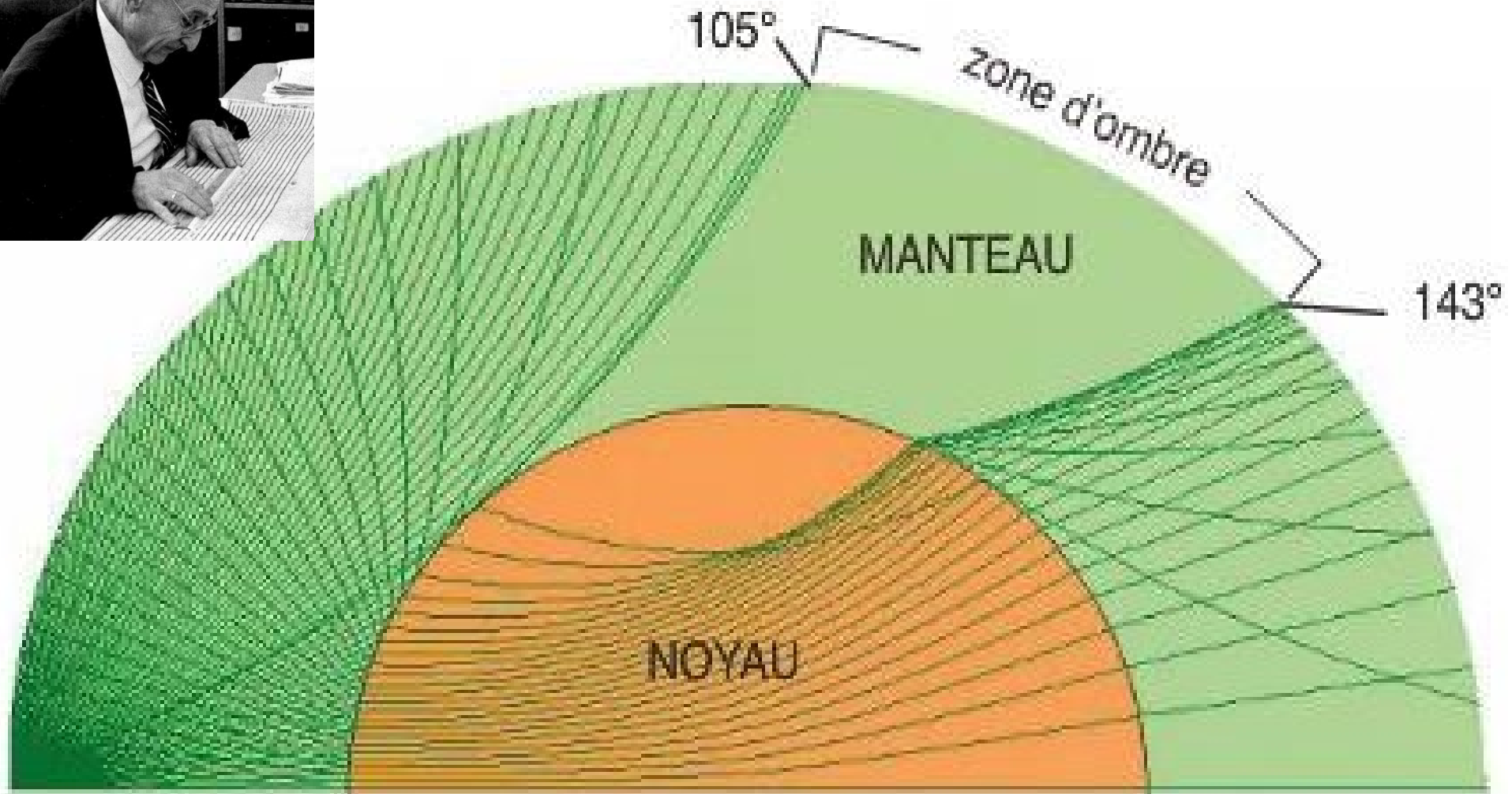
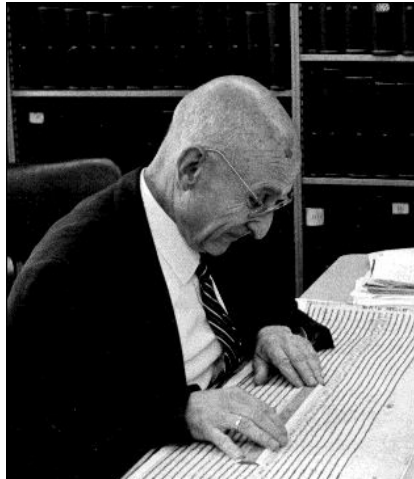
La zone d'ombre de Beno Gutenberg

