

*Un des cratères de l'Etna, Sicile*  
*photo ©L. LAFFITTE, 2022*

# CHAPITRE 1 - Structure et composition du globe terrestre

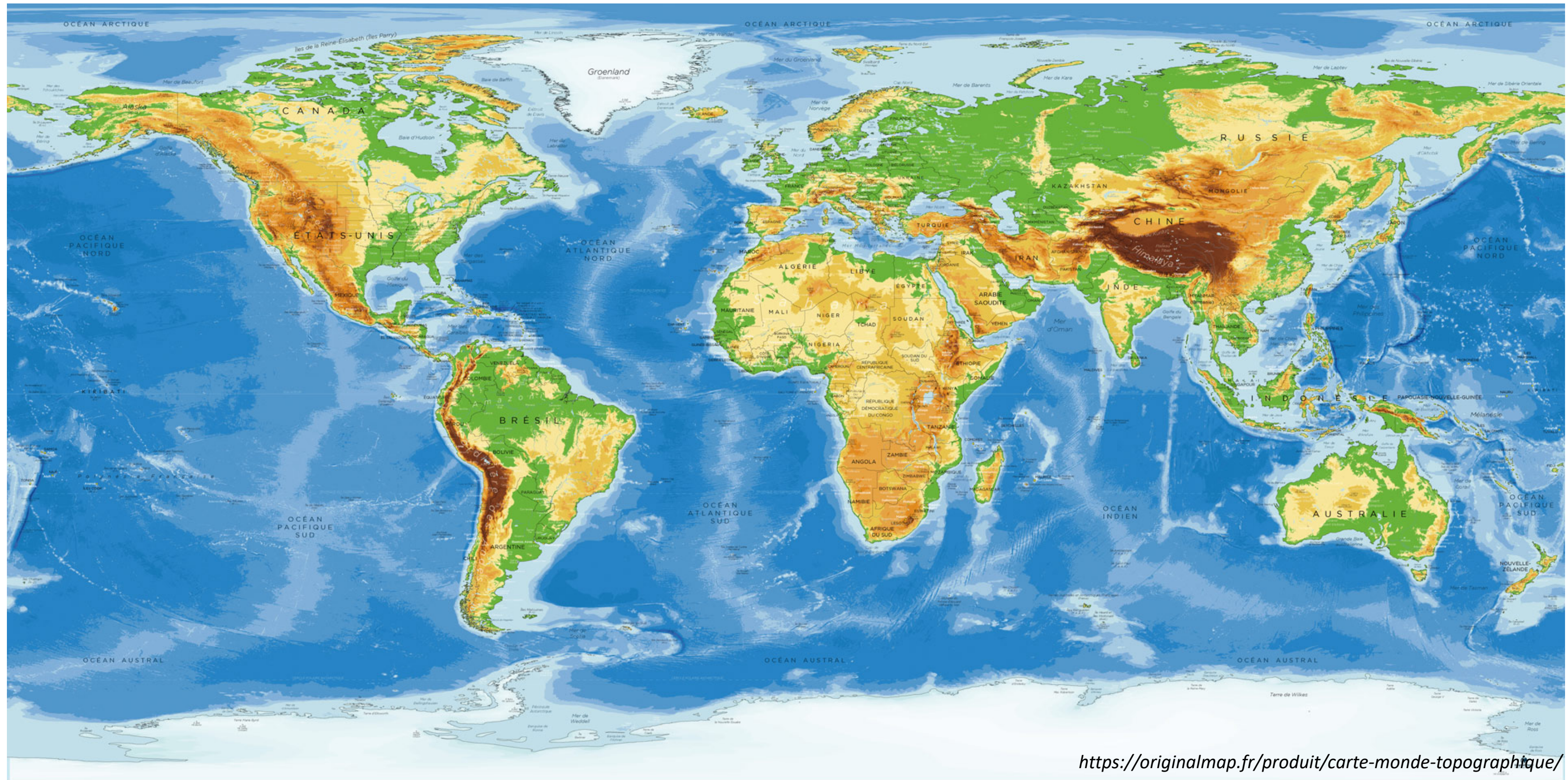


# Introduction - La Terre vue du ciel et en carte

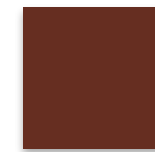
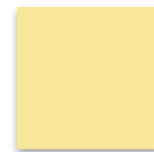


Photographie de la Terre vue de l'espace

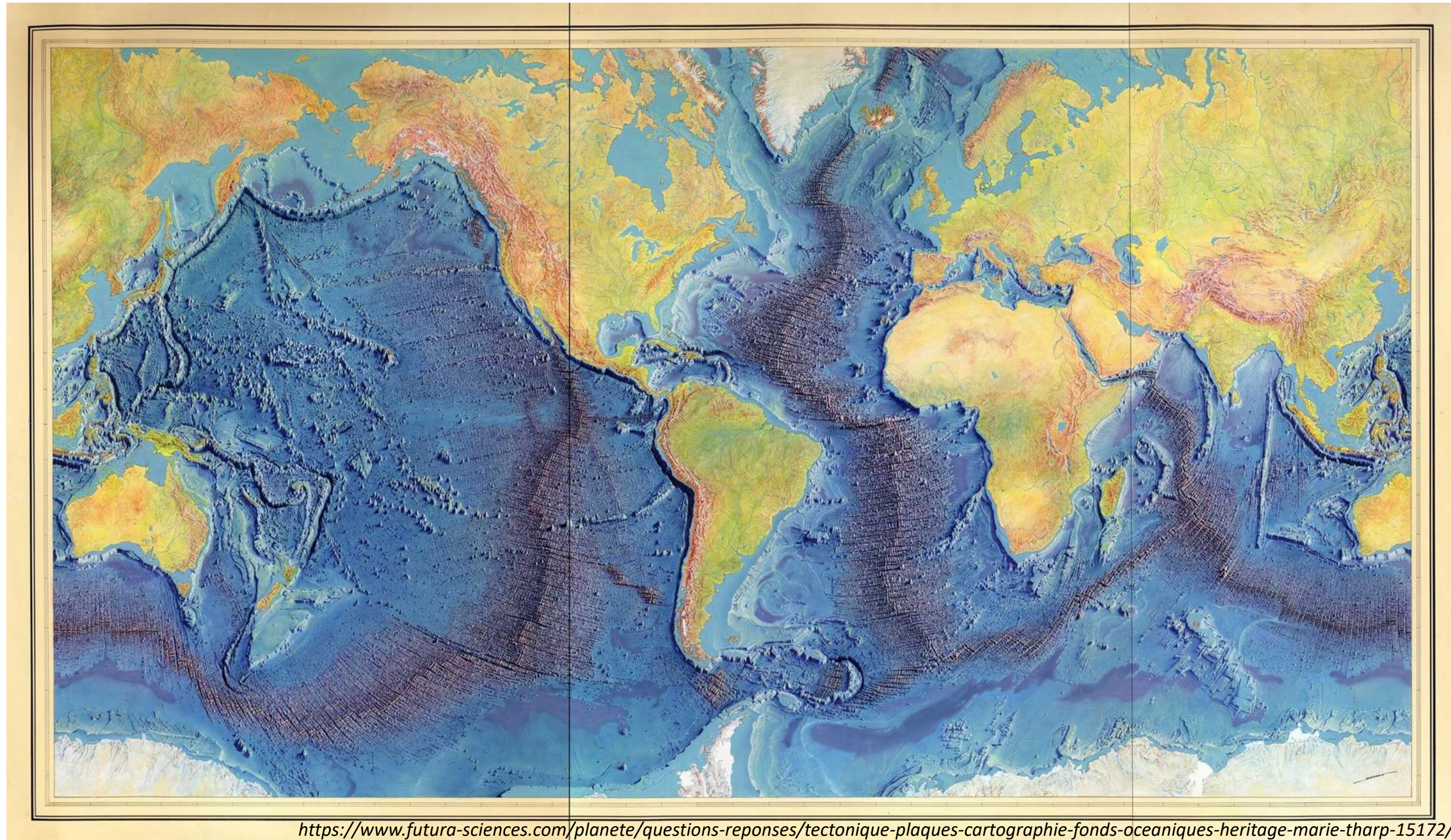
# Introduction-La Terre vue du ciel et en carte



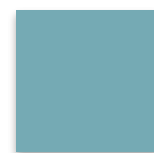
Carte topographique du monde entier



# Introduction - La Terre vue du ciel et en carte



Carte topographique du monde entier



# Introduction - La Terre vue du ciel et en carte

<https://momes.parents.fr/apprendre/matieres-scolaires/sciences/la-structure-interne-de-la-terre-de-lecorce-terrestre-au-noyau-908628>

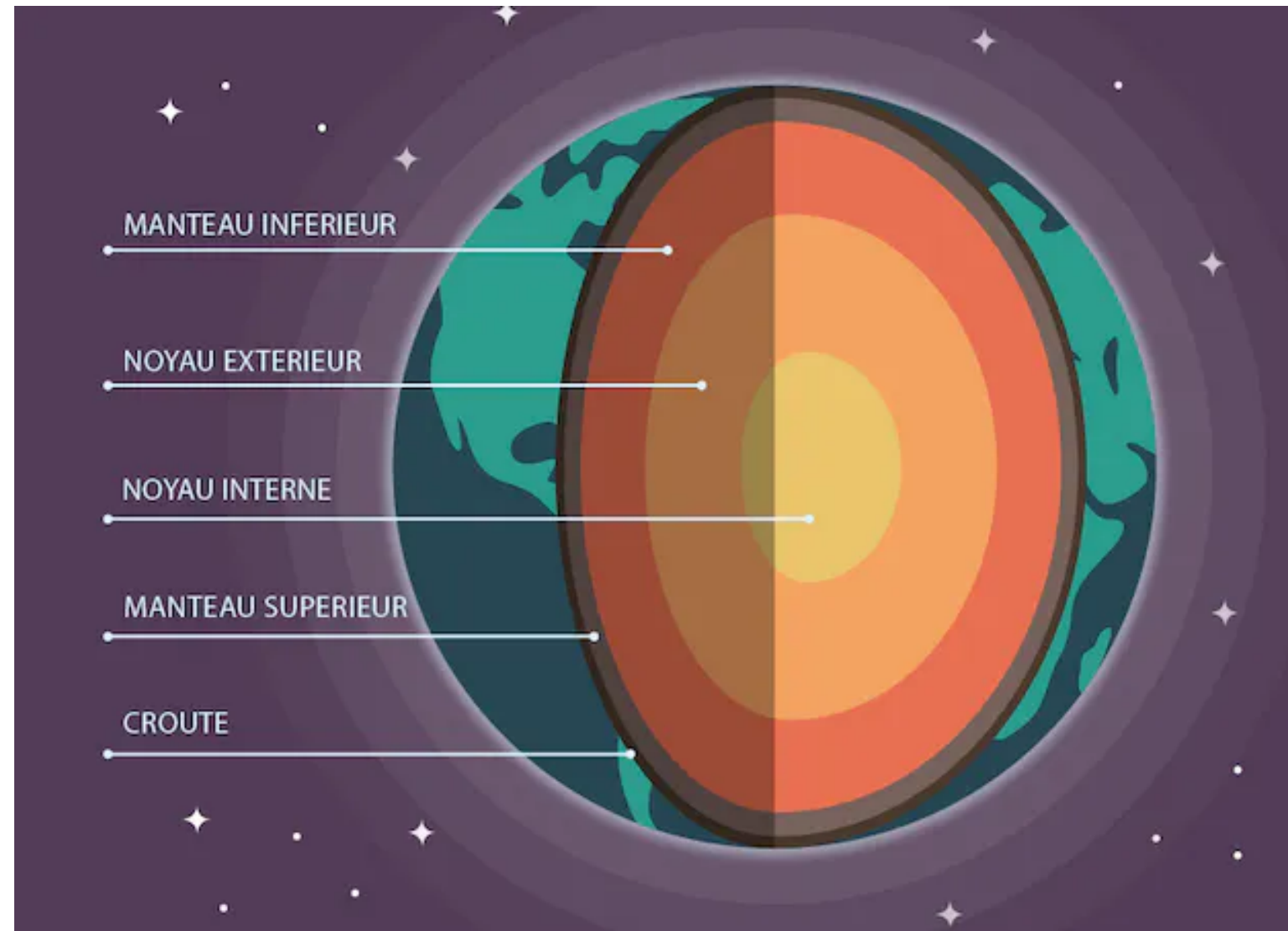


Schéma simplifiée de la structure interne de la Terre (niveau primaire)

<https://scienceetonnante.com/2017/10/17/voyage-au-centre-de-la-terre-video/>

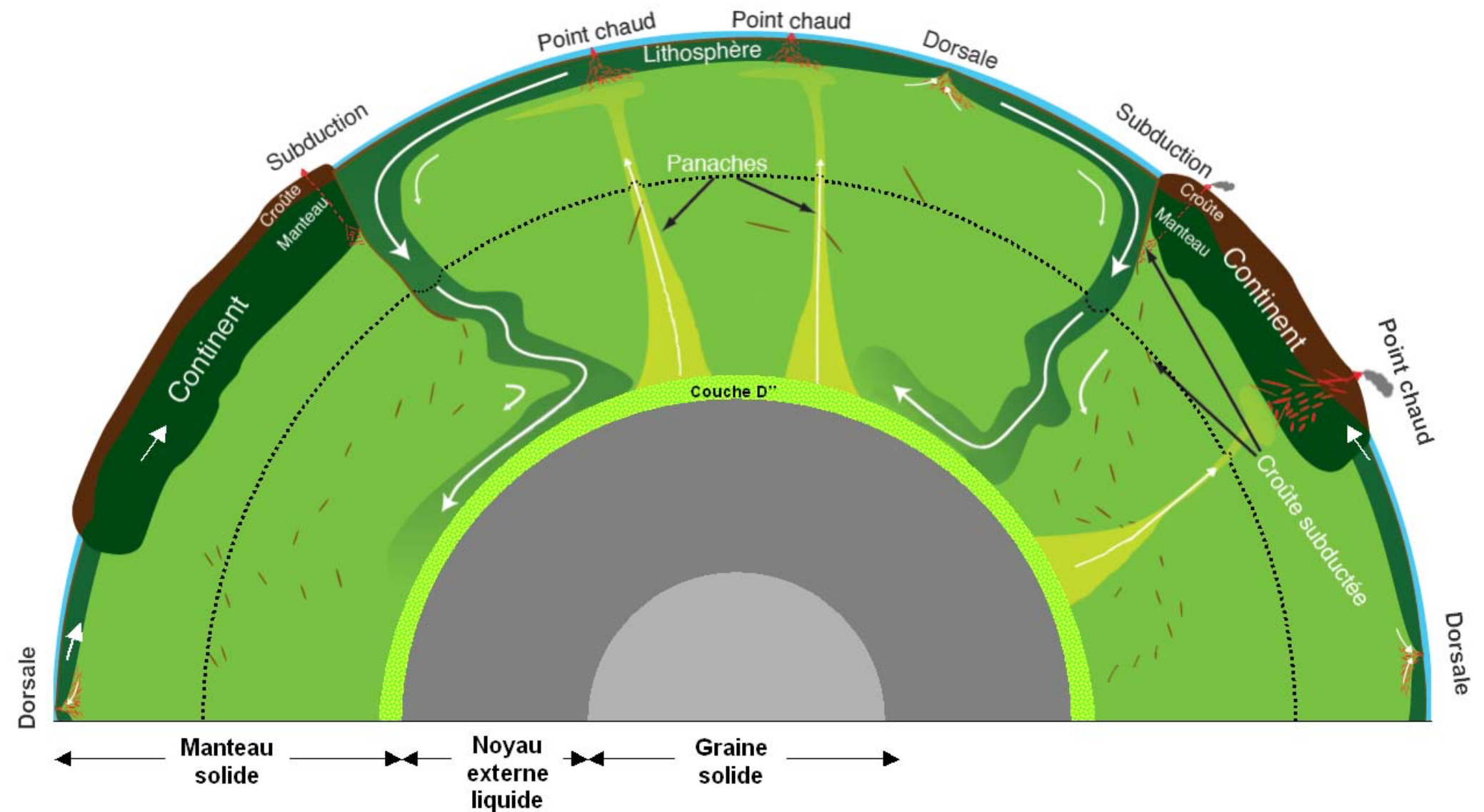


Schéma élaborée de la structure interne de la Terre (niveau lycée-université)

*Problématique :*  
*Comment peut-on reconstituer la structure et la composition du globe terrestre à partir de nos observations géologiques et physiques ?*

# Plan du cours

## I) La dualité océans / continents

- A) Un peu d'histoire
- B) Etude de la croûte océanique
- C) Etude de la croûte continentale

## II) L'apport des données sismiques au modèle

- A) Différents modèles de la Terre
- B) Séismes et ondes sismiques
- C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

## III) L'apport des données thermiques au modèle

- A) Le gradient géothermique terrestre
- B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
- C) Le principe de la tomographie sismique

# Plan du cours

## I) La dualité océans / continents

### A) Un peu d'histoire

B) Etude de la croûte océanique

C) Etude de la croûte continentale

## II) L'apport des données sismiques au modèle

A) Différents modèles de la Terre

B) Séismes et ondes sismiques

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

## III) L'apport des données thermiques au modèle

A) Le gradient géothermique terrestre

B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

C) Le principe de la tomographie sismique

# I) La dualité océans / continents

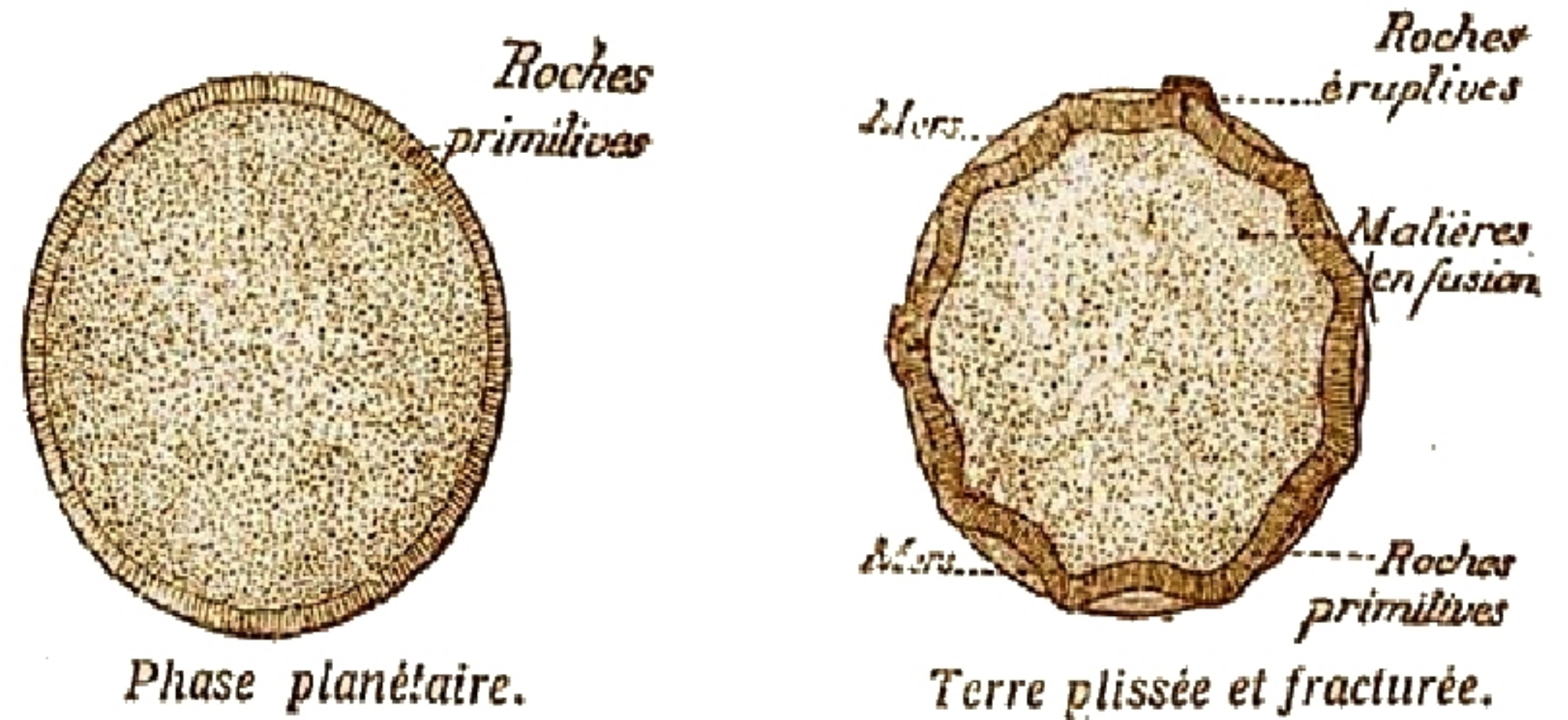
## A) Un peu d'histoire

<http://svtmarcq.over-blog.com/article-naissance-d-une-theorie-la-derive-des-continents-1ere-s-91041389.html>



Eduard Suess (1831-1914)

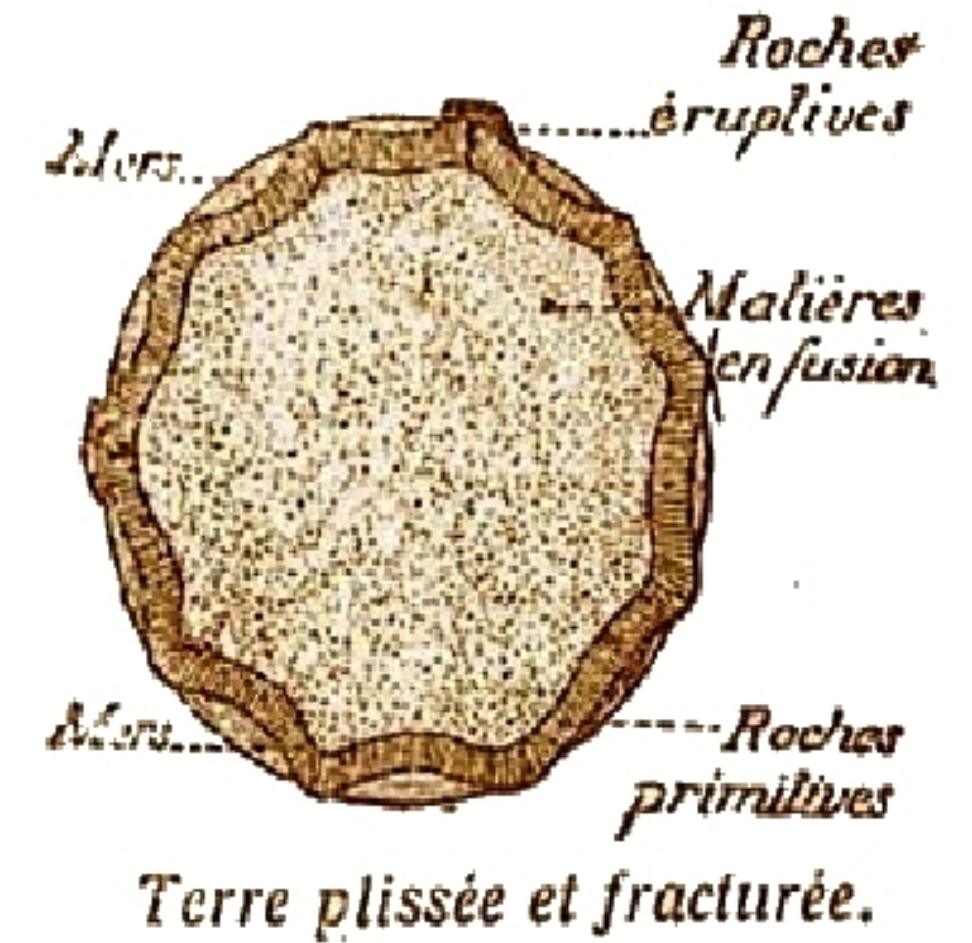
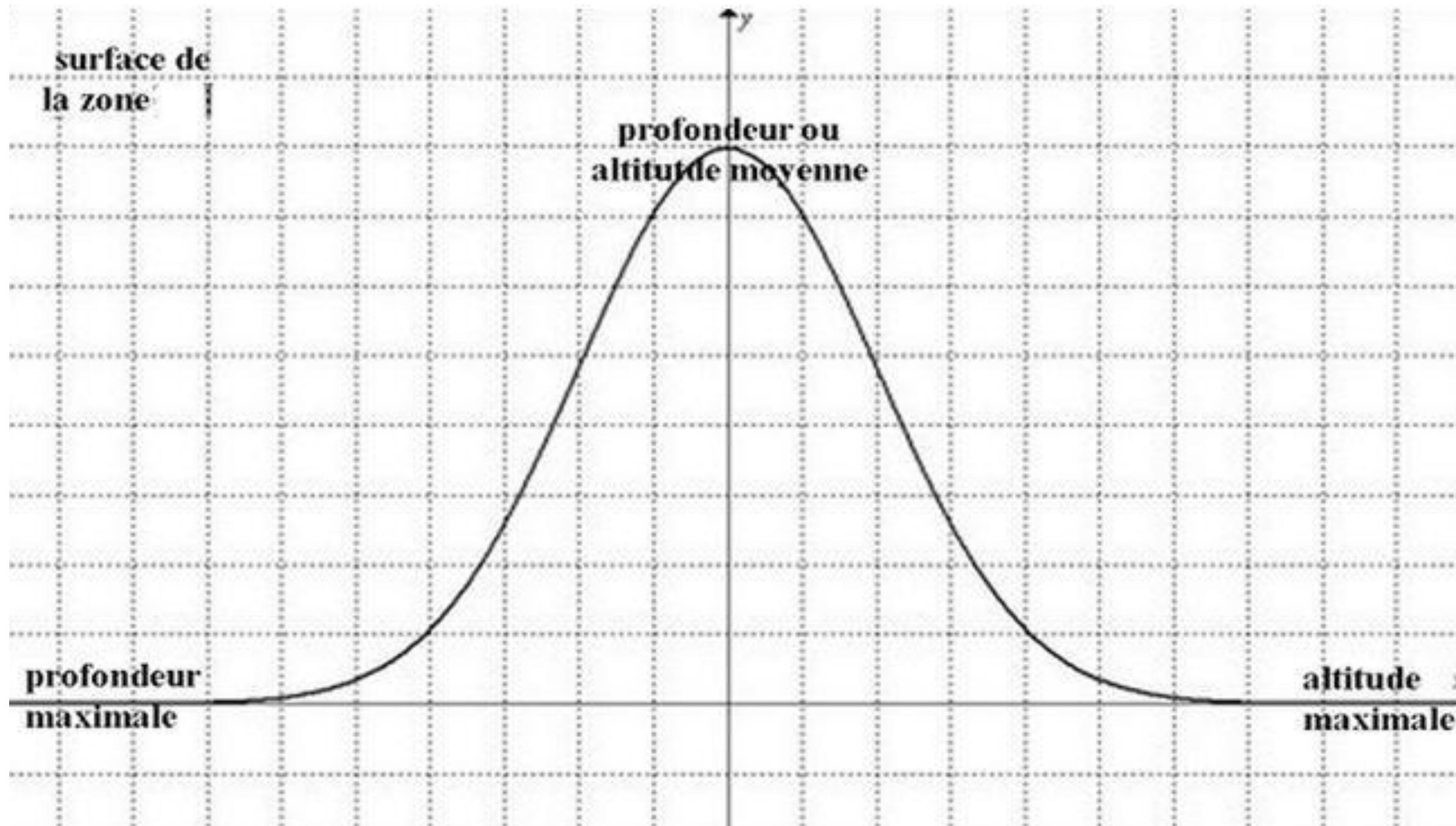
Théorie fixiste de la contraction thermique



# I) La dualité océans / continents

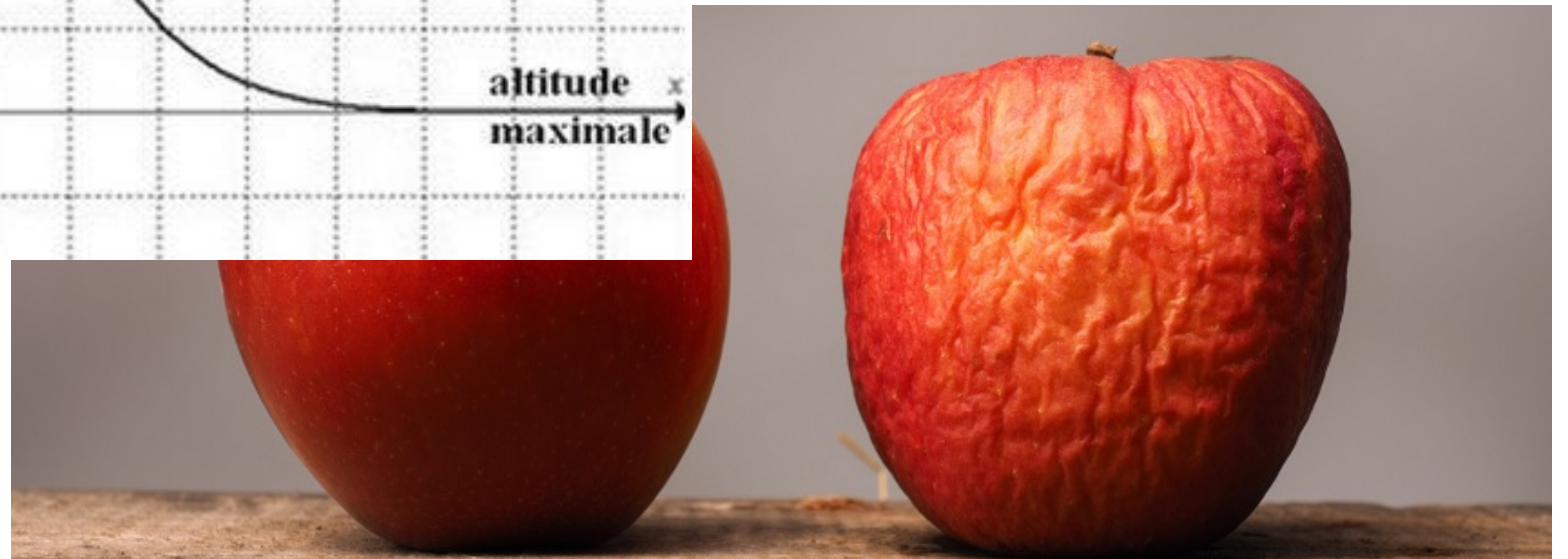
## A) Un peu d'histoire

<http://svtmarcq.over-blog.com/article-naissance-d-une-theorie-la-derive-des-continent-1ere-s-91041389.html>



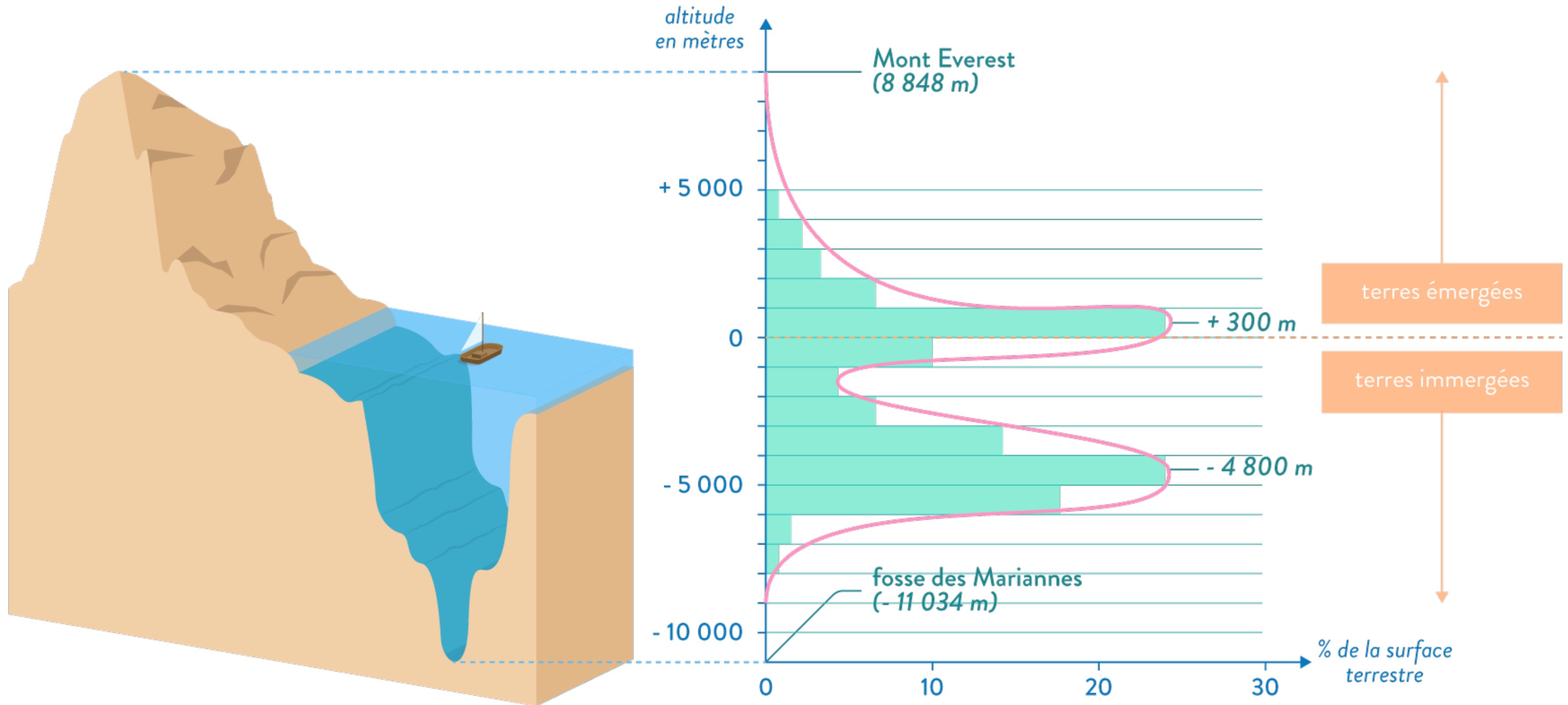
Eduard Suess (1831-1914)

Théorie fixiste de la contraction thermique



# I) La dualité océans / continents

## A) Un peu d'histoire



# Plan du cours

## I) La dualité océans / continents

A) Un peu d'histoire

B) Etude de la croute océanique

C) Etude de la croute continentale

## II) L'apport des données sismiques au modèle

A) Différents modèles de la Terre

B) Séismes et ondes sismiques

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

## III) L'apport des données thermiques au modèle

A) Le gradient géothermique terrestre

B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

C) Le principe de la tomographie sismique

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croûte océanique

Aide pour la prise de note : Complète le tableau ci-dessous en plus de la prise de note

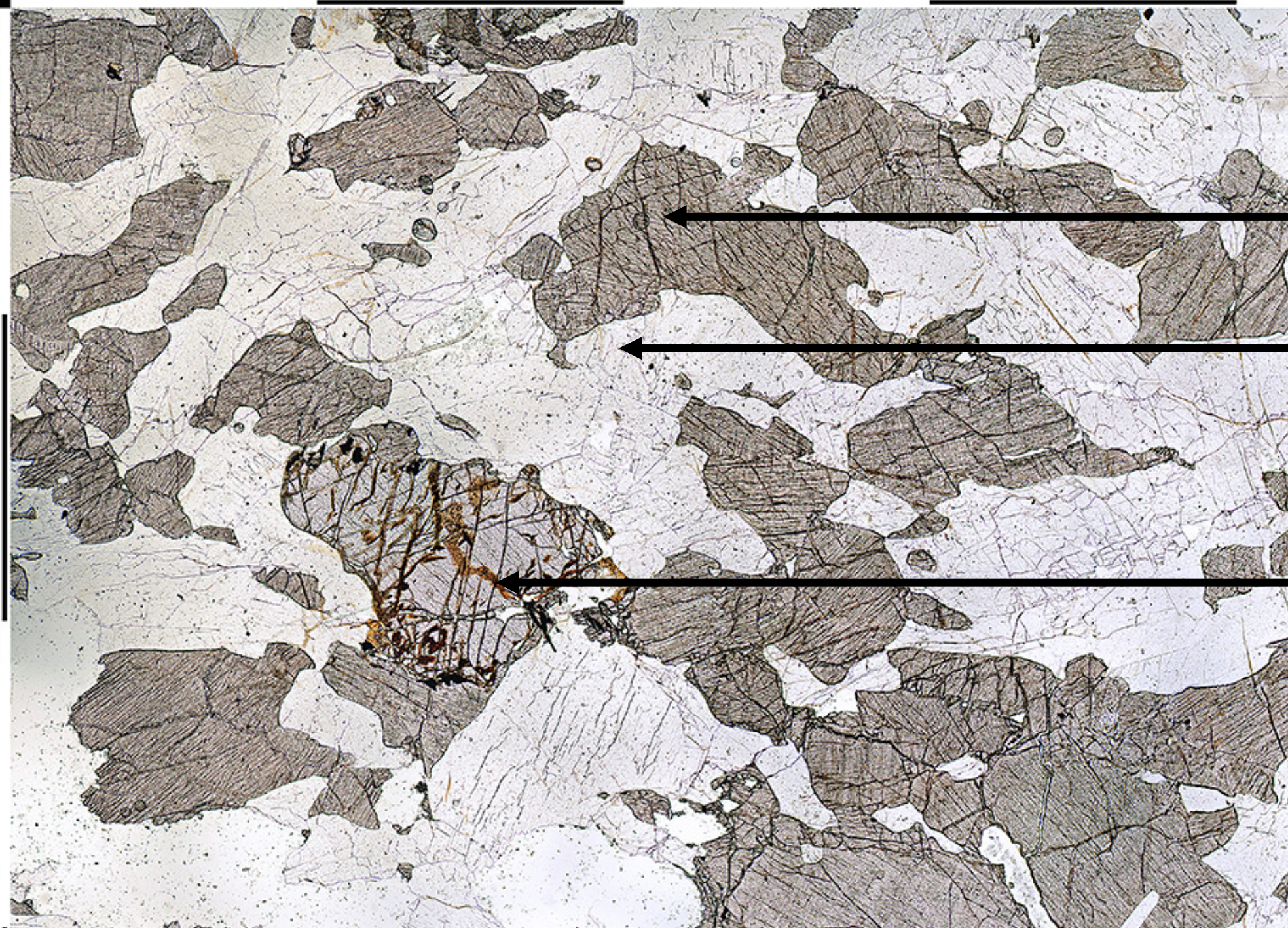
	Croûte océanique		Croûte continentale
Minéraux principaux			
Texture			
Type de magmatisme			
Vitesse de refroidissement du magma			

