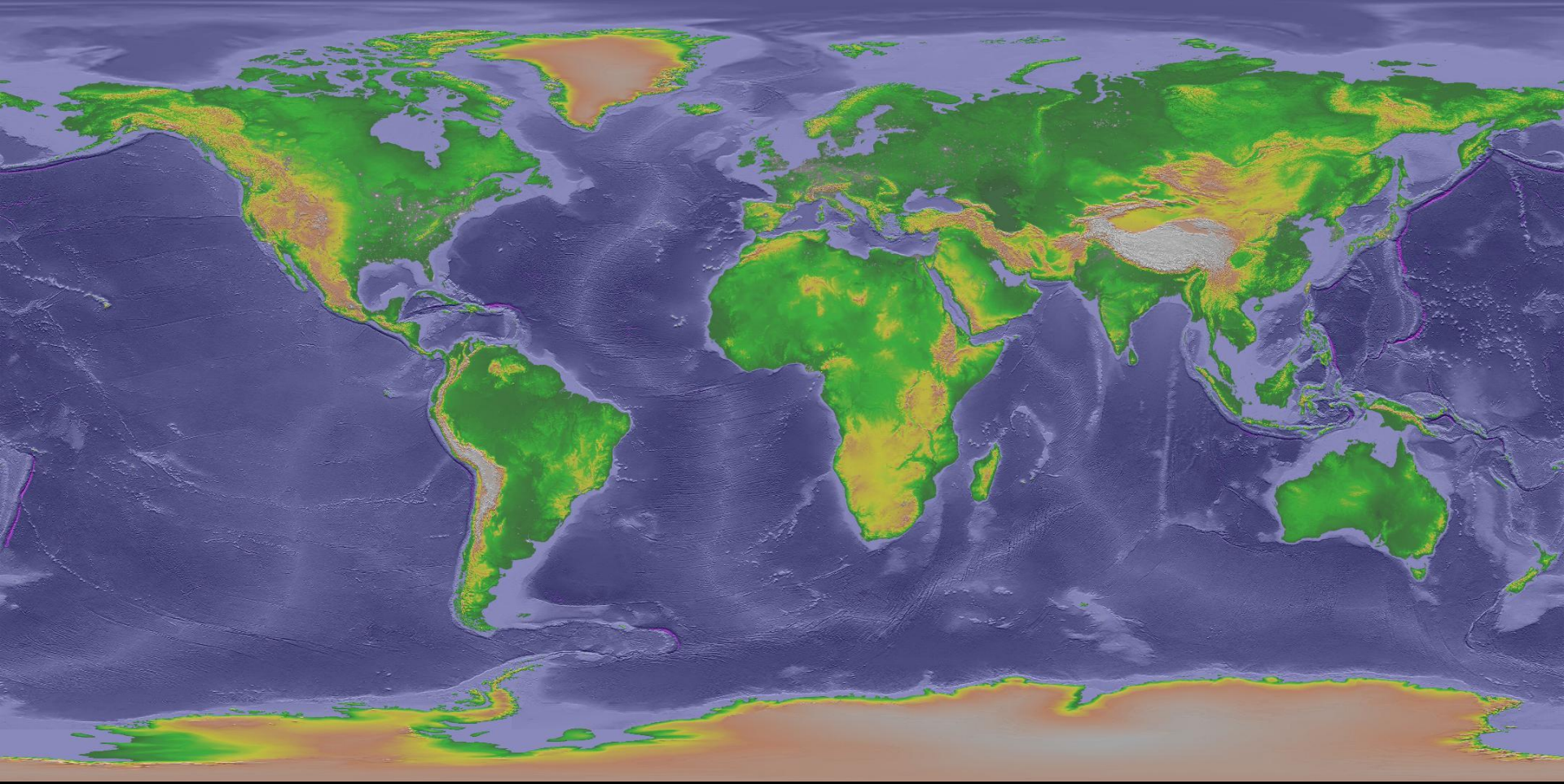


# L1 Système Terre PCST & LDDGP



# L1 Système Terre - Cours 3 à 6 : Géodynamique et Roches

## I. La tectonique des plaques

### 1) Introduction - Historique

➤ *Notions de cristallographie et de minéralogie*

### 2) Frontières de plaques

#### a. Les frontières de plaques divergentes

➤ *Les roches magmatiques 1*

➤ *Les roches sédimentaires*

#### b. **Les frontières de plaques convergentes**

➤ *Les roches magmatiques 2*

➤ ***Les roches métamorphiques***

➤ ***Les roches : ressources géologiques***

#### c. Les frontières de plaques décrochantes

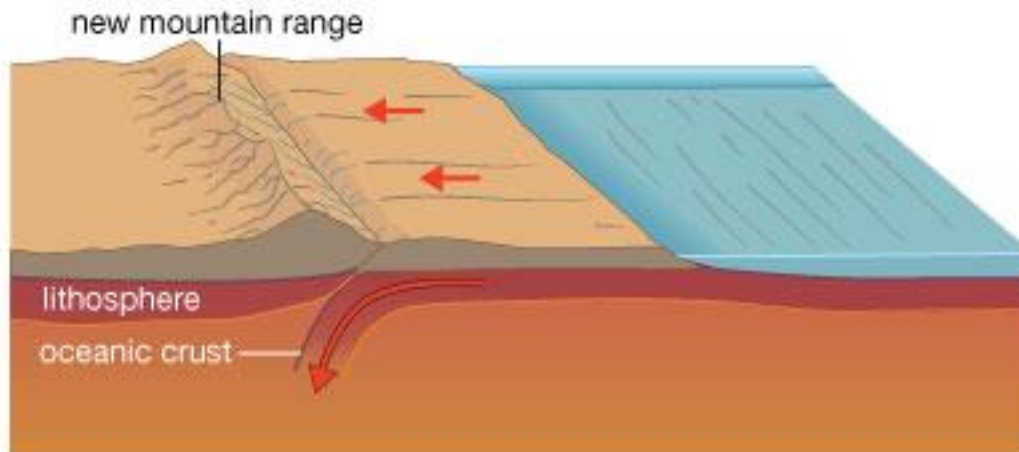
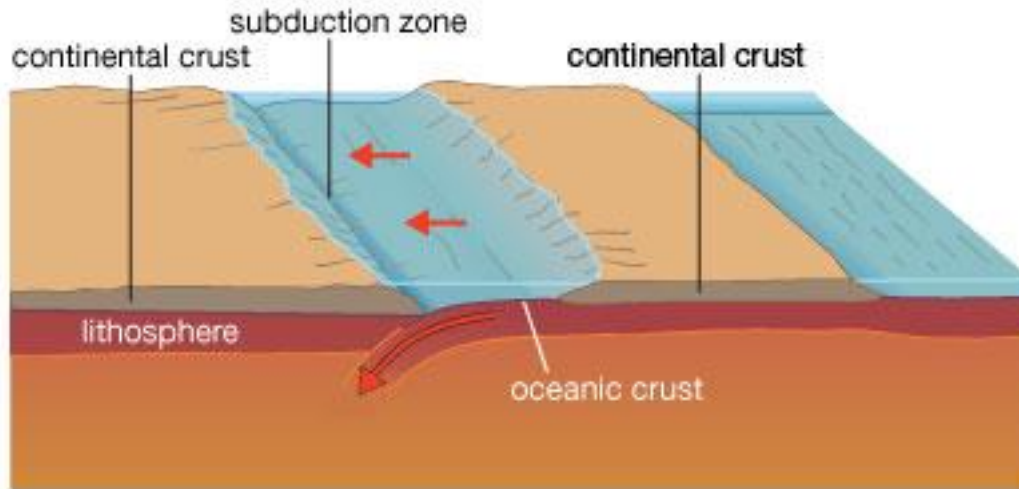
## II. Cinématique des plaques

## III. Moteur(s) des mouvements

## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

### Cas 3 : plaque continentale – plaque continentale

#### Continental collision



➔ Phénomène complexe amenant à la création d'une chaîne de montagne = collision ou **orogénèse**

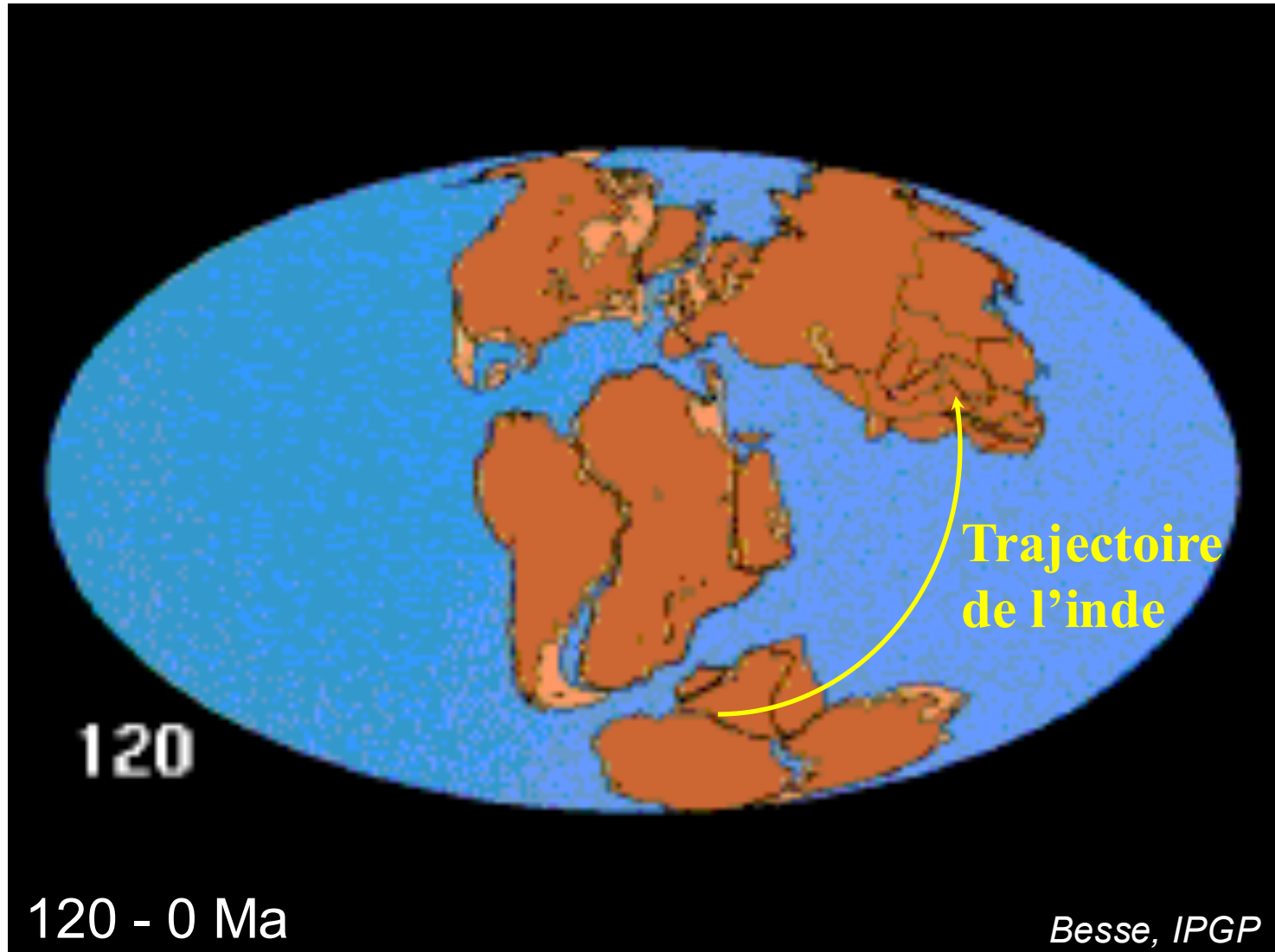
La croûte continentale reste en surface (trop légère) tandis que le manteau lithosphérique continue à s'enfoncer.