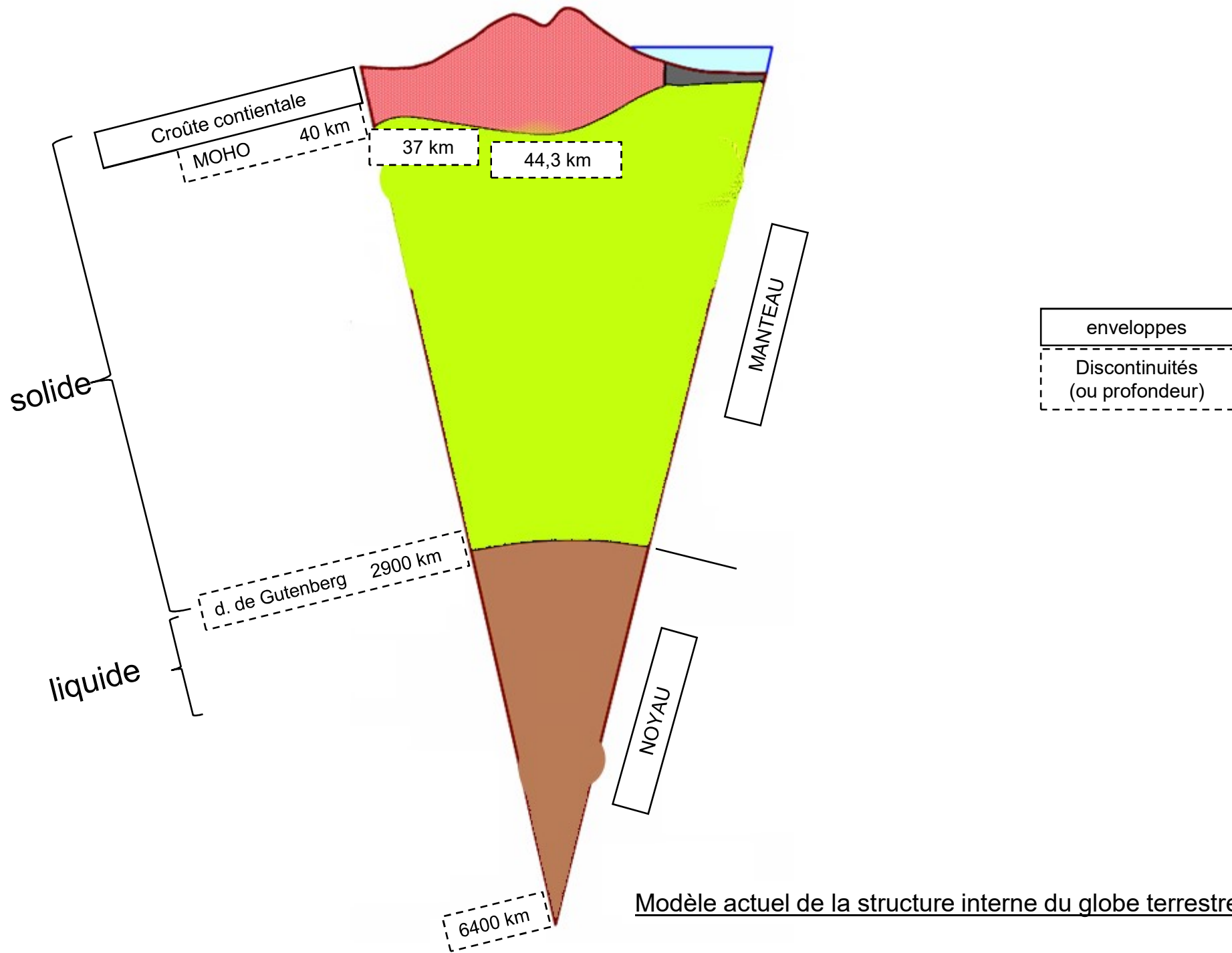


Modélisation pour comprendre le comportement des ondes sismiques à l'intérieur du globe.



La zone d'ombre de Beno Gutenberg



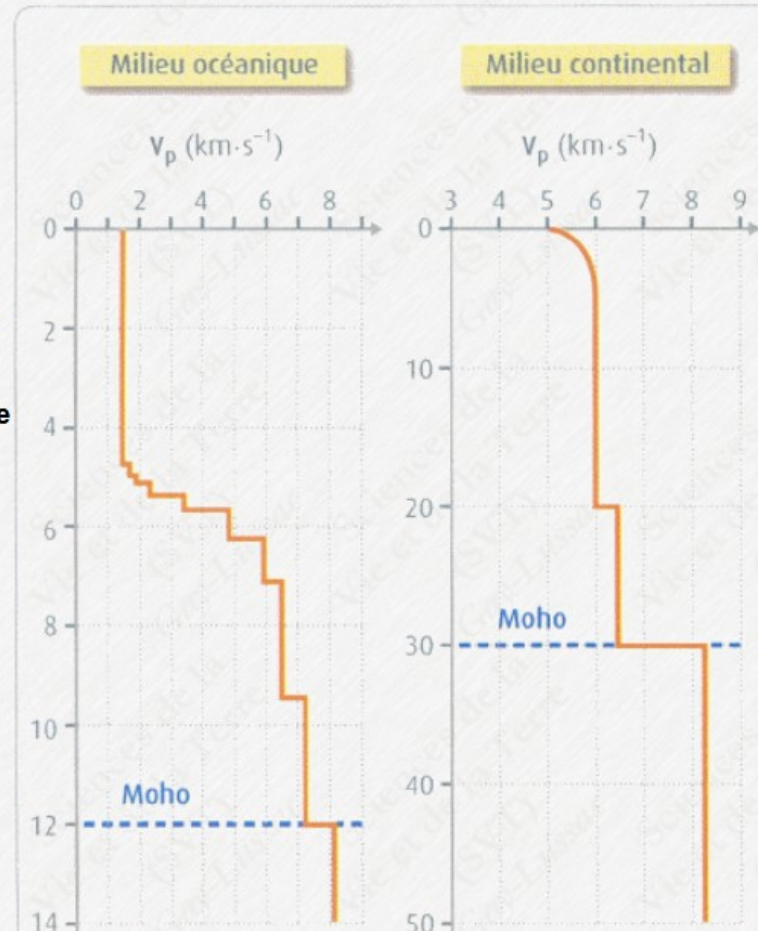


Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Zoom du modèle sur les 1ers Km sous la surface en domaine océanique et en domaine continental :

Attention aux échelles des profondeurs qui ne sont pas identiques pour les deux types de croûtes.

Rq : dans le domaine océanique les 5 premiers km correspondent à l'eau (vitesse de propagation des ondes p = $1.5 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$)



Vitesse des ondes P (Km/s) déterminée en laboratoire pour différentes roches :