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



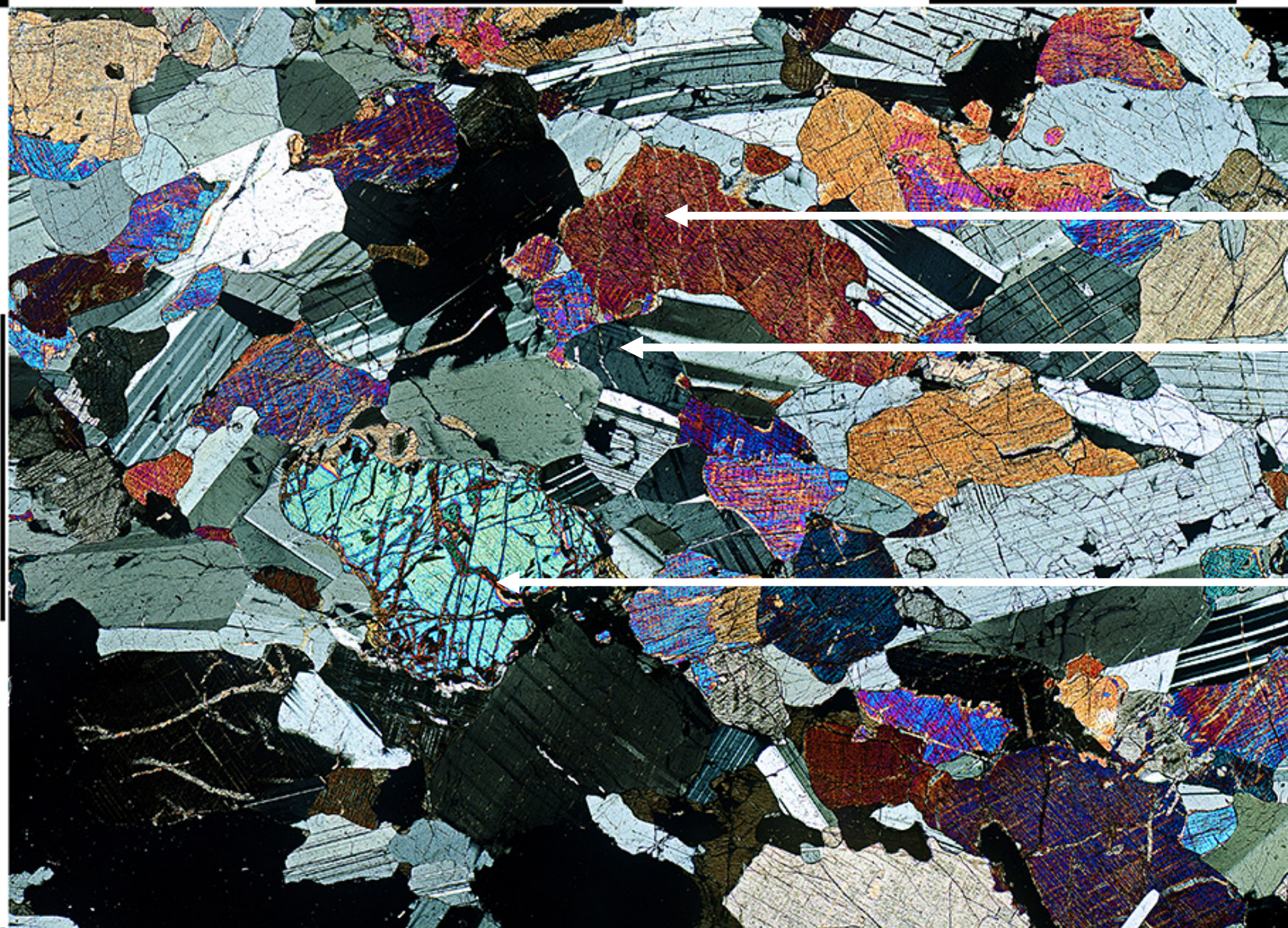
Lame mince d'une roche de la croute  
océanique observée en **LPNA** (lumière  
polarisée non analysée) photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



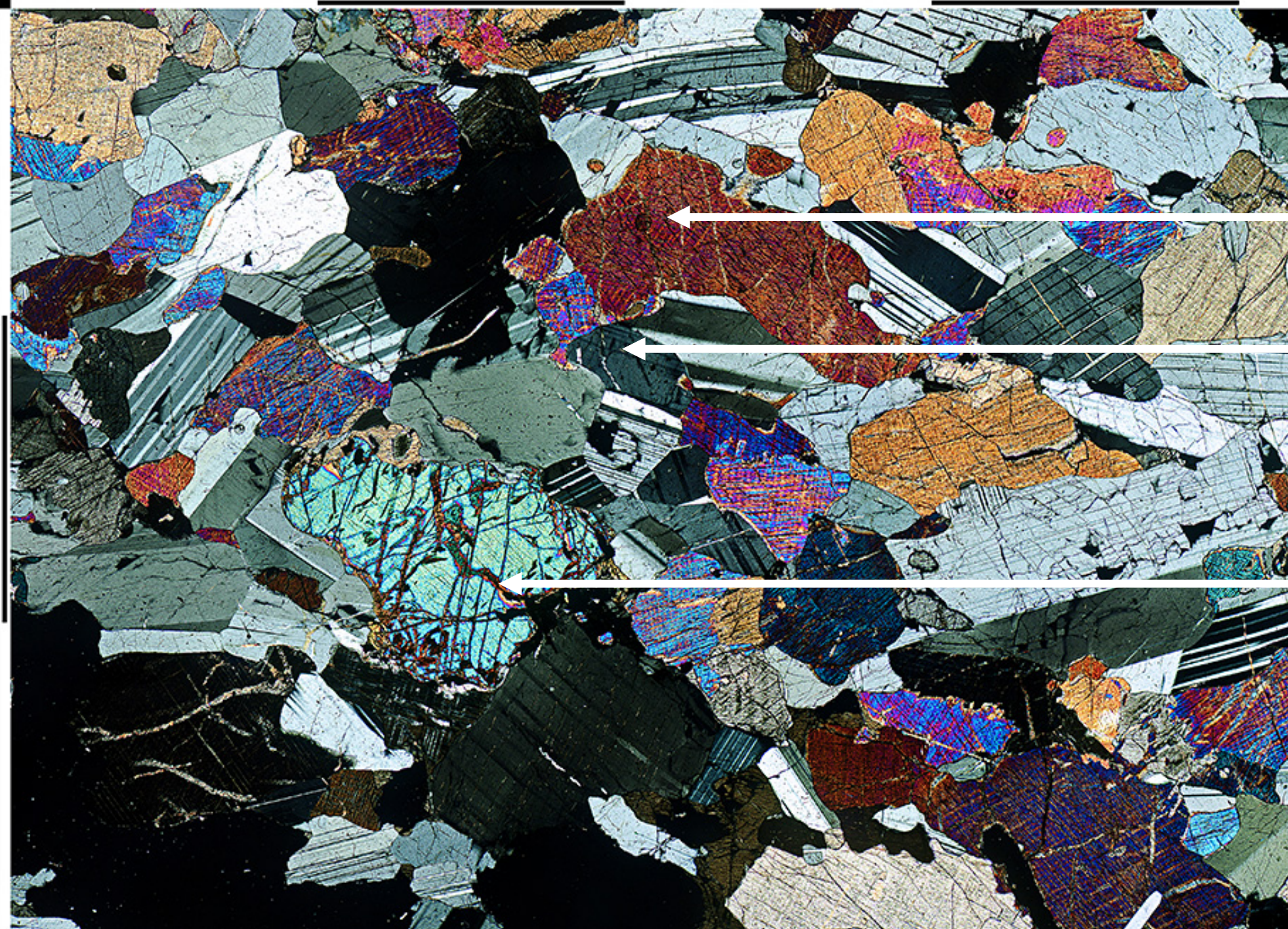
Lame mince d'une roche de la croute  
océanique observée en **LPA** (lumière  
polarisée analysée) photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



Pyroxène

Feldspath plagioclase

Olivine

Lame mince d'un **gabbro** observée en **LPA**  
(lumière polarisée analysée)

photo ©F. Labaune

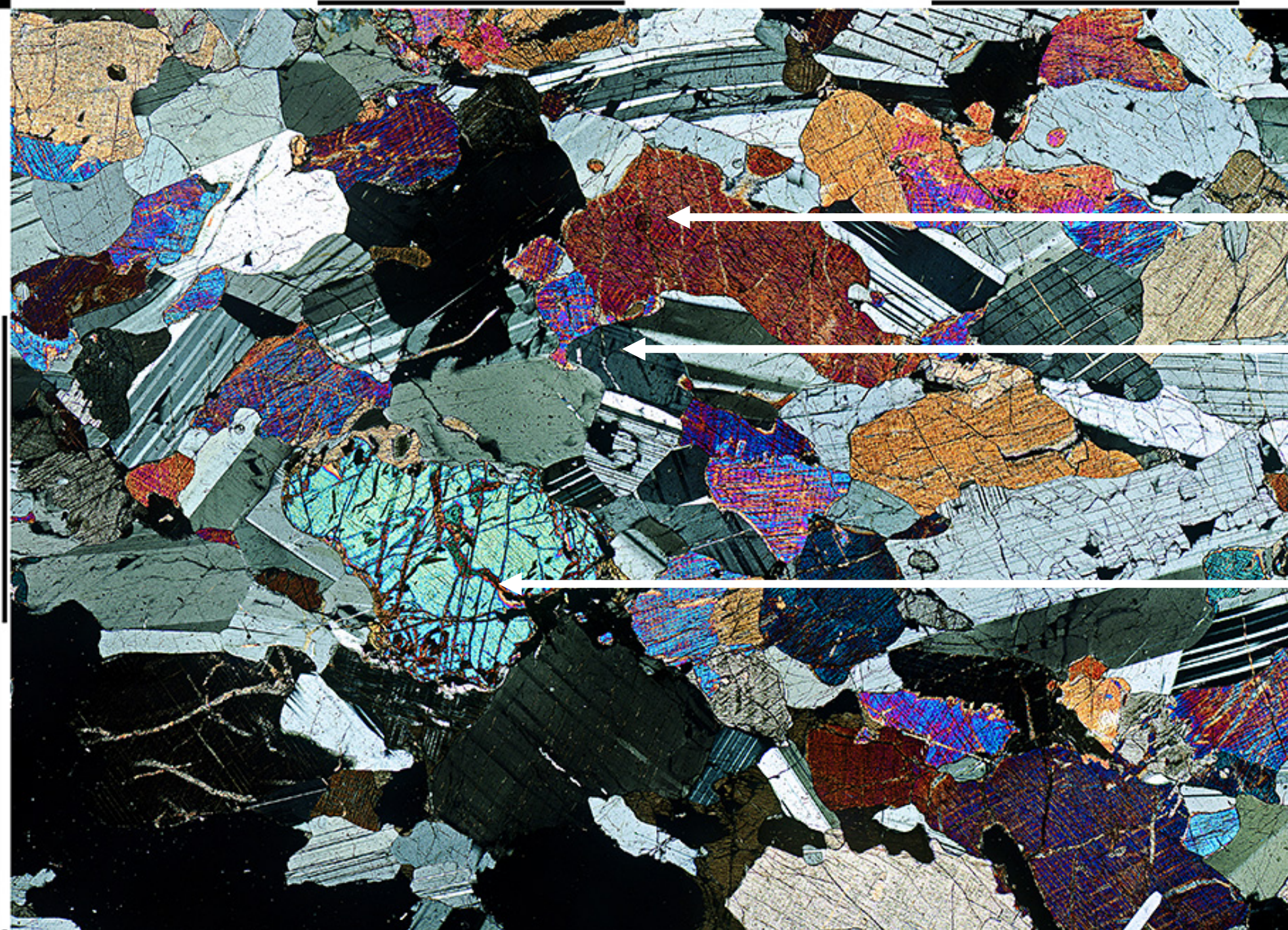
# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique

#### GABBRO



Pyroxène

Feldpath plagioclase

Olivine

Densité : 3

Texture : grenue

Type de roche :

magmatique

plutonique

(refroidissement lent

et en profondeur)

Lame mince d'un gabbro observée en LPA

(lumière polarisée analysée)

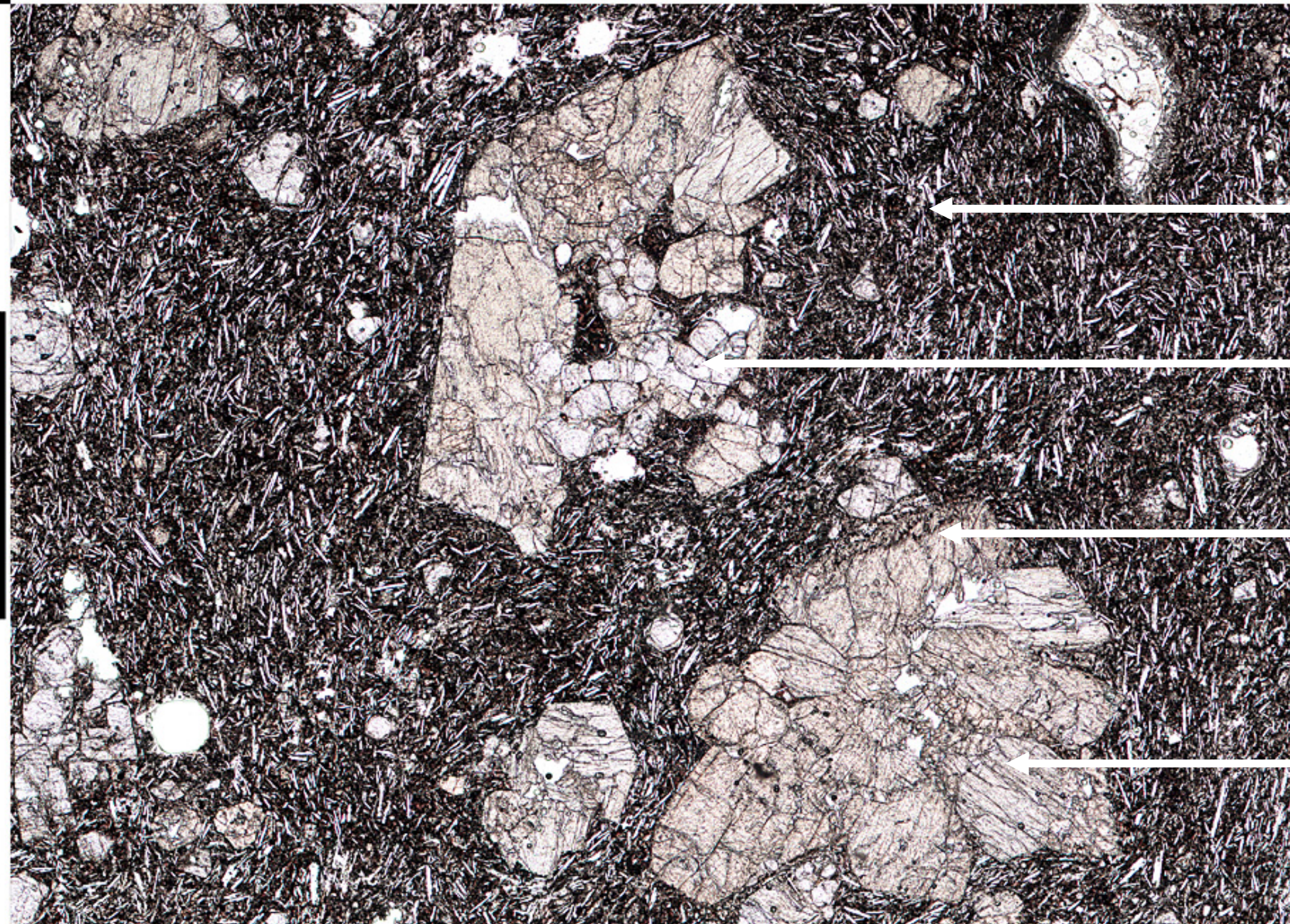
photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



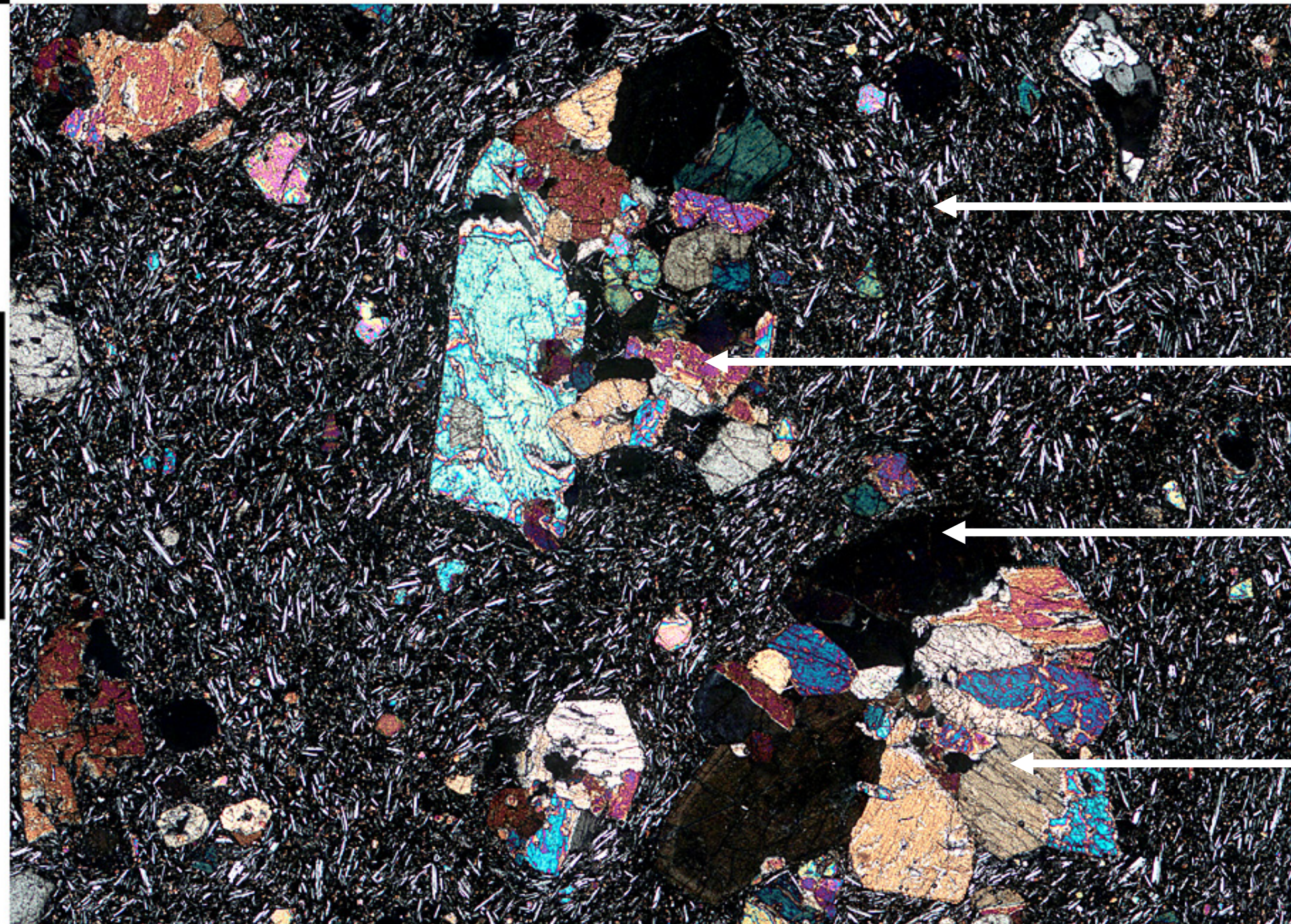
Lame mince d'une roche de la croute  
océanique observée en **LPNA** (lumière  
polarisée non analysée) photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



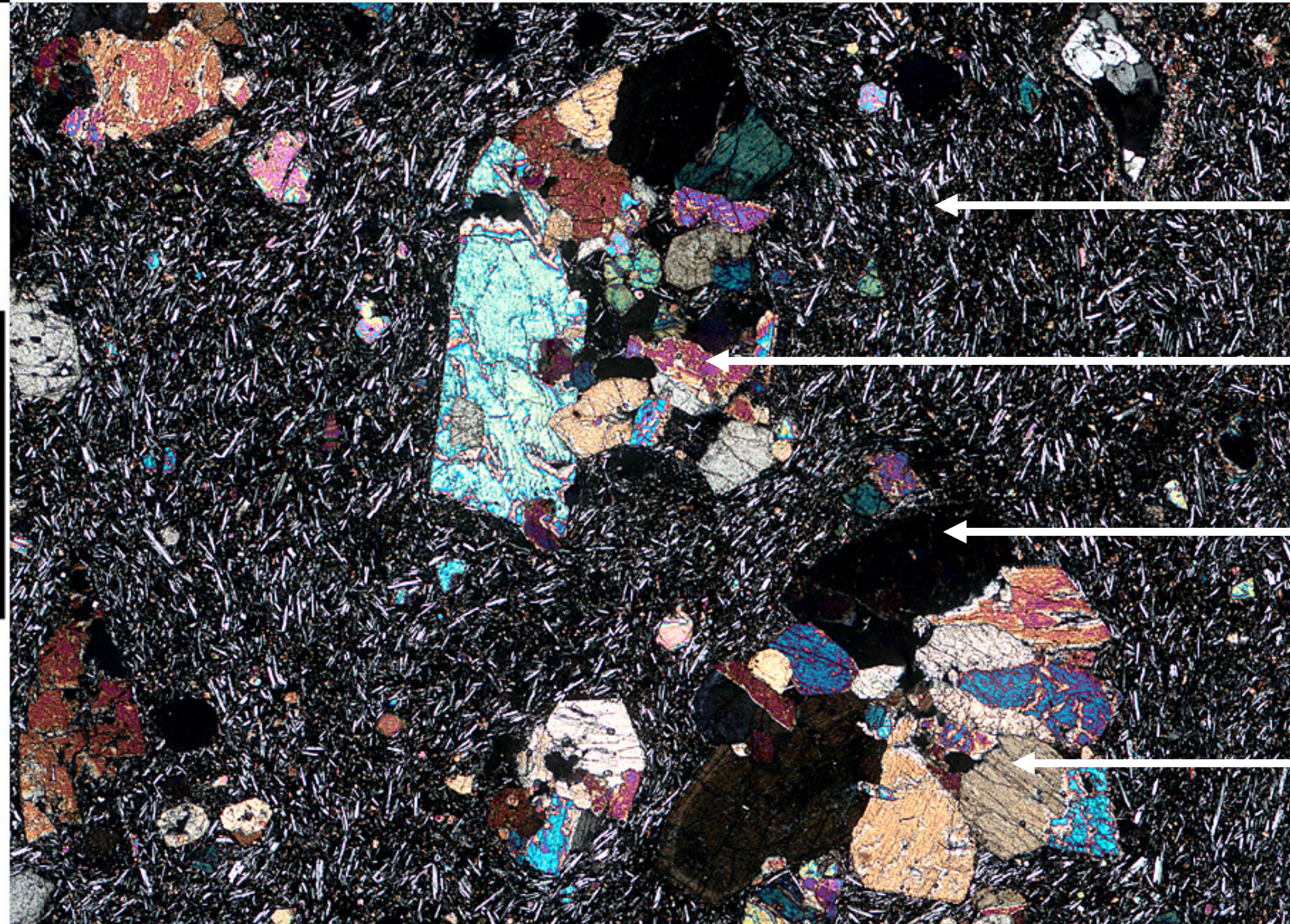
Lame mince d'une roche de la croute  
océanique observée en **LPA** (lumière  
polarisée analysée) photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique



Microlite  
(Feldpath plagioclase)

Olivine

Verre volcanique

Pyroxène

Lame mince d'un **basalte** observée en **LPA**  
(lumière polarisée analysée)

photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

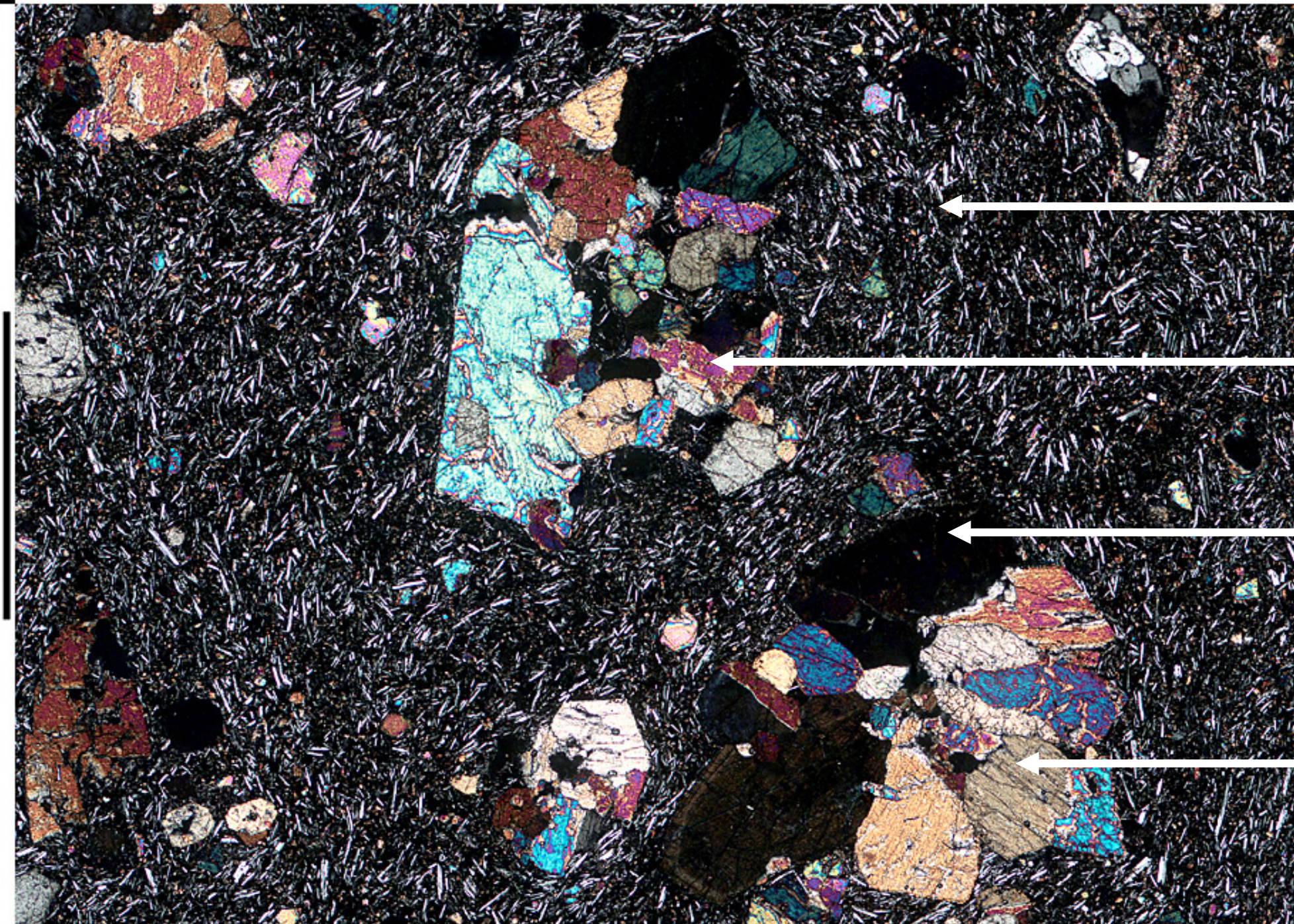
## B) Etude de la croute océanique

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute océanique

#### **BASALTE**

- **Densité : 2,9**
- 
- 
- **Texture : microlitique**
- 
- **Type de roche :**
- Magmatique
- volcanique
- (refroidissement
- rapide et en
- profondeur)



Microlite  
(Feldspathic plagioclase)

Olivine

Verre volcanique

Pyroxène

Lame mince d'un **basalte** observée en **LPA**  
(lumière polarisée analysée)

photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

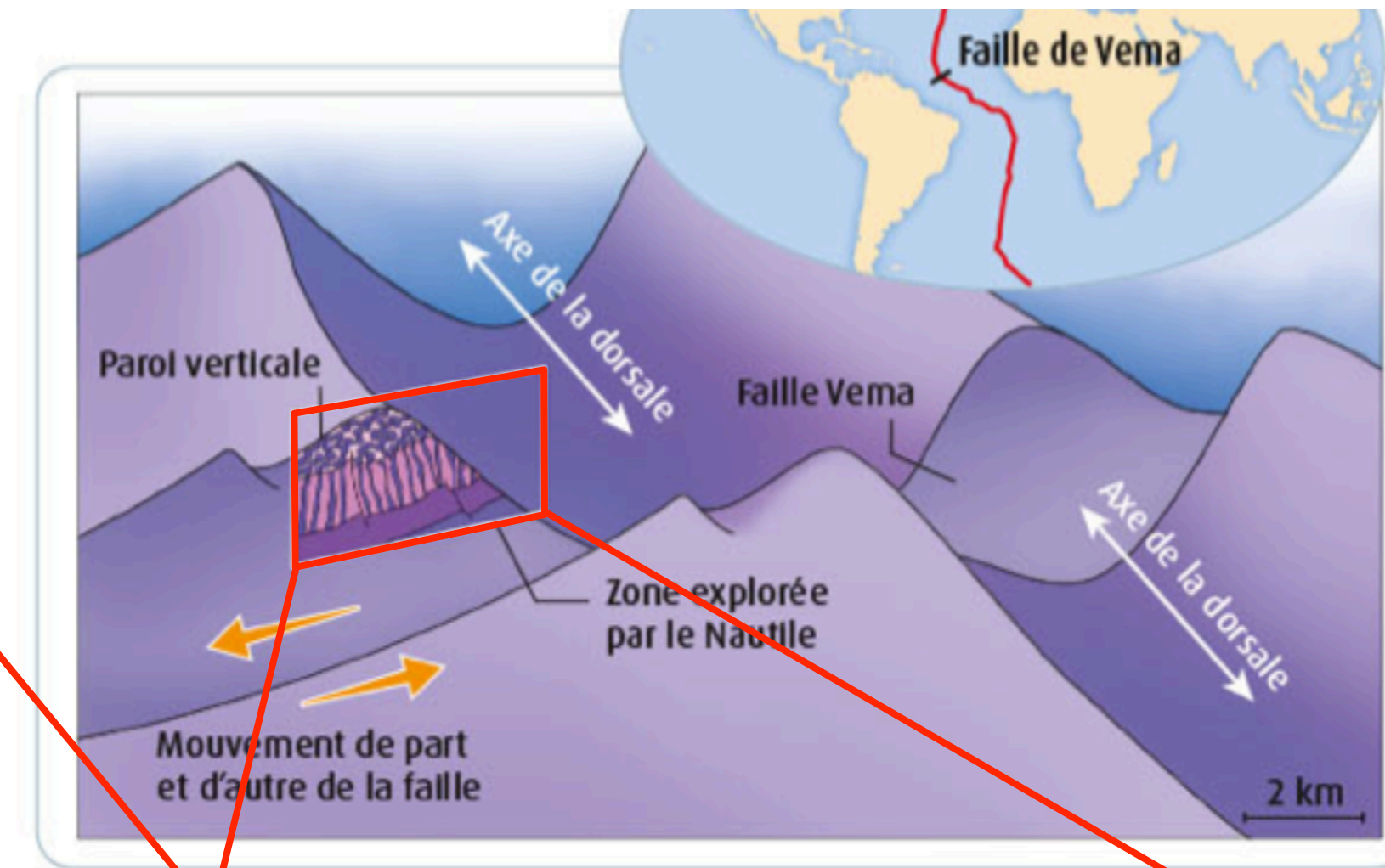
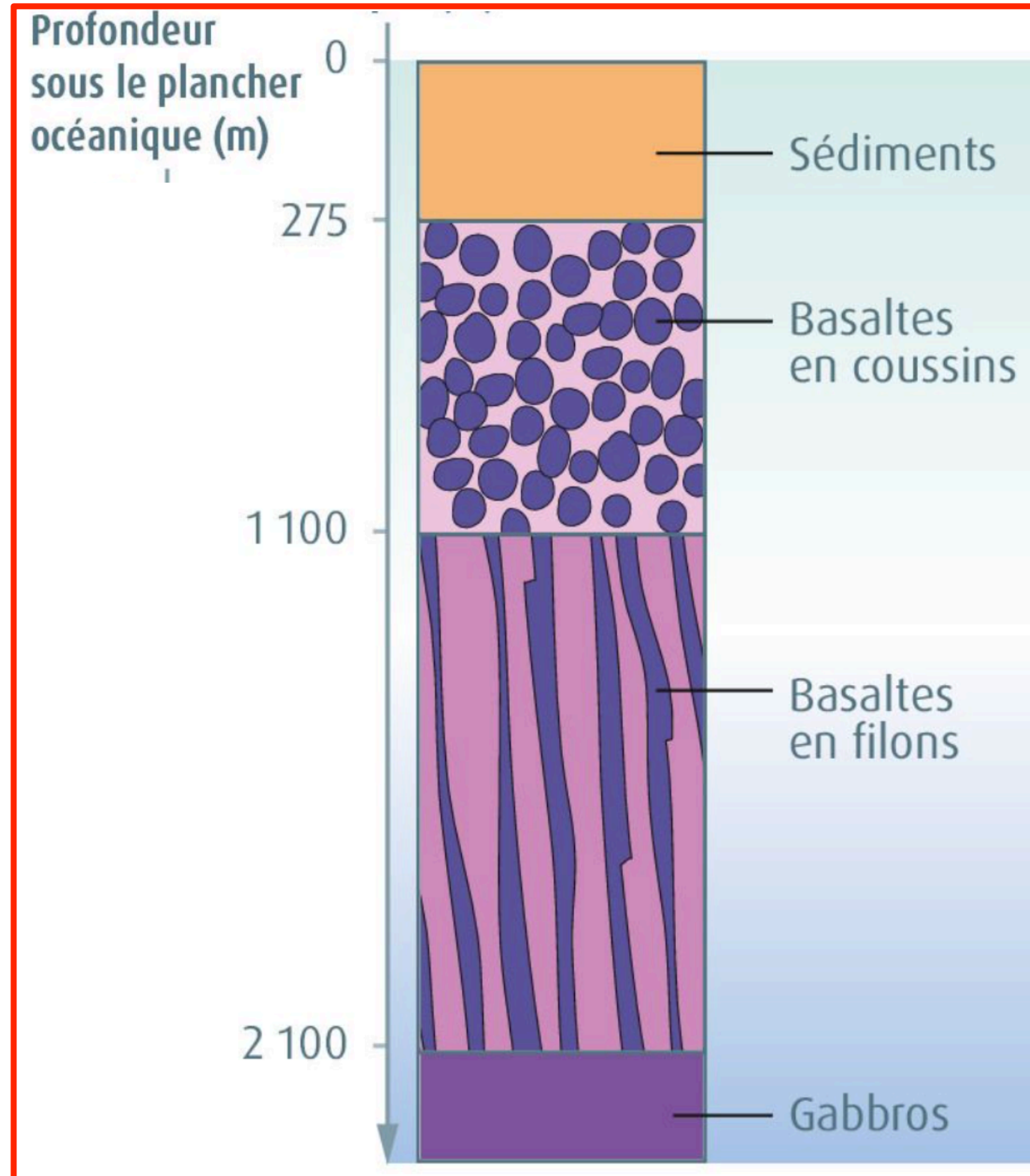
## B) Etude de la croute océanique

cf TP 1 - La nature de la croute terrestre

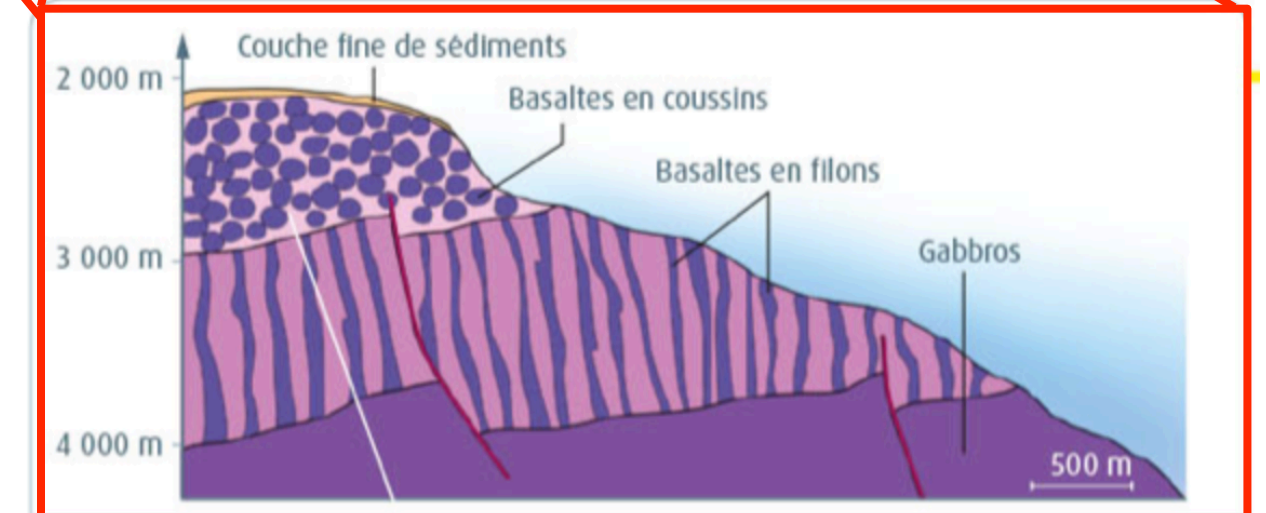
### Une roche de la croute continentale

Profondeur  
maximale :