ex. de l'Himalaya

## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

Les plaques se déplacent horizontalement

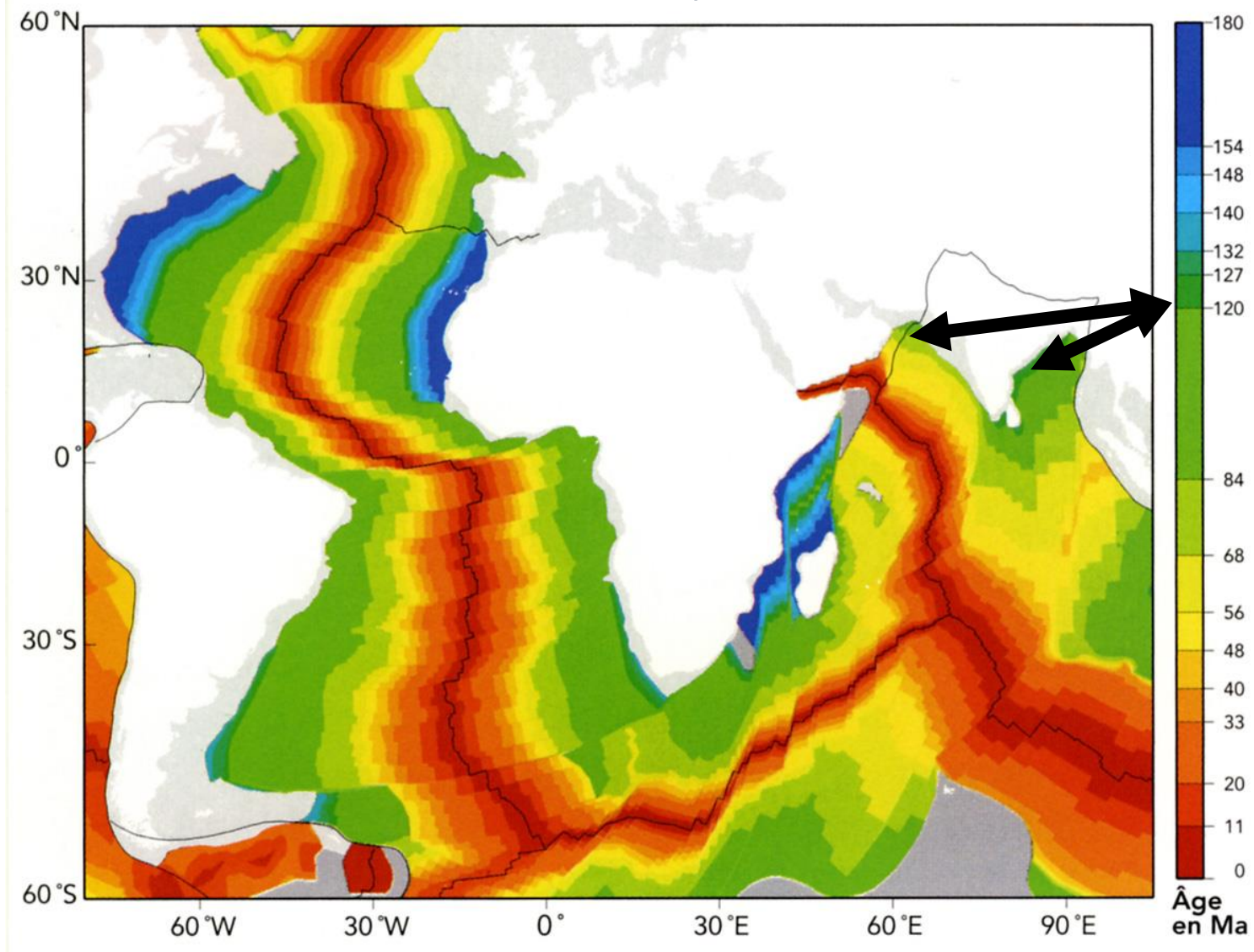
Exemple : la remontée de l'Inde vers le Nord depuis 120 Ma





# Remontée de l'Inde depuis 120 Ma

120 Ma = formation des 1<sup>er</sup> planchers de l'O. Indien

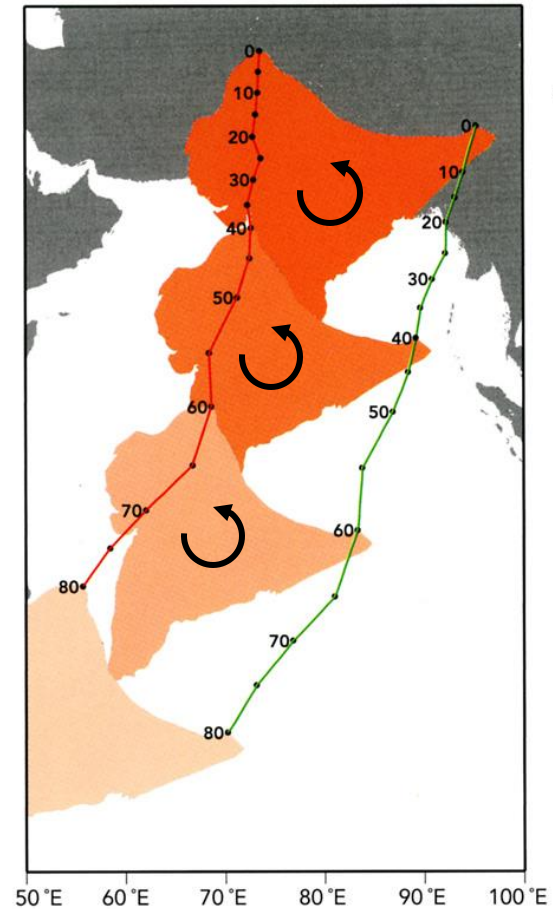
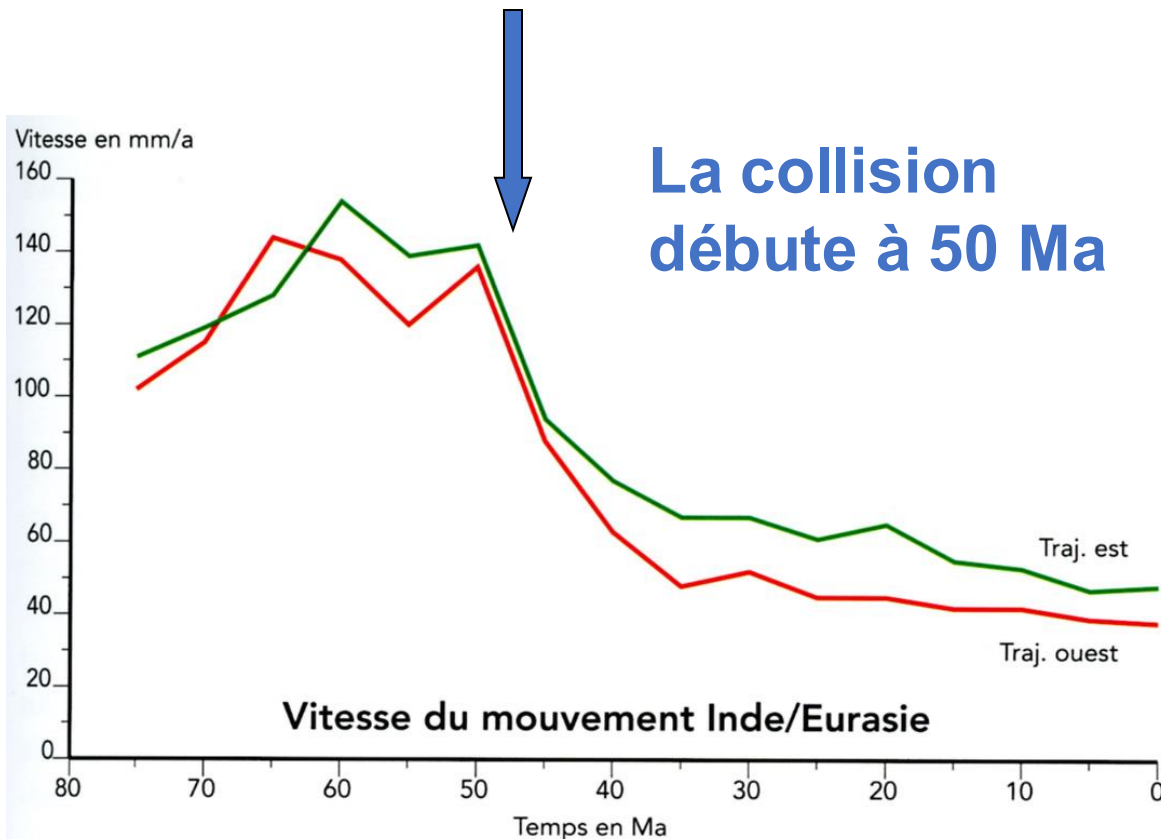


## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

Les plaques se déplacent horizontalement

Exemple : la remontée de l'Inde vers le Nord depuis 120 Ma

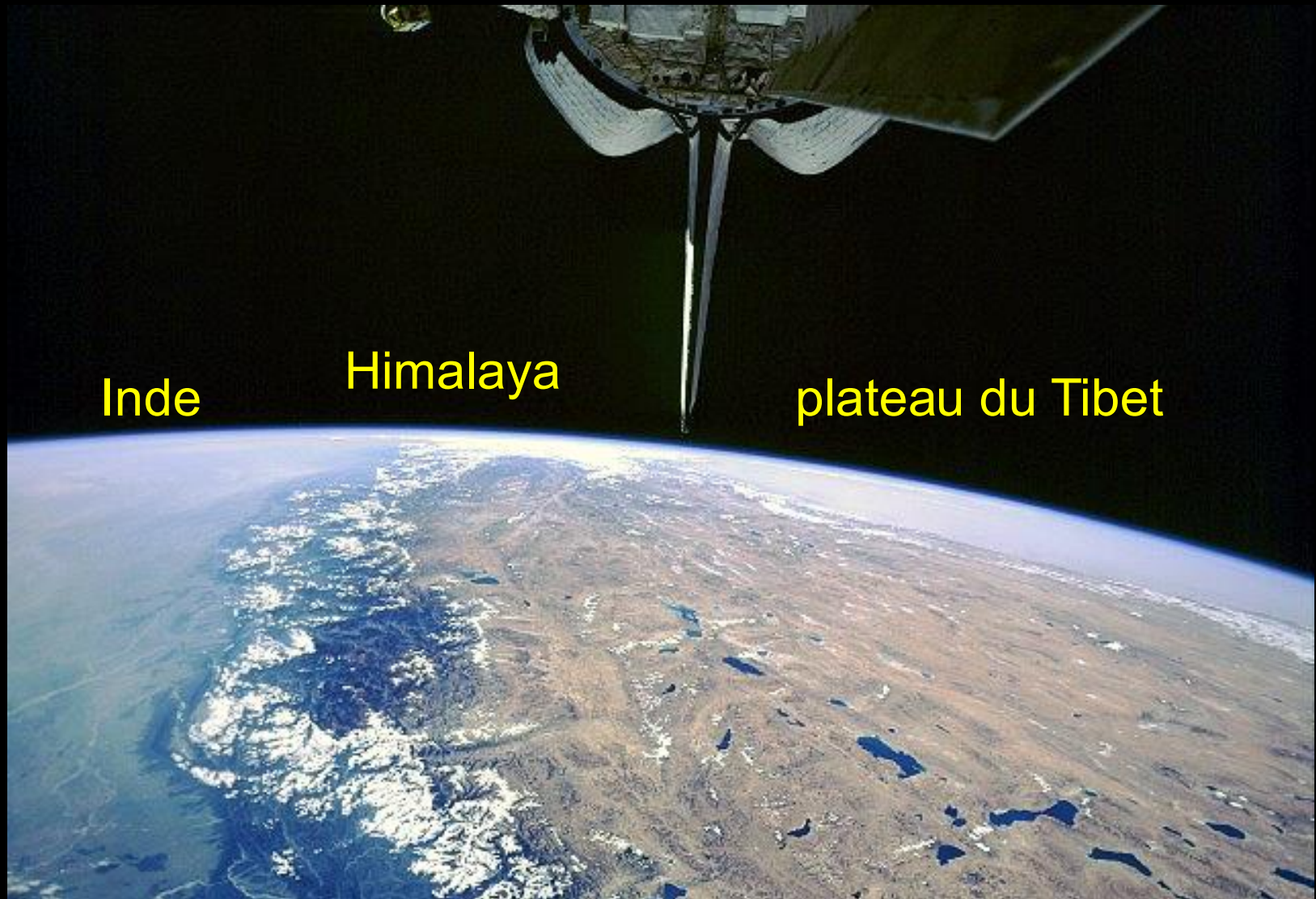
*Ralentissement du mouvement de l'Inde suite à la collision*



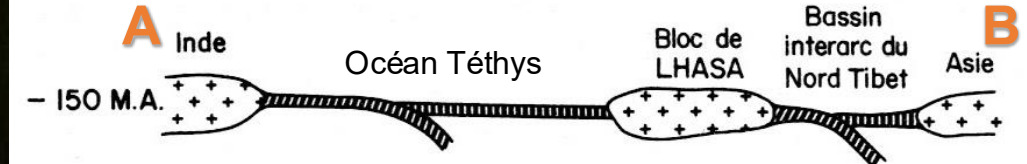
*Différence de vitesse E-W  
=> rotation de l'Inde*

## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya







Inde

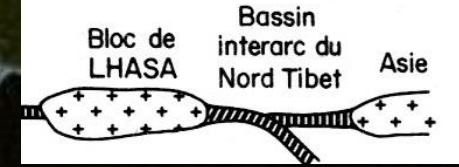
Future Asie (encore morcelée)

# Formation de l'Himalaya

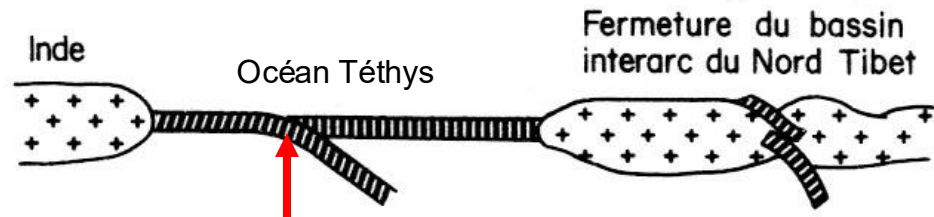




# Formation de l'Himalaya

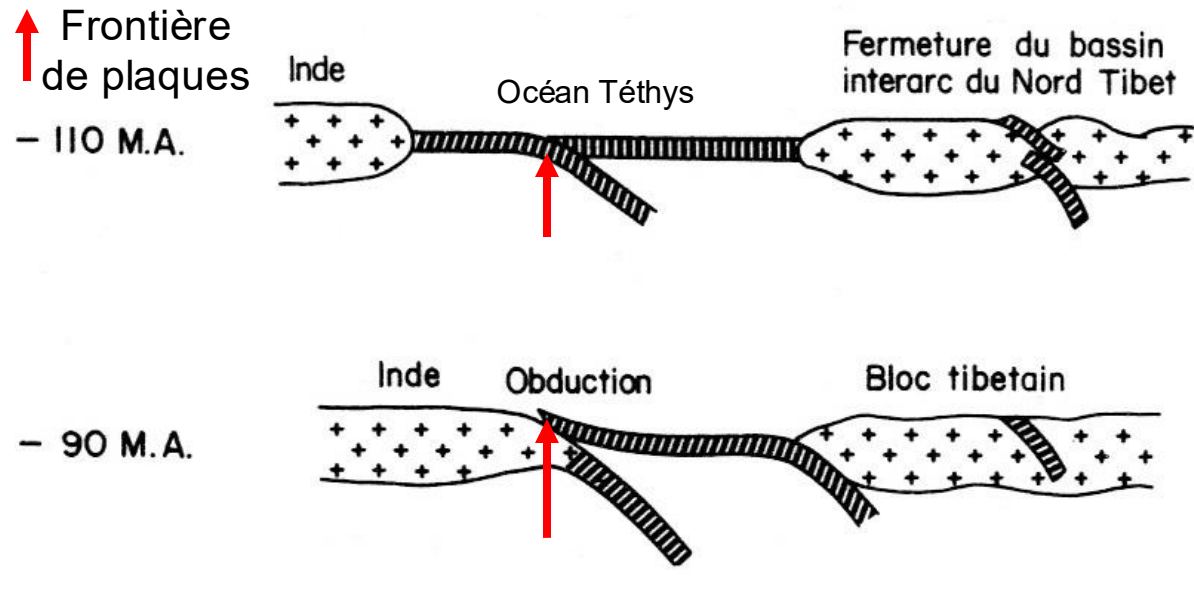
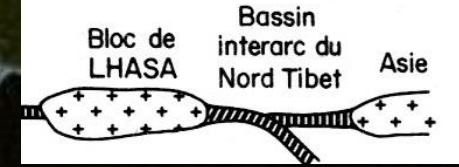


↑ Frontière  
de plaques  
- 110 M.A.



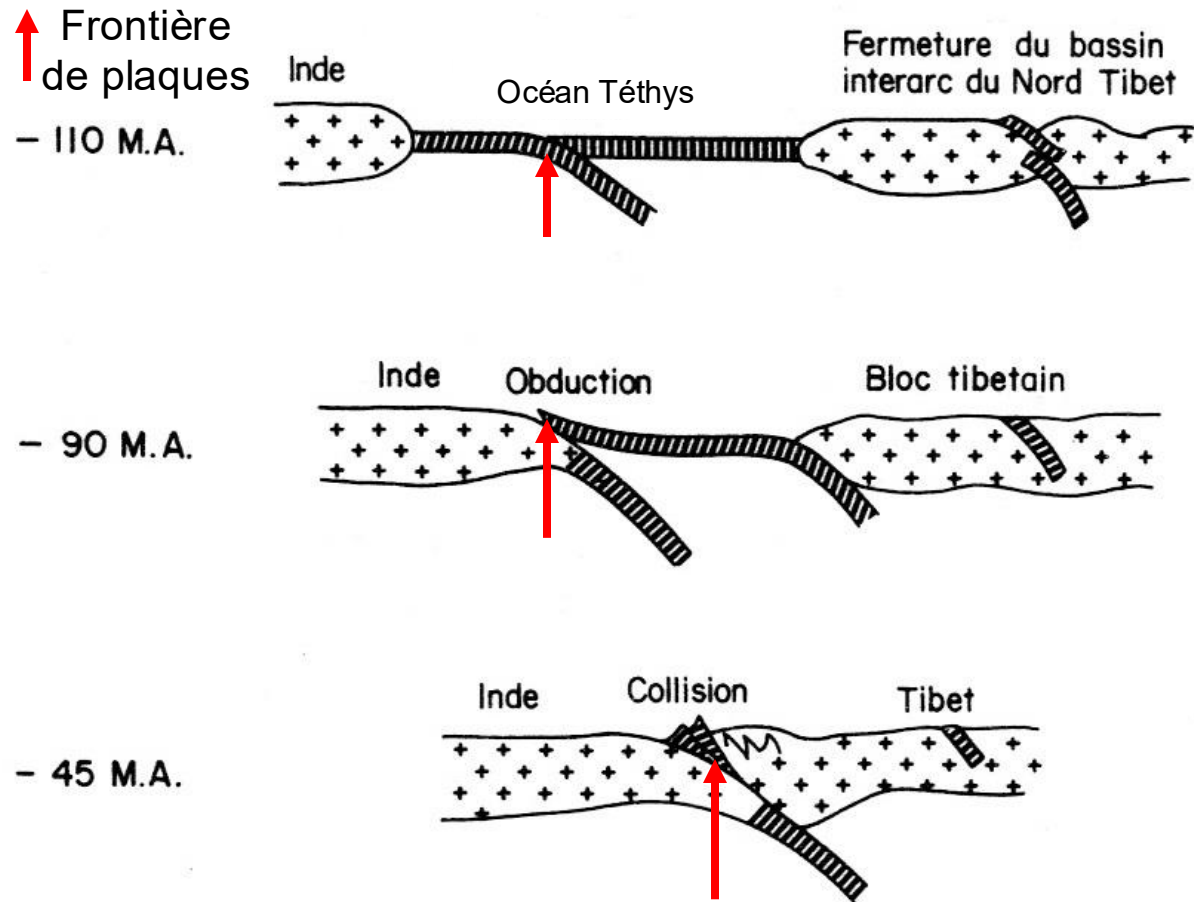
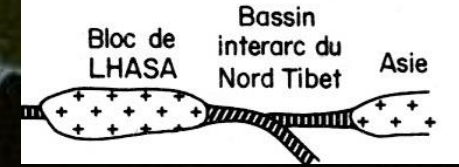