Eau : 1.5 Km/s

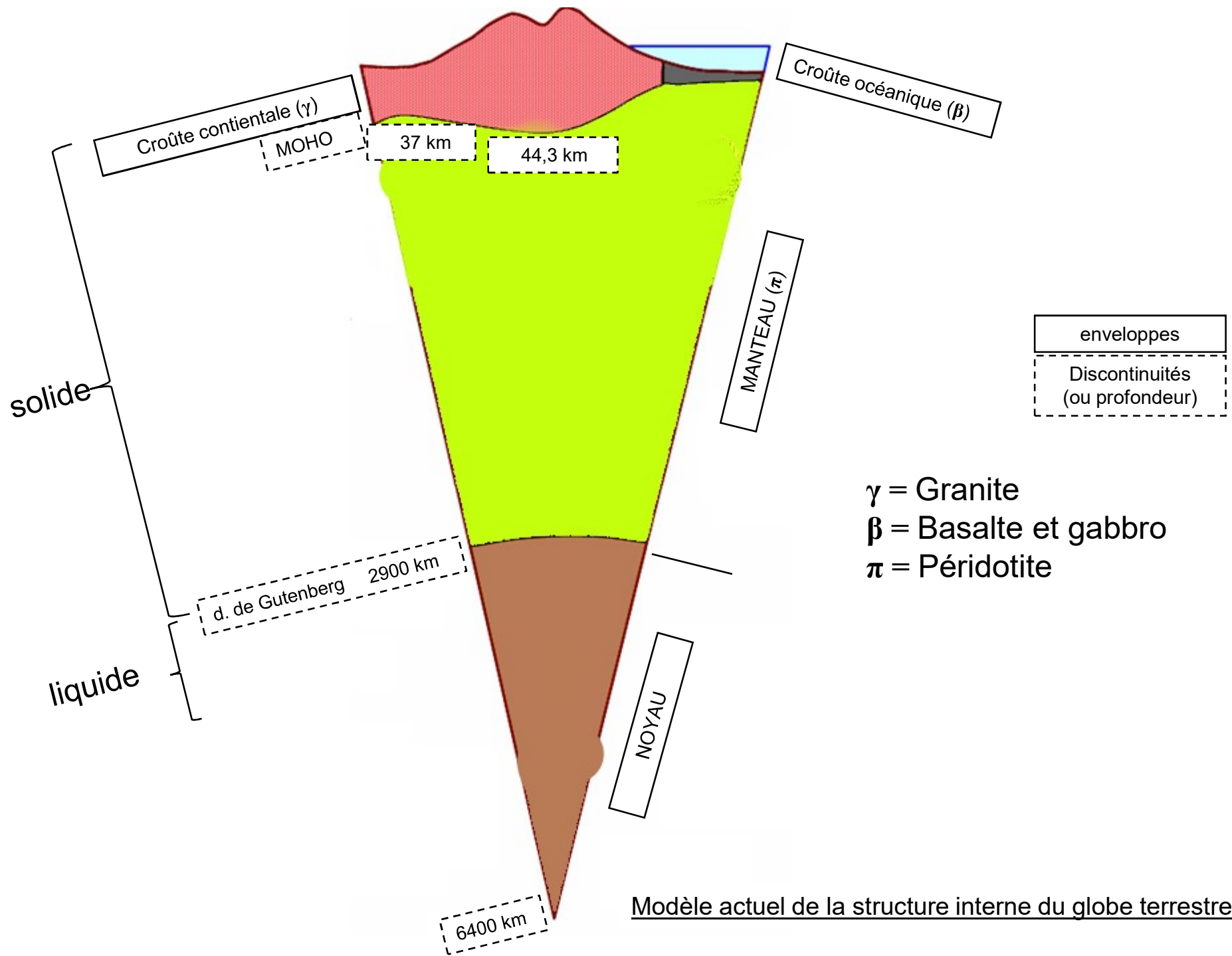
sédiments : 2 à 5 Km/s

granite : 5,5 à 6,3 Km/s

basaltes : 6,4 à 6,9 Km/s

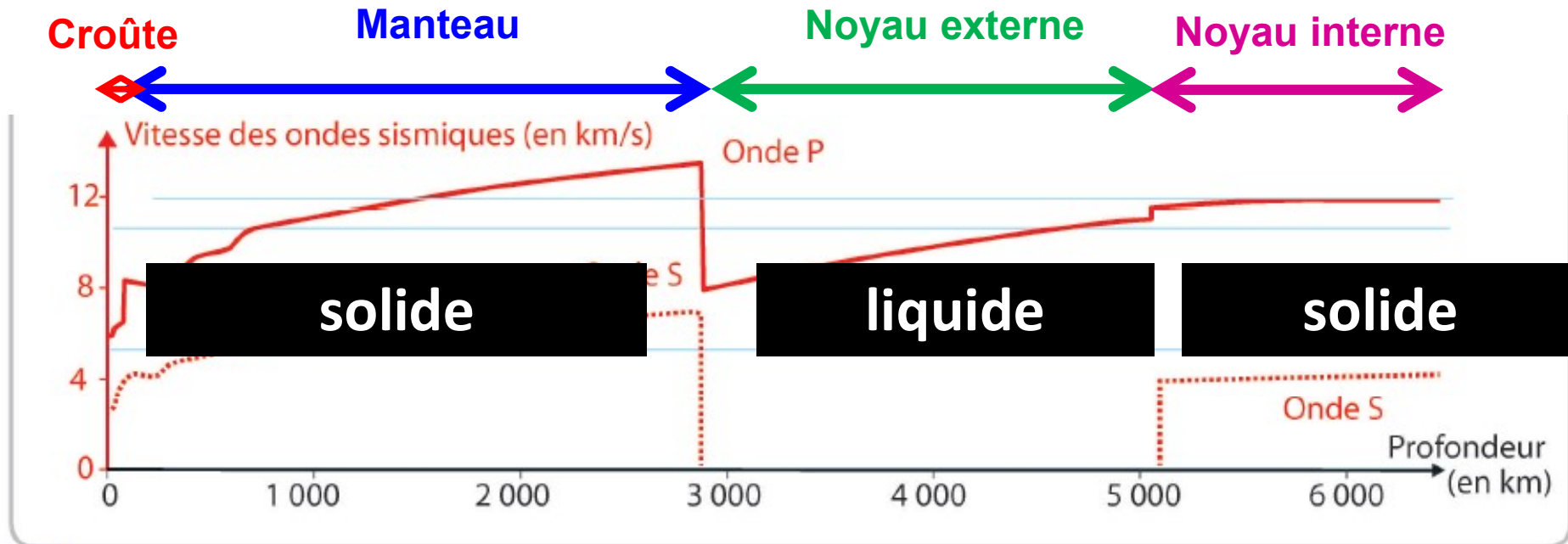
Gabbro : 6,4 à 7,2 Km/s

péridotites : 7,9 à 12 Km/s

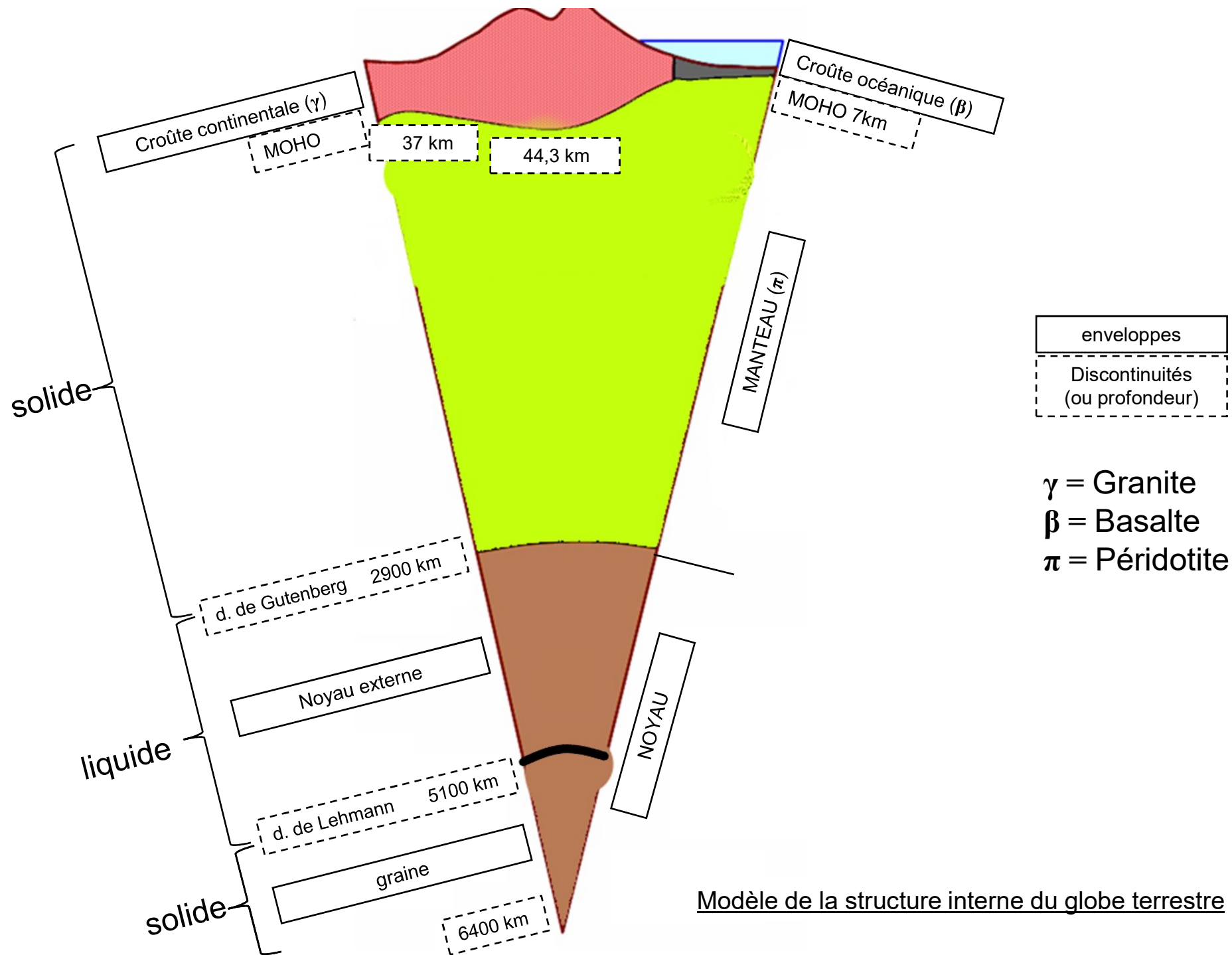


Modèle actuel de la structure interne du globe terrestre

Le 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.