6 à 8 km



ZOOM



# Plan du cours

## I) La dualité océans / continents

- A) Un peu d'histoire
- B) Etude de la croûte océanique
- C) Etude de la croûte continentale

## II) L'apport des données sismiques au modèle

- A) Différents modèles de la Terre
- B) Séismes et ondes sismiques
- C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

## III) L'apport des données thermiques au modèle

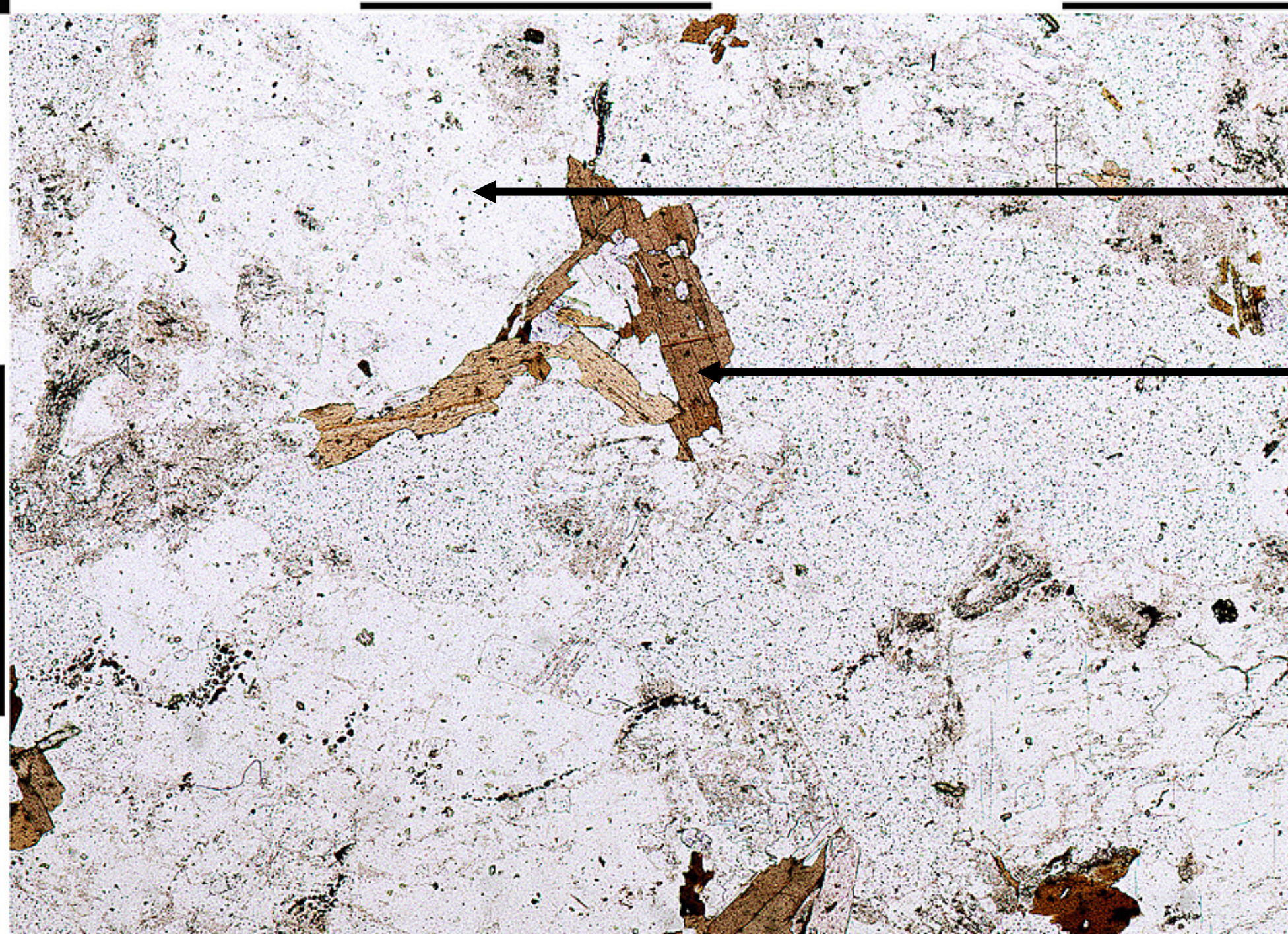
- A) Le gradient géothermique terrestre
- B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
- C) Le principe de la tomographie sismique

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croute continentale

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute continentale



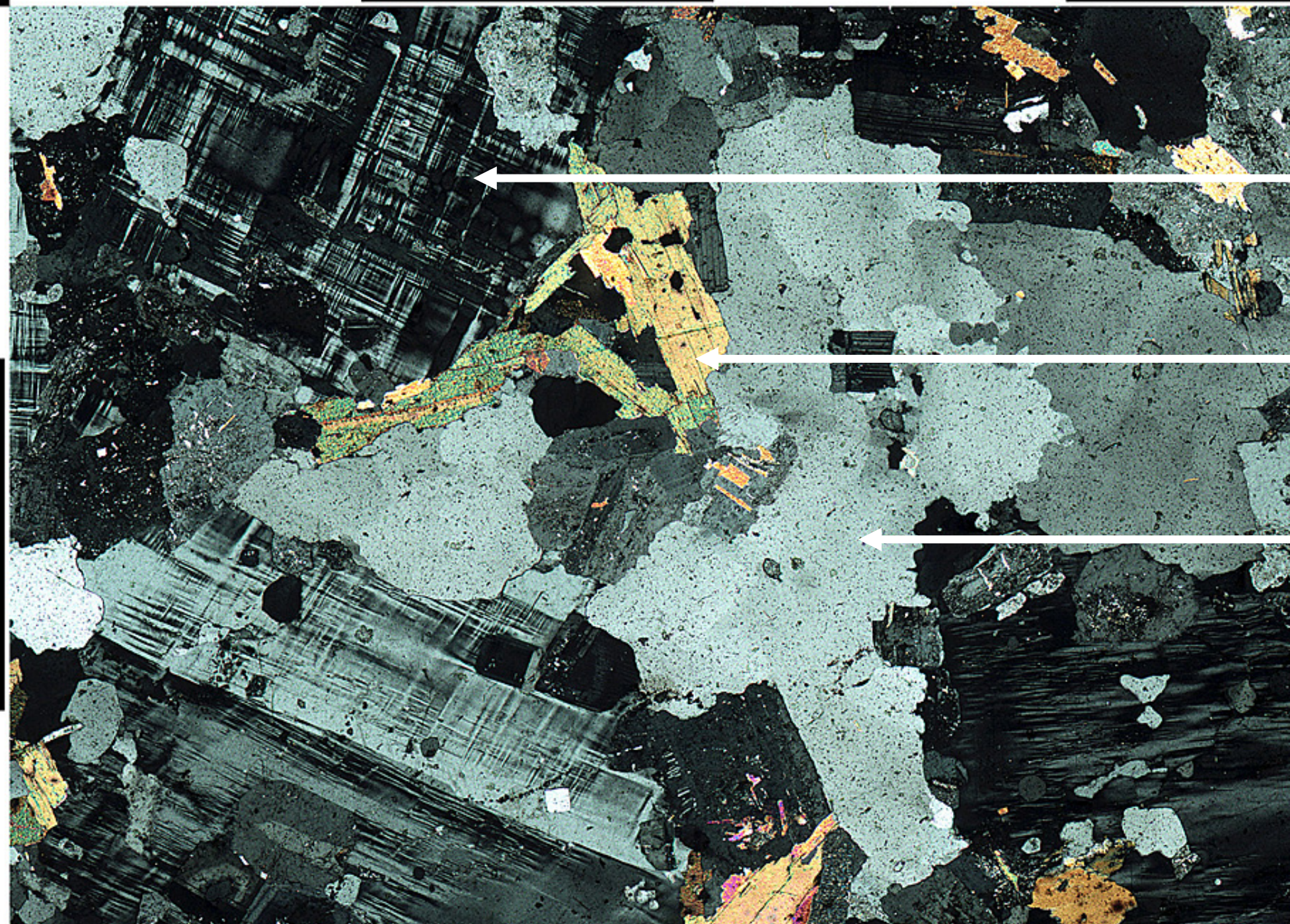
Lame mince d'une roche de la croute  
continentale observée en **LPNA** (lumière  
polarisée non analysée) photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croute continentale

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute continentale



Lame mince d'un **granite** observée en **LPA**  
(lumière polarisée analysée)  
photo ©F. Labaune

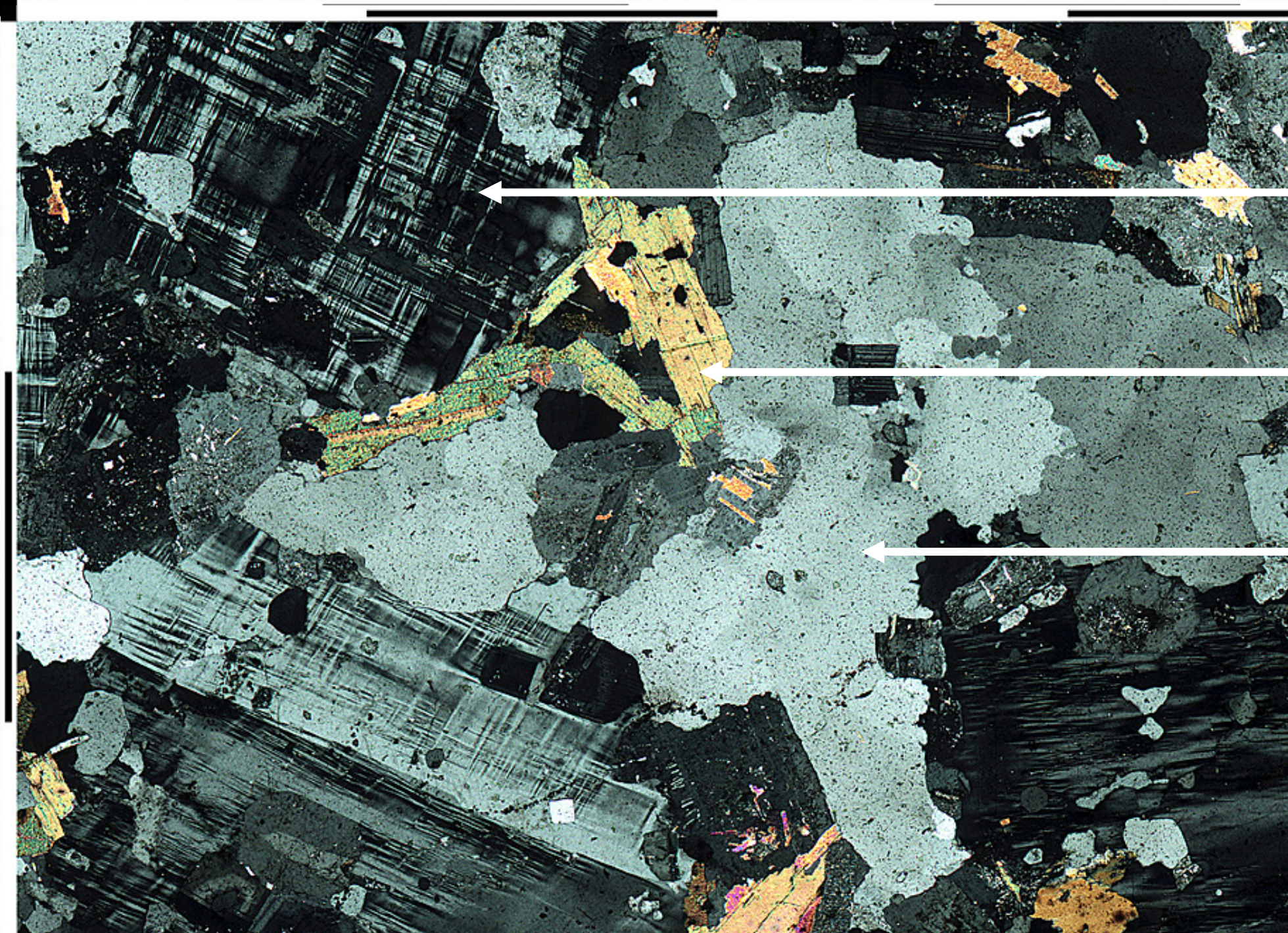
# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croute continentale

cf Activité 1 - La nature de la croute terrestre

### Une roche de la croute continentale

#### GRANITE



Feldpath plagioclase

Mica

Quartz

Densité : 2,7

Texture : grenue

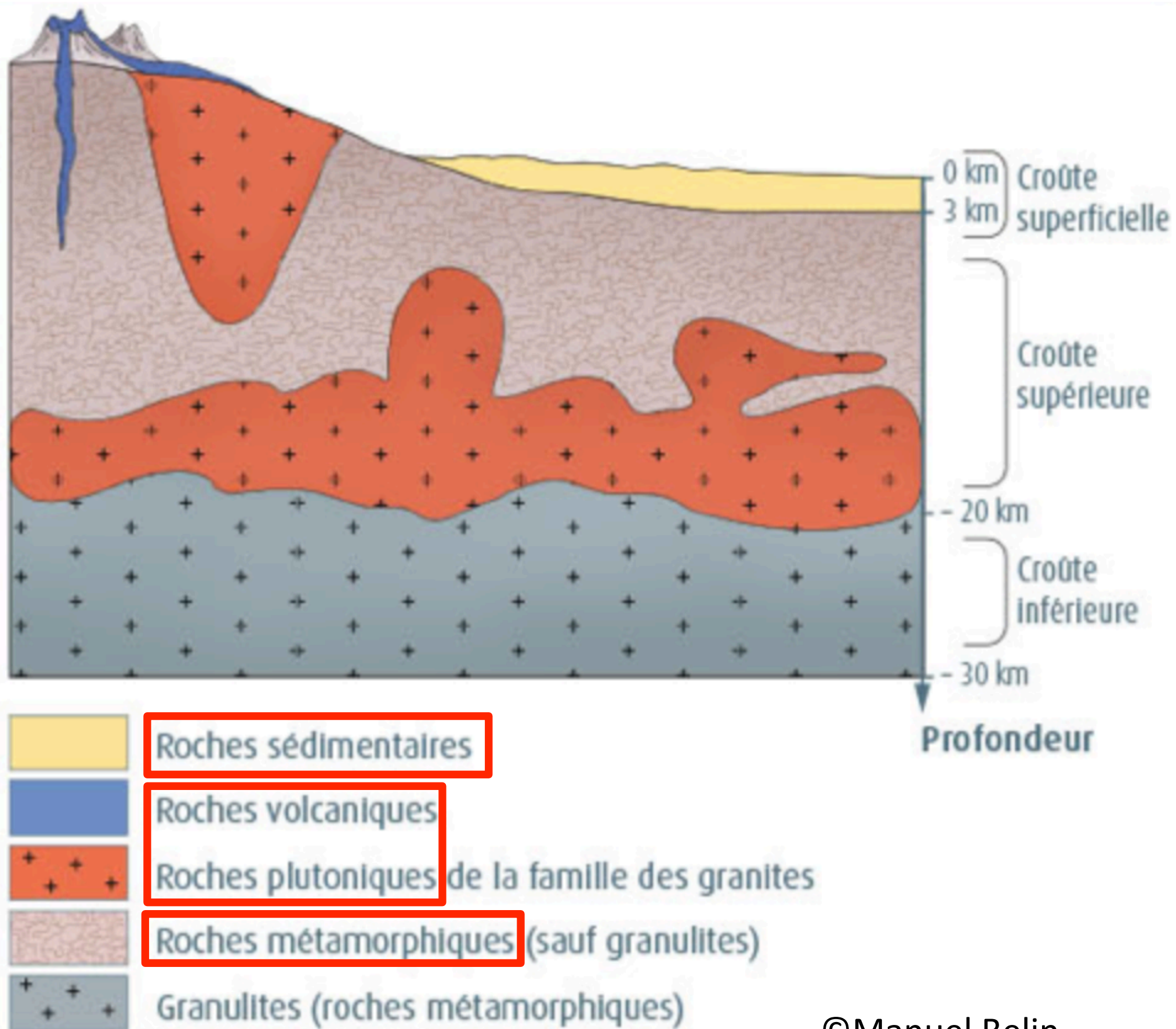
Type de roche :  
Magmatique  
plutonique  
(refroidissement lent  
et en profondeur)

Lame mince d'un **granite** observée en **LPA**  
(lumière polarisée analysée)

photo ©F. Labaune

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croûte continentale



### 3 types de roches dans la croûte continentale :

- Roches sédimentaires
- Roches magmatiques (volcaniques et plutoniques)
- Roches métamorphiques

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croûte continentale

3 types de roches dans la croûte continentale :

- Roches sédimentaires

- Roches magmatiques (volcaniques et plutoniques)

- Roches métamorphiques



Photographie de l'arc de triomphe © Wikipedia

Photographie de la falaise d'Étretat (Normandie) constitué de roche sédimentaire (craie) © L'internaute

Photographie d'un calcaire coquiller © ac-bordeaux



# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croute continentale



Photographie de pyroclastes (roches volcaniques) de l'Etna © L.LAFFITTE

Photographie d'une coulée de lave responsable des roches volcaniques © futura sciences



### 3 types de roches dans la croute continentale :

- Roches sédimentaires
- Roches magmatiques (volcaniques et plutoniques)
- Roches métamorphiques



Photographie d'un granite (roche plutonique) © IMT Atlantique

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croute continentale



Photographie d'un gneiss (roche  
métamorphique)

© actugeologique

**Une roche métamorphique est  
une roche transformée à cause  
des conditions de pression et de  
température variable**

## 3 types de roches dans la croute continentale :

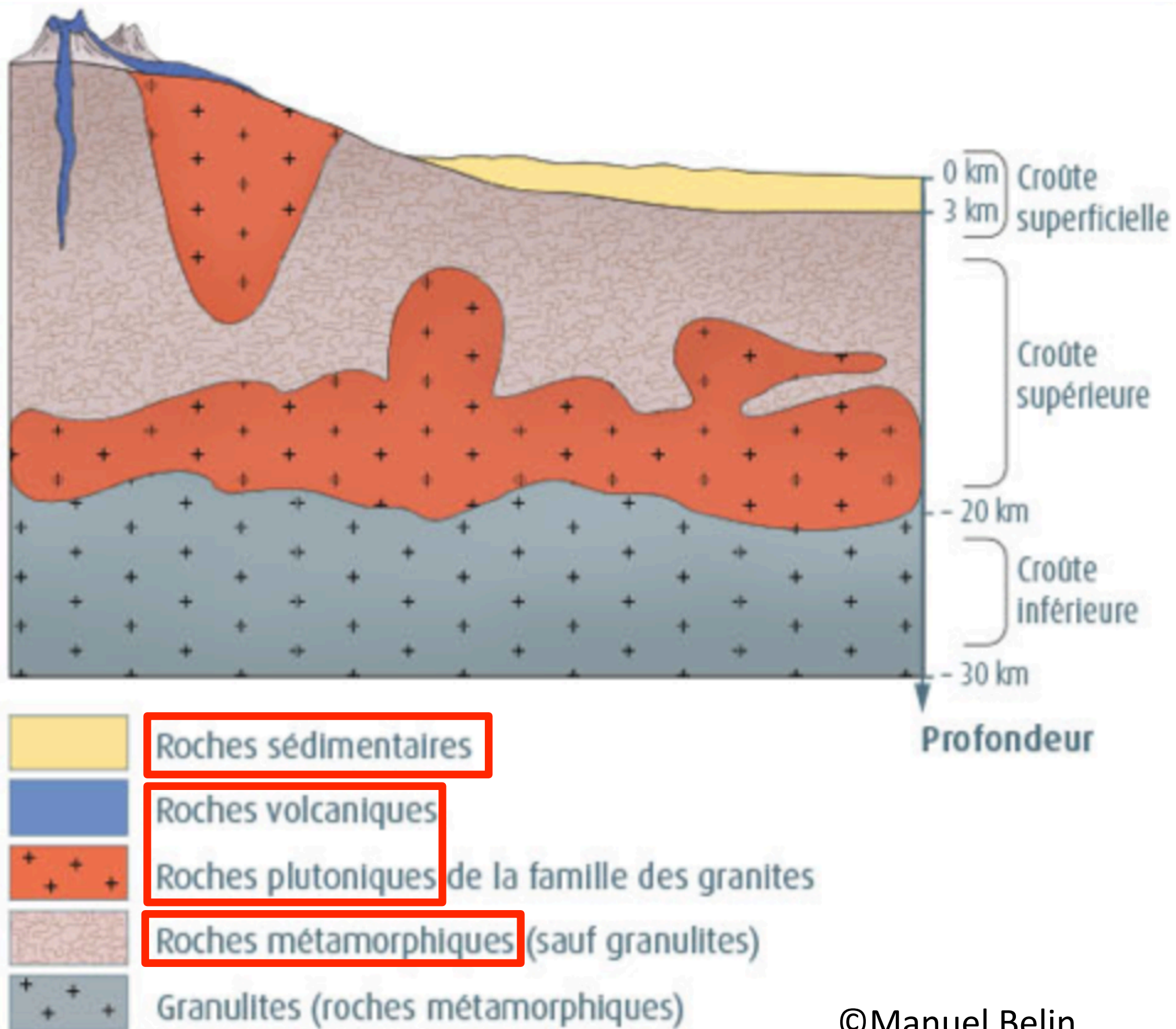
- Roches sédimentaires
- Roches magmatiques (volcaniques et  
plutoniques)
- Roches métamorphiques



Photographie d'une migmatite (roches  
métamorphiques) de l'Etna © AGU blogosphere

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croûte continentale



### 3 types de roches dans la croûte continentale :

- Roches sédimentaires
- Roches magmatiques (volcaniques et plutoniques)
- Roches métamorphiques

**ET EN FRANCE ?**

# I) La dualité océans / continents

## C) Etude de la croûte continentale

Réalise une carte géologique de la France simplifiée avec les 4 types de roches de la croûte continentale (magmatique plutonique, magmatique volcanique, métamorphique et sédimentaire) sur la carte de France vierge.



Légendes :



# I) La dualité océans / continents

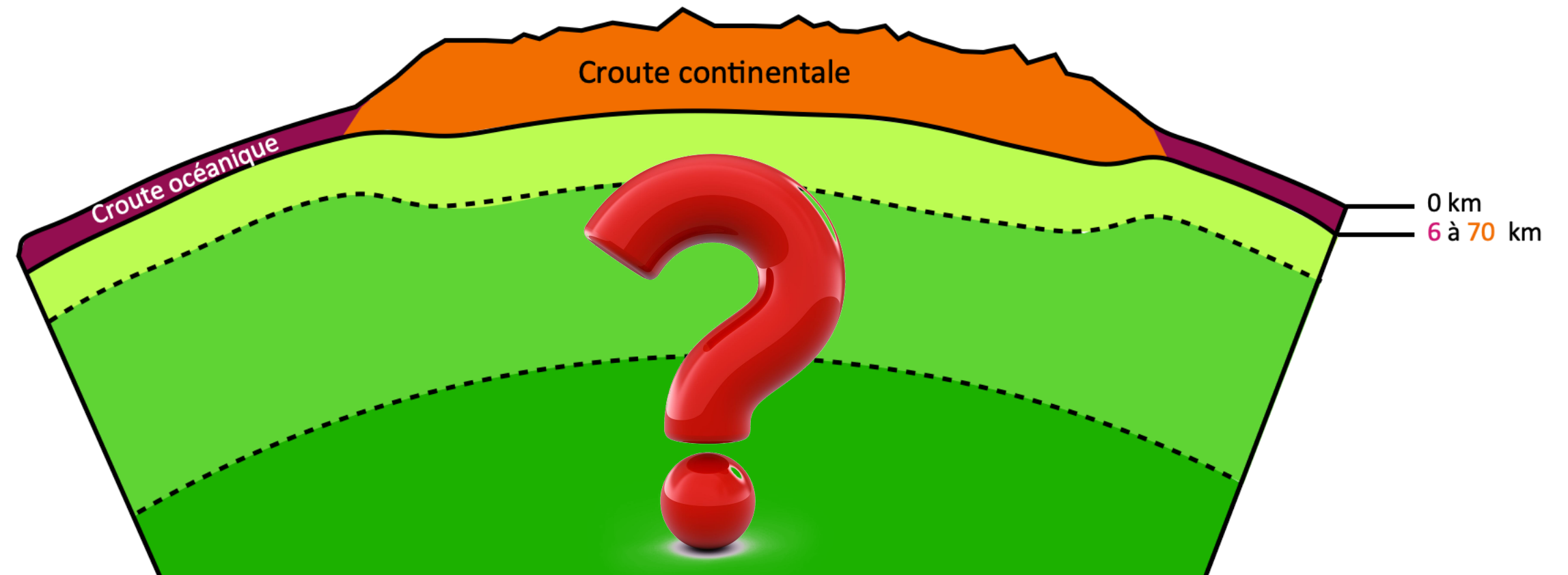
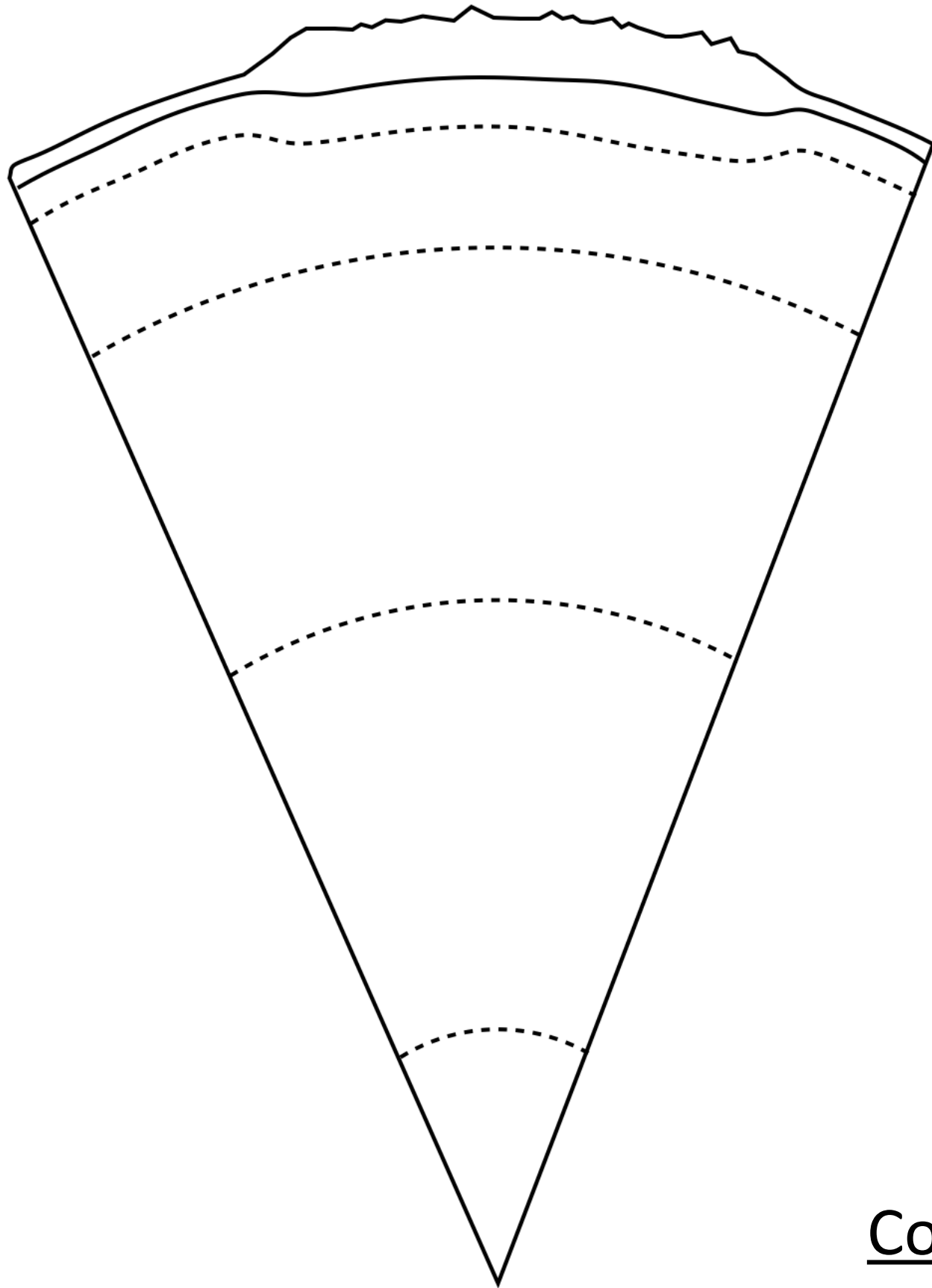
## B) Etude de la croûte océanique

### Correction

	Croûte océanique		Croûte continentale
	Basalte	Gabbro	Granite
Minéraux principaux	pyroxène plagioclase olivine	pyroxène plagioclase olivine	quartz feldspath mica
Texture	microlitique	grenue	grenue
Type de magmatisme	volcanisme	plutonisme	plutonisme
Vitesse de refroidissement du magma	rapide (en surface)	lente (en profondeur)	lente (en profondeur)

# I) La dualité océans / continents

## B) Etude de la croute océanique



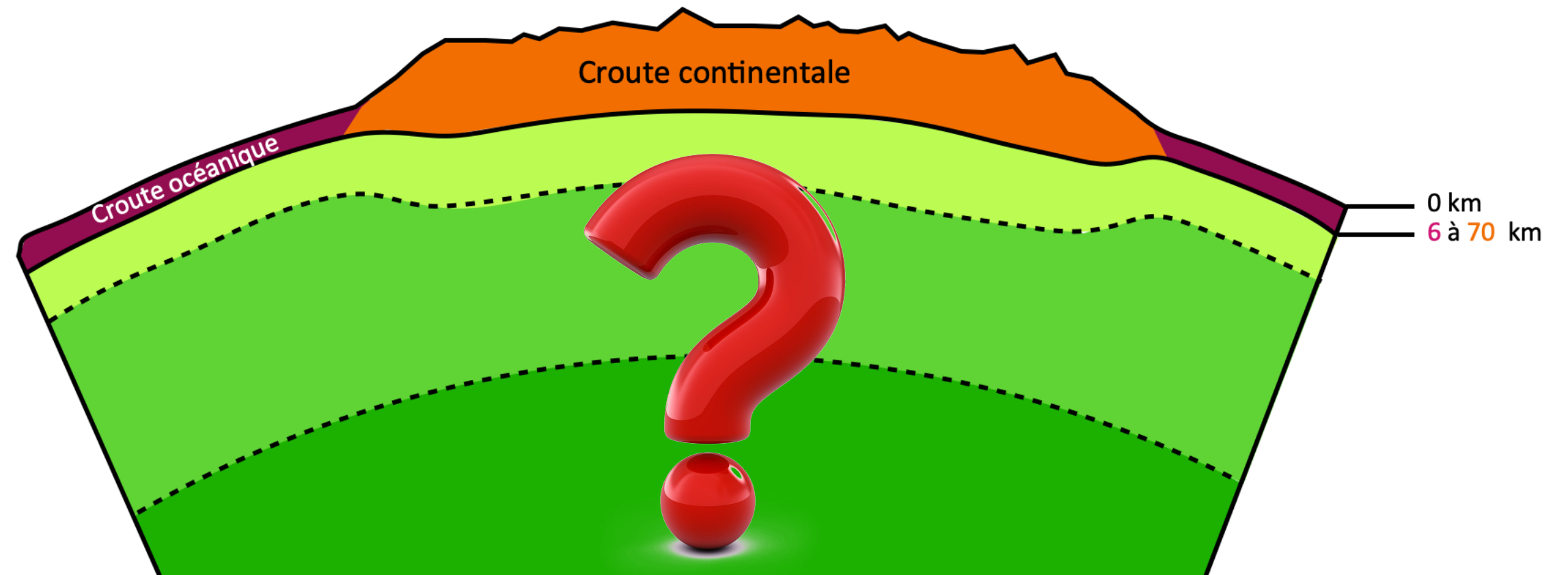
Complétez la première partie du schéma bilan

# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croûte océanique
  - C) Etude de la croûte continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### A) Différents modèles de la Terre



Complétez la première partie du schéma bilan

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### A) Différents modèles de la Terre

Site de Koda en 2007 avant destruction



Le plus gros forage au monde : forage de  
sg3 ou forage de Kola

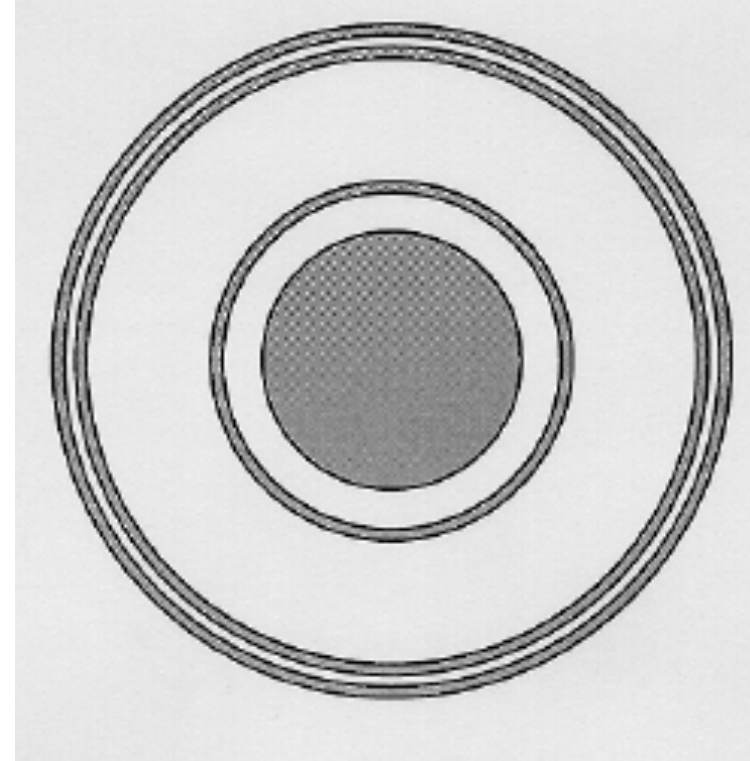
12 262 mètres  
180°C à 12km

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### A) Différents modèles de la Terre

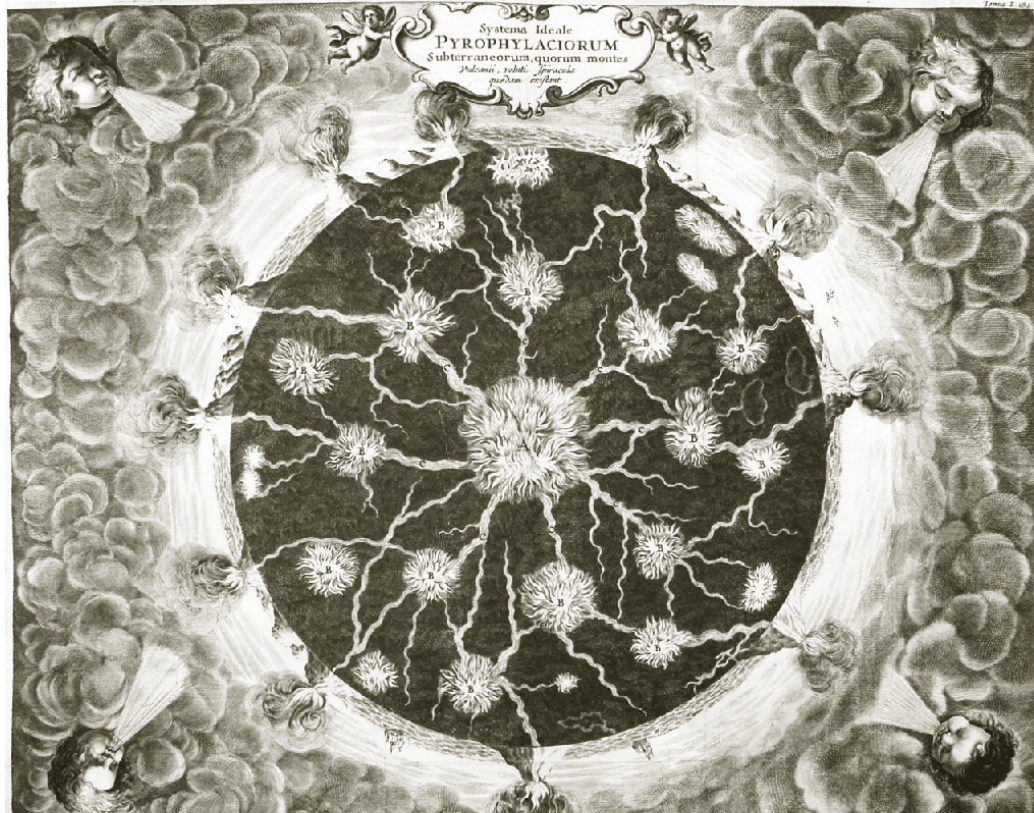


Descartes (1644)