# Formation de l'Himalaya



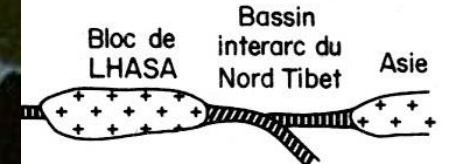
**Obduction** : chevauchement d'une croûte continentale par une croûte océanique

# Formation de l'Himalaya

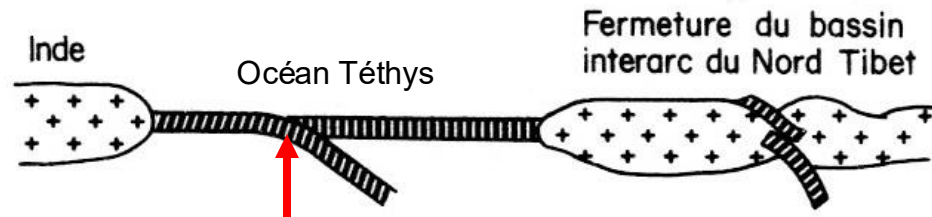




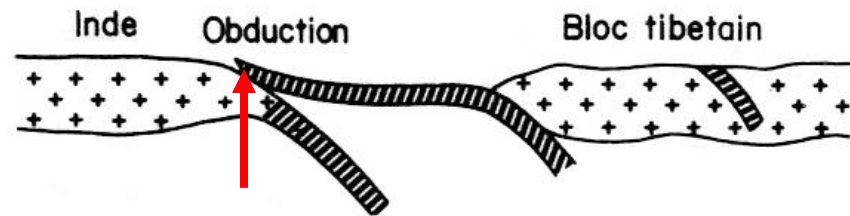
# Formation de l'Himalaya



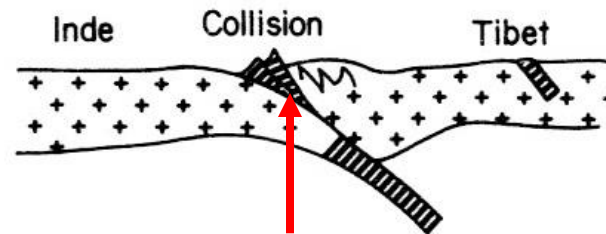
↑ Frontière  
de plaques  
- 110 M.A.



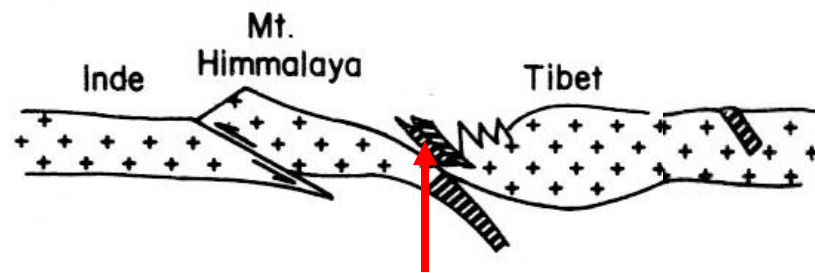
- 90 M.A.



- 45 M.A.



- 25 M.A.





## 2) b. Les frontières de plaques convergentes



### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya Arguments sédimentologiques



*Calcaires marins  
(planctoniques)  
déposés en eau  
profonde de la Téthys  
au Trias (230 Ma)*



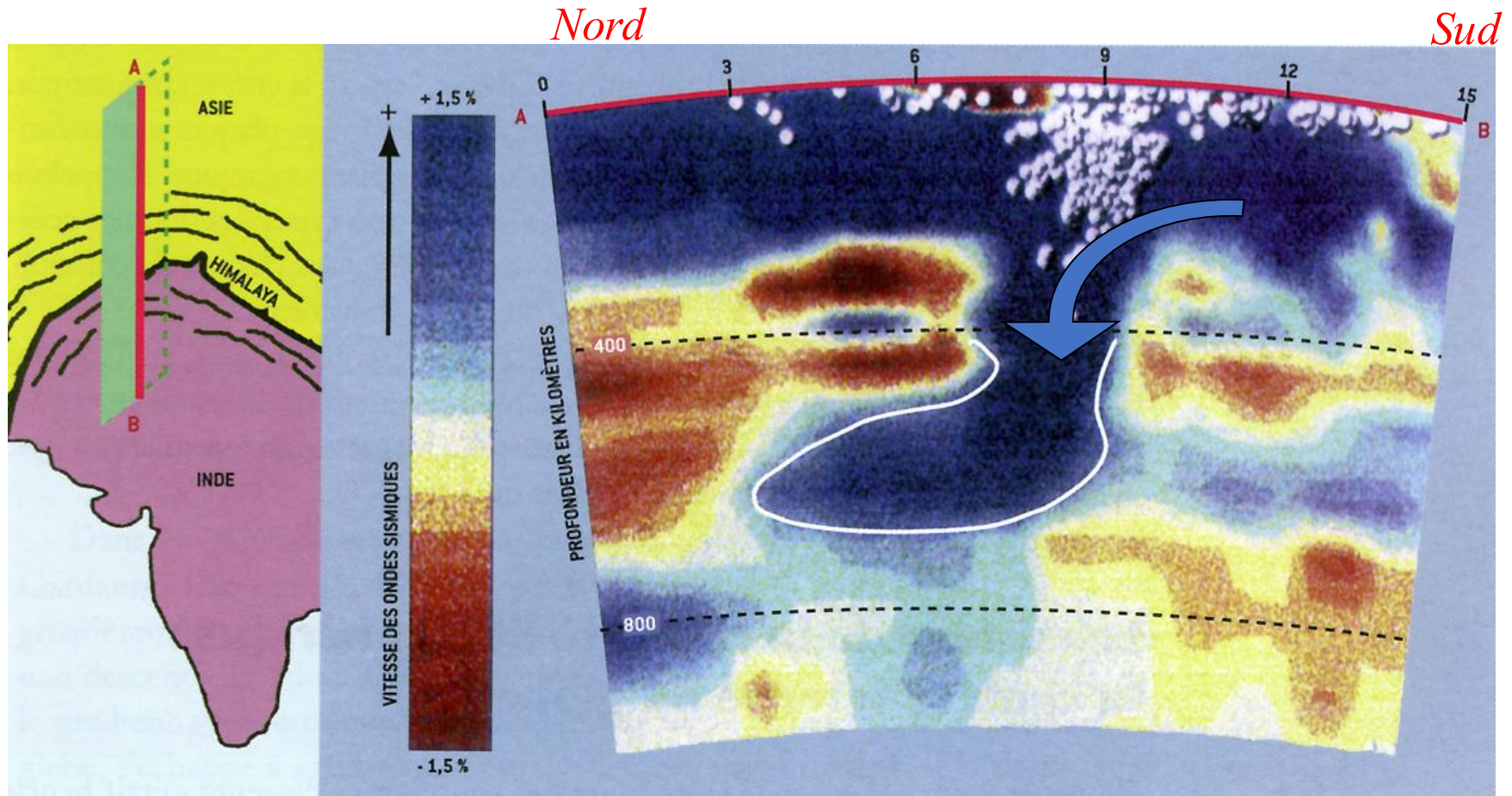
*On trouve aujourd'hui à l'Ouest de l'Himalaya à plus de 2000m d'altitude des **calcaires marins***



## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

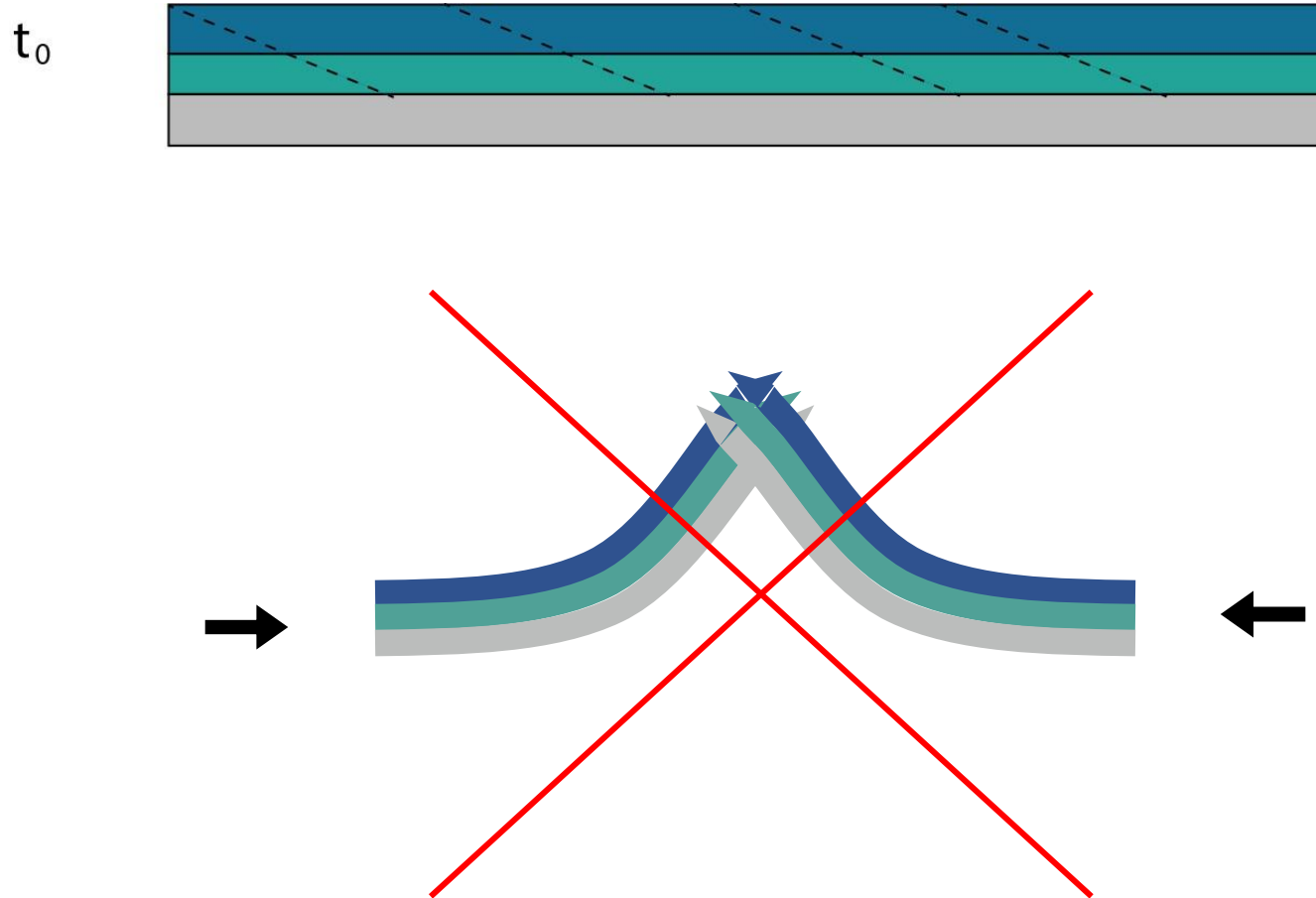
### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

Arguments géophysiques (tomographie sismique)



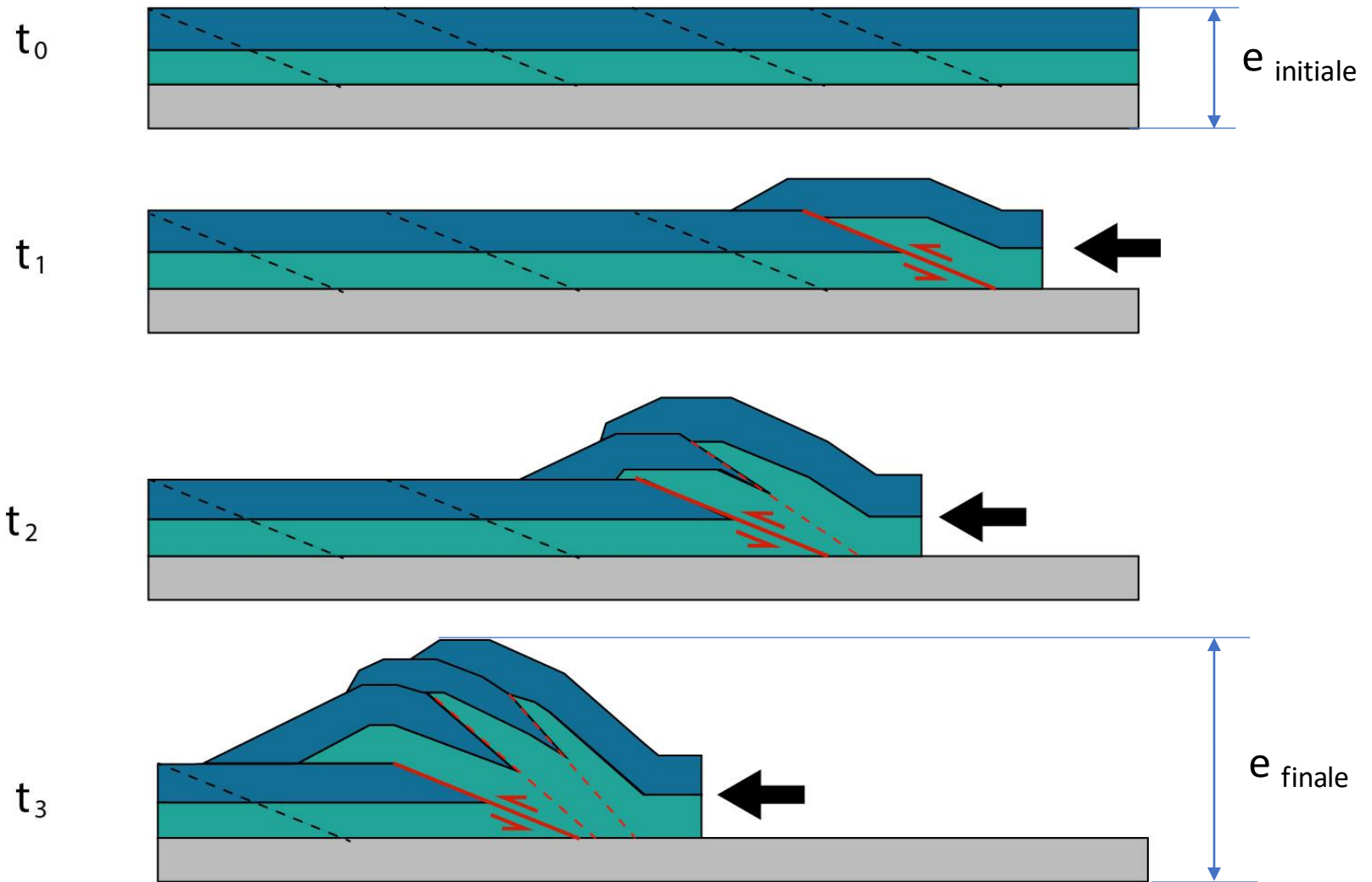
-> La lithosphère indienne plonge sous l'Asie

## 2) b. Les frontières de plaques convergentes



Quels sont les mécanismes permettant d'expliquer l'épaississement de la croûte continentale lors des collisions ?

## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

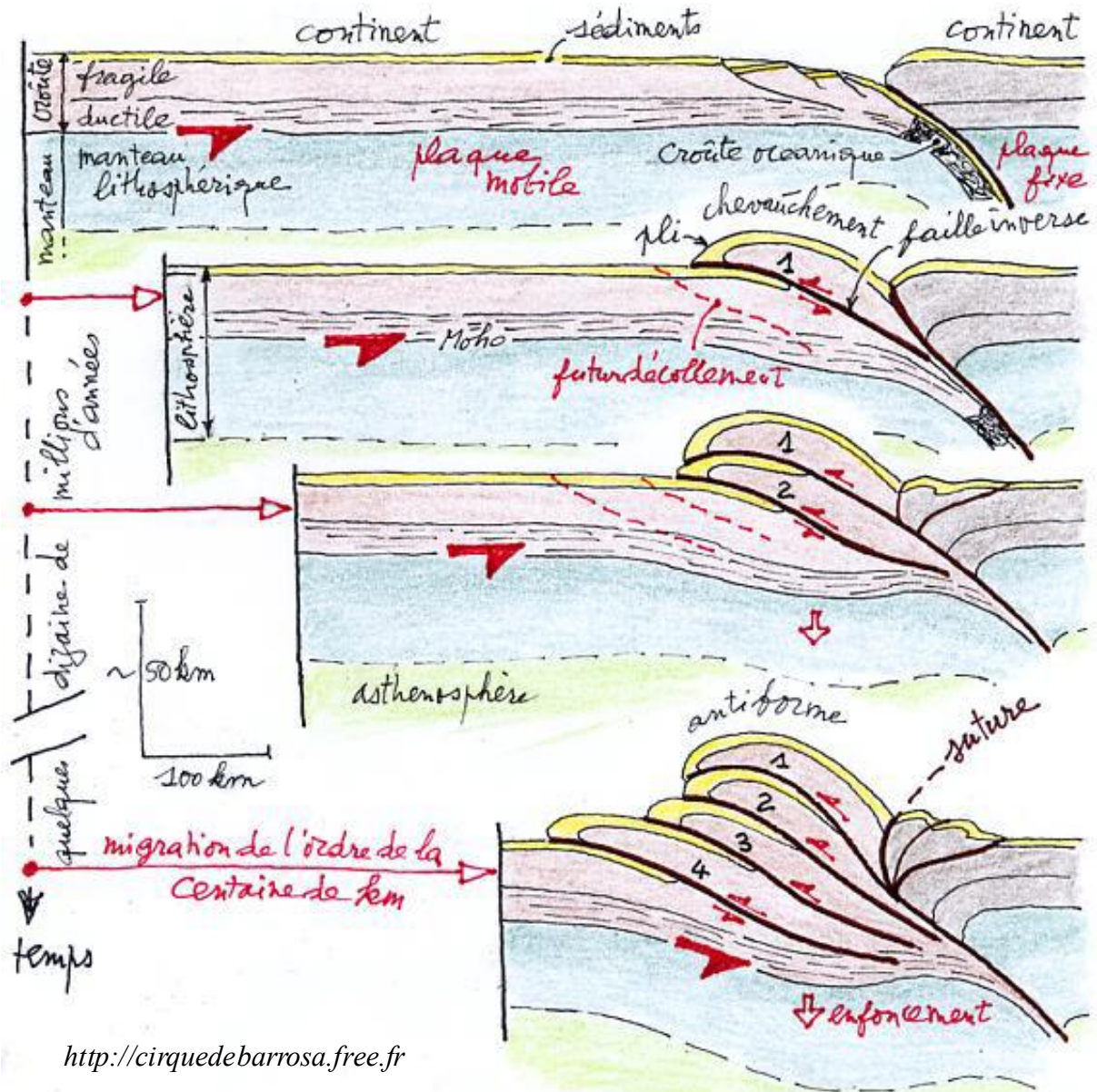
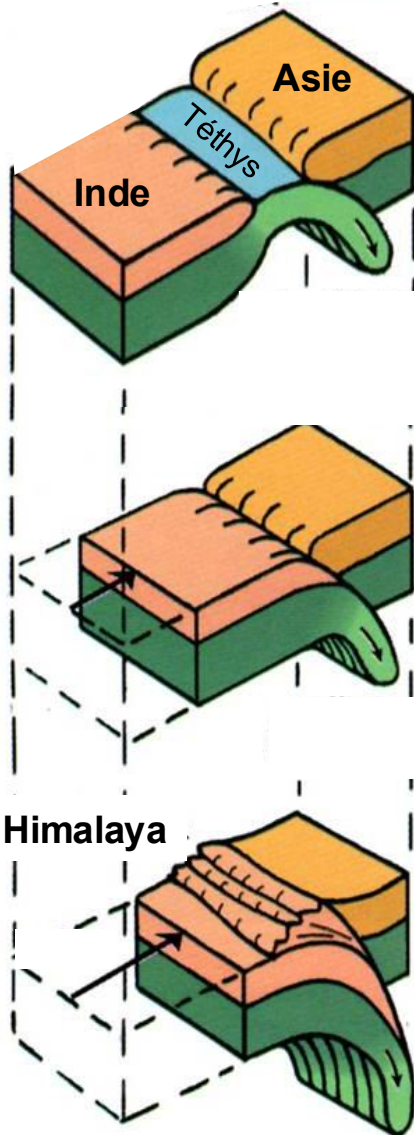