Modèle de la structure interne du globe terrestre

Chapitre 1. Structure et composition du globe terrestre

I. Des observations directes de roches permettent de connaître la composition des croûtes

II. Des informations déduites de l'étude des ondes sismiques permettent de comprendre la structure interne du globe.

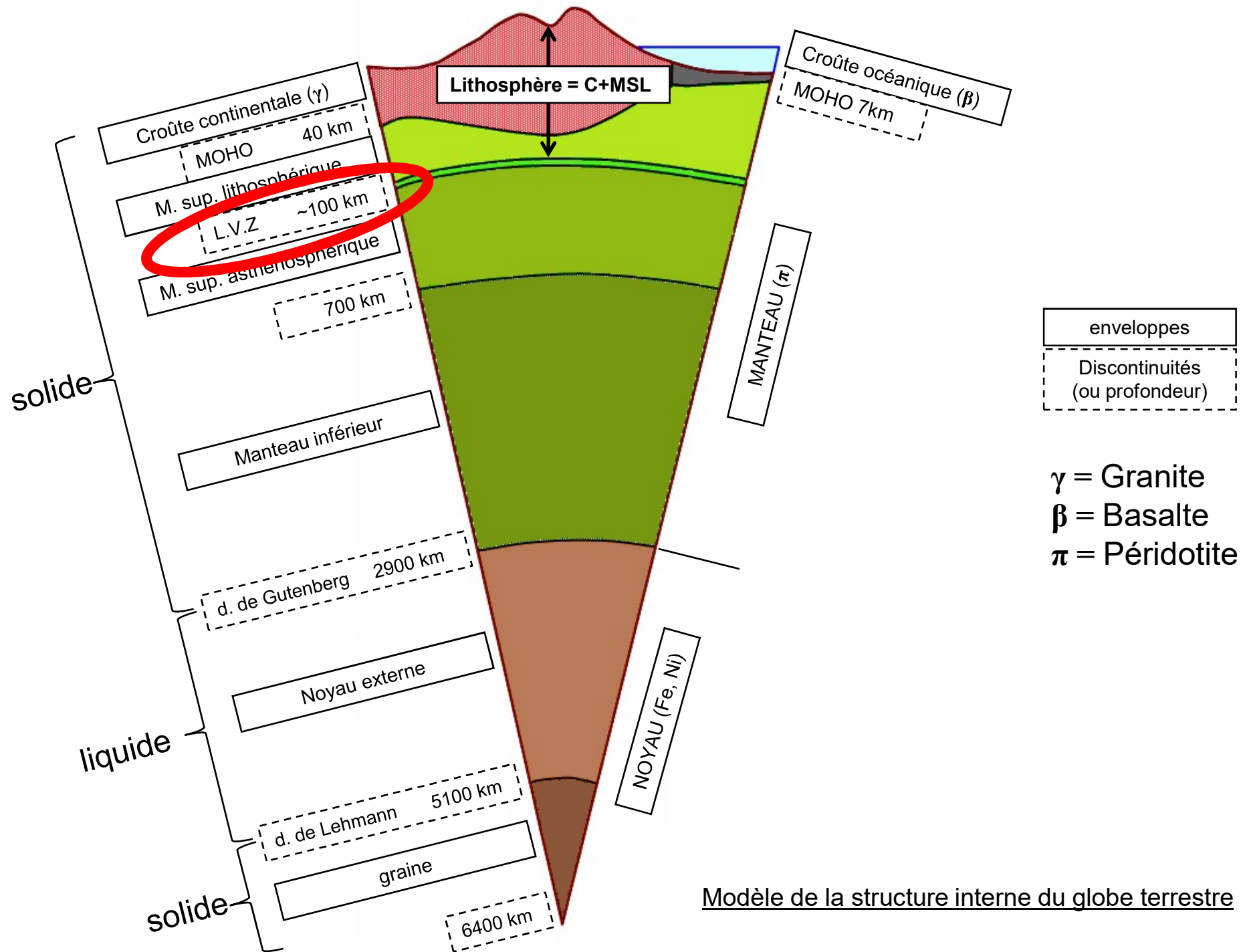
A. Méthode d'étude.