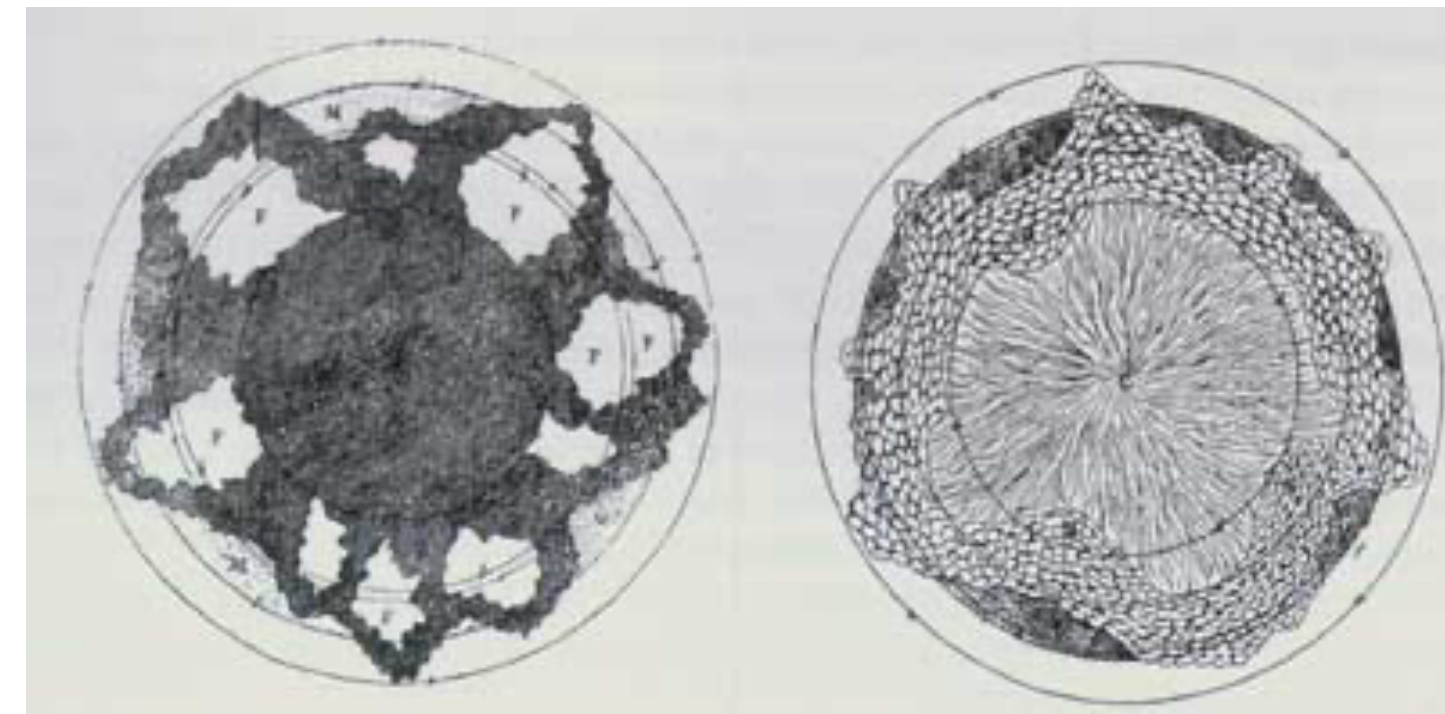


Halley (1693)

© <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/modeles-interieur-terre.xml>



Kircher (1665)

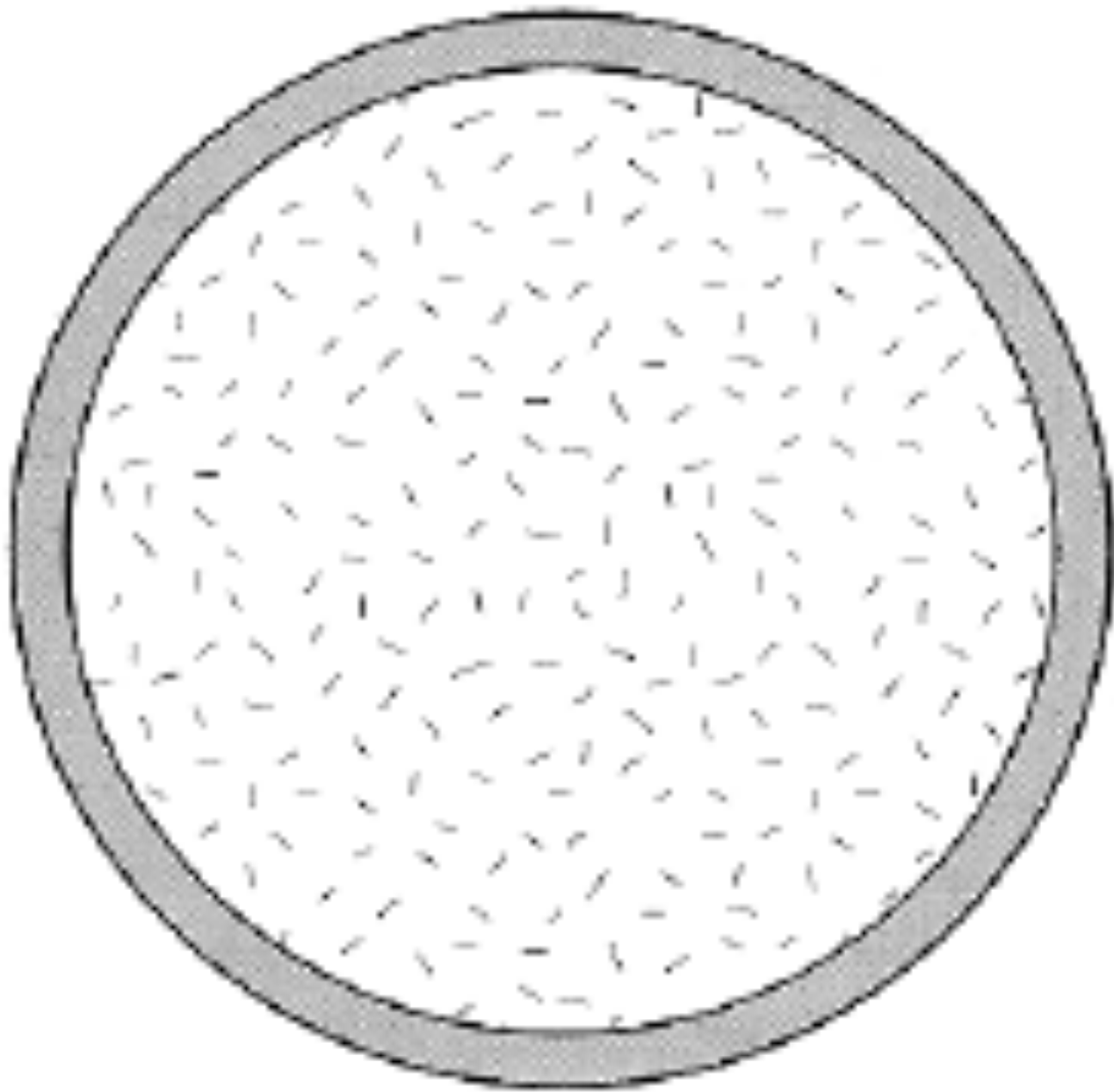


Moro (1740)

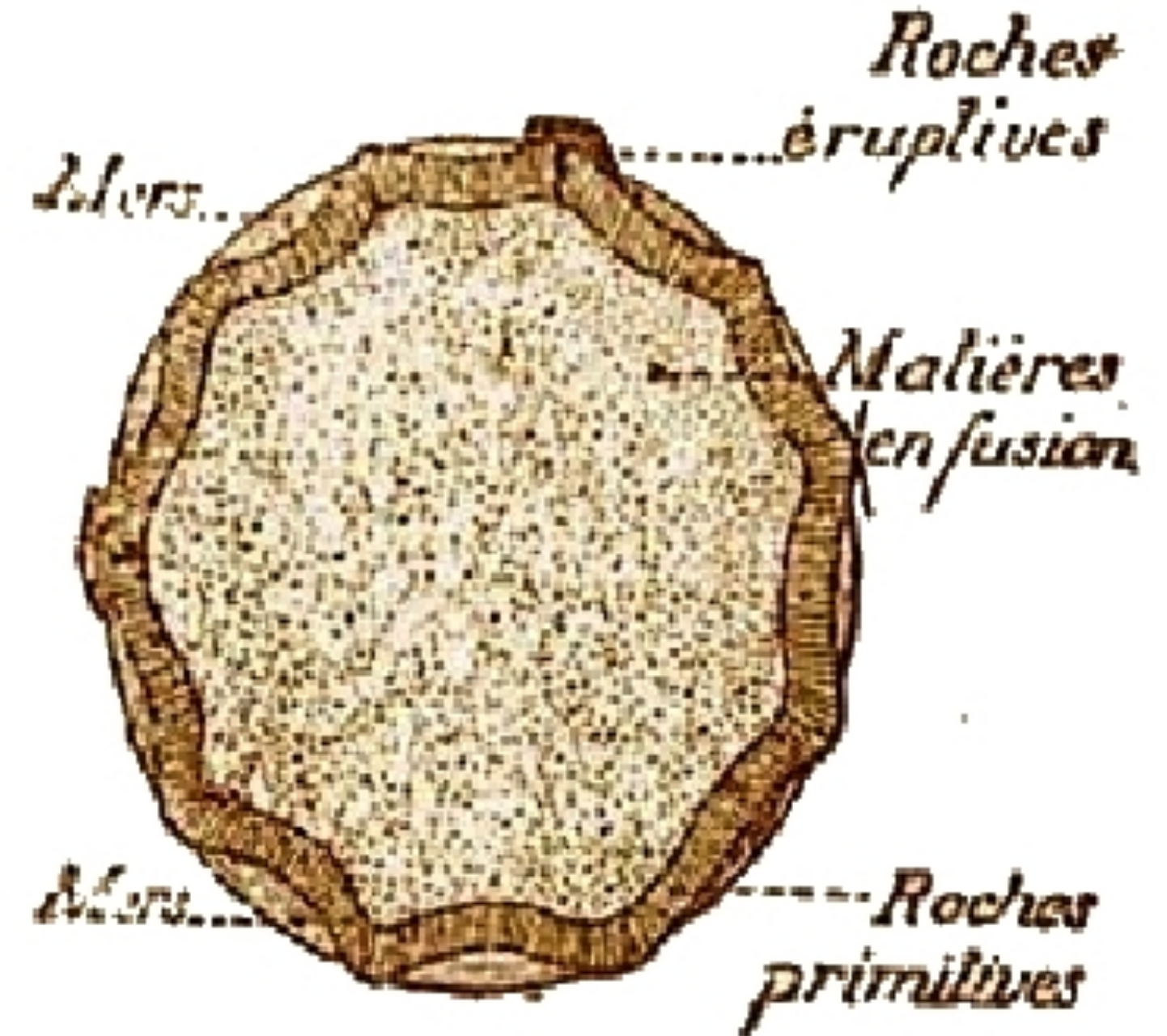
## II) L'apport des données sismiques au modèle

### A) Différents modèles de la Terre

© <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/modeles-interieur-terre.xml>



« L'océan de magma interne » Cordier  
(1827)



Livre de géologie de 4 ème (1925)  
Selon le modèle d'Édouard Suess (1831 - 1914)

# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croûte océanique
  - C) Etude de la croûte continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques



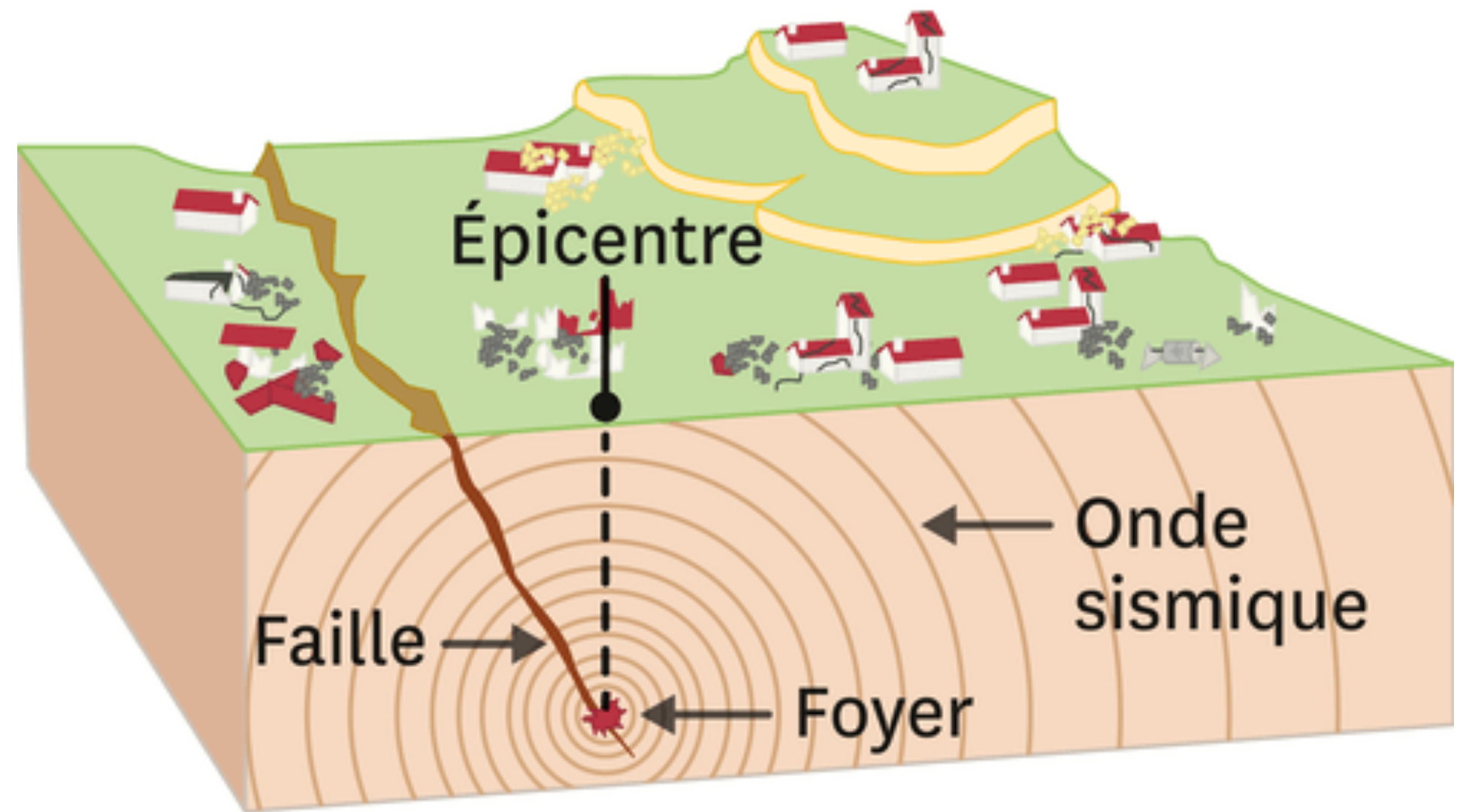
[https://www.youtube.com/watch?v=hmlQhX\\_EzrU](https://www.youtube.com/watch?v=hmlQhX_EzrU)

<https://www.youtube.com/watch?v=vL1nw8buVoU>

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

#### Rappel de collège sur les séismes



<https://www.youtube.com/watch?v=vL1nw8buVoU>

Schéma d'un séisme vue en coupe ©Pinterest

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

#### Rappel de collège sur les séismes



Photographie d'un sismomètre électrique

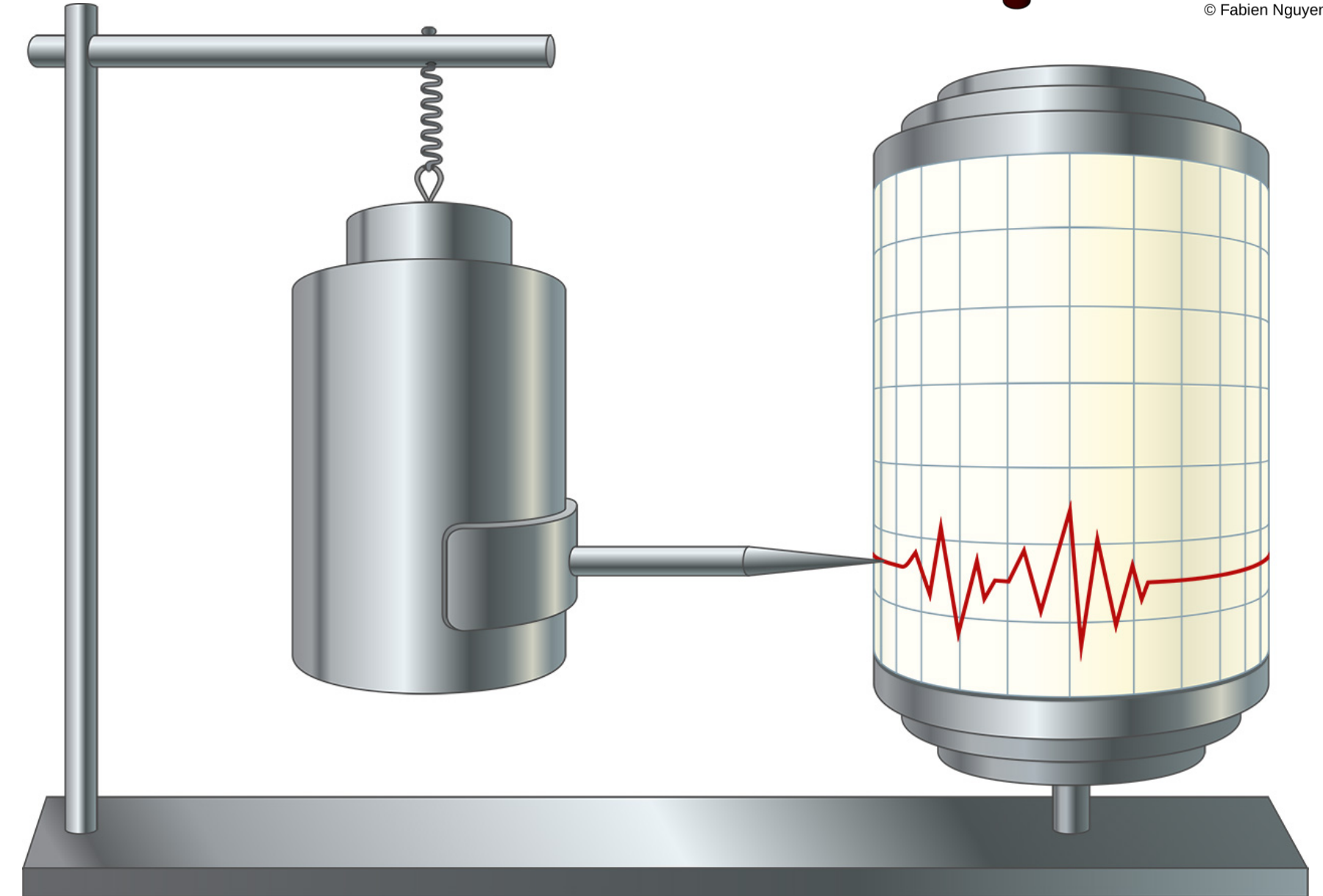


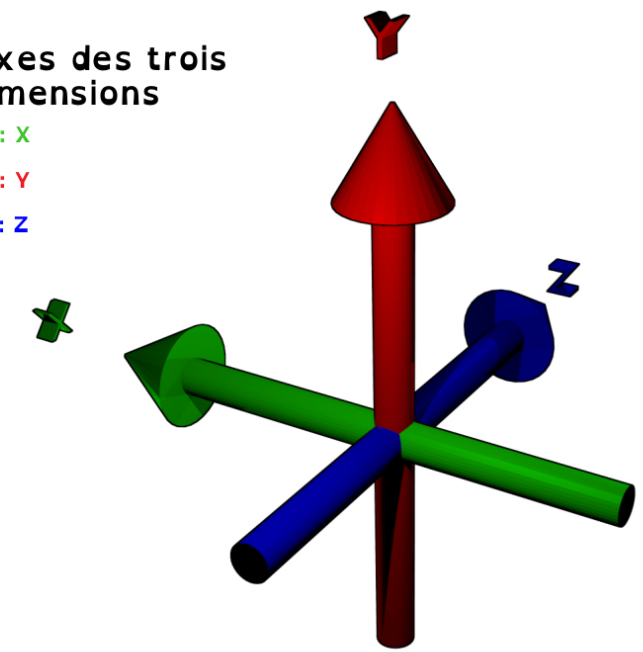
Schéma simplifié d'un sismomètre

Les axes des trois dimensions

Ondes P : X

Ondes S : Y

Ondes L : Z

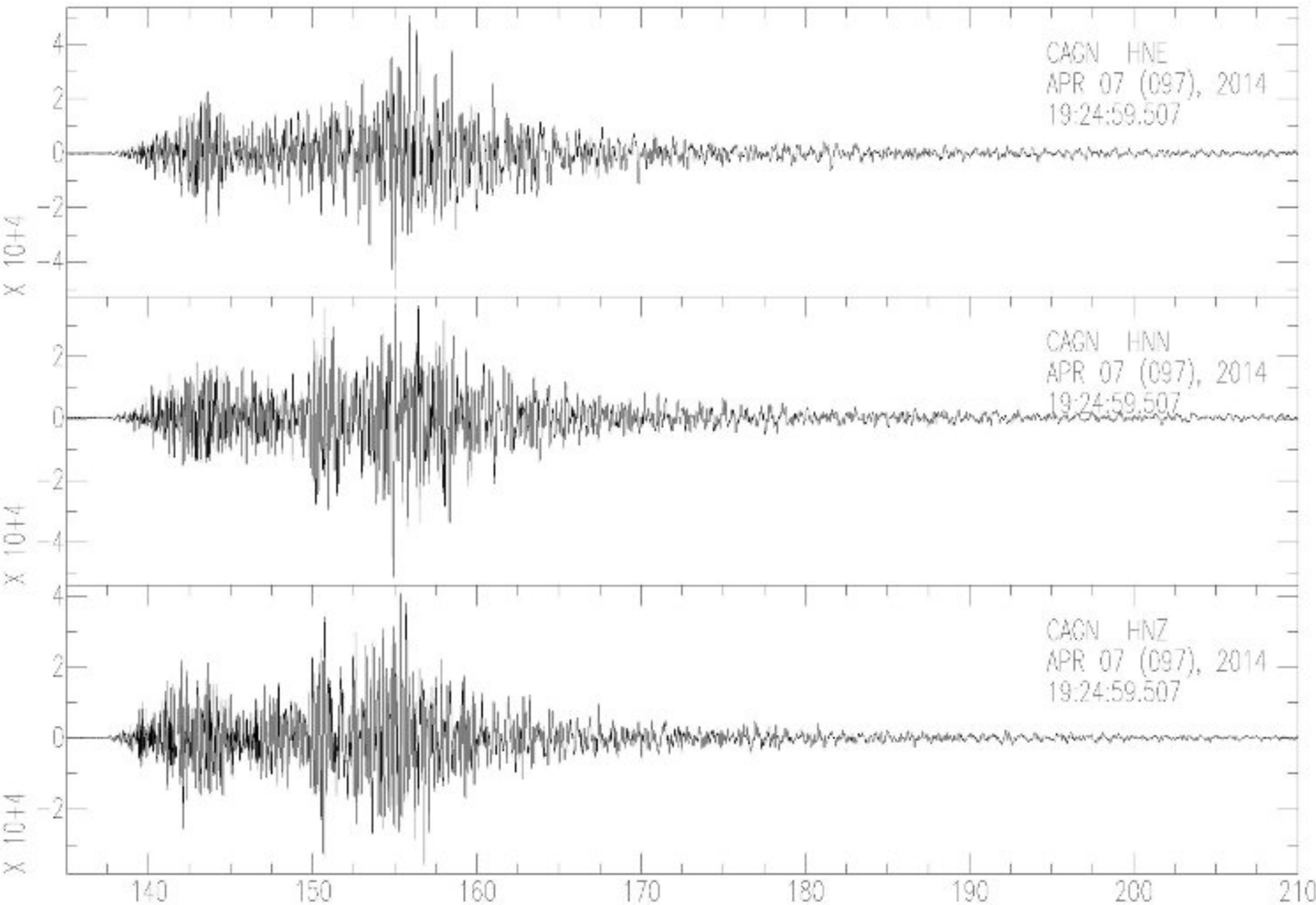


© Fabien Nguyen

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

<https://devoirsvt.fabien-nguyen.fr/?p=1338>



### Rappel de collège sur les séismes

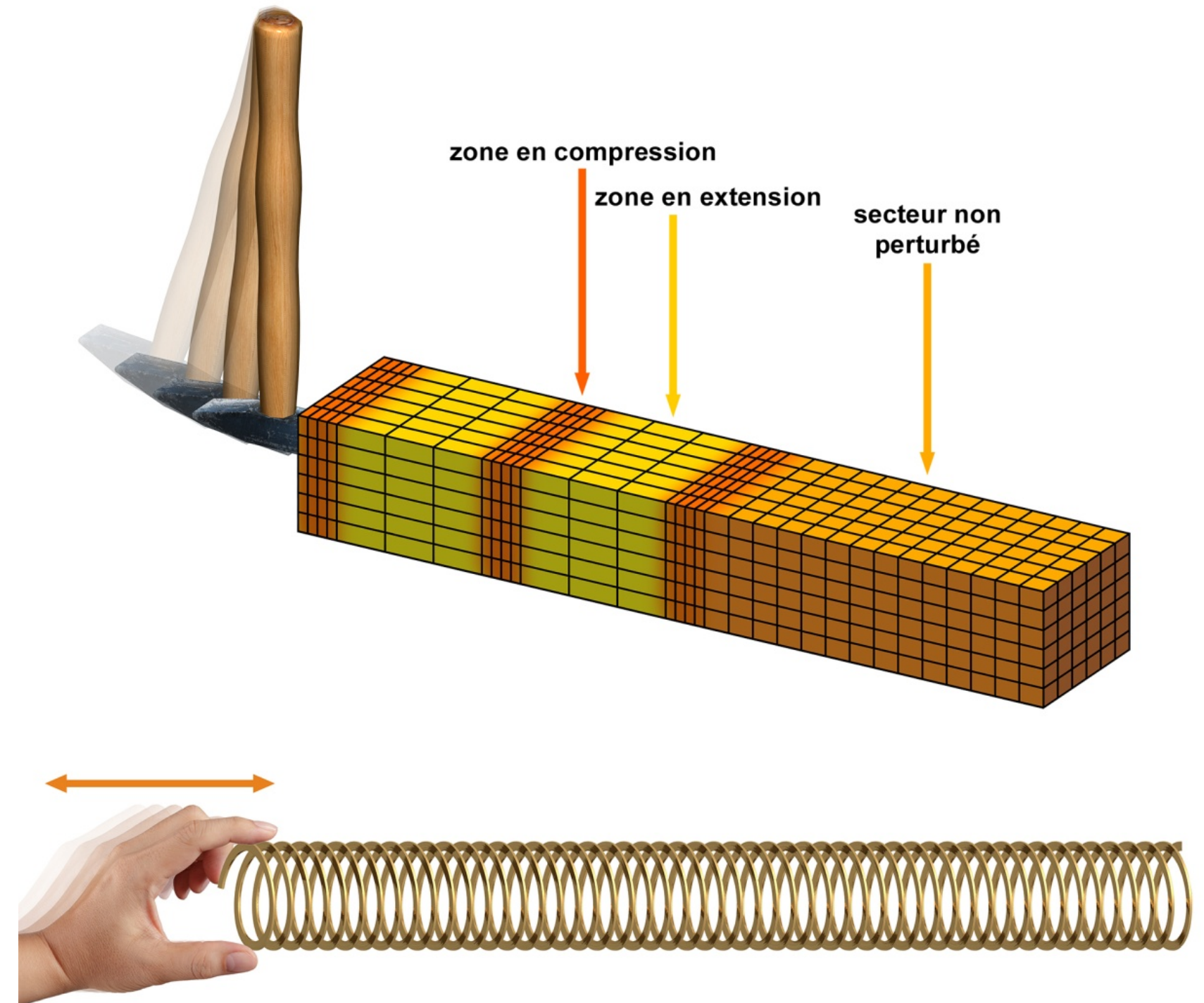
Le sismomètre enregistre 3 graphiques dans les 2 dimensions. Ces graphiques sont appelés des sismogrammes

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

#### Les ondes sismiques : Les ondes P

- ✗ P = primaires
- ✗ Ce sont les plus rapides et donc les 1ères détectées
- ✗ Ondes en compression/décompression (longitudinal)
- ✗ Se propagent dans tous les milieux (Solide et liquide)

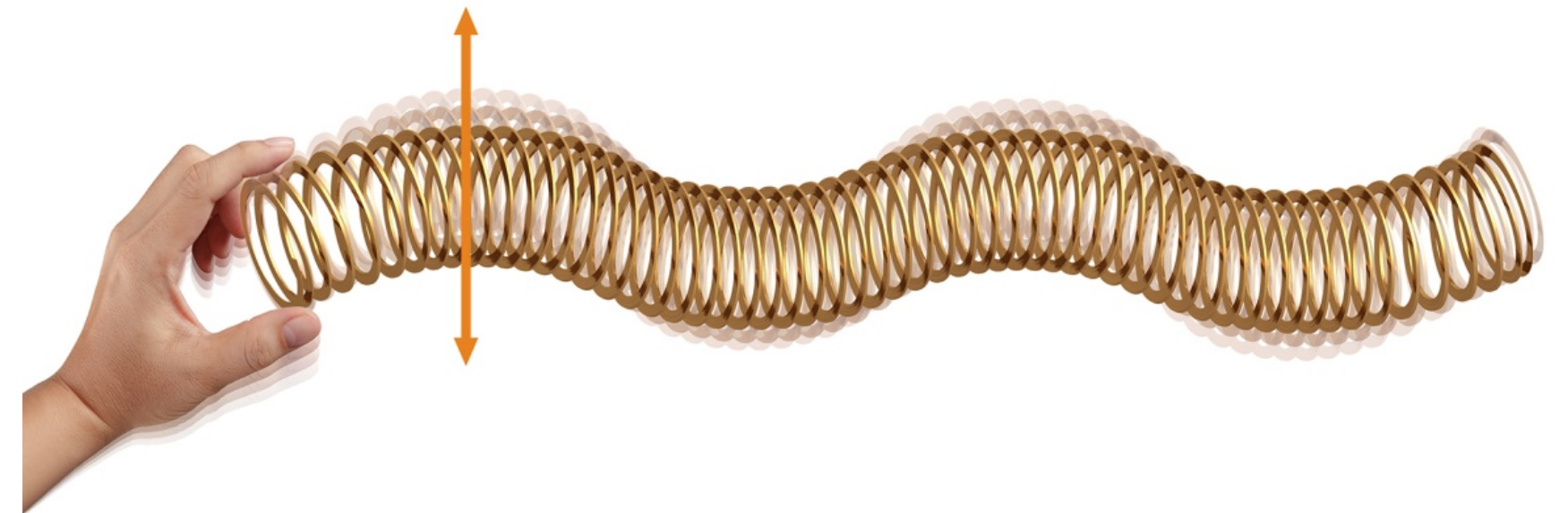
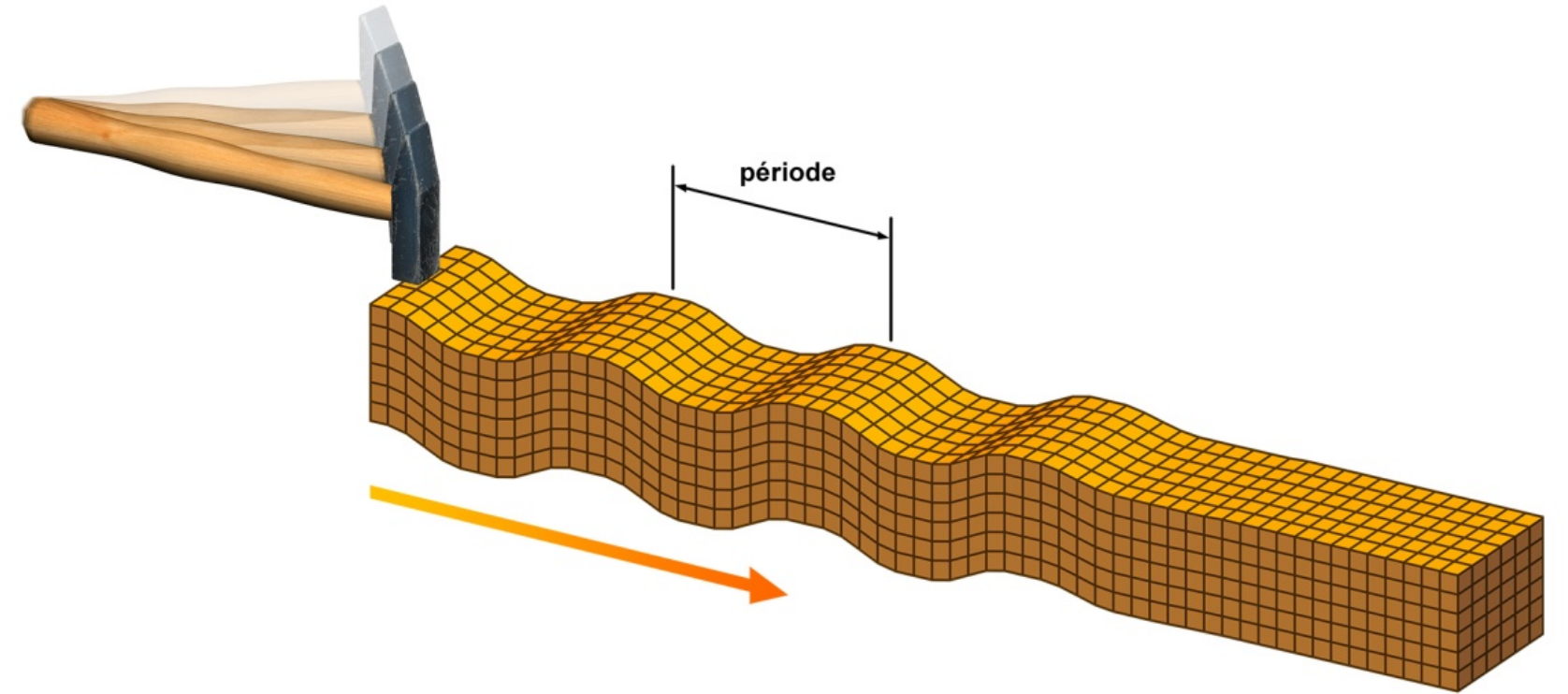


## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

#### Les ondes sismiques : Les ondes S

- ✗ S = secondaires
- ✗ Elles sont moins rapides que les P
- ✗ Se propagent uniquement dans les solides
- ✗ Ondes de cisaillement (transversales)