La convergence des croutes continentales produit des chevauchements successifs qui augmentent ainsi l'épaisseur crustale totale.



## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya: les différentes étapes

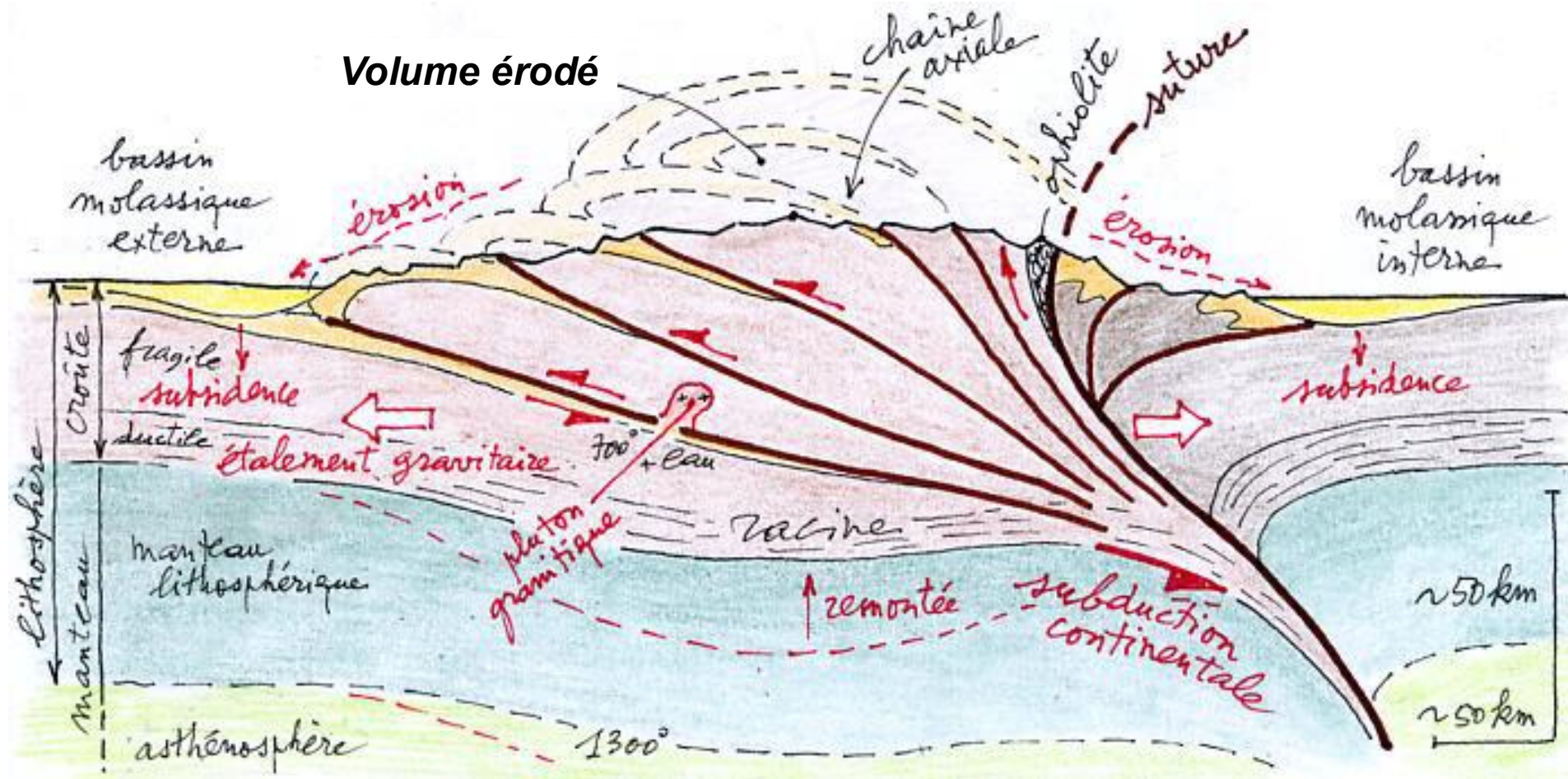




## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

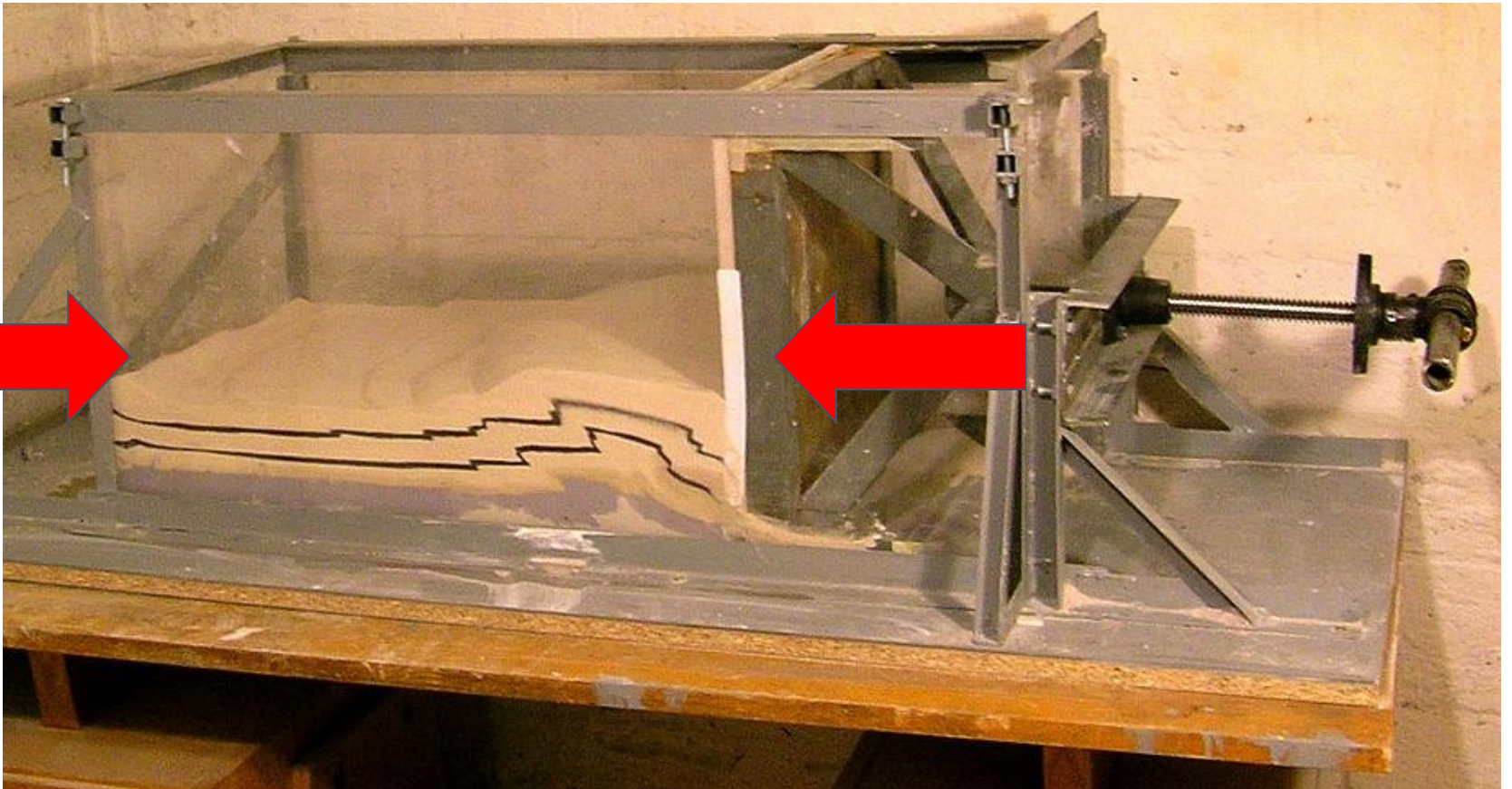
### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