B. Ondes sismiques et mise en évidence de surfaces de discontinuité

1. La discontinuité de Mohorovicic

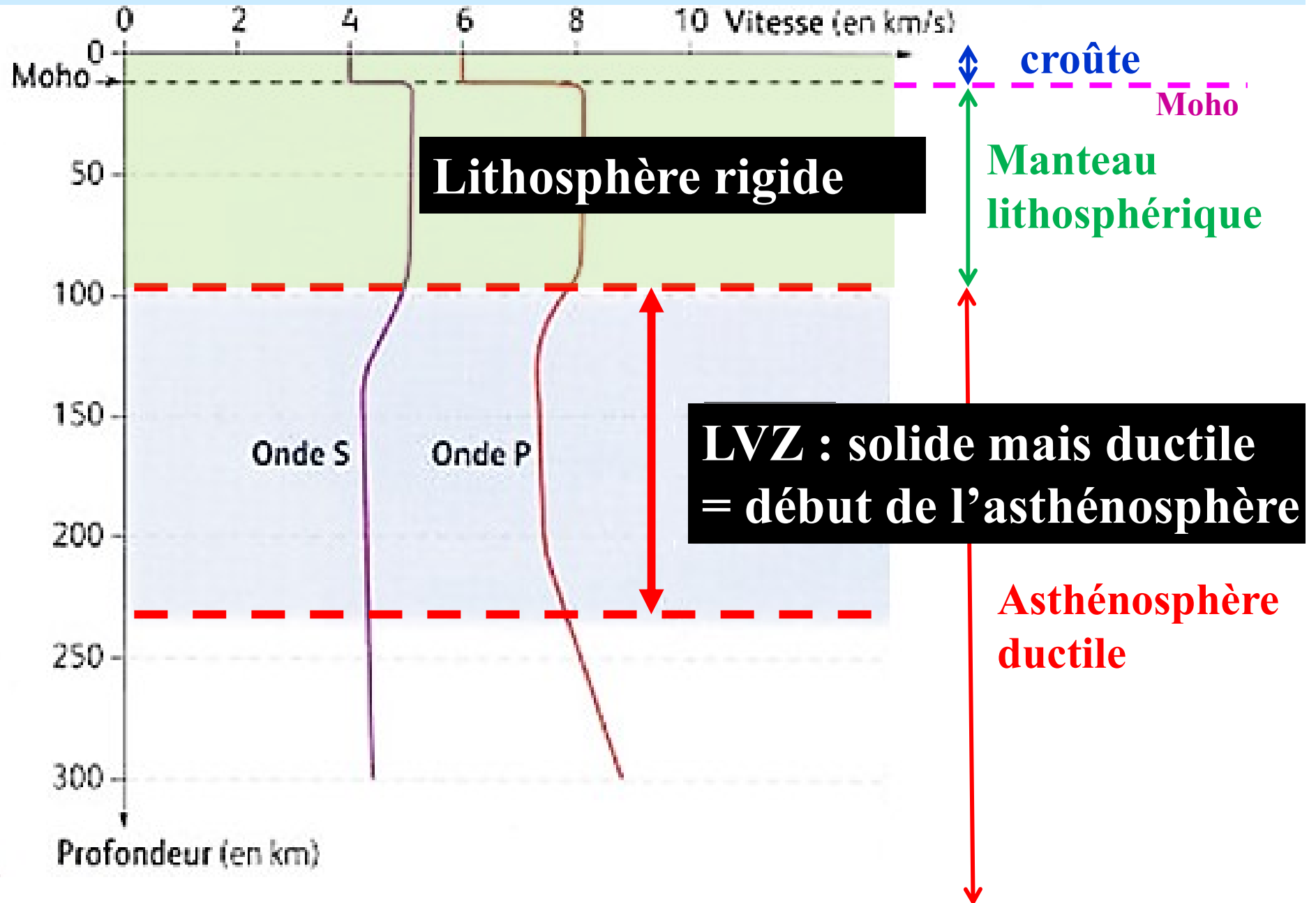
2. La discontinuité de Gutenberg

C. Ondes sismiques et distinction entre la lithosphère et l'asthénosphère