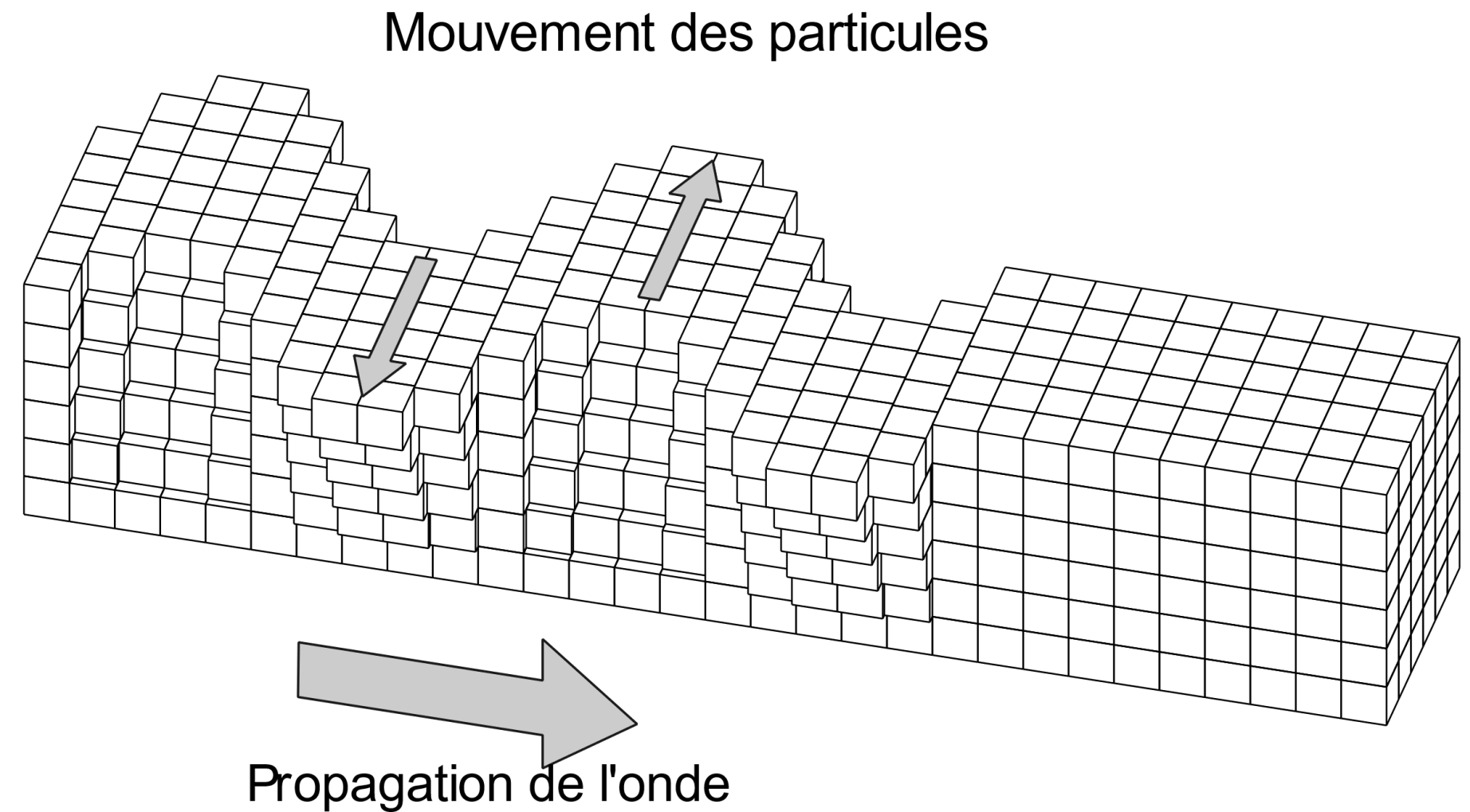


## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

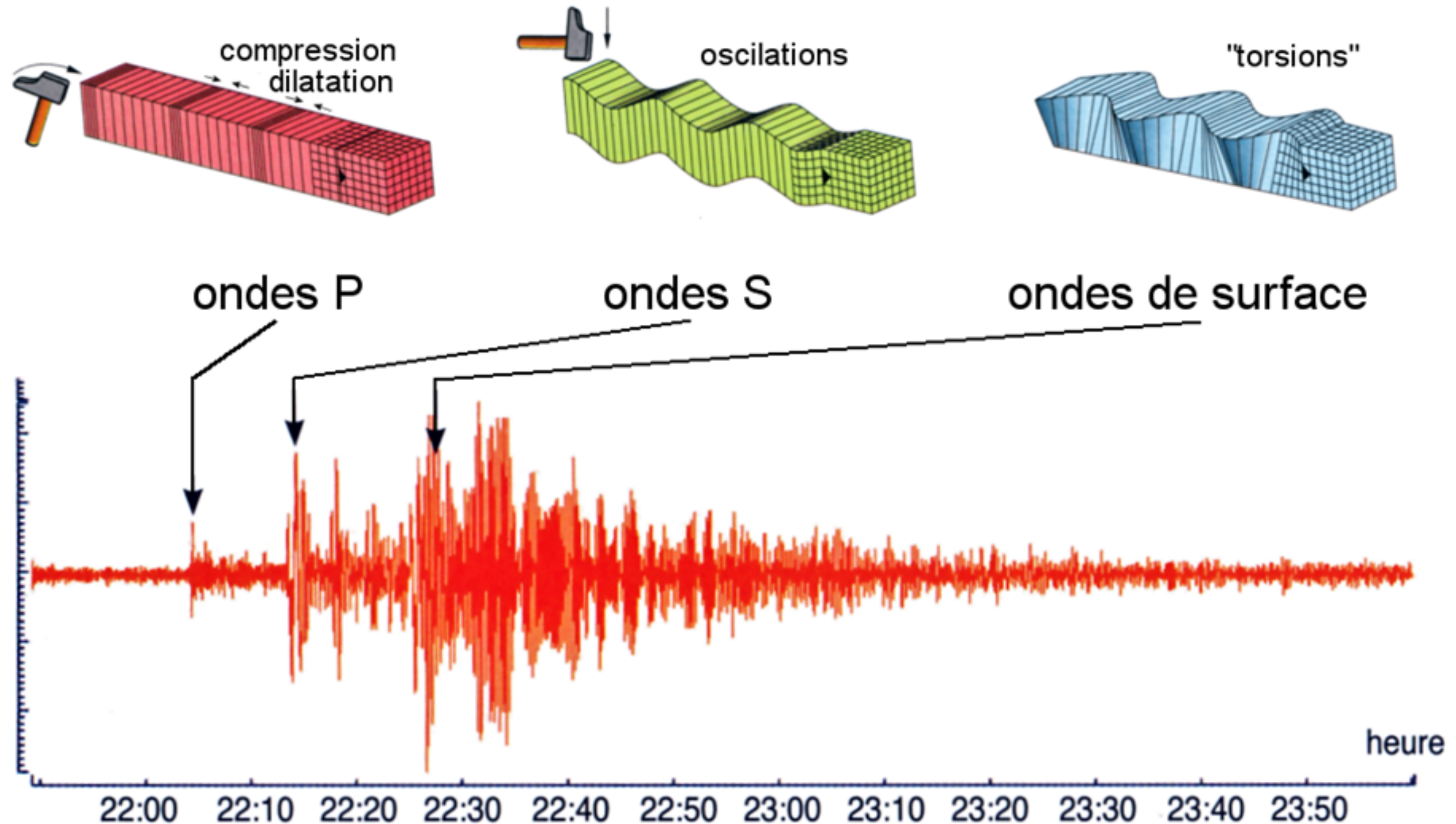
#### Les ondes sismiques : Les ondes L

- ✗ L car ce sont les plus Lentes
- ✗ Ce sont les plus destructrices
- ✗ Les ondes sont en oscillation
- ✗ Se propagent en surface uniquement et en milieu solide



## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques



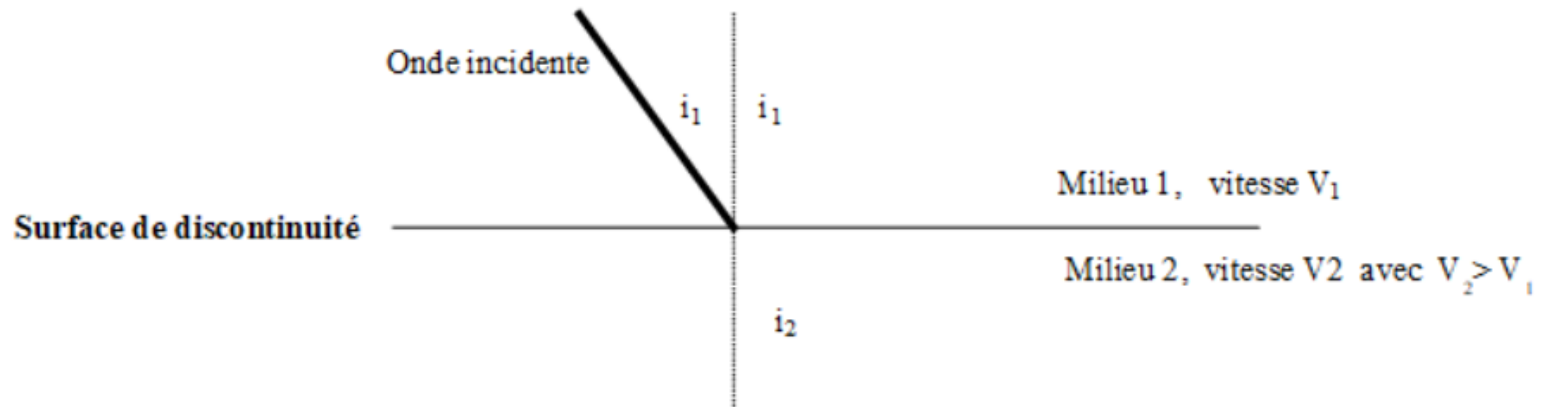
## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

Les ondes sismiques se propagent dans les roches comme un rayon lumineux dans un milieu transparent (gelée).

Lorsqu'une onde sismique atteint une surface de discontinuité, c'est-à-dire une frontière entre deux milieux différents (ou un même milieu dans des conditions physique différentes), elle se réfléchit et se réfracte.

- l'angle entre l'onde incidente et la verticale de la surface de discontinuité est le même que celui entre l'onde réfléchie et cette même verticale



- la trajectoire de l'onde réfractée est donnée par la loi de Descartes :  $\sin(i_1) / \sin(i_2) = V_1 / V_2$

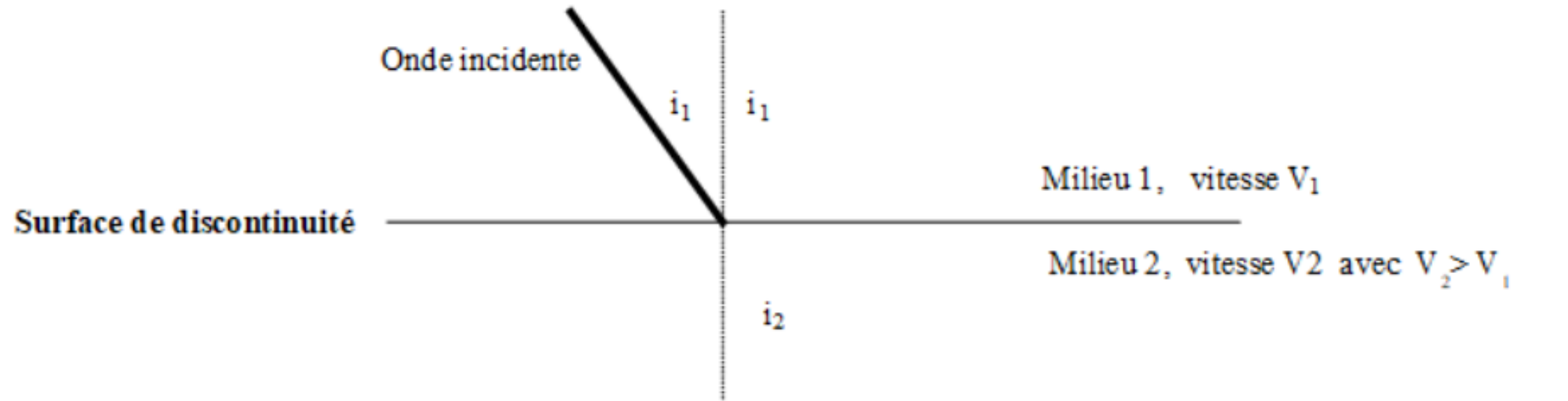
Ici,  $V_2 > V_1$ .

Une discontinuité peut être entre deux roches de nature chimique différentes ou une même roche dans des conditions physique différentes (température ou pression)

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques

- l'angle entre l'onde incidente et la verticale de la surface de discontinuité est le même que celui entre l'onde réfléchie et cette même verticale

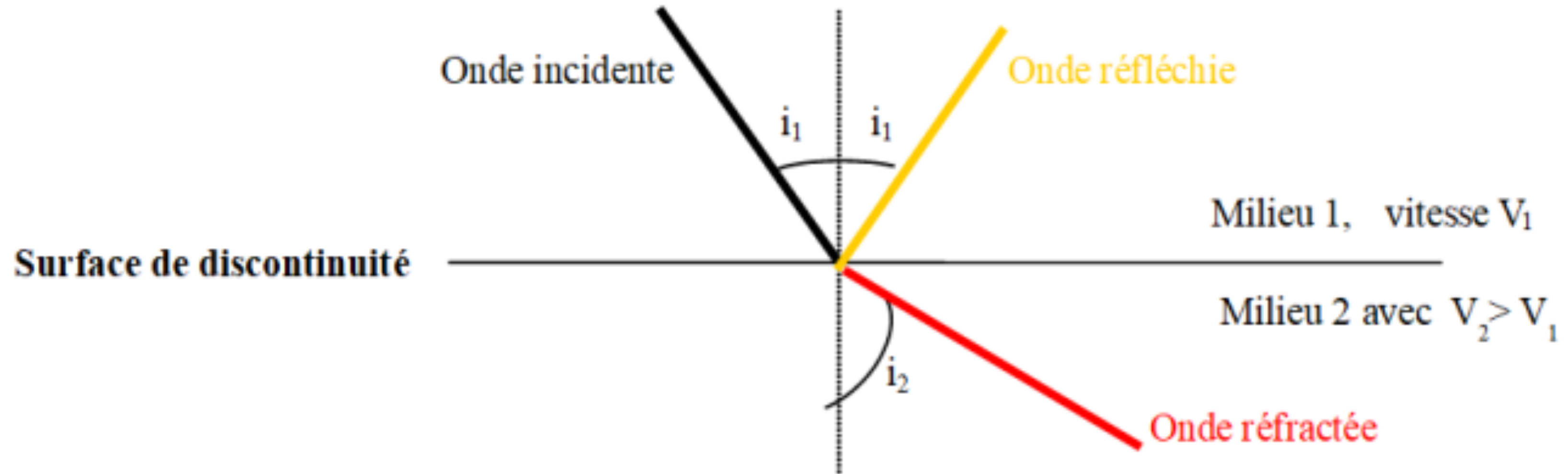


- la trajectoire de l'onde réfractée est donnée par la loi de Descartes :  $\sin(i_1) / \sin(i_2) = V_1 / V_2$

Ici,  $V_2 > V_1$ .

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### B) Séismes et ondes sismiques



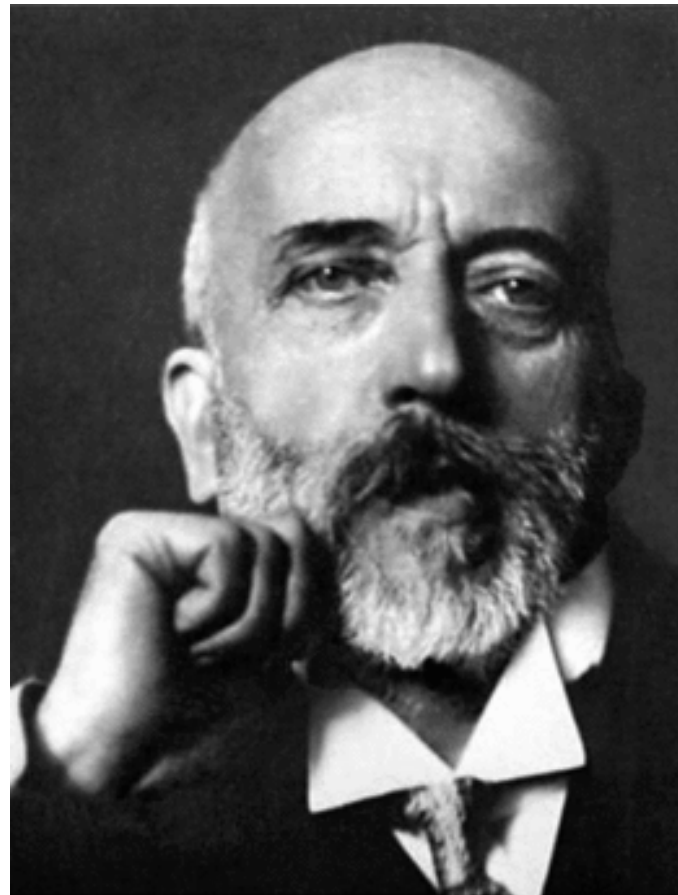
# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croûte océanique
  - C) Etude de la croûte continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
    - 1) La découverte de la discontinuité de Moho
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 1) La découverte de la discontinuité de Moho



*Andrija Mohorovicic (1909)*

Mohorovicic constate alors l'arrivée des ondes P retardés. Il y a donc eu une surface de discontinuité entre deux milieux (croûte et manteau)

### 3 Une discontinuité, le MOHO

► Pour connaître la structure interne de la Terre, les géologues s'intéressent aux ondes P qui se propagent dans les milieux solides et dans les milieux liquides, et aux ondes S qui ne se déplacent que dans les milieux solides.

► Le 8 octobre 1909, André Mohorovicic observe des sismogrammes quand, tout à coup, les stylets zigzaguent : voici les ondes P, puis les ondes S puis... de nouveau des ondes P et de nouveau des ondes S !



a Quelques sismogrammes analysés par André Mohorovicic.

► Des calculs mathématiques confirment l'hypothèse de Mohorovicic : il existe en profondeur une couche qui n'a ni la même densité ni les mêmes propriétés physiques que la croûte terrestre et qui réfléchit et réfracte les ondes.

► Selon les propres termes de Mohorovicic une « discontinuité » sépare la **croûte terrestre** de ce qu'il y a en dessous, le manteau. Cette limite est appelée, en son honneur la « **discontinuité** de Mohorovicic » ou « Moho ».

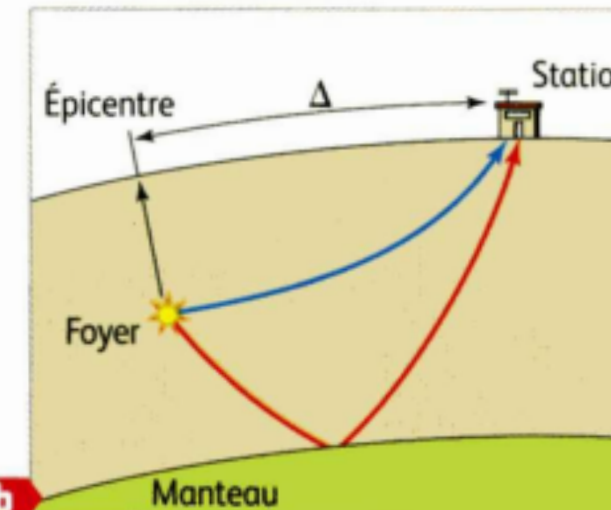


Schéma du trajet des ondes. b

“ Les ondes se sont dédoublées. Ses appareils sont pourtant parfaitement réglés, vérifiés chaque jour par le sismologue méticuleux. Le séisme est identifié, il a lieu sous la ville croate de Popusko, au Sud de Zagreb, à 40 km de profondeur... Mais pourquoi cette répétition des ondes P et S, comme un écho ?

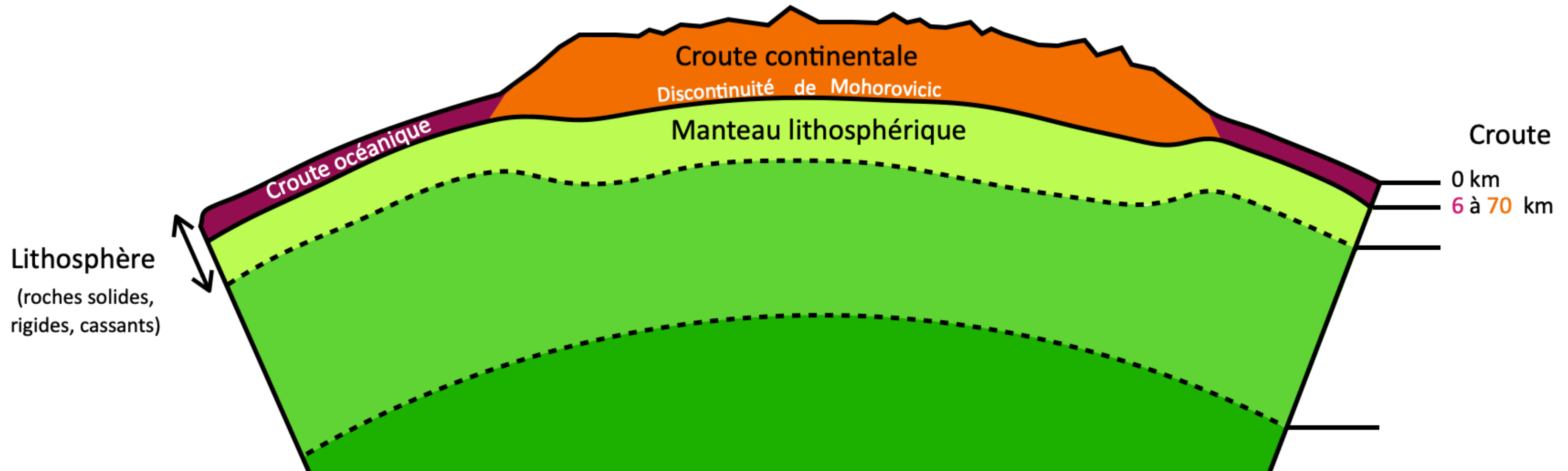
Mohorovicic arpente son bureau de long en large, fume cigarette sur cigarette, il veut comprendre. Une idée lui vient : les deux trains d'ondes sont partis en même temps du lieu du séisme ; s'ils sont arrivés avec un décalage, c'est donc qu'ils ont dû emprunter deux chemins différents. Connaissant exactement la distance qui sépare ses sismographes de l'épicentre du séisme, ainsi que l'heure précise de la secousse, il calcule que le premier groupe d'ondes P et S a circulé par le chemin le plus direct entre le foyer et l'observatoire, à la vitesse prévue, celle qui correspond à la densité de l'écorce terrestre. En revanche, le deuxième groupe d'ondes P et S a dû rencontrer un milieu de densité différente qui l'a dévié... ”

Extrait de Maurice Kraft :  
La Terre une planète vivante ! Collection  
« Des livres pour notre temps » Éd. Hachette.

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 1) La découverte de la discontinuité de Moho



Complétez le schéma bilan

II) L'apport des données sismiques au modèle

Exercice d'application

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

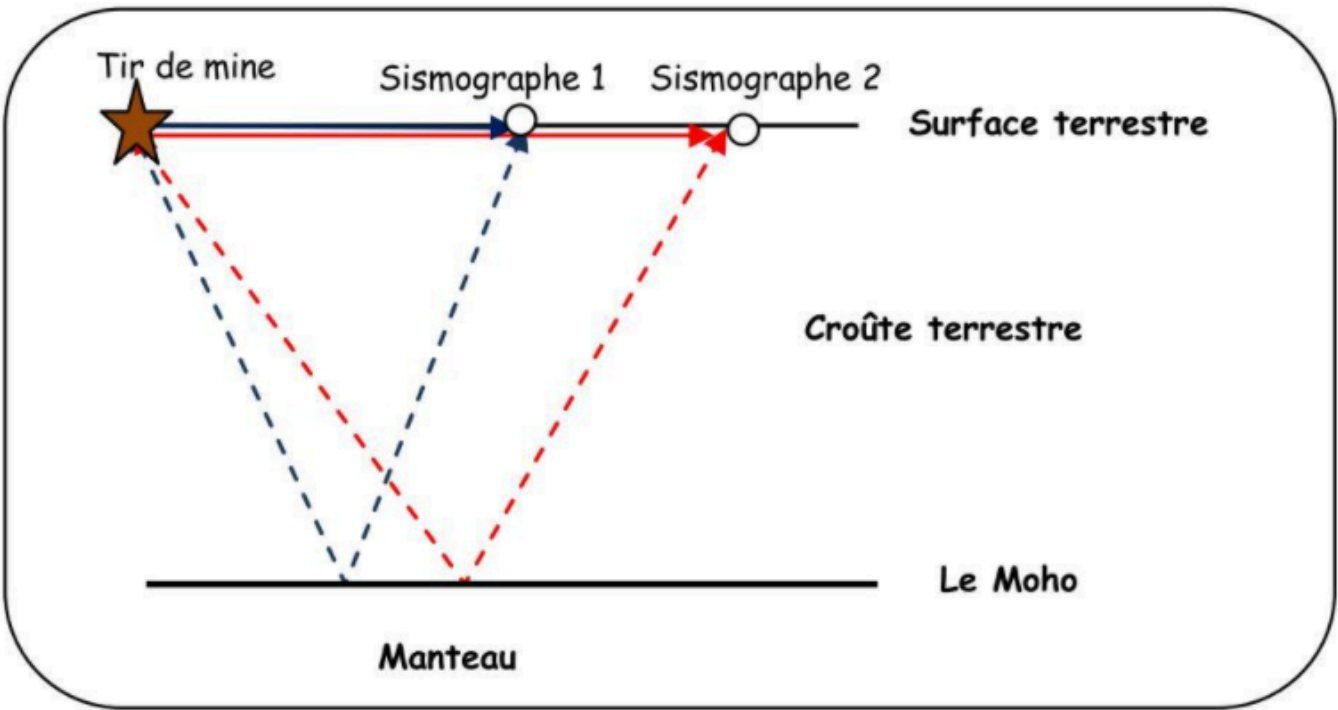
1) La découverte de la discontinuité de Moho

Question : En utilisant l'ensemble des documents proposés, calculer le plus précisément possible la profondeur du Moho dans le massif central et indiquez la nature des roches situées sous le massif central.

Doc1 :

Un tir de mine à été effectue dans une carrière située à l'ouest du Massif Central. Onze sismographes ont été places dans un disque de rayon de 100 km autour de la carrière. Tous enregistrent l'arrivée de deux trains d'ondes : des ondes précoces et intenses (en trait plein sur le schéma) et des ondes tardives et faibles dus au changement de couches (en traits discontinus sur le schéma). Les premières ondes correspondent à des rais ayant traversé un milieu homogène (vitesse constante), les autres à des rais sismiques réfléchis par la discontinuité du Moho

Voir ci-contre le schéma du dispositif utilisé (remarque seuls les deux premiers sismographes sont représentés)



Doc2 :

Voici les résultats obtenus par les onze sismographes :

Sismographes	Distance au tir de mine (en km)	Temps d'arrivée de la première onde (en s)	Temps d'arrivée de la deuxième onde (en s)
N°1	1	0,18	12,74
N°2	10	1,82	13,09
N°3	20	3,64	13,45
N°4	30	5,46	14,18
N°5	40	7,25	14,72
N°6	50	9,06	15,63
N°7	60	10,90	16,72
N°8	70	12,71	18,18
N°9	80	14,54	19,27
N°10	90	16,35	21,09
N°11	100	18,20	22,18

Doc3 :

La vitesse de propagation des ondes sismiques peut être mesurée au laboratoire pour différents types de roches. Cette vitesse est constante dans un milieu homogène. Les résultats sont consignés dans le tableau.

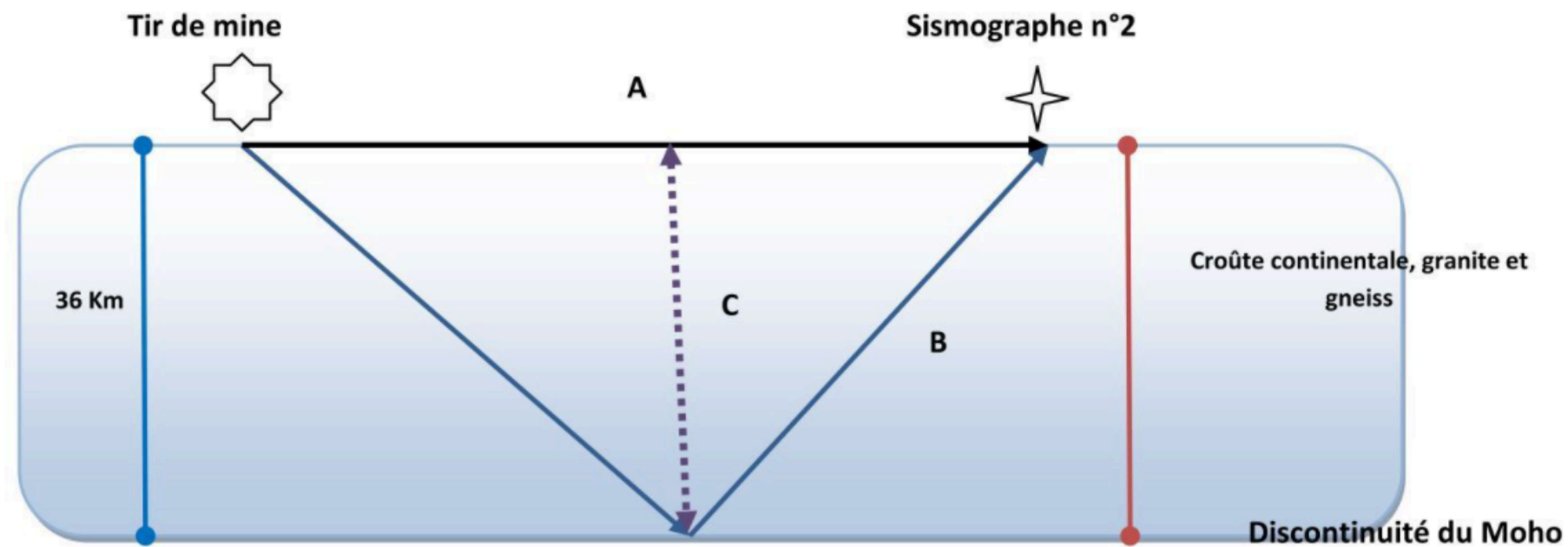
Mesure de la vitesse des ondes P dans différentes milieux et roches (en km / s)					
eau	Sédiments	Granite/gneiss	Basalte	Gabbro	Péridotite
1.5	2.2 à 3.5	5.6 à 6.2	6.7	6.9	8.1

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 1) La découverte de la discontinuité de Moho

##### Correction exercice



$$V = D \div T$$

$$V = 10 \div 1.82 = 5.5 \text{ Km/s}$$

$$D = V \times T$$

$$D = 5.5 \times 13.09 = 72 \text{ Km}$$

$$72 \div 2 = 36 \text{ Km}$$

Considérons le triangle ayant pour cotés A ÷ 2 B C

$$A \div 2 = 5 \text{ Km}$$

$$B = 72 \div 2 = 36 \text{ km}$$

$$\text{Triangle rectangle: } (a \div 2)^2 + c^2 = B^2$$

$$C^2 = B^2 - (a \div 2)^2 \longrightarrow C^2 = (36)^2 - (5)^2 = 1296 - 25 = 1271 \longrightarrow \mathbf{C = 35,65 \text{ Km}}$$

La discontinuité de Mohorovicic ou Moho est localisée sous le massif central à 36.65 Km de profondeur. Cette discontinuité sépare la croûte continentale (granite, gneiss  $V = 5.5 \text{ Km/s}$ ) du manteau.

# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croute océanique
  - C) Etude de la croute continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
    - 1) La découverte de la discontinuité de Moho
    - 2) La limite inférieure de la lithosphère
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

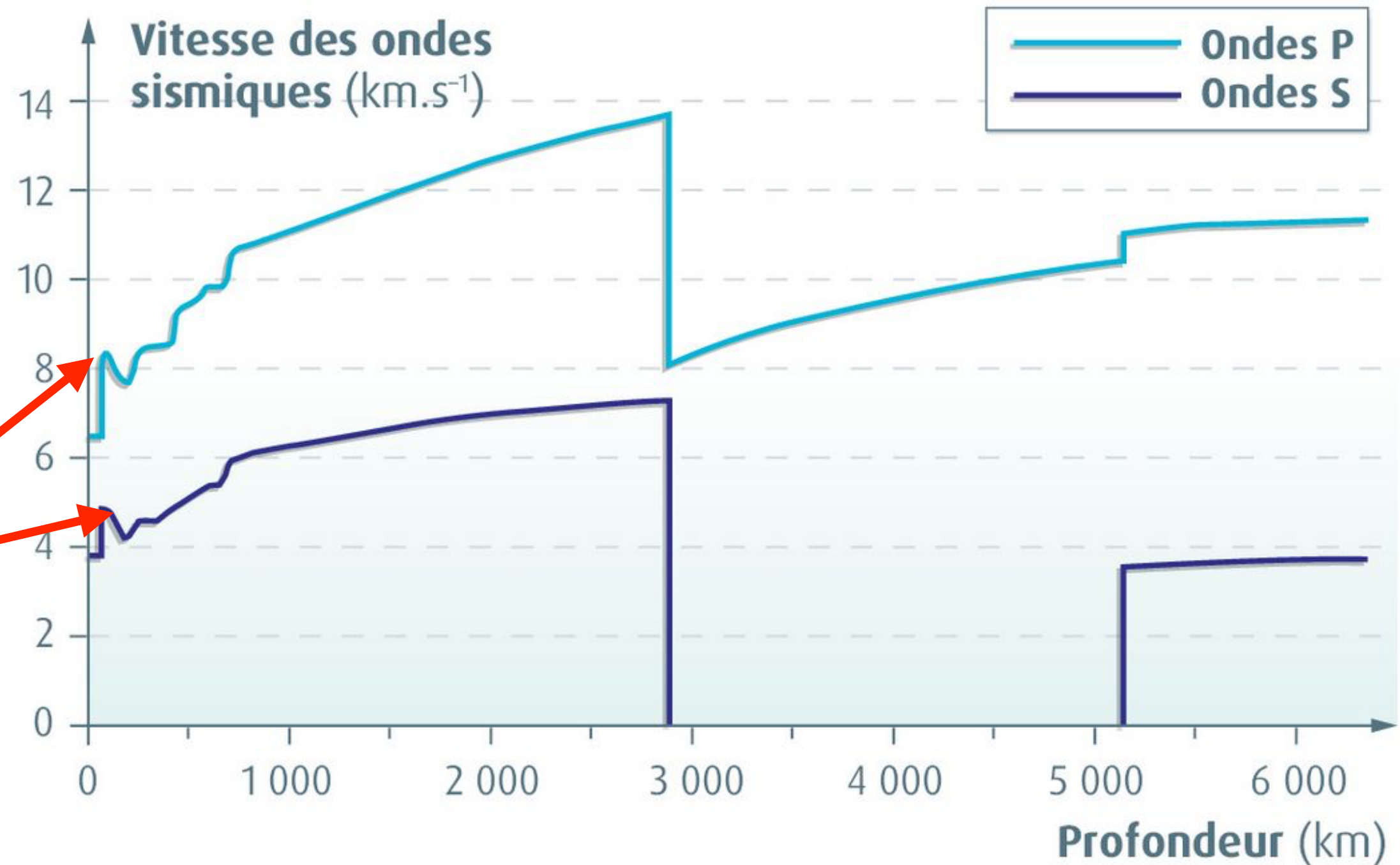
#### 2) La limite inférieure de la lithosphère

##### Retour sur l'activité 2

Vitesse de propagation des ondes P et S en fonction de la profondeur selon le modèle PREM

Zone où la vitesse des ondes augmente brusquement et diminue brusquement

ZOOM



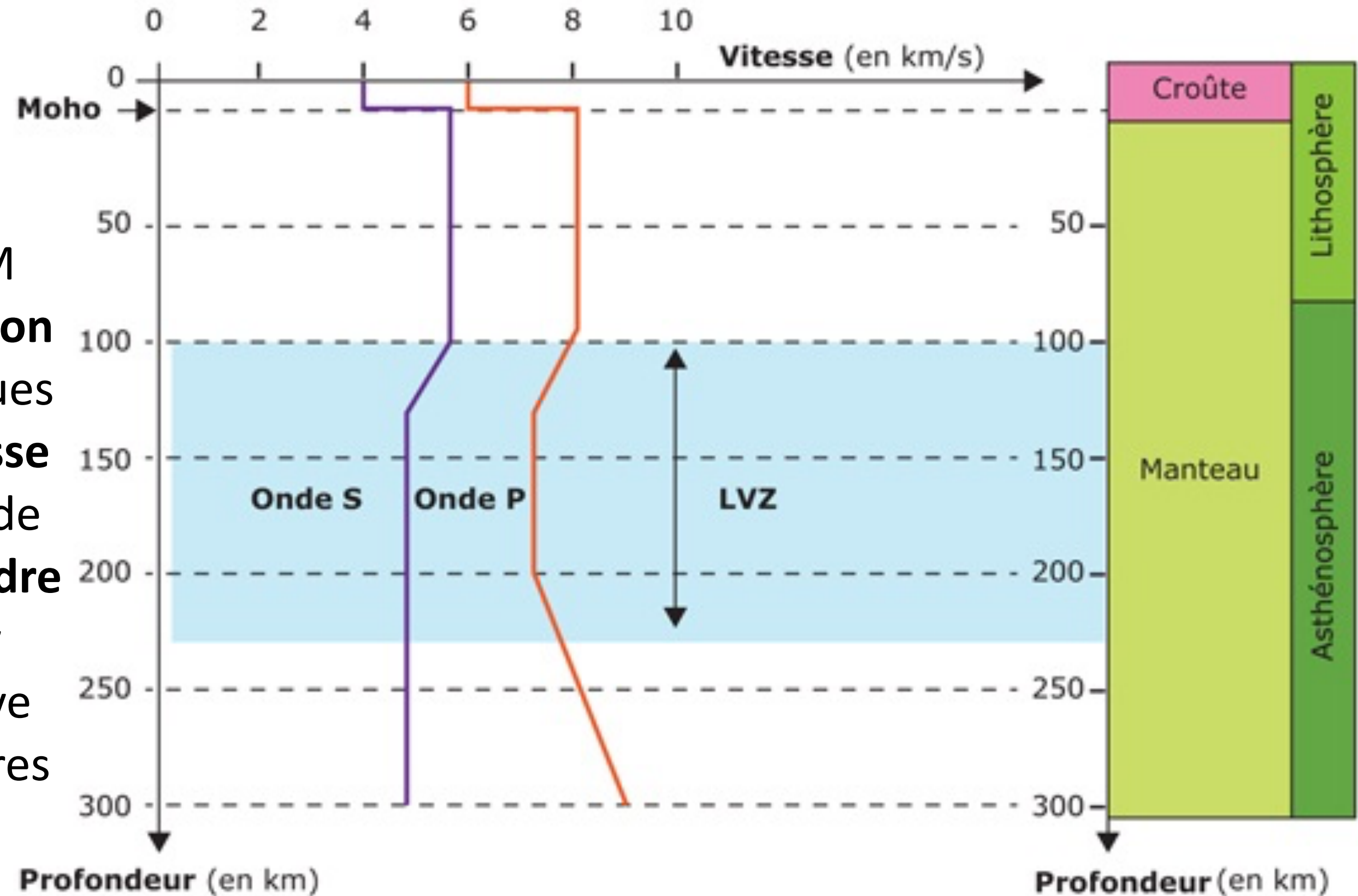
## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 2) La limite inférieure de la lithosphère

##### Retour sur l'activité 2

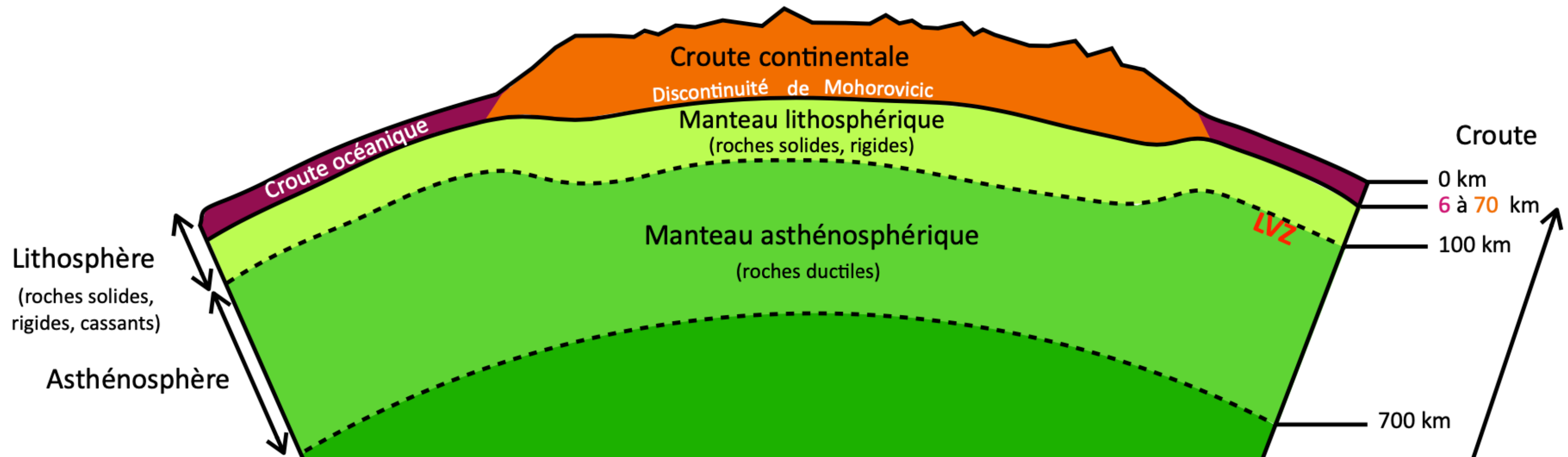
Un zoom sur le modèle PREM nous montre que **l'augmentation** de la vitesse des ondes sismiques est au niveau du **Moho**, la **baisse** commence à environ **100 km** de profondeur. Cette **zone à moindre vitesse** s'appelle la **LVZ (Low Velocity Zone)** et elle se trouve dans les 100 premiers kilomètres de **l'asthénosphère**.



## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 2) La limite inférieure de la lithosphère



Complétez le schéma bilan

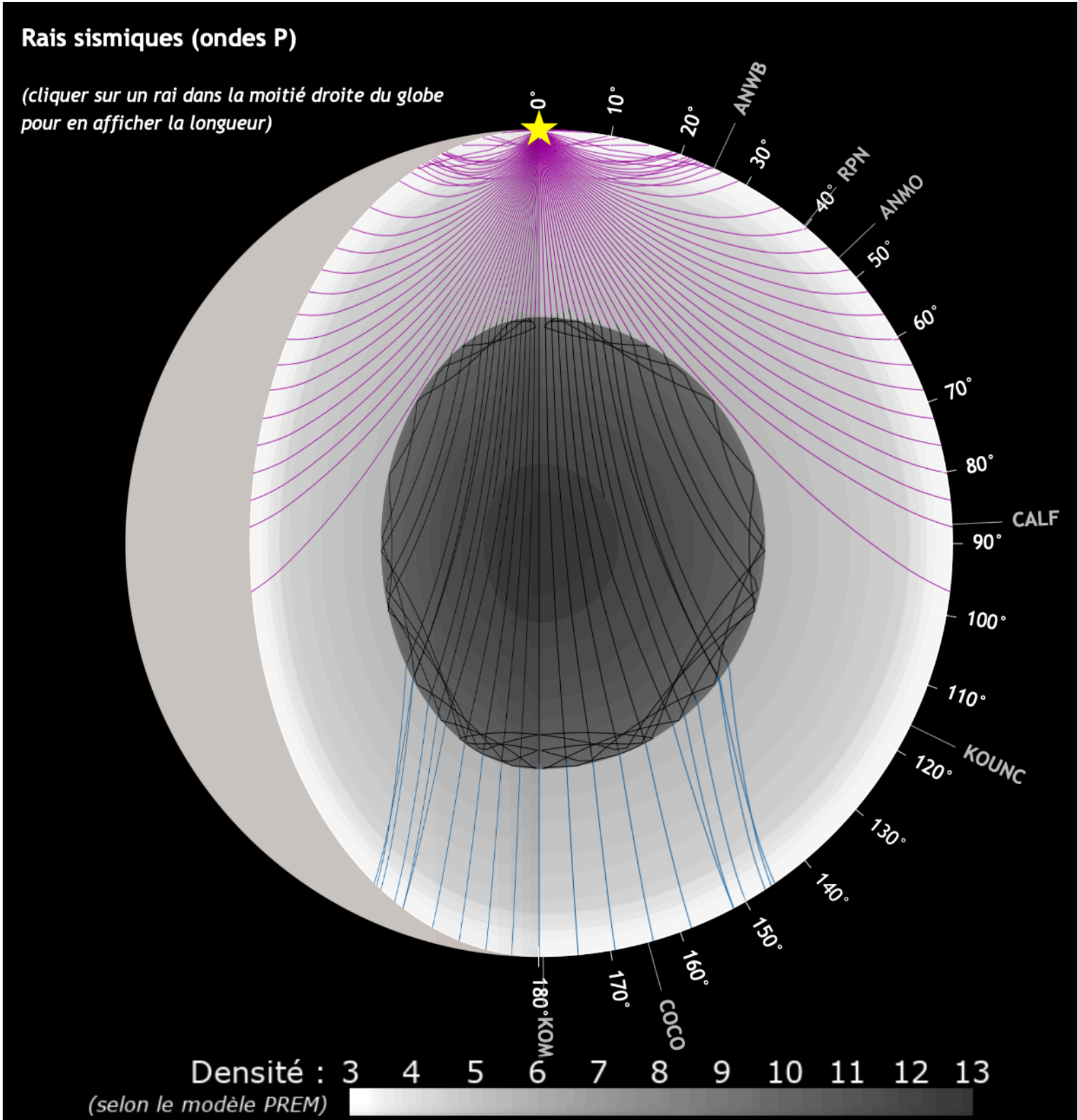
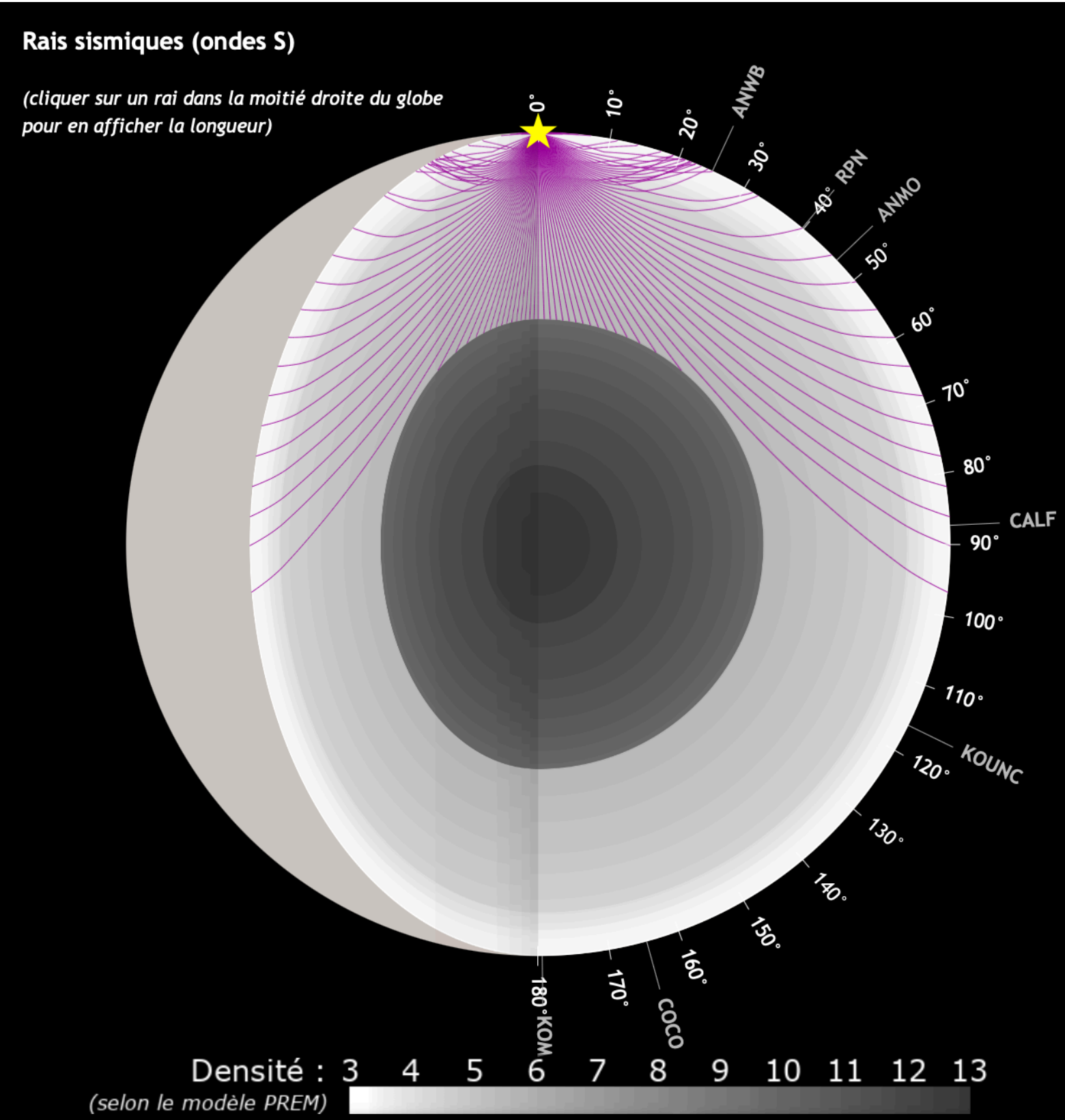
# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croute océanique
  - C) Etude de la croute continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
    - 1) La découverte de la discontinuité de Moho
    - 2) La limite inférieure de la lithosphère
    - 3) Les limites autour du noyau terrestre
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

II) L'apport des données sismiques au modèle

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

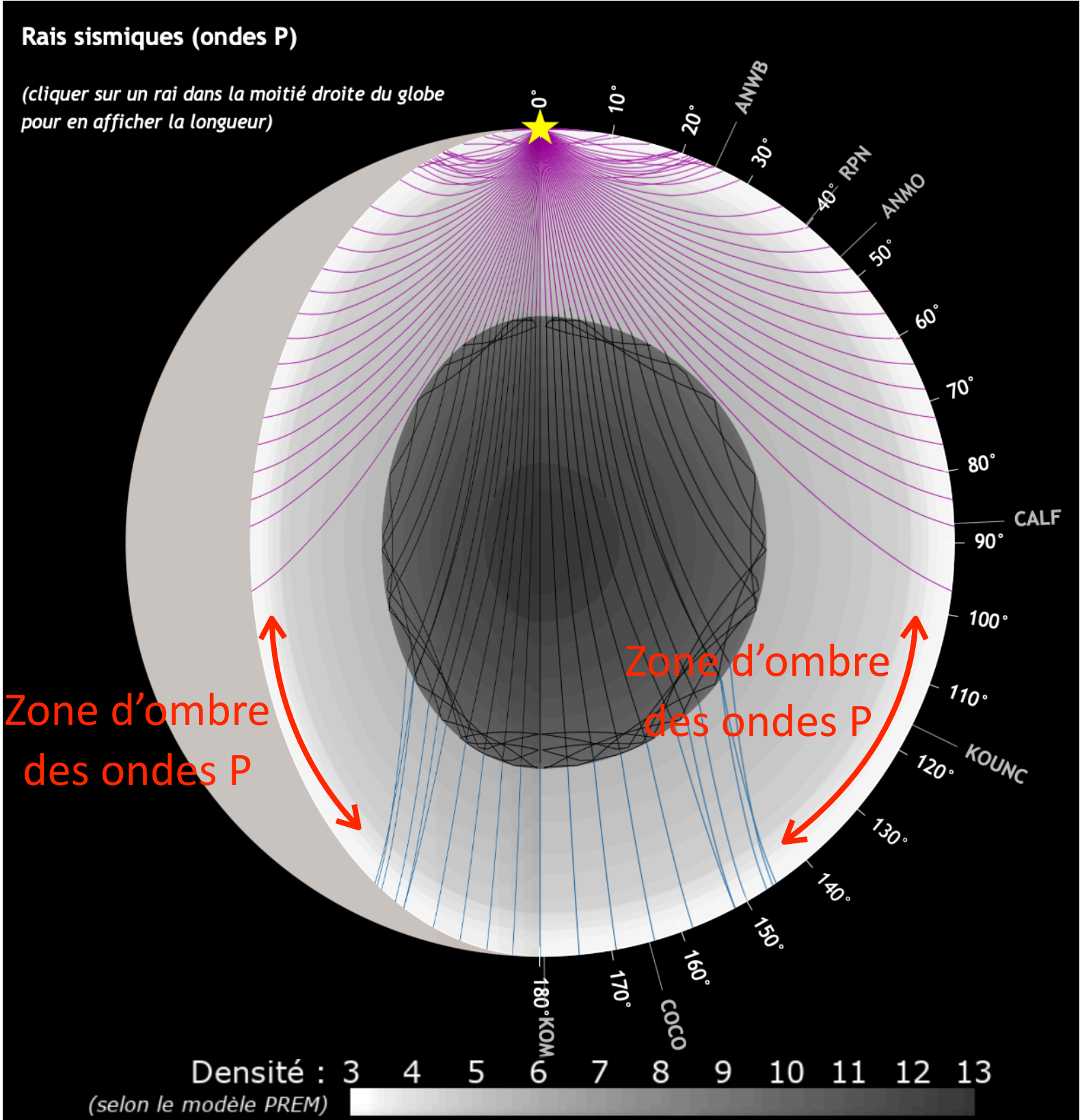
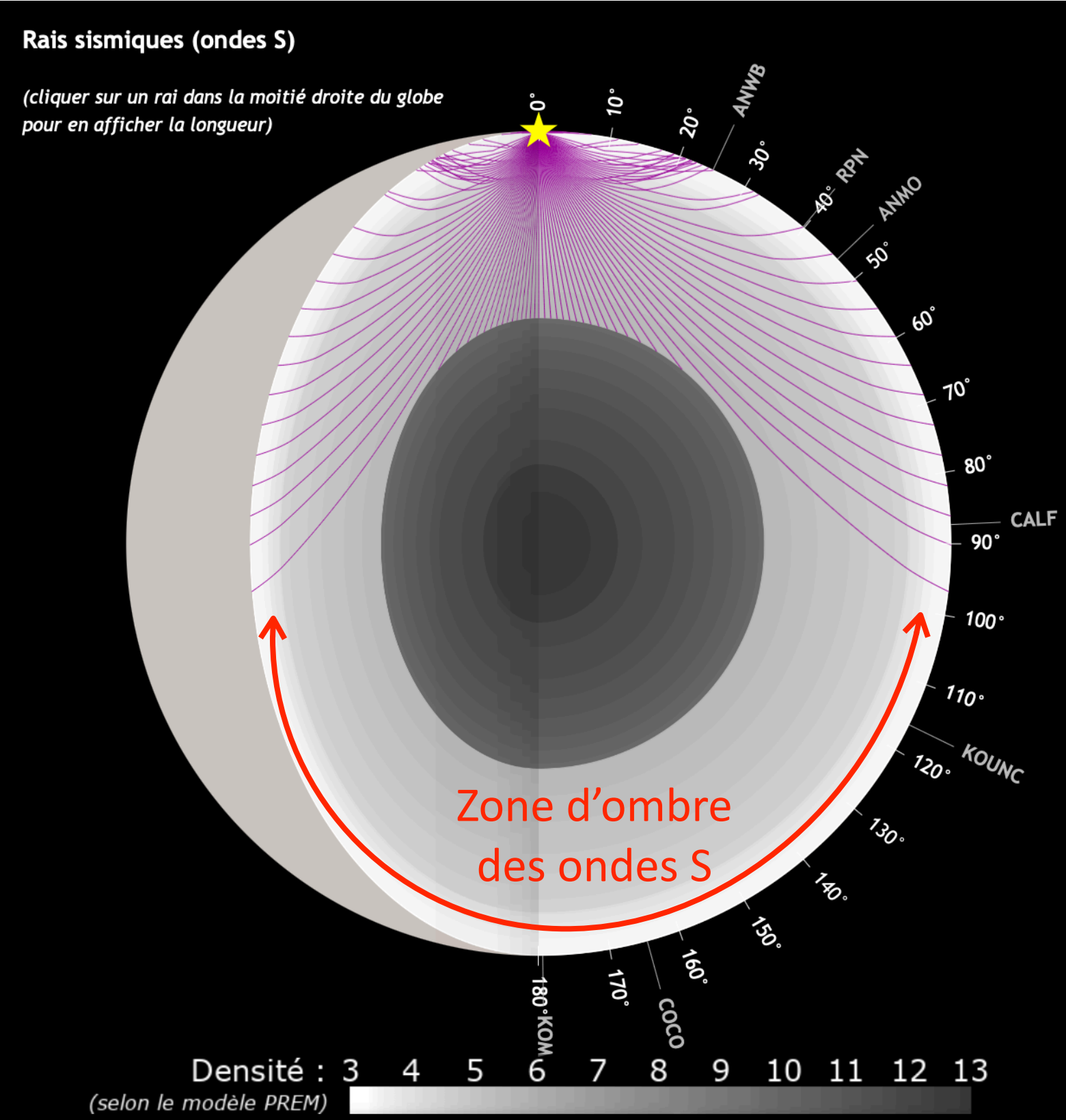
3) Les limites autour du noyau terrestre



II) L'apport des données sismiques au modèle

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

3) Les limites autour du noyau terrestre

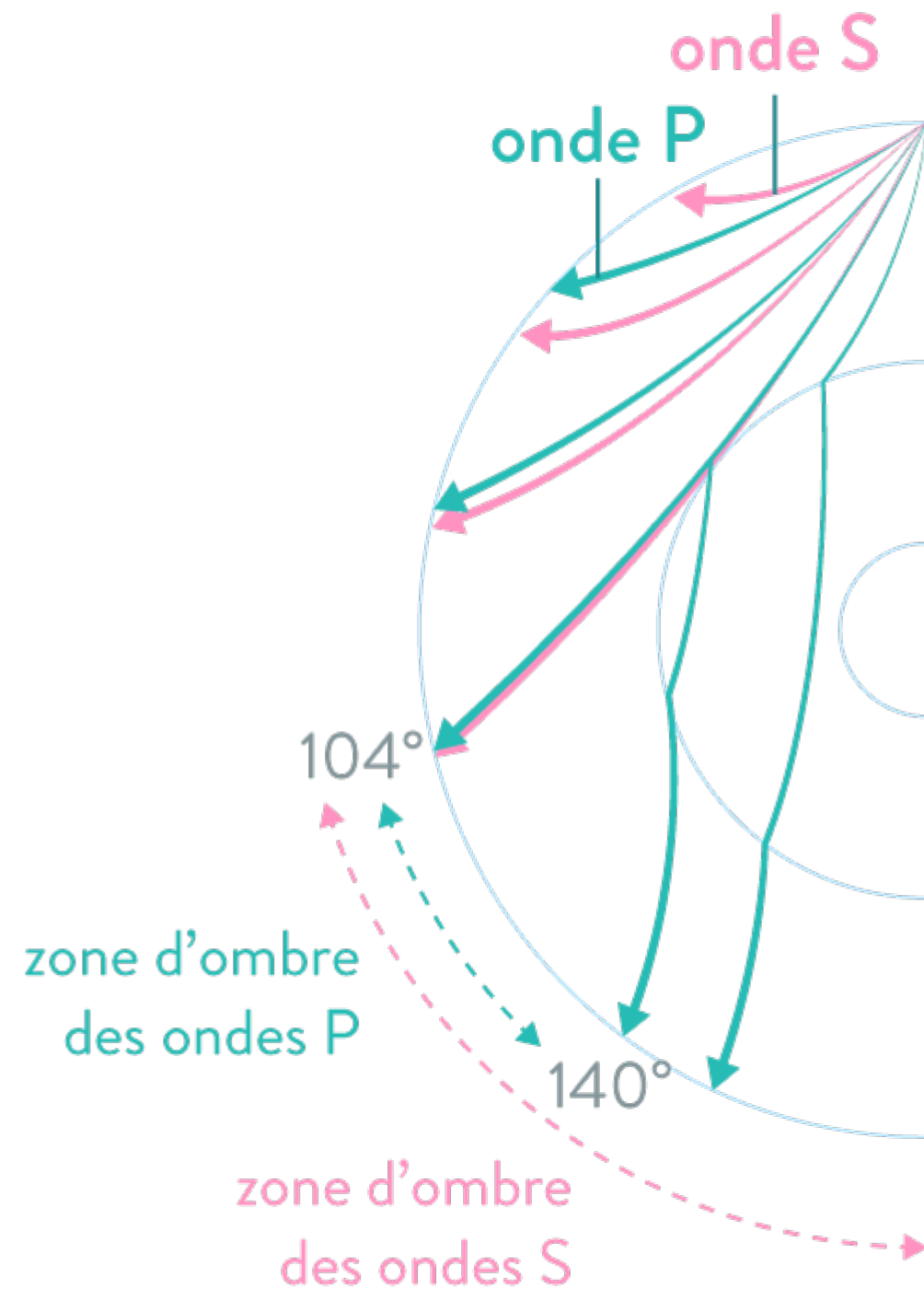


## II) L'apport des données sismiques au modèle

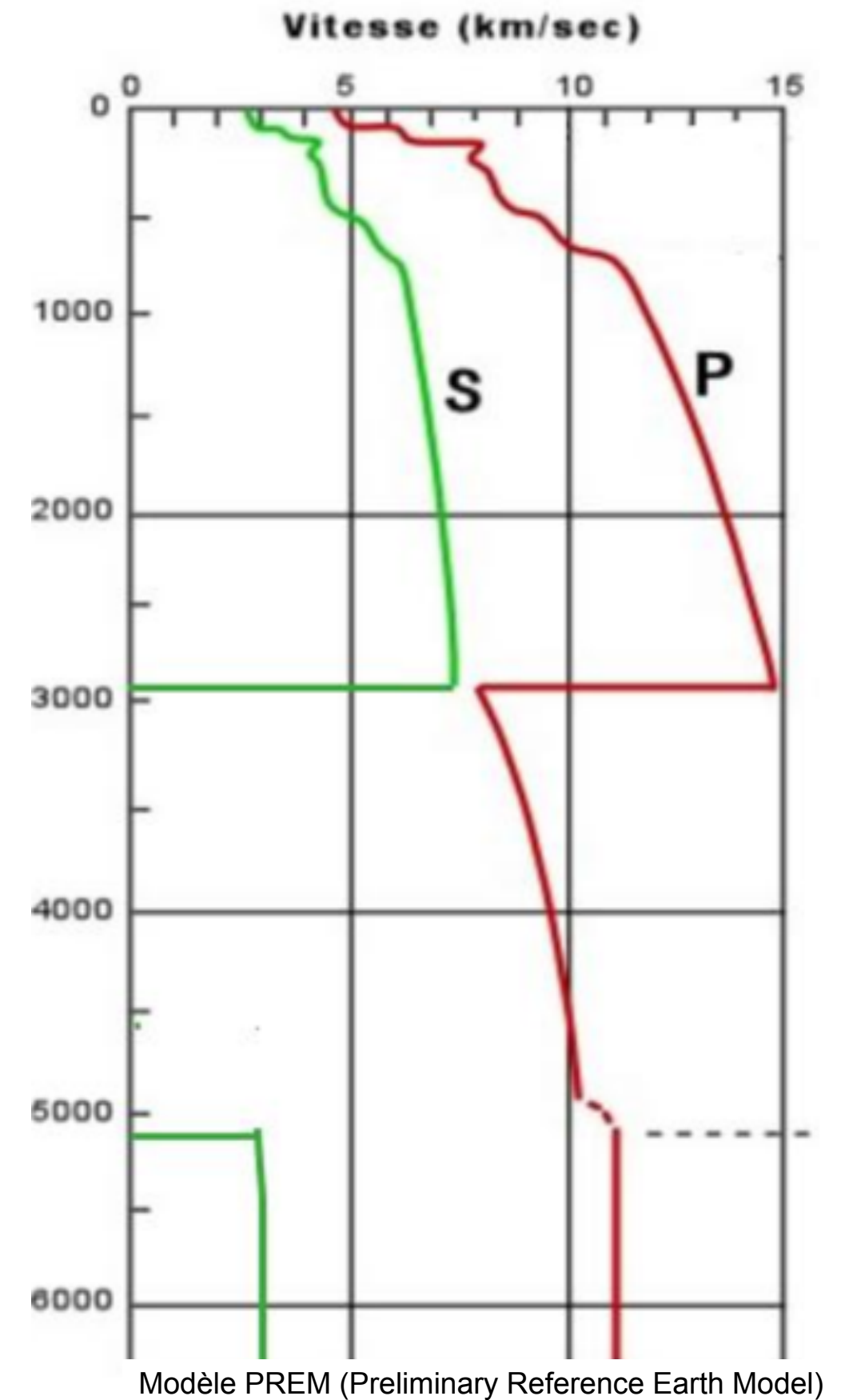
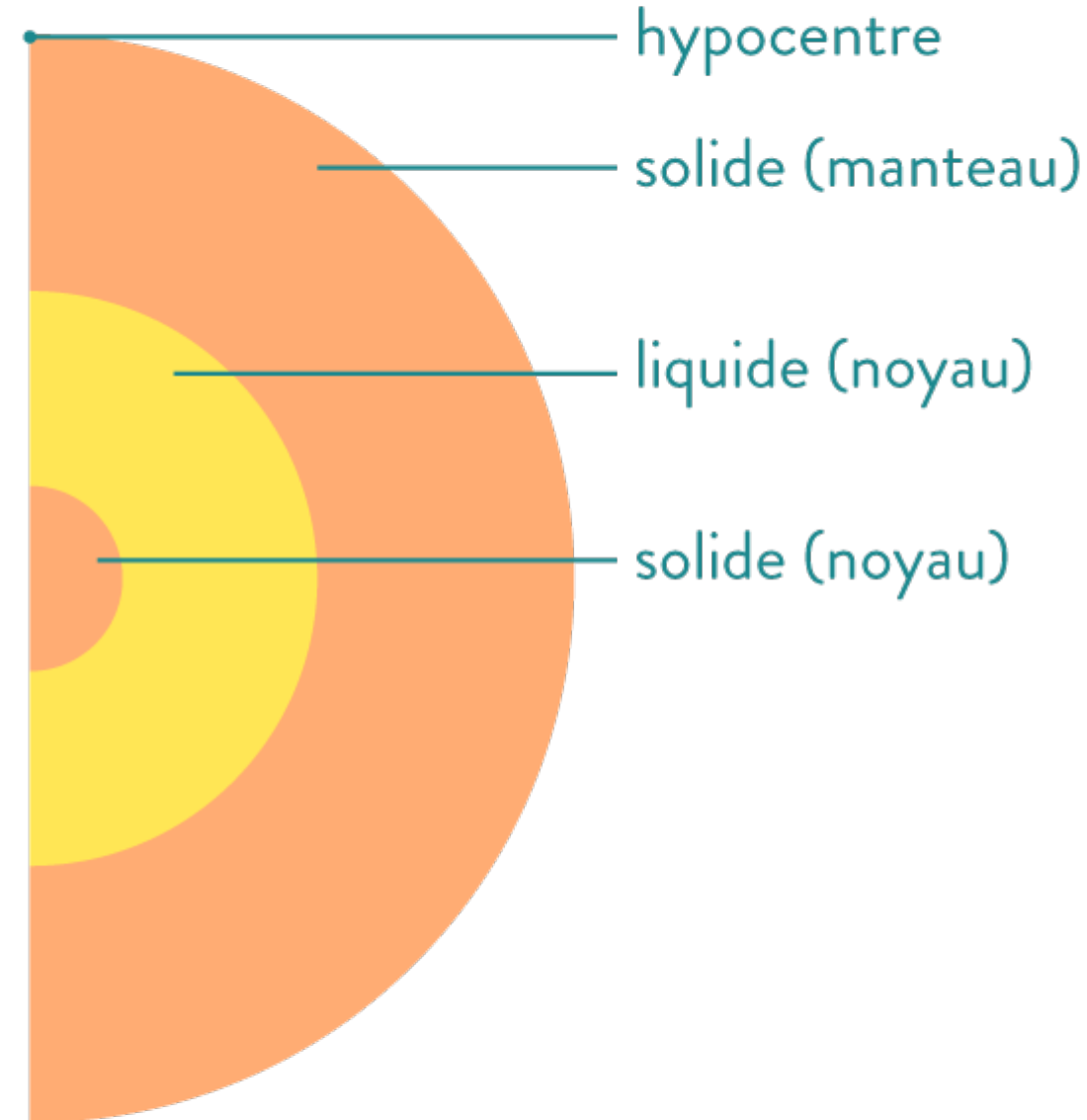
### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 3) Les limites autour du noyau terrestre

propagation des ondes



structure de la Terre



## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

#### 3) Les limites autour du noyau terrestre

Les ondes S ne se transmettent que dans les milieux solides.



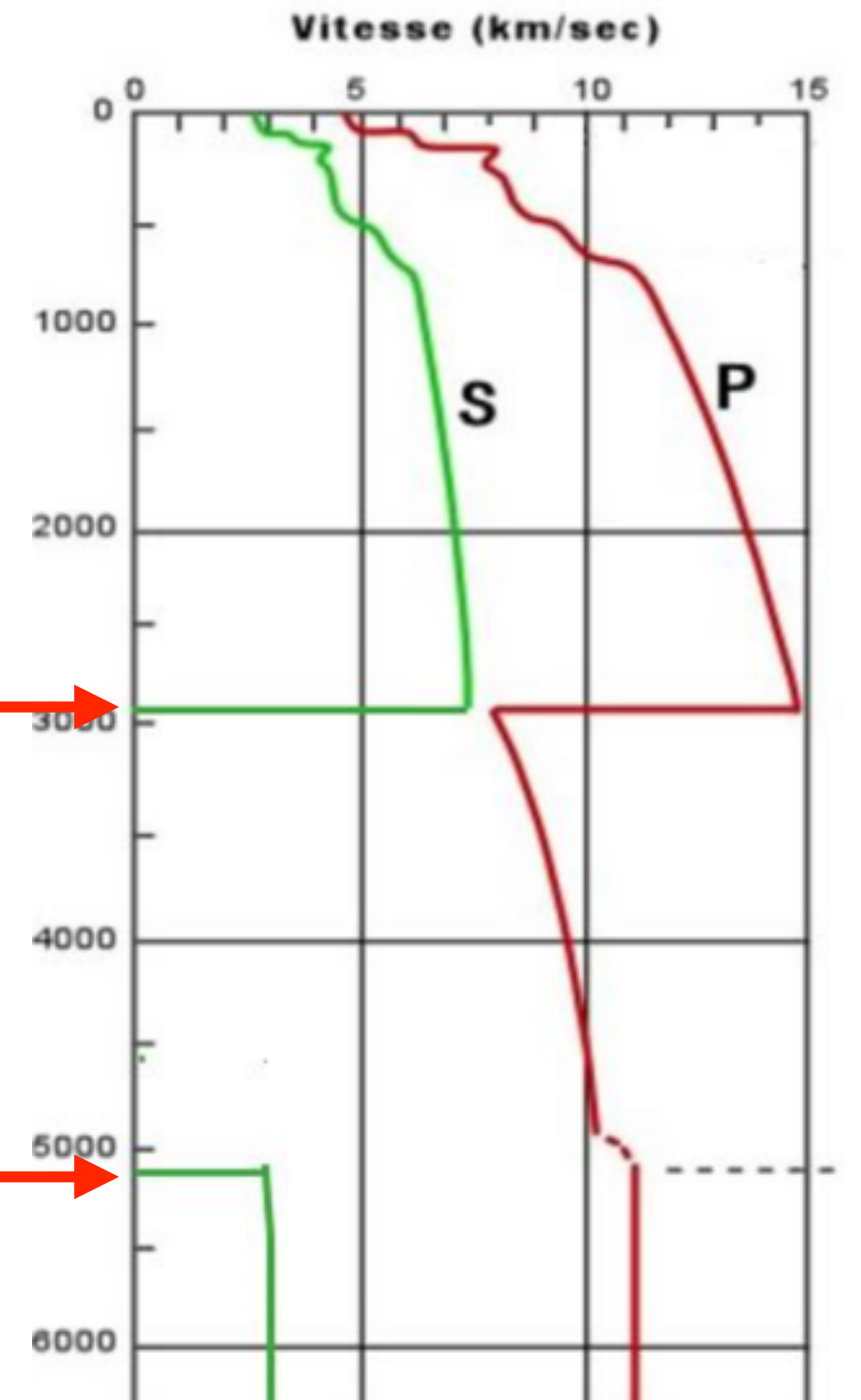
Inge Lehmann 1888 - 1993

Disparition des ondes S



Milieu liquide

Réapparition des ondes S

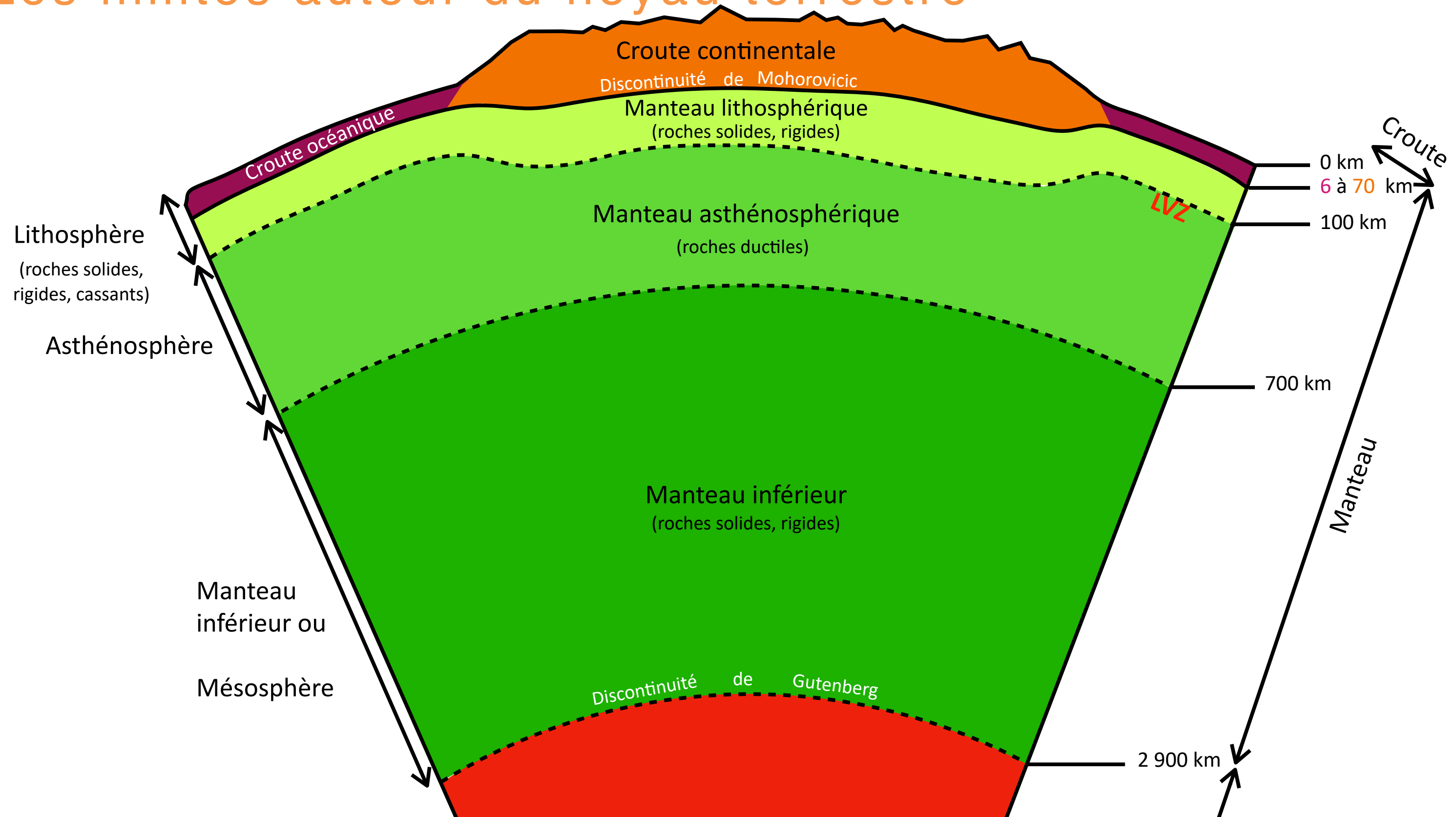


Modèle PREM (Preliminary Reference Earth Model)

## II) L'apport des données sismiques au modèle

### C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

### 3) Les limites autour du noyau terrestre

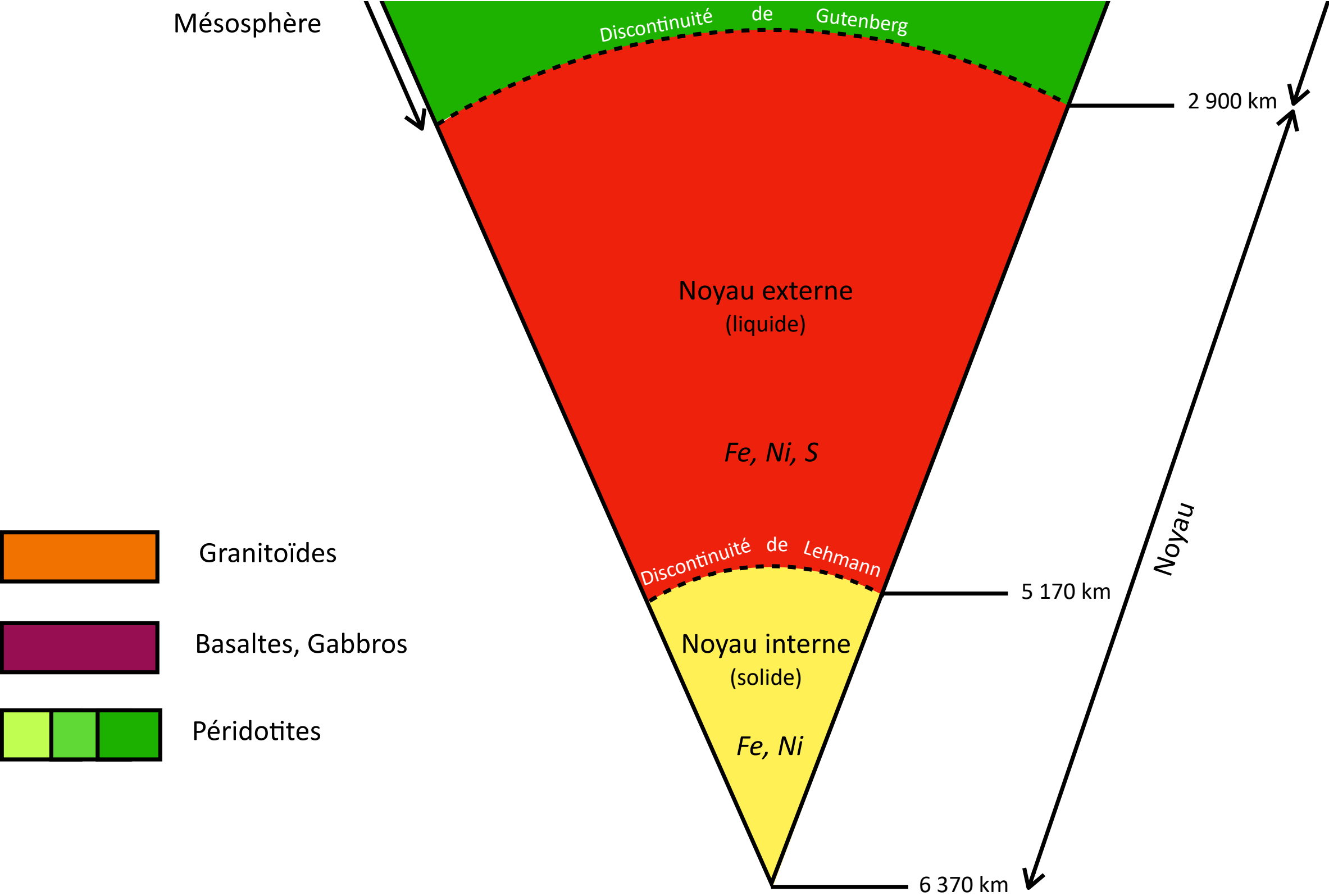


Finir de compléter le schéma bilan

II) L'apport des données sismiques au modèle

C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe

3) Les limites autour du noyau terrestre



L'échelle verticale ne respecte aucune proportion

Finir de complétez le schéma bilan

# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croute océanique
  - C) Etude de la croute continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## A) Le gradient géothermique terrestre

Que vous évoque ces images ?