*Ce qu'il en reste après les effets de l'érosion*



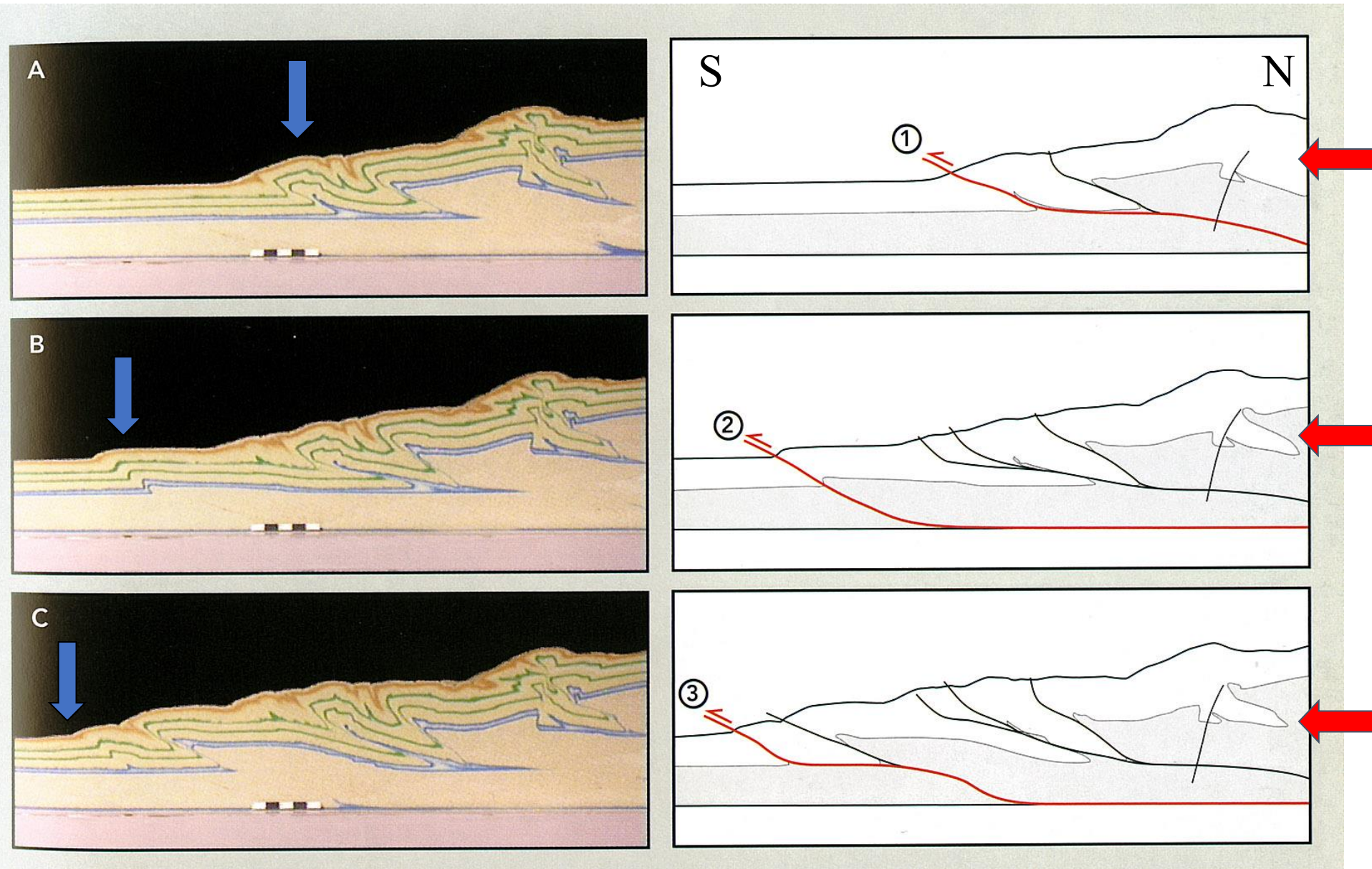
# Mécanisme de la collision

## Modèle analogique





# Mécanisme de la collision



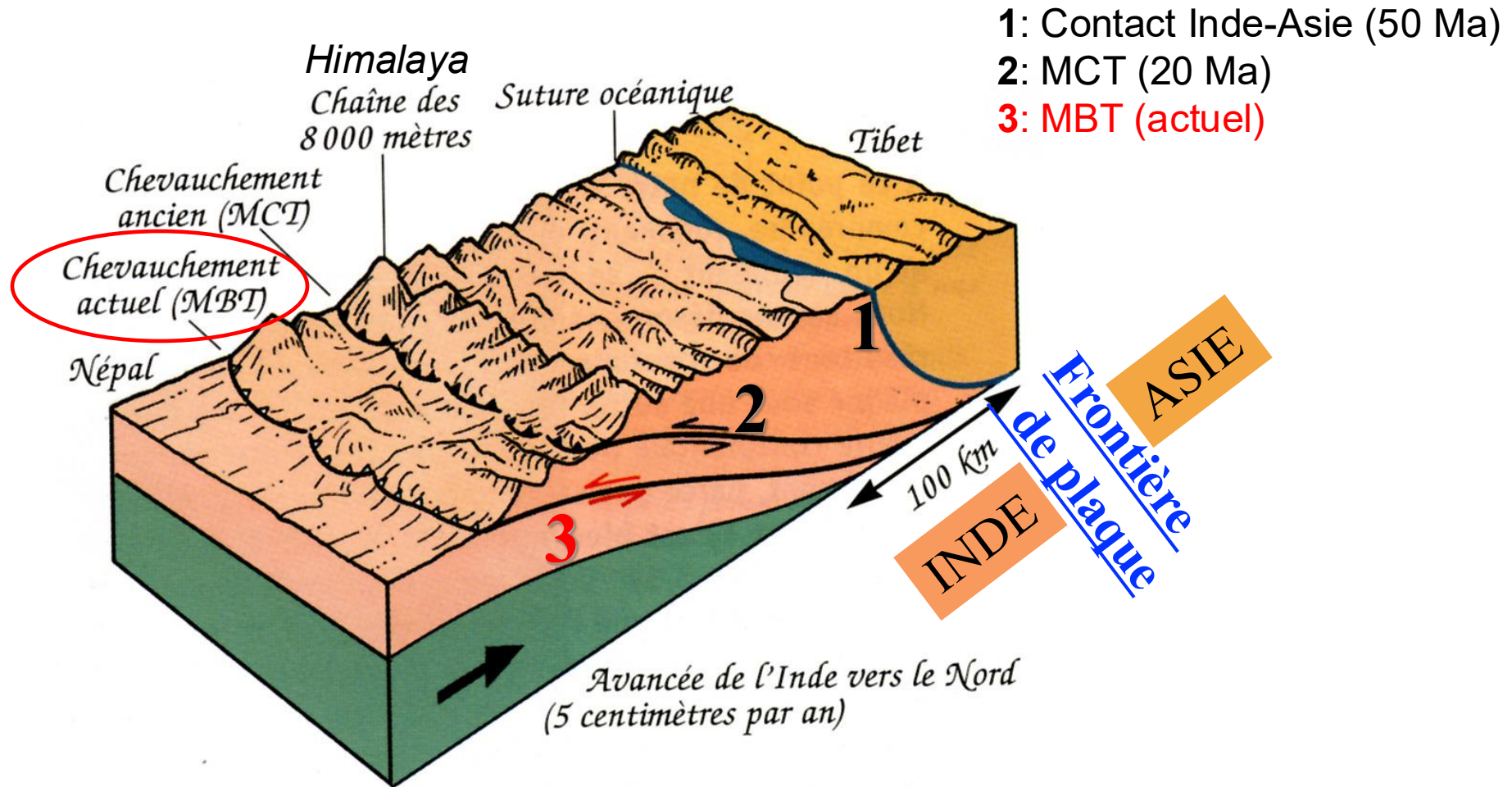
**Migration horizontale du front actif et épaississement crustal**



## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

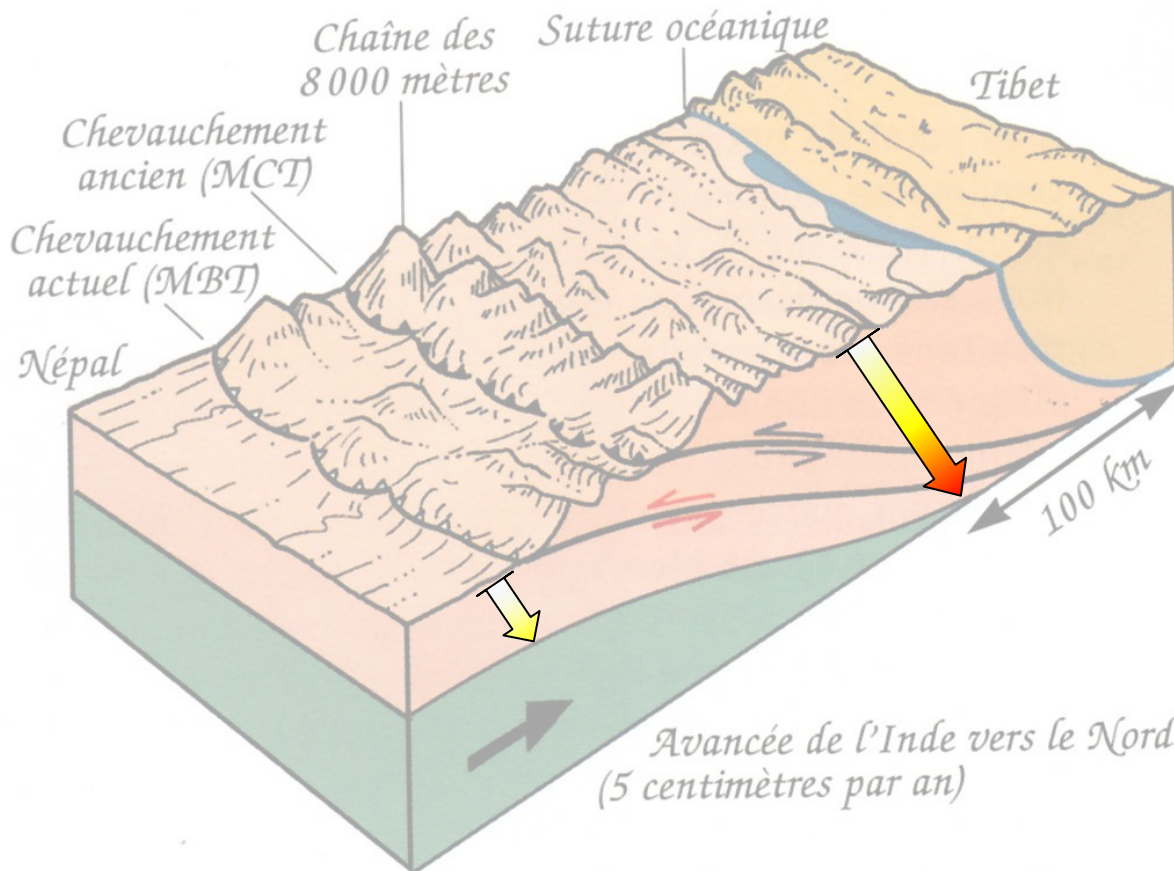
La convergence de l'Inde sous le Tibet produit des **grands chevauchements**.