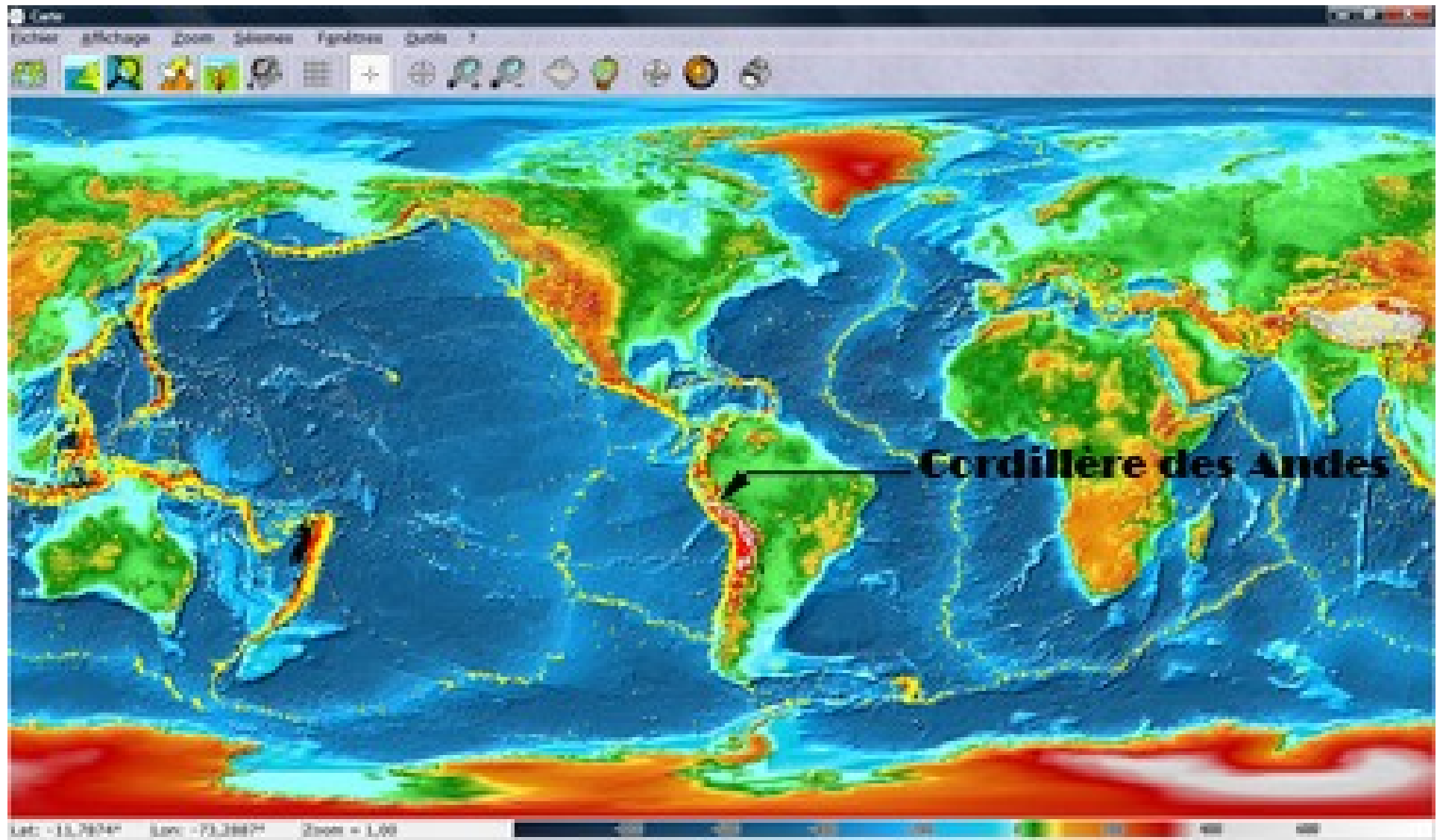


Modèle de la structure interne du globe terrestre

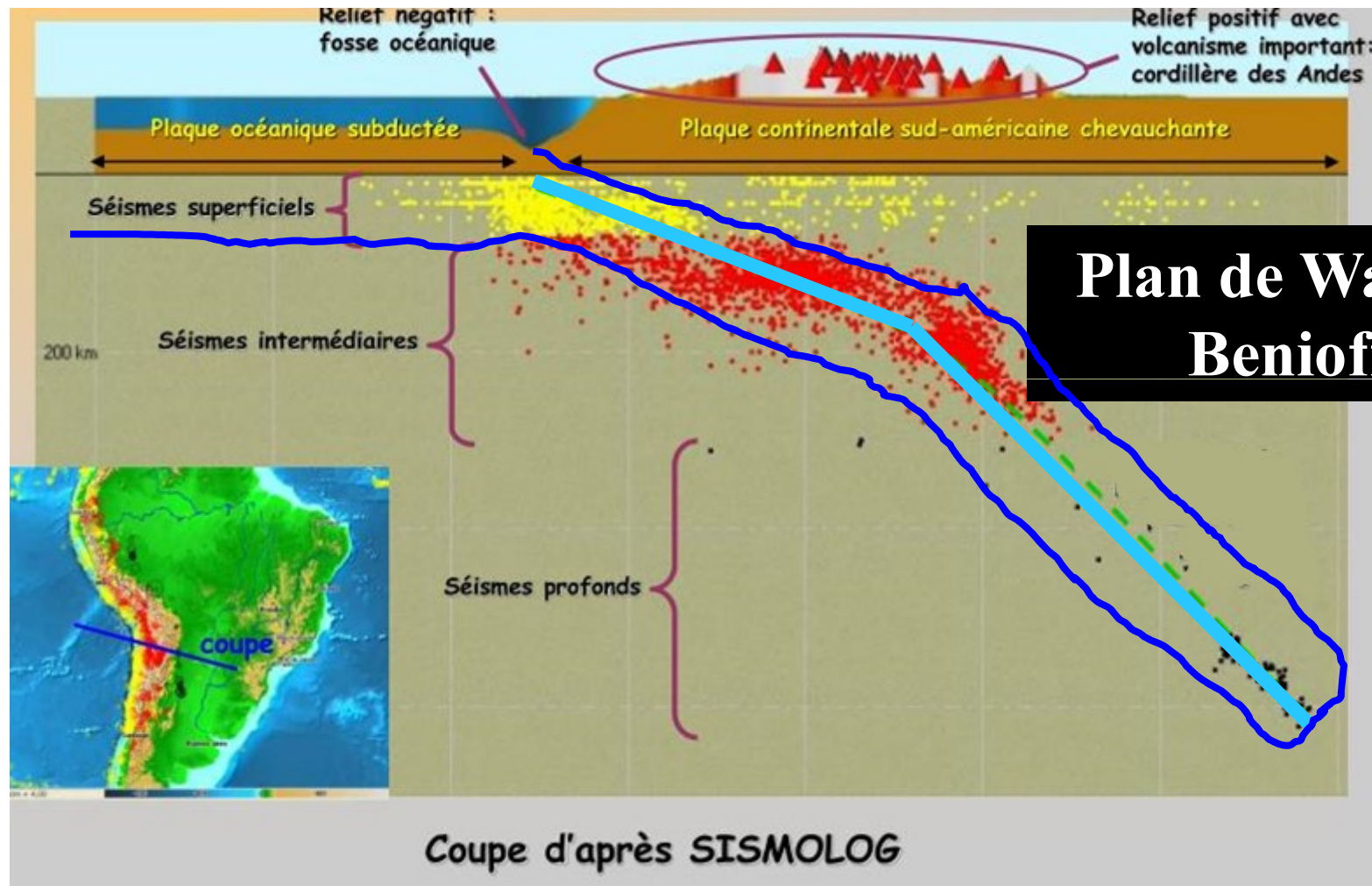
Distinction lithosphère rigide/asthénosphère ductile à partir d'étude de la vitesse des ondes sismiques