Geyser Strokkur (Islande)



Eruption volcanique de  
l'Etna (Sicile)



Hommes dans une mine  
au XIX ème siècle

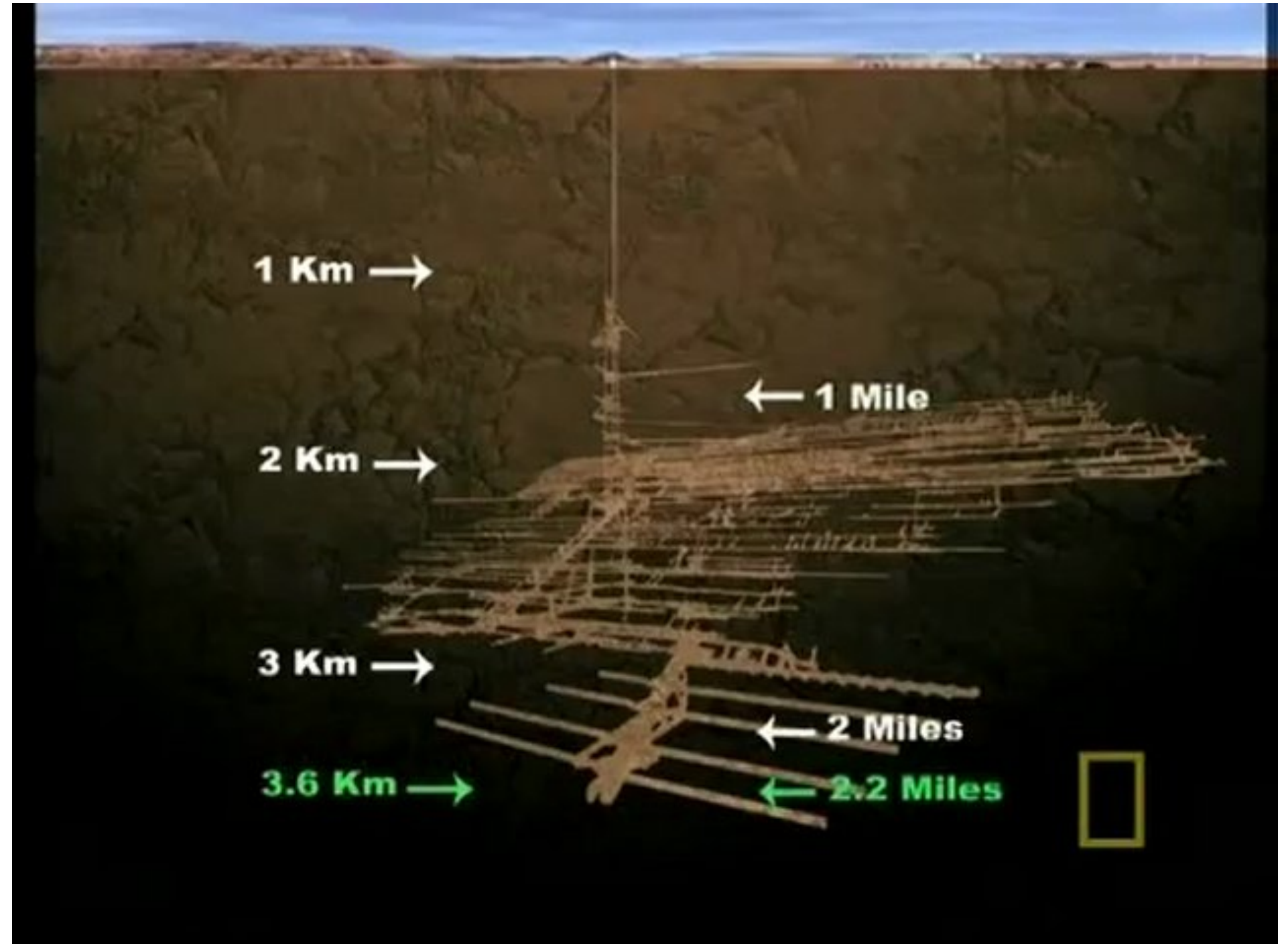
### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### A) Le gradient géothermique terrestre



Mine d'or de Tau Tona (Afrique du Sud)

- plus profonde au monde (3,6 km)
- 60°C

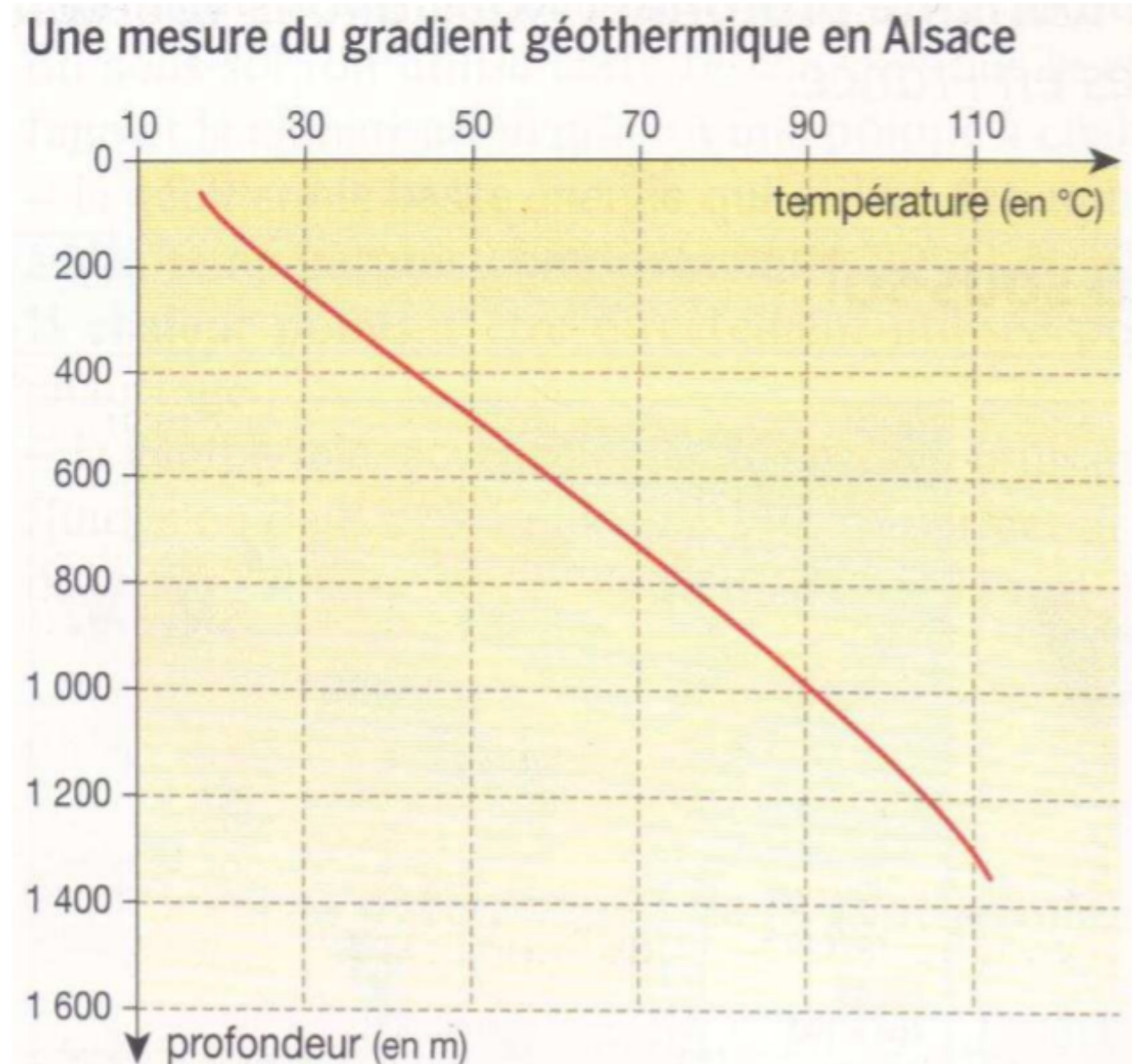


### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### A) Le gradient géothermique terrestre

Interprétation : La température sur Terre augmente avec la profondeur.

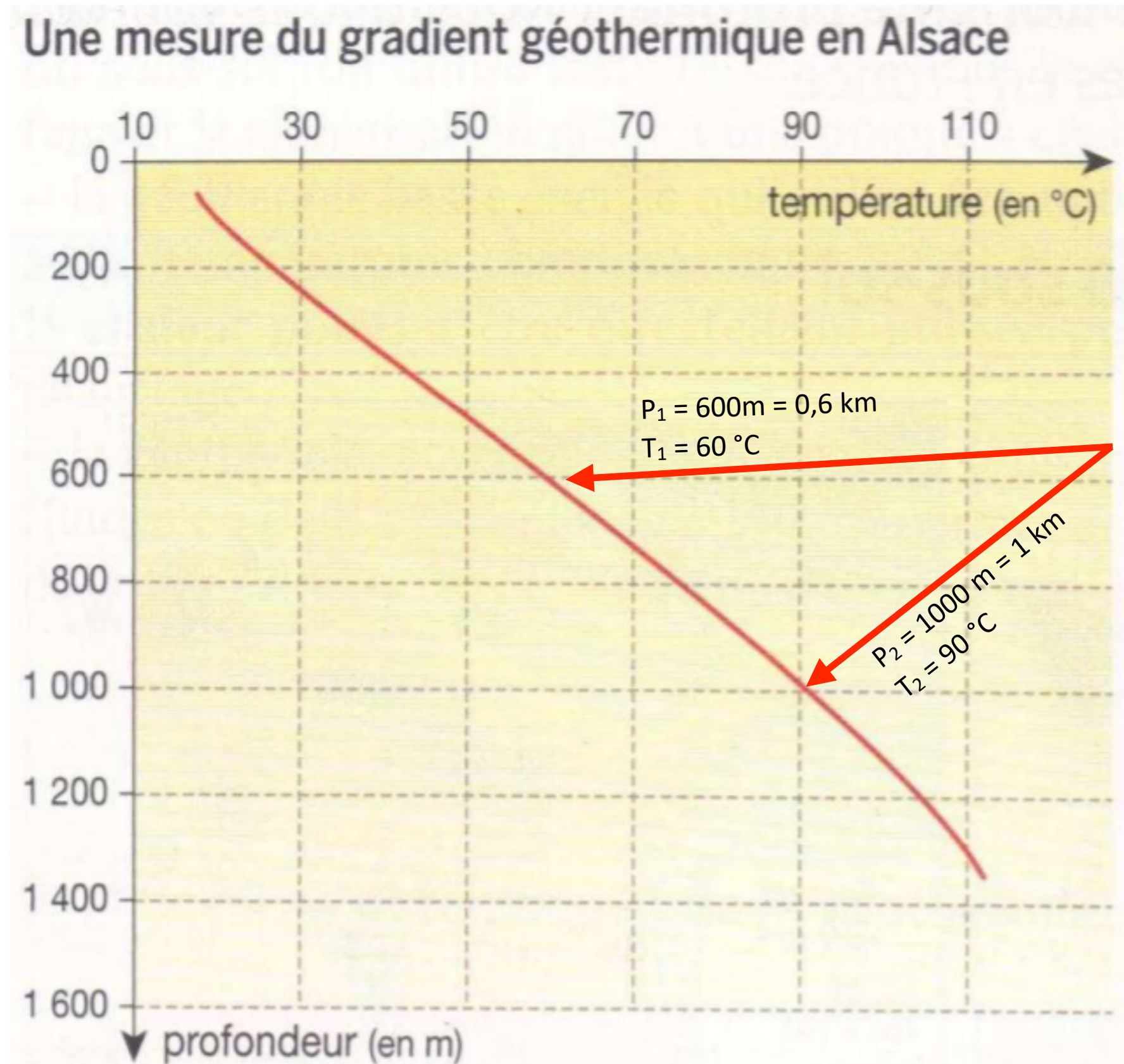
L'augmentation de la température par unité de profondeur correspond au **gradient géothermique**. Il se mesure en  $^{\circ}\text{C}/\text{km}$



Calculez le gradient géothermique en Alsace !

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## A) Le gradient géothermique terrestre



Comment calculer un coefficient directeur d'une droite ?

Prendre deux points avec des coordonnées (abscisse et ordonnée) facilement identifiables et appliquer la formule suivante :

$$\begin{aligned}\text{Coef directeur} &= (T_2 - T_1) / (P_2 - P_1) \\ &= (90 - 60) / (1 - 0,6) \\ &= 75\text{ °C/Km}\end{aligned}$$

Le gradient géothermique en Alsace est de 75°C par Km de profondeur

### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### A) Le gradient géothermique terrestre

En moyenne, dans la croute terrestre la température augmente d'environ 30°C/km en moyenne

Si le gradient géothermique était constant, quelle température ferait-il au centre de la Terre ?

$$30 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### A) Le gradient géothermique terrestre

En moyenne, dans la croute terrestre la température augmente d'environ 30°C/km en moyenne

Si le gradient géothermique était constant, quelle température ferait-il au centre de la Terre ?

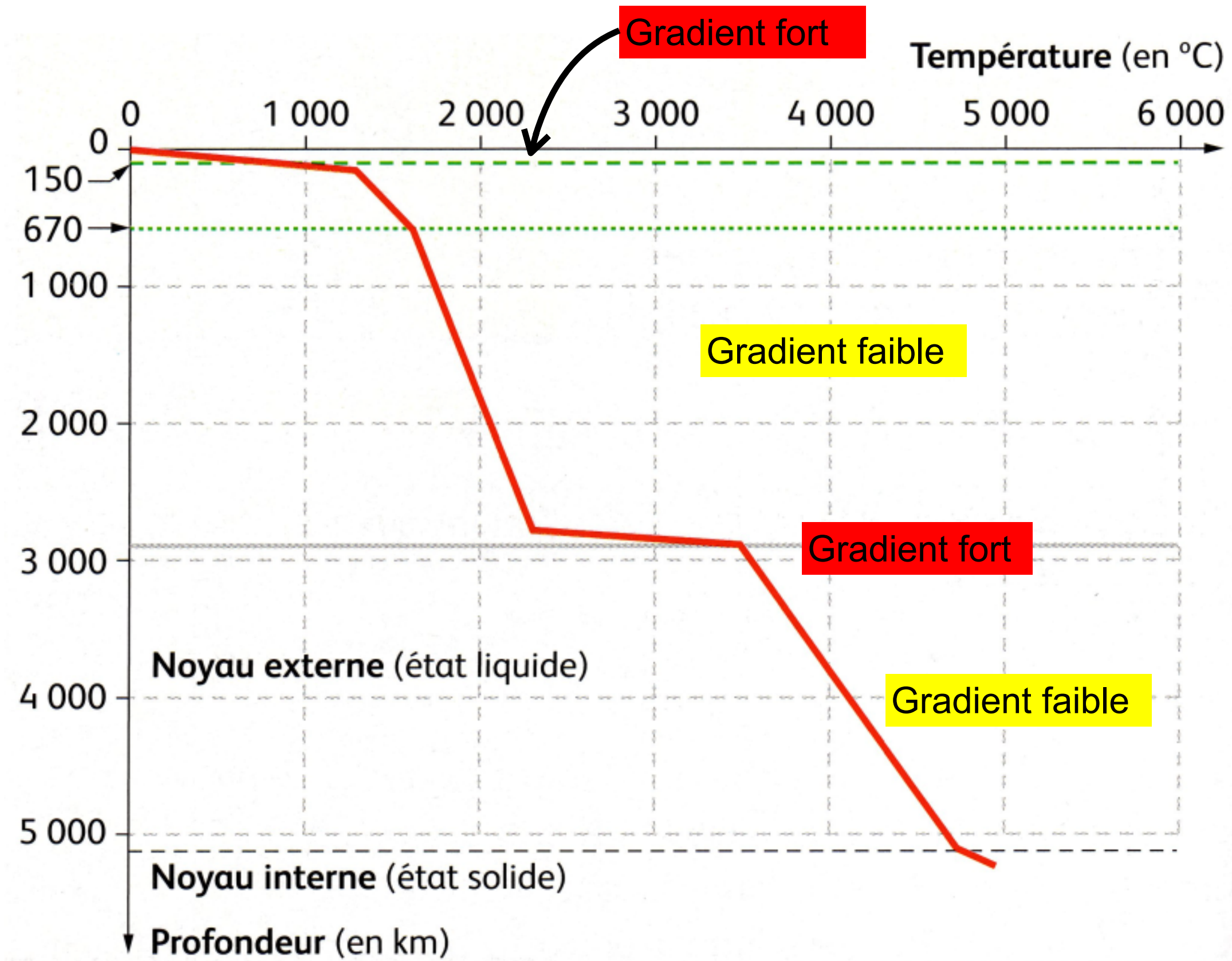
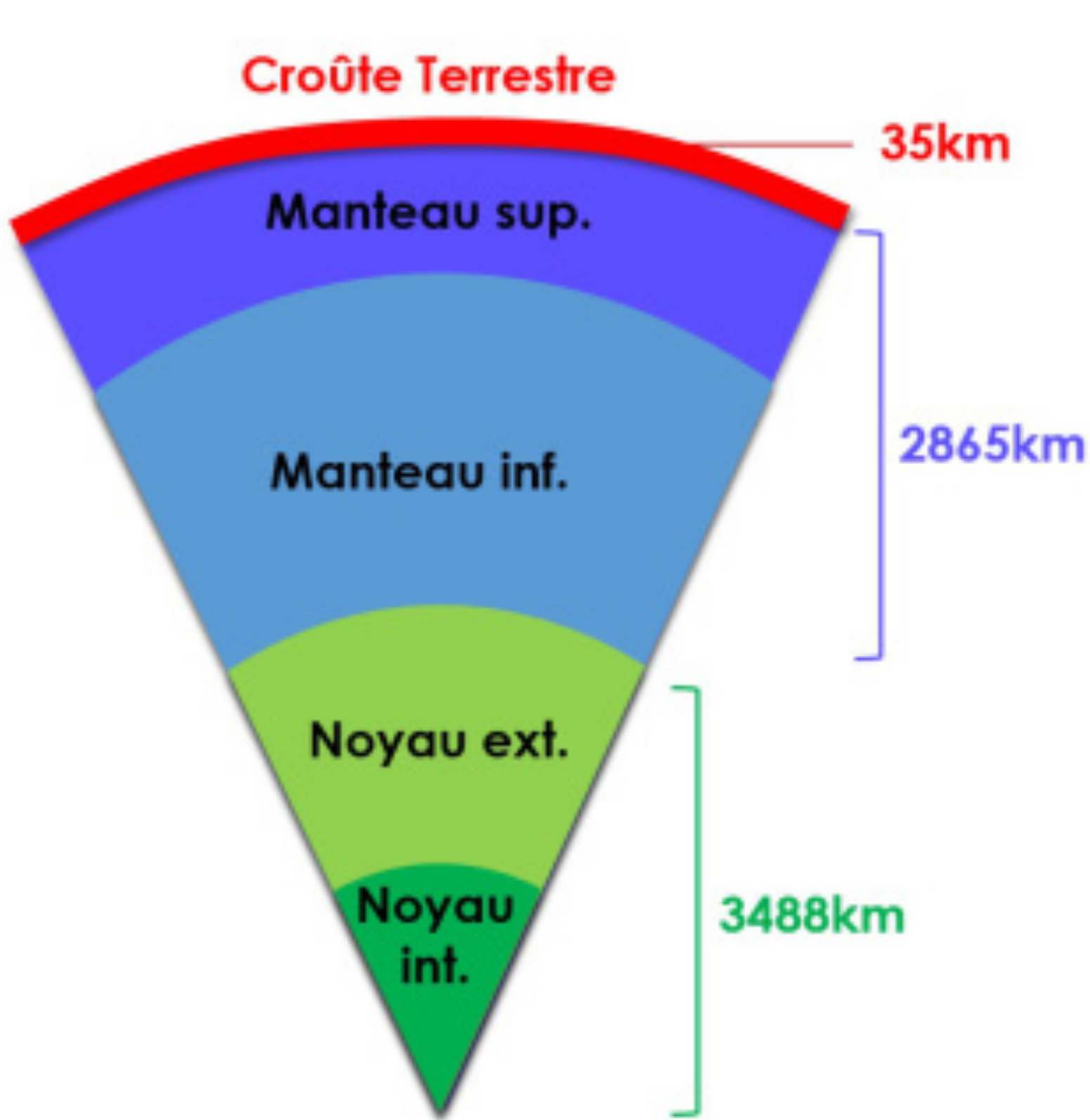
$$30 \times 6370 = 191\,100\text{ °C}$$

*Or la température au centre de la Terre est d'environ 5 000 à 6 000 °C*

**Conclusion** : le gradient géothermique n'est pas constant dans toute la Terre !

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## A) Le gradient géothermique terrestre



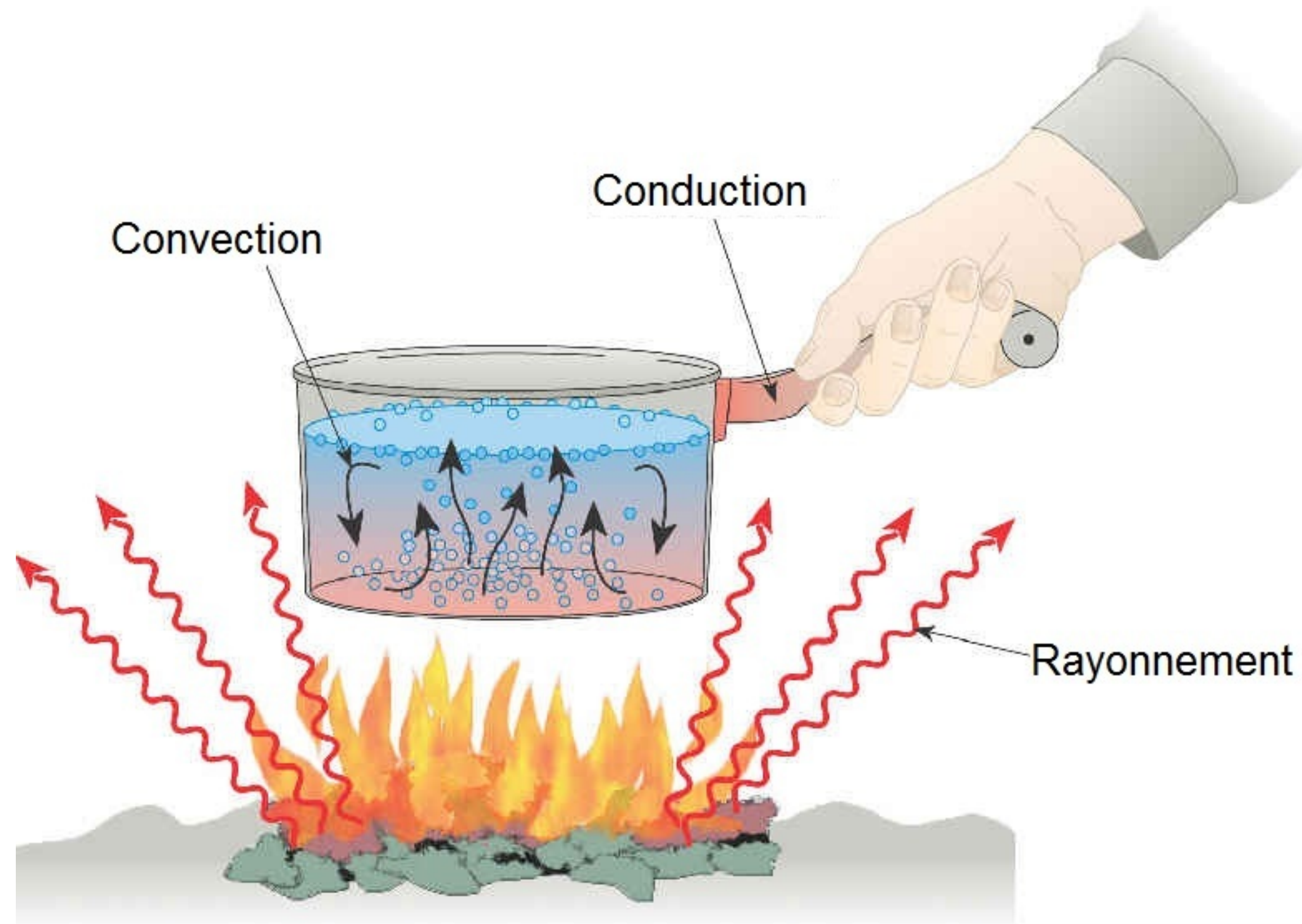
# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croute océanique
  - C) Etude de la croute continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

cf TP 3 - Le transfert de l'énergie thermique dans le sol

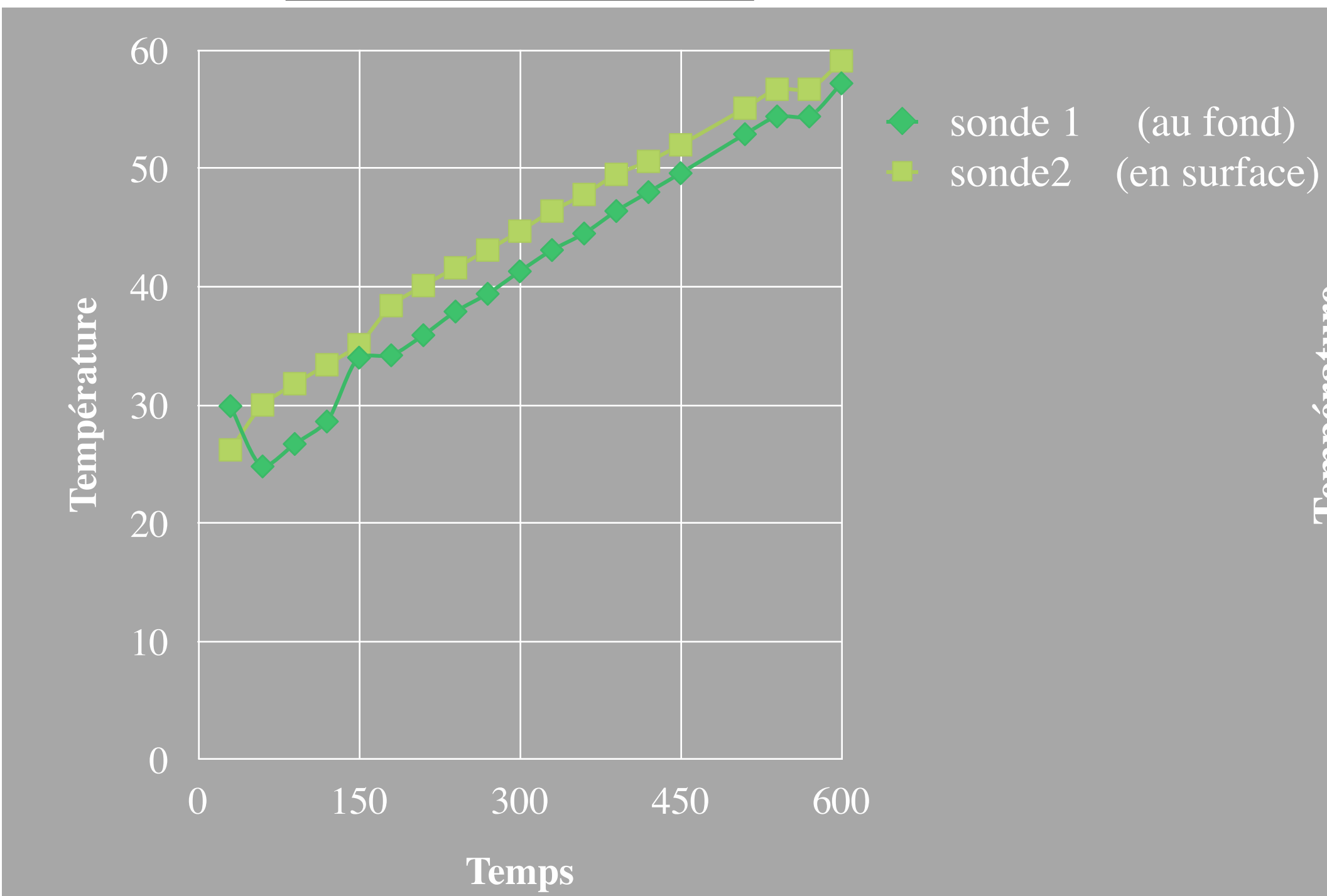


III) L'apport des données thermiques au modèle

B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

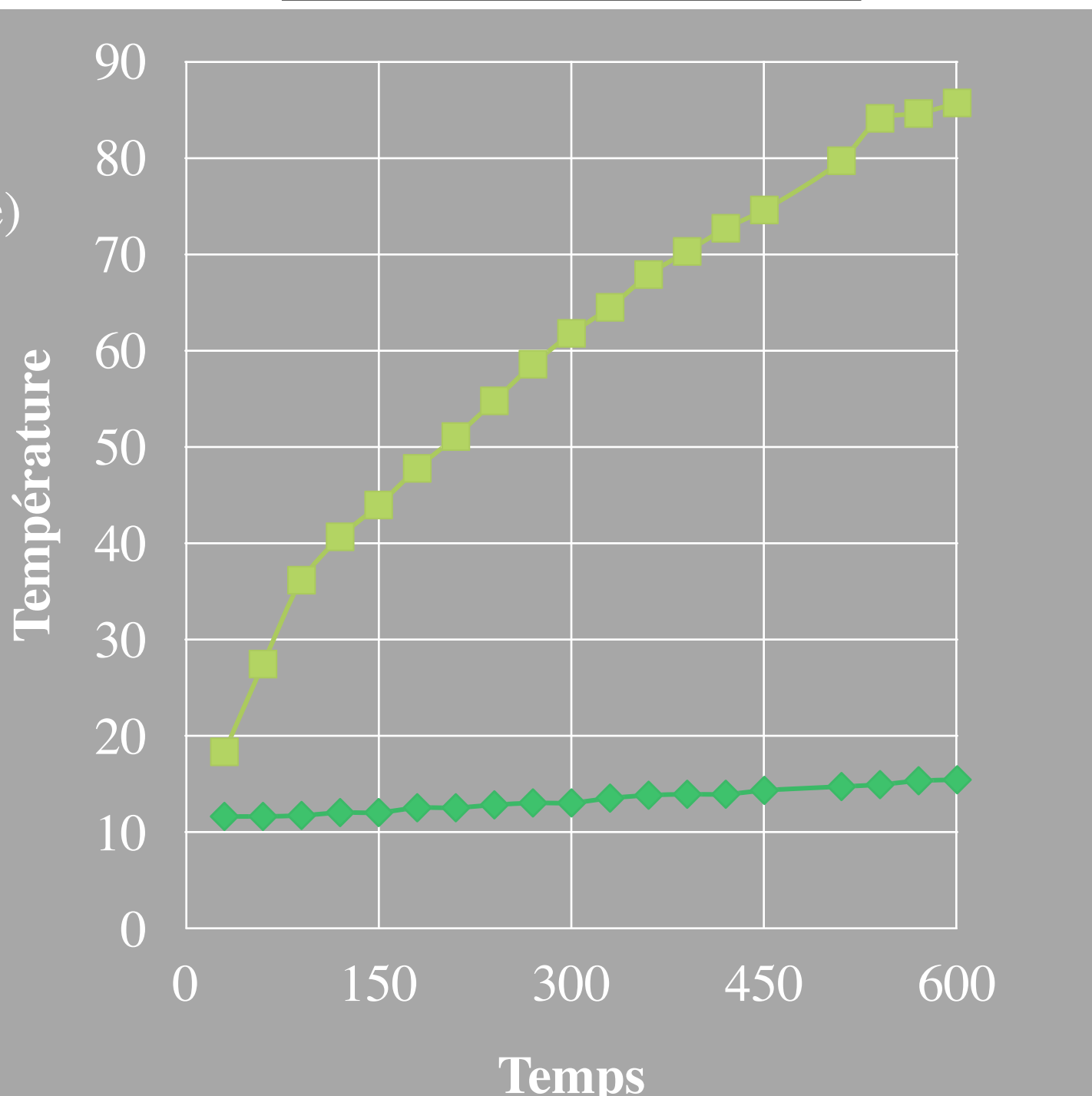
cf TP 3 - Le transfert de l'énergie thermique dans le sol