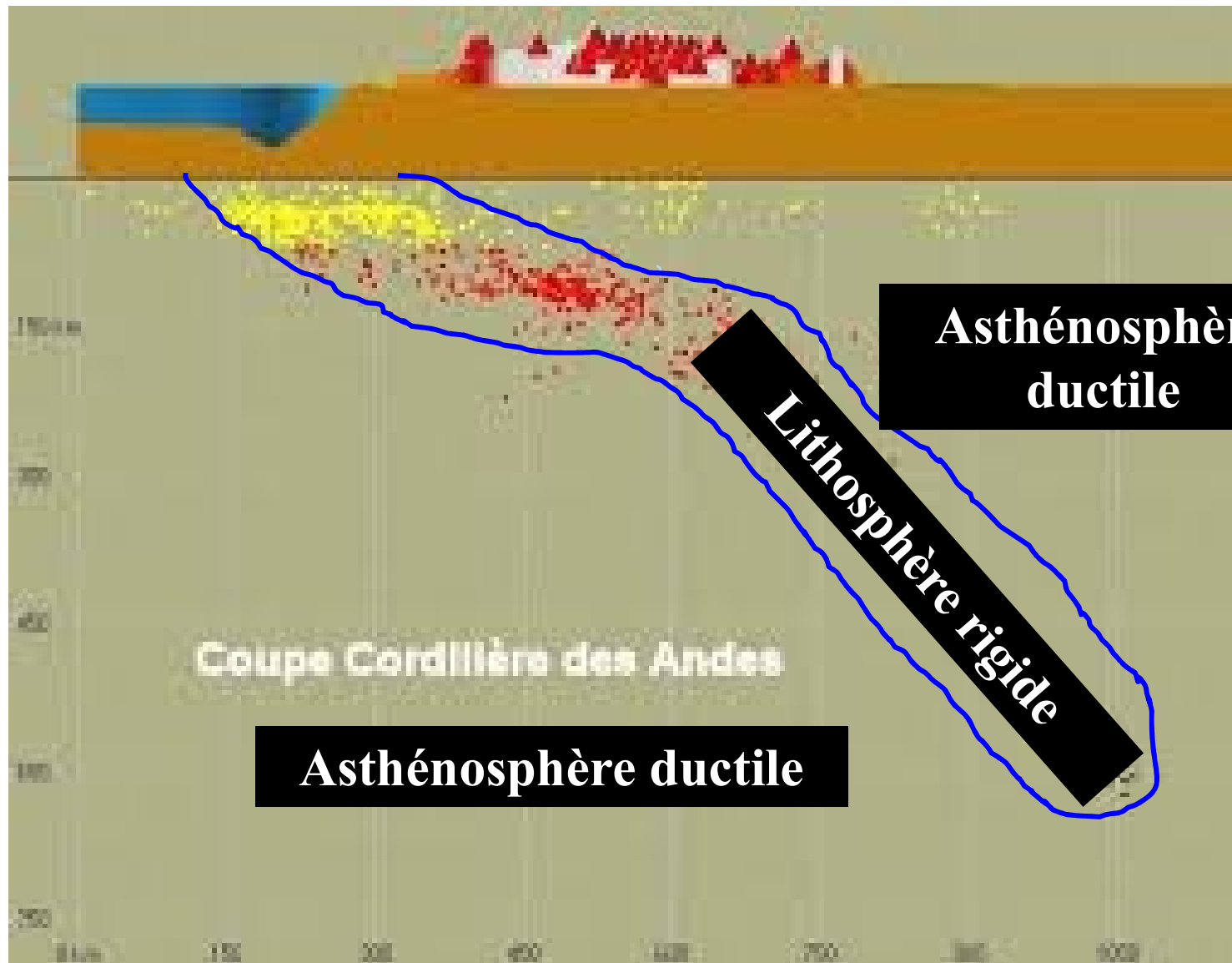
Distinction lithosphère rigide/asthénosphère ductile au niveau des fosses océaniques