Graphique du géotherme lors d'une modélisation de convection



Gradient thermique : 0,23°C/cm

Graphique du géotherme lors d'une modélisation de conduction



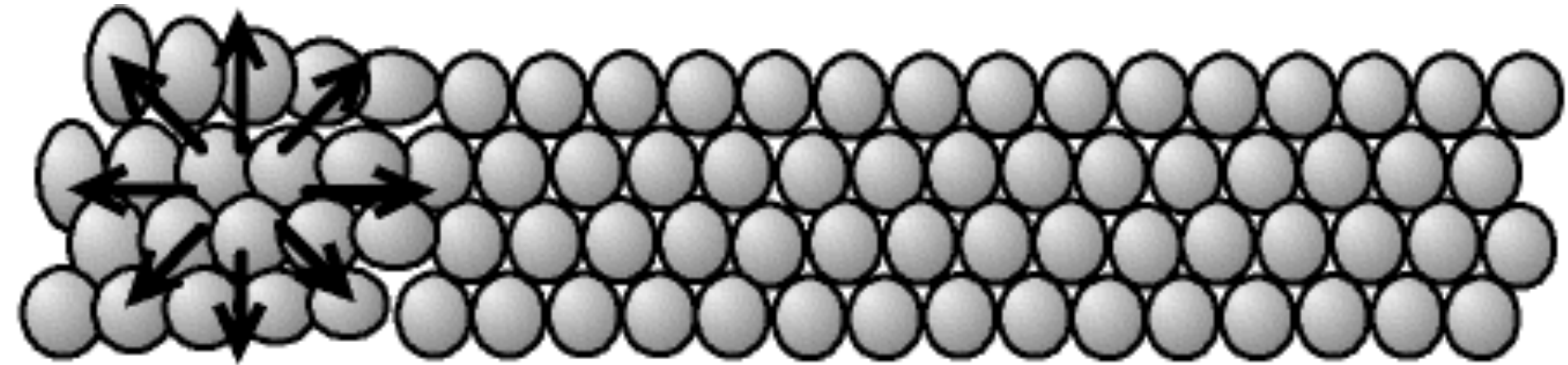
Gradient thermique : 8,7°C/cm

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

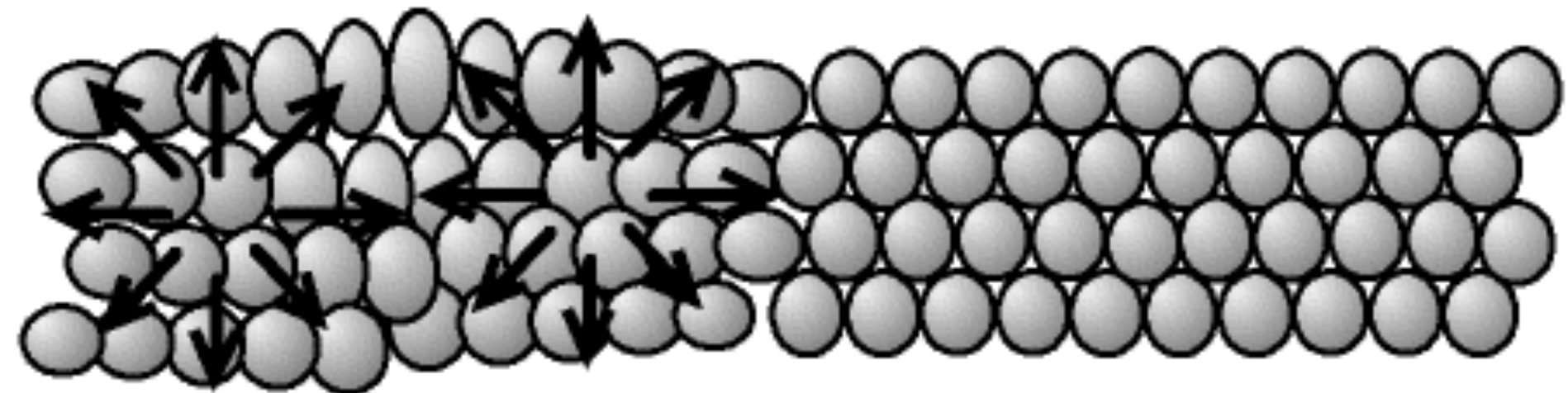
cf TP 3 - Le transfert de l'énergie thermique dans le sol

### ➤ La conduction



partie chaude  
(atomes "agités")

partie froide  
(atomes "calmes")

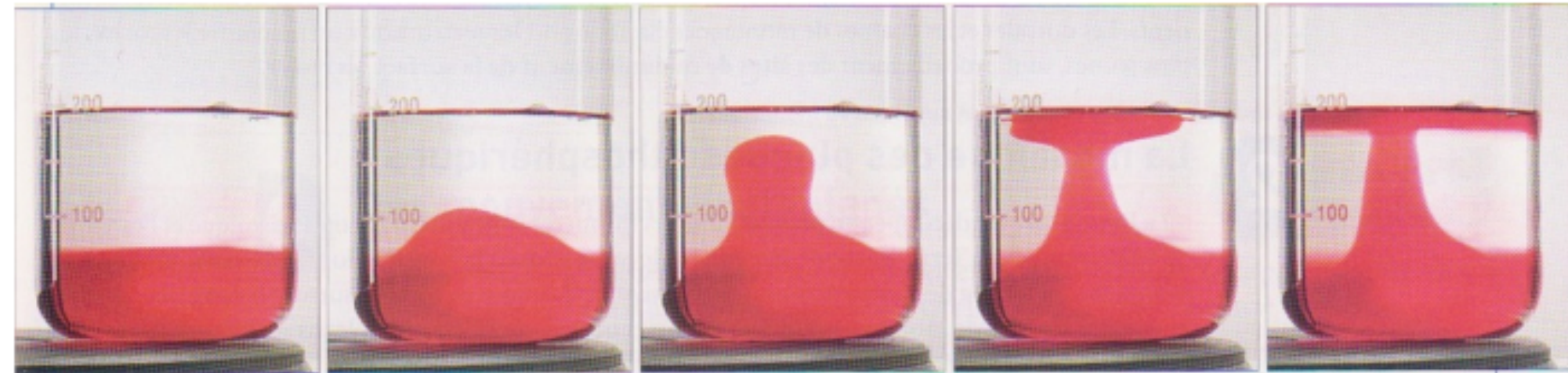
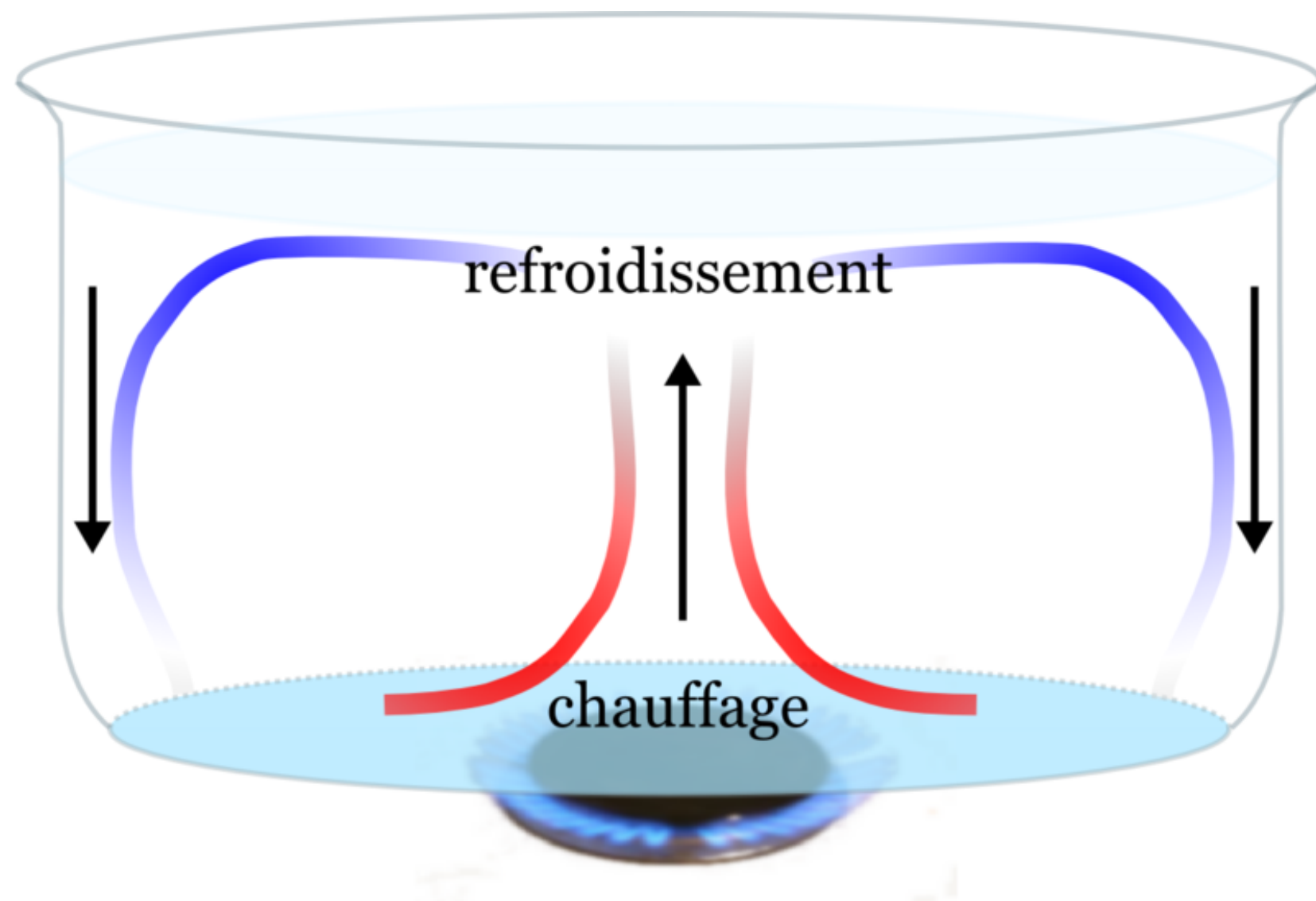


# III) L'apport des données thermiques au modèle

## B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique

cf TP 3 - Le transfert de l'énergie thermique dans le sol

### ➤ La convection

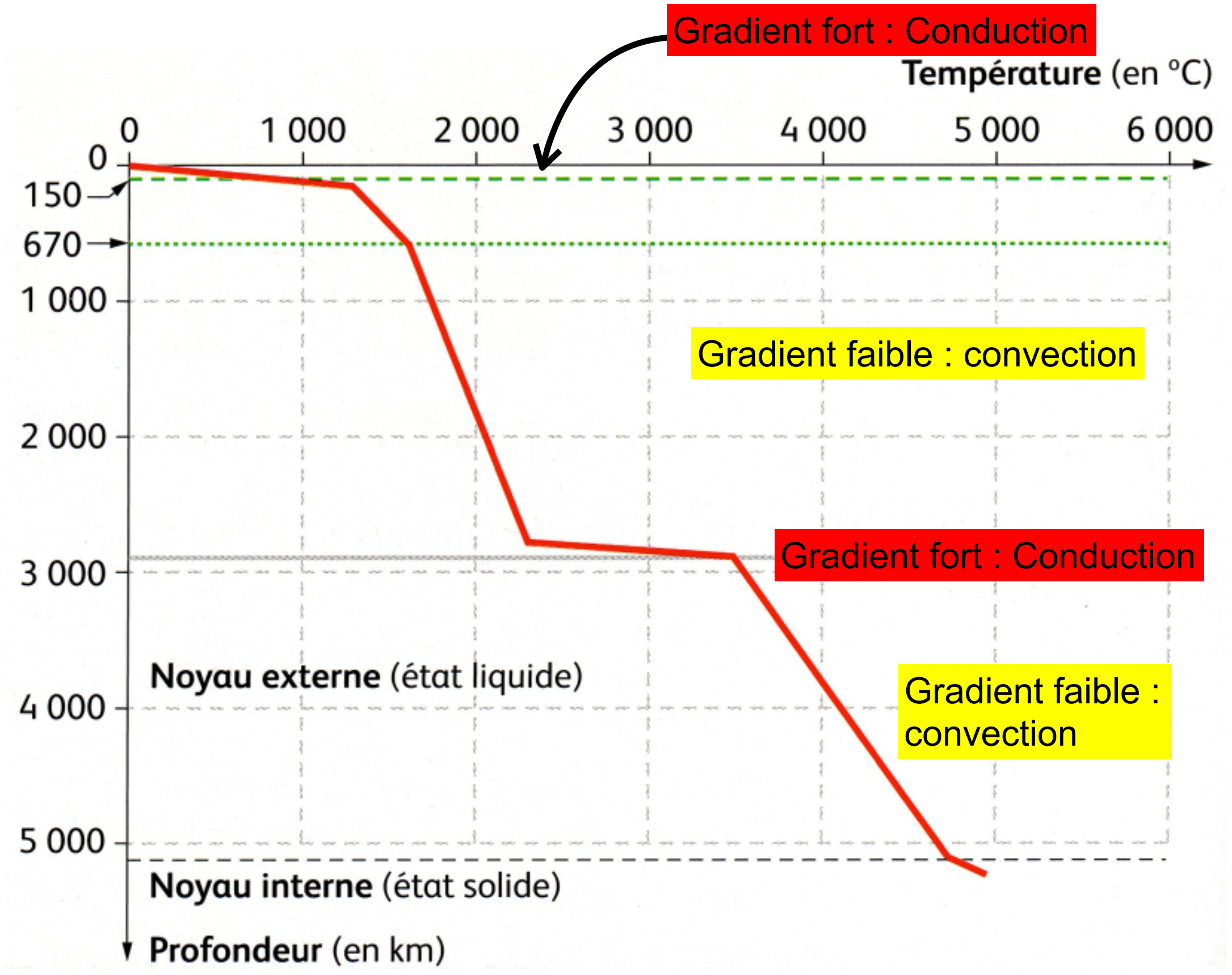
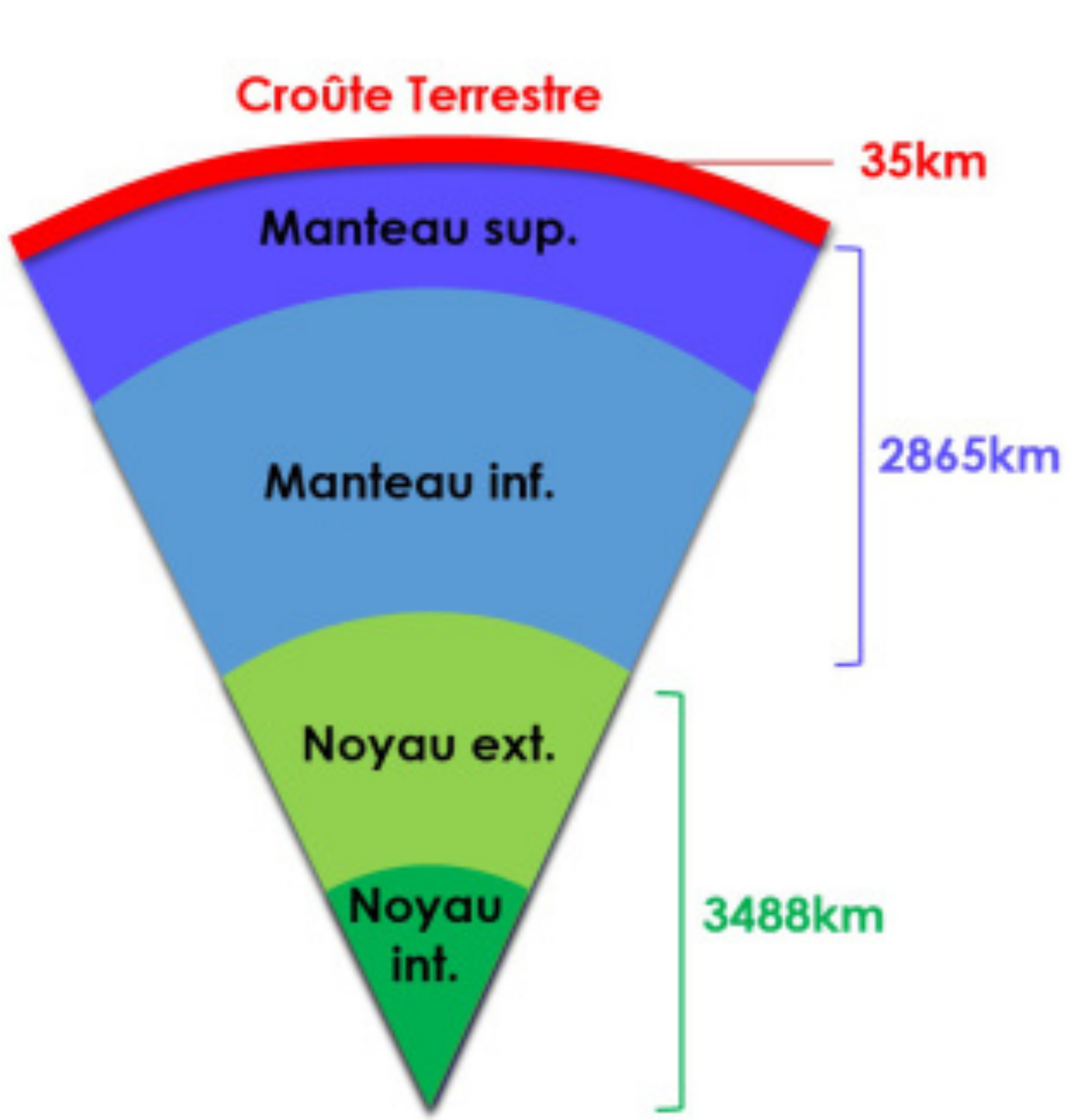


*Mise en évidence d'une évacuation de chaleur par convection (source de chaleur en dessous)*



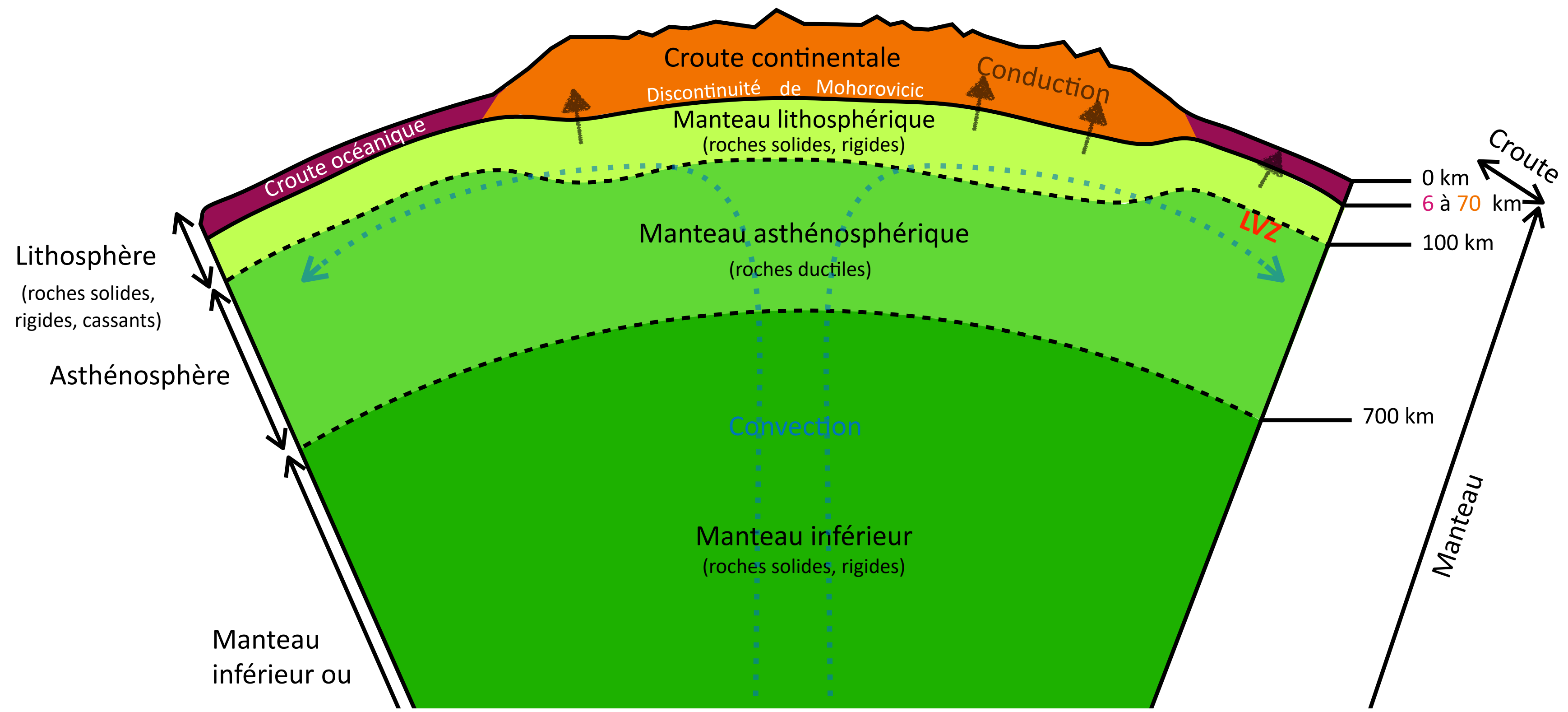
III) L'apport des données thermiques au modèle

B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique



III) L'apport des données thermiques au modèle

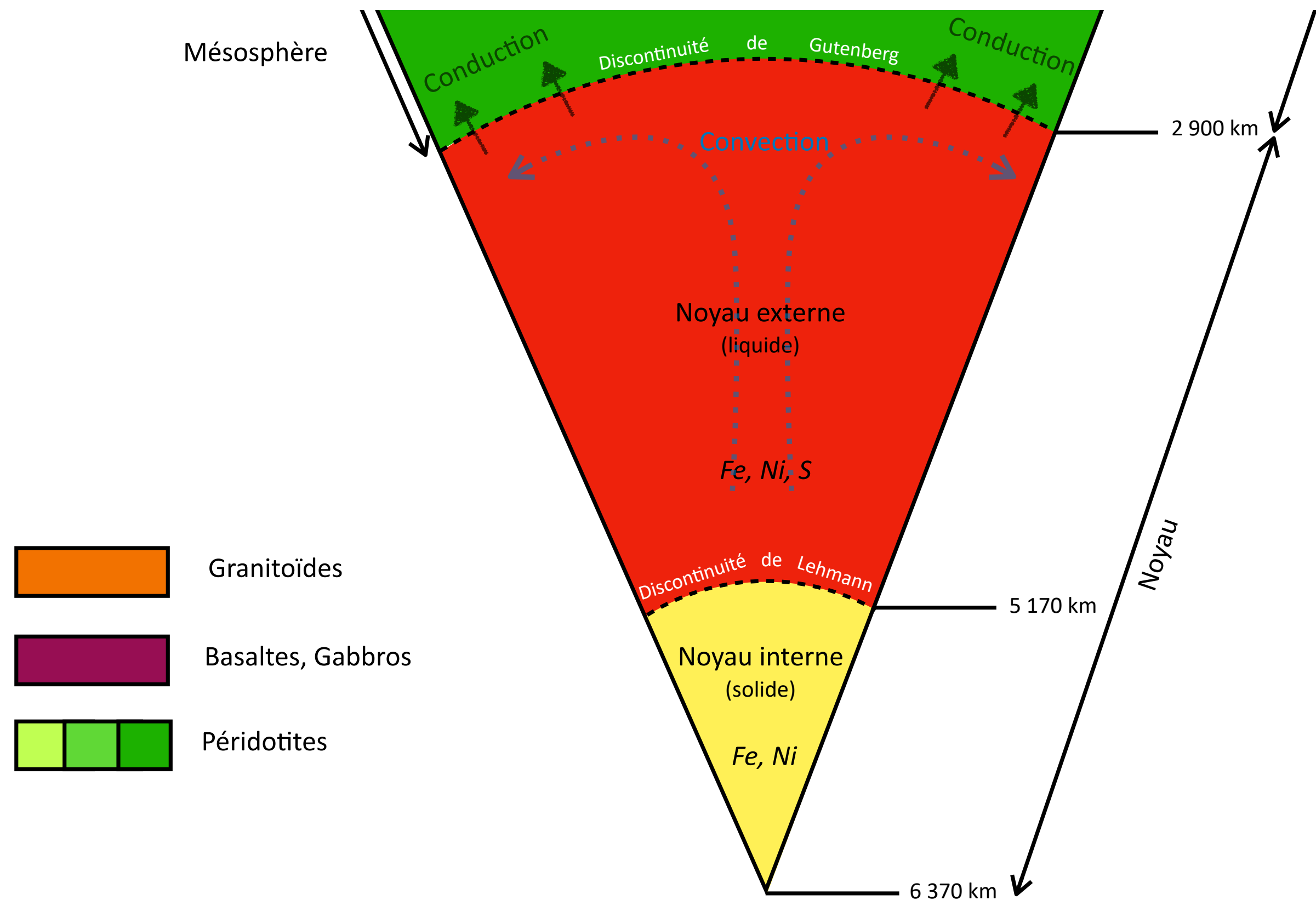
B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique



Finir de complétez le schéma bilan

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique



L'échelle verticale ne respecte aucune proportion

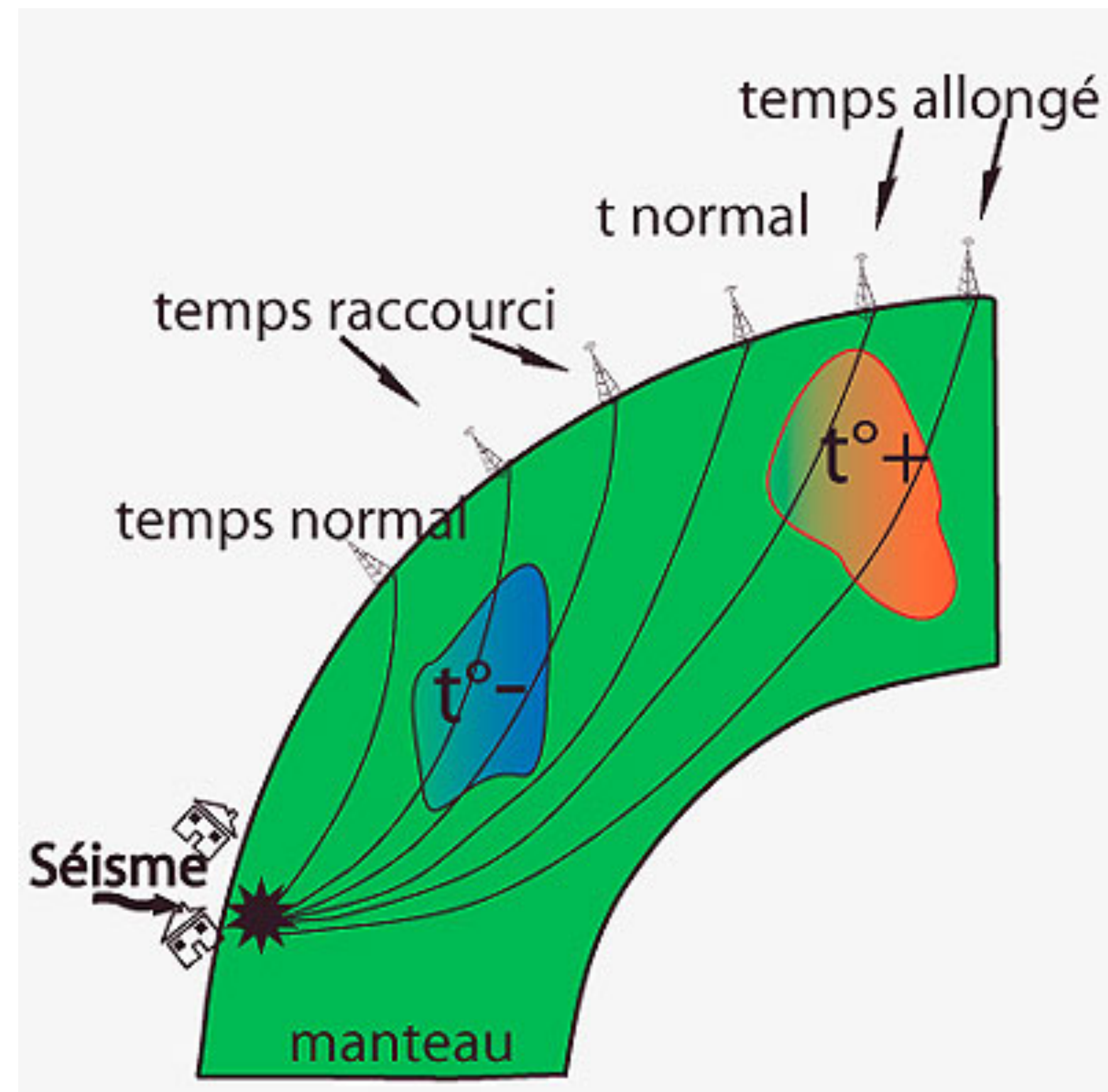
Finir de complétez le schéma bilan

# Plan du cours

- I) La dualité océans / continents
  - A) Un peu d'histoire
  - B) Etude de la croute océanique
  - C) Etude de la croute continentale
- II) L'apport des données sismiques au modèle
  - A) Différents modèles de la Terre
  - B) Séismes et ondes sismiques
  - C) Ondes sismiques et organisation profonde du globe
- III) L'apport des données thermiques au modèle
  - A) Le gradient géothermique terrestre
  - B) Les mécanismes de transfert d'énergie thermique
  - C) Le principe de la tomographie sismique

### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### C) Le principe de la tomographie sismique

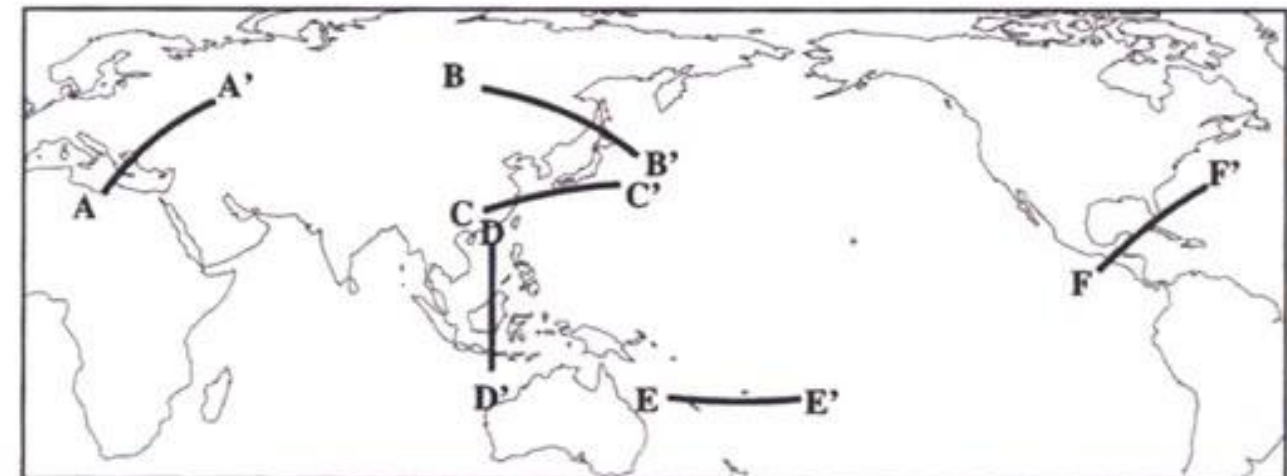
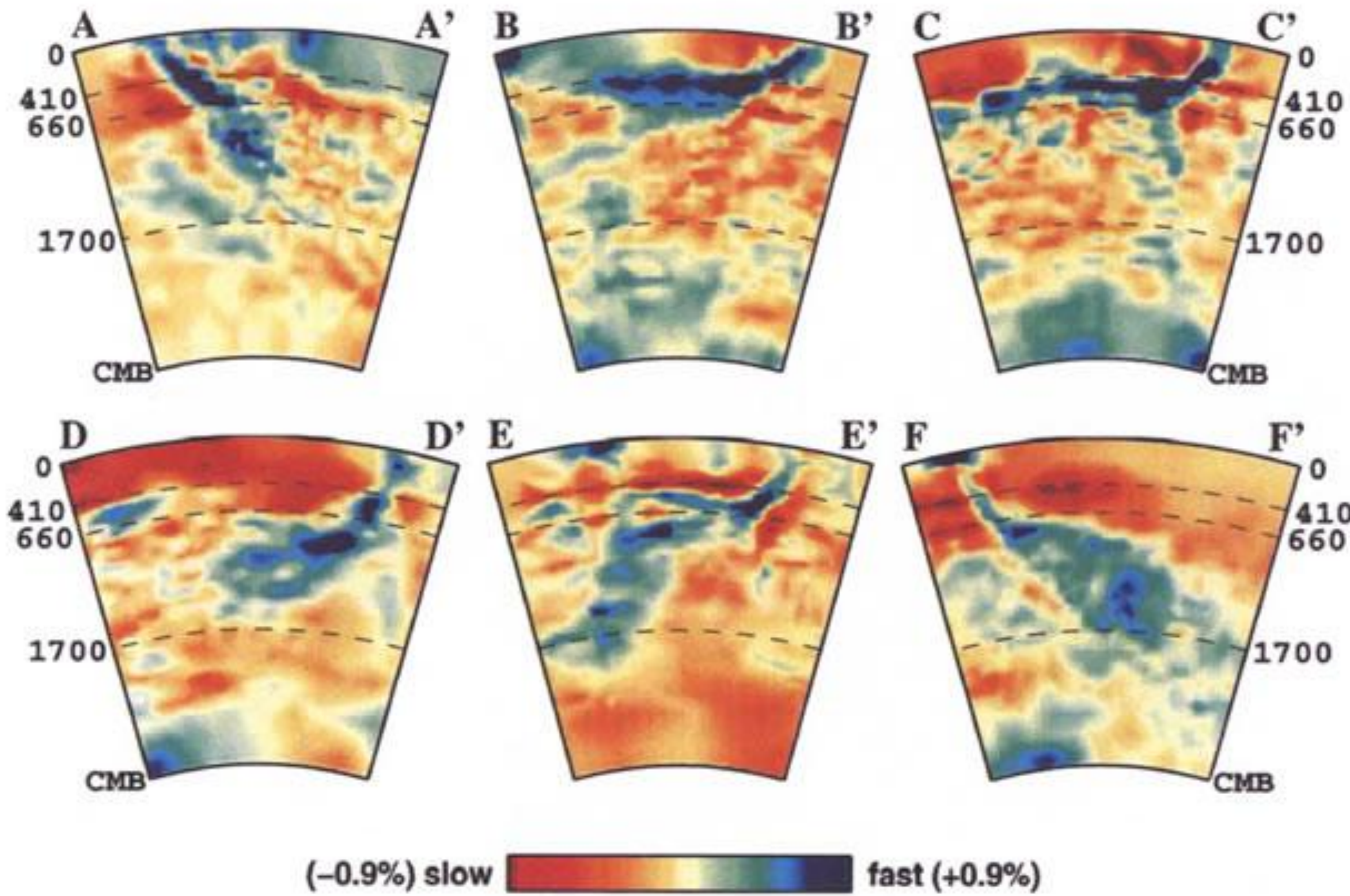


Le principe de la tomographie sismique

# III) L'apport des données thermiques au modèle

## C) Le principe de la tomographie sismique

Le principe de la tomographie sismique



### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### C) Le principe de la tomographie sismique

La ..... renseigne sur des anomalies de la vitesse des ondes dans le manteau, soit positives (si vitesse  $>$  à  $V$  normale), soit négatives (si vitesse  $<$  à  $V$  normale). Les anomalies positives sont dues à des zones plus..... (en bleu) et les négatives à des zones plus ..... (en rouge). Dans le manteau on voit une hétérogénéité thermique avec des zones anormalement chaudes (ex : milieu Pacifique) et des zones anormalement froides (ex : côte ouest de l'Amérique du Sud, ou sous îles Tonga) que l'on peut relier aux mouvements de convection dans le manteau :

- ..... de matériaux chauds (ex : milieu Pacifique)
- ..... de matériaux froids (ex : côte ouest de l'Amérique du Sud, ou sous îles Tonga).

### III) L'apport des données thermiques au modèle

#### C) Le principe de la tomographie sismique

La ..... **tomographie sismique** ..... renseigne sur des anomalies de la vitesse des ondes dans le manteau, soit positives (si vitesse  $>$  à  $V$  normale), soit négatives (si vitesse  $<$  à  $V$  normale). Les anomalies positives sont dues à des zones plus..... **froides** ..... (en bleu) et les négatives à des zones plus ..... **chaudes** ..... (en rouge). Dans le manteau on voit une hétérogénéité thermique avec des zones anormalement chaudes (ex : milieu Pacifique) et des zones anormalement froides (ex : côte ouest de l'Amérique du Sud, ou sous îles Tonga) que l'on peut relier aux mouvements de convection dans le manteau :

- ..... **Remontée** ..... de matériaux chauds (ex : milieu Pacifique)

- ..... **Descente** ..... de matériaux froids (ex : côte ouest de l'Amérique du Sud, ou sous îles Tonga).

Fin de chapitre

Fin de chapitre