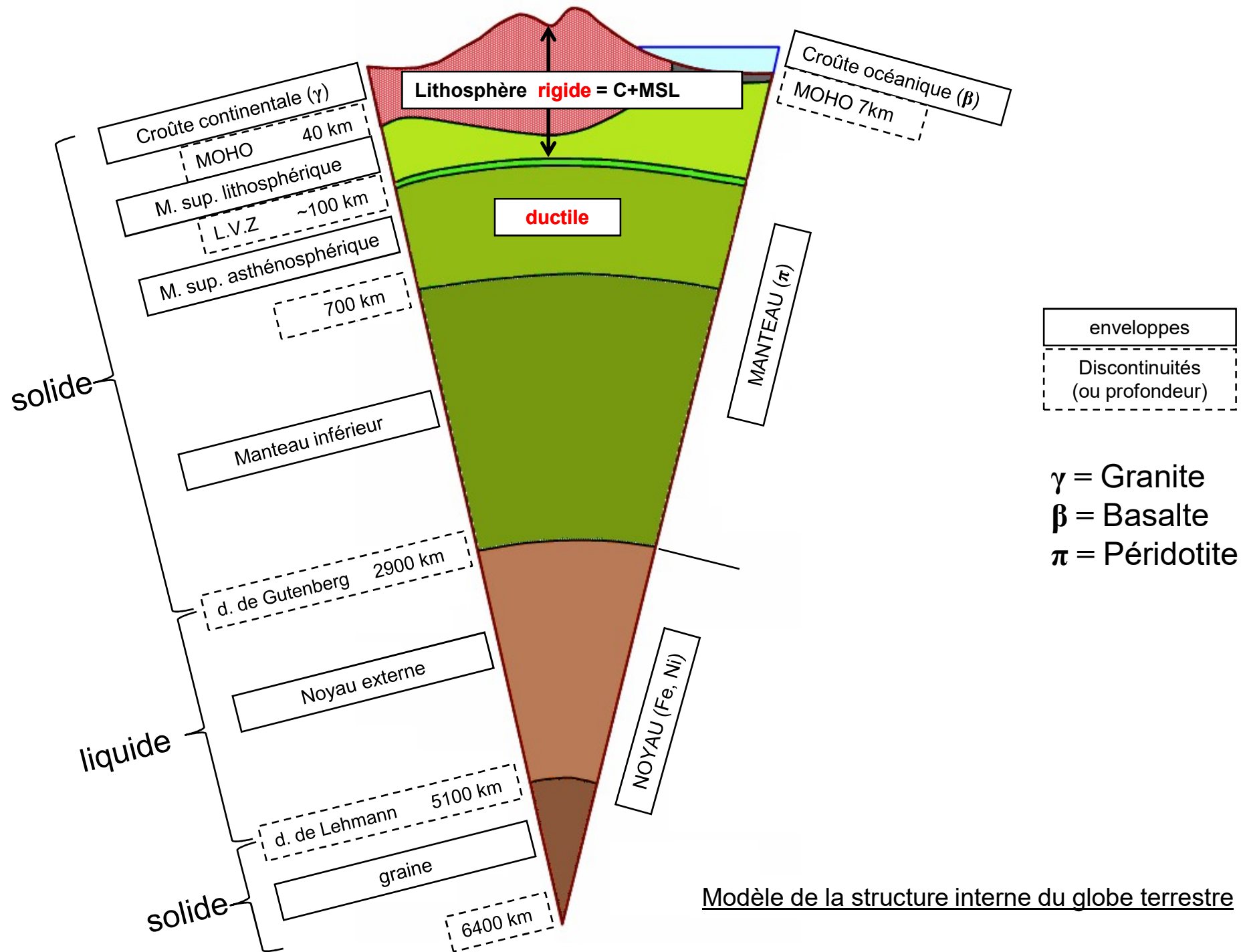


Distinction lithosphère rigide/asthénosphère ductile à partir de la répartition des foyers des séismes au niveau des fosses océaniques



Distinction lithosphère rigide/asthénosphère ductile au niveau des fosses océaniques

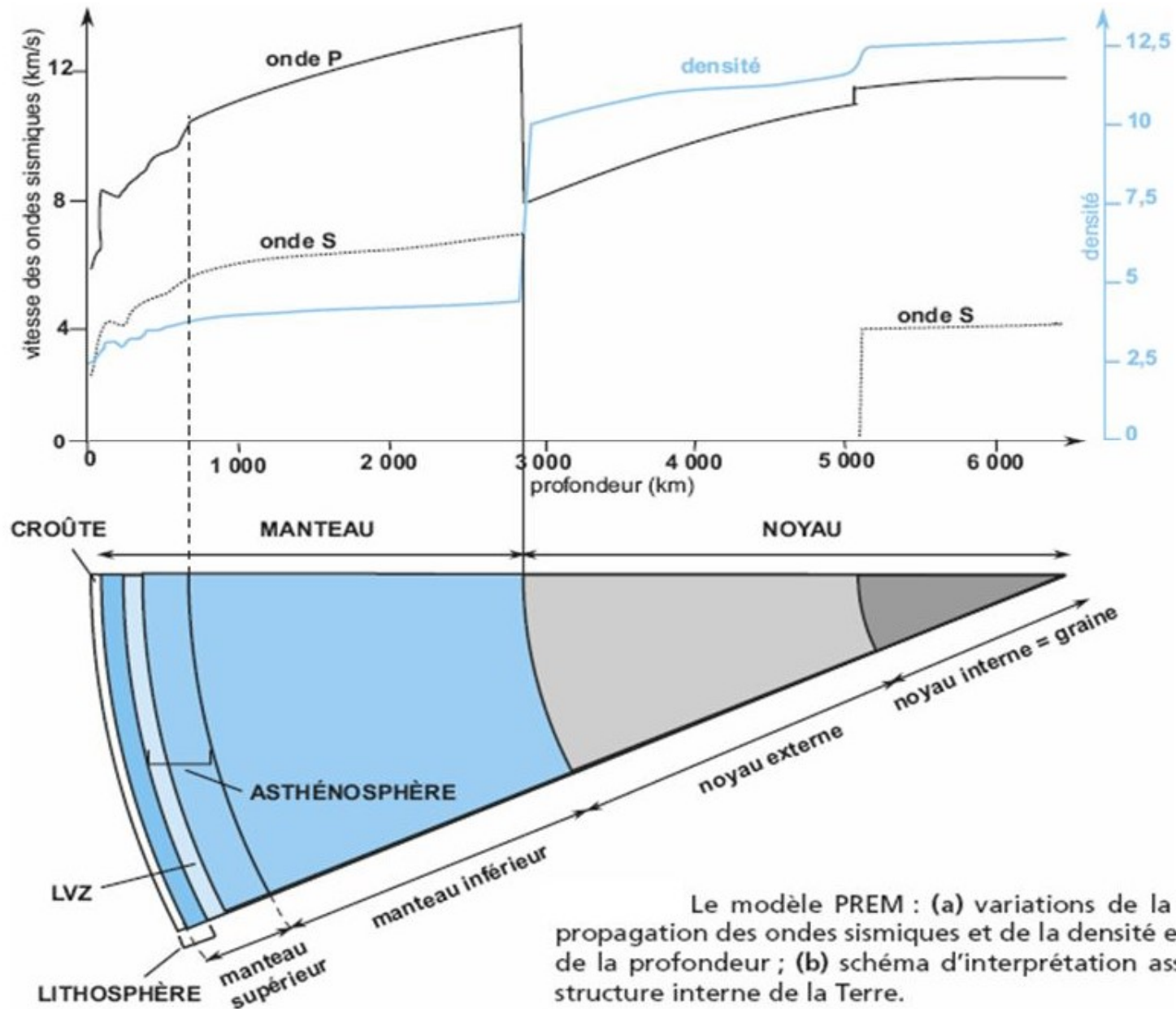




Modèle de la structure interne du globe terrestre

Conclusion

Un modèle sismique de la Terre



Le modèle PREM : (a) variations de la vitesse de propagation des ondes sismiques et de la densité en fonction de la profondeur ; (b) schéma d'interprétation associé de la structure interne de la Terre.

Conclusion