**1 -> 2 -> 3 : Migration horizontale du front actif ...**

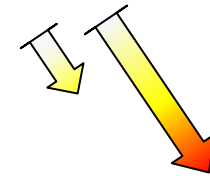
## 2) b. Les frontières de plaques convergentes

### Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya



Ces chevauchements produisent un fort épaississement crustal par superposition des couches.

⇒ *P & T augmentent*



⇒ **Formation de roches métamorphiques**

... et épaississement crustal

## 2) b. -> Roches métamorphiques

**Basalte à olivine**



**Etat initial  
Roche 1**

?

**Etat final  
Roche 2  
= roche transformée**

**Eclogite**





## 2) b. -> Roches métamorphiques

**Métamorphisme** : Transformations **à l'état solide** d'une roche soumise à des conditions de pression et de température différentes de celles de son domaine de stabilité

**Le métamorphisme induit des transformations** qui vont changer et affecter une roche initiale appelé **protolithe**



**Protolithe**  $\Rightarrow$  **Roche métamorphique**

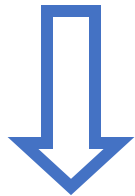
- Structure conservée ou pas (ex: granoclasement)
- Déformations acquises
- Modifications (minéralogiques, de structures...)

## 2) b. -> Roches métamorphiques

**Approche isochimique**  $\Rightarrow$  Si il n'y a pas d'intervention de fluides,  
**Métamorphisme** = recombinaisons du stock de chacun des éléments chimiques par des réactions minérales

### EXEMPLES

Grès  
quartzeux  $\text{SiO}_2$



Quartzite  
 $\text{SiO}_2$



~~$\text{Al}_2\text{O}_3$  FeO MgO~~

Calcaire « pur »  
 $\text{CaCO}_3$



Marbre  
 $\text{CaCO}_3$



## 2) b. -> Roches métamorphiques

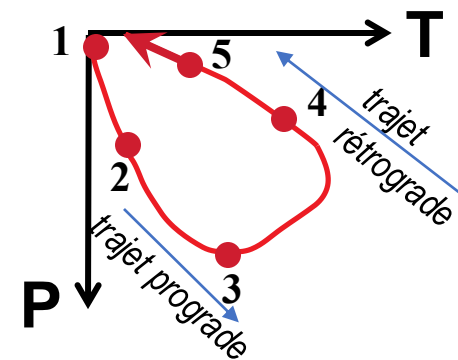
### Facteurs du métamorphisme

- Pression (P),
  - Température (T),
  - Composition chimique des roches (X),
  - Composition chimique du fluide ( $\mu_x$ ),
  - Temps (t)
- Enfouissement, apport de chaleur, impact météorique...

### Durée du métamorphisme

Au cours du métamorphisme, P & T changent mais pas toujours de façon parallèle

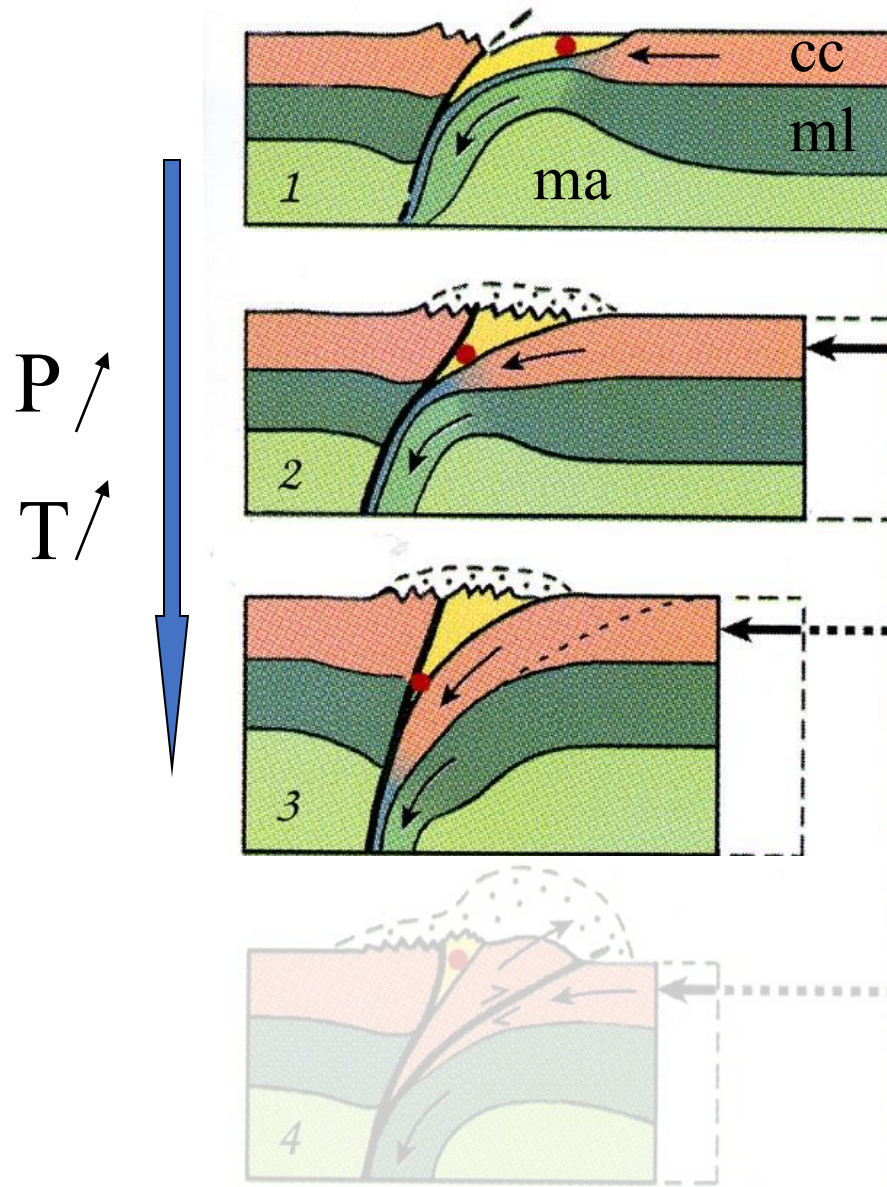
⇒ **Les trajets prograde et rétrograde ne se superposent pas**





# LES MATERIAUX PEUVENT ETRE ENFOUIS PUIS EXHUMES

1/2



La **croûte océanique** (en bleu)  
« disparaît » (subduction) et  
entraîne (un peu) la croûte  
continentale

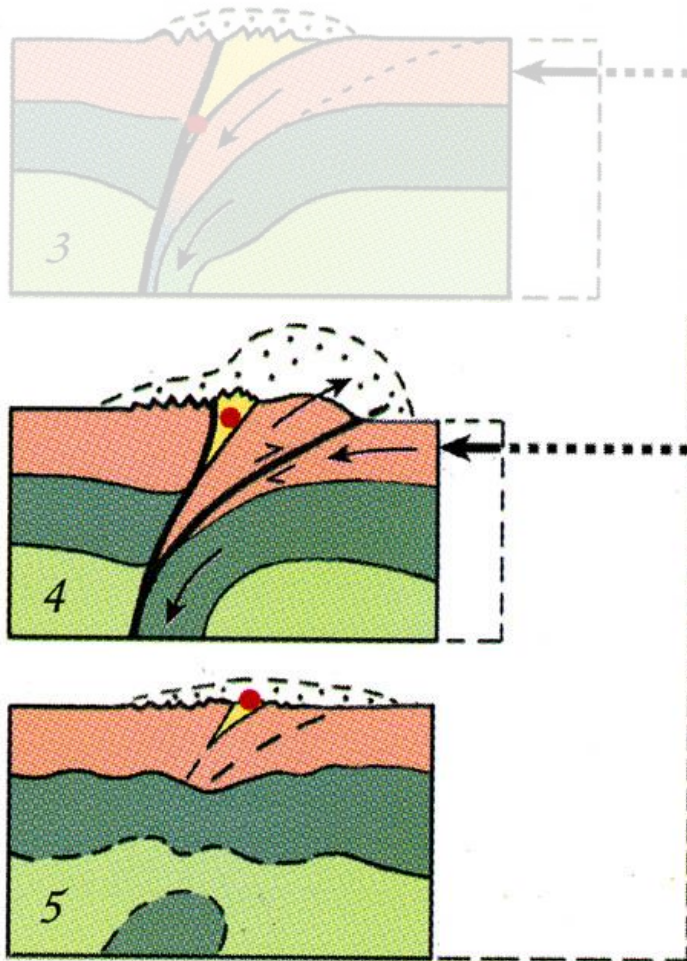
les **sédiments** (en jaune) sont **déformés**

ils sont ensuite entraînés en profondeur:  
ils se transforment par  
**METAMORPHISME**

# LES MATERIAUX PEUVENT ETRE ENFOUIS PUIS EXHUMES

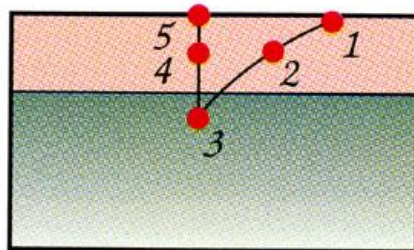
2/2

P ↓  
T ↓

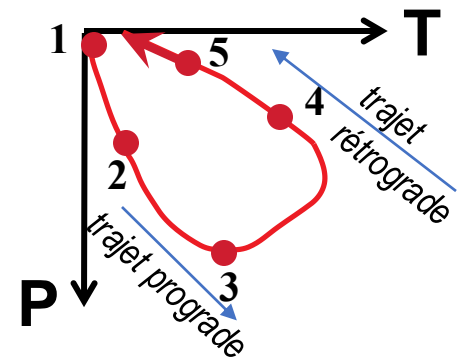


Puis, ces roches métamorphiques sont exhumées

L'érosion permet l'affleurement des roches métamorphisées provenant de 30 voire 100 km de profondeur !



*Trajet subi par les roches sédimentaires des bassins après la collision*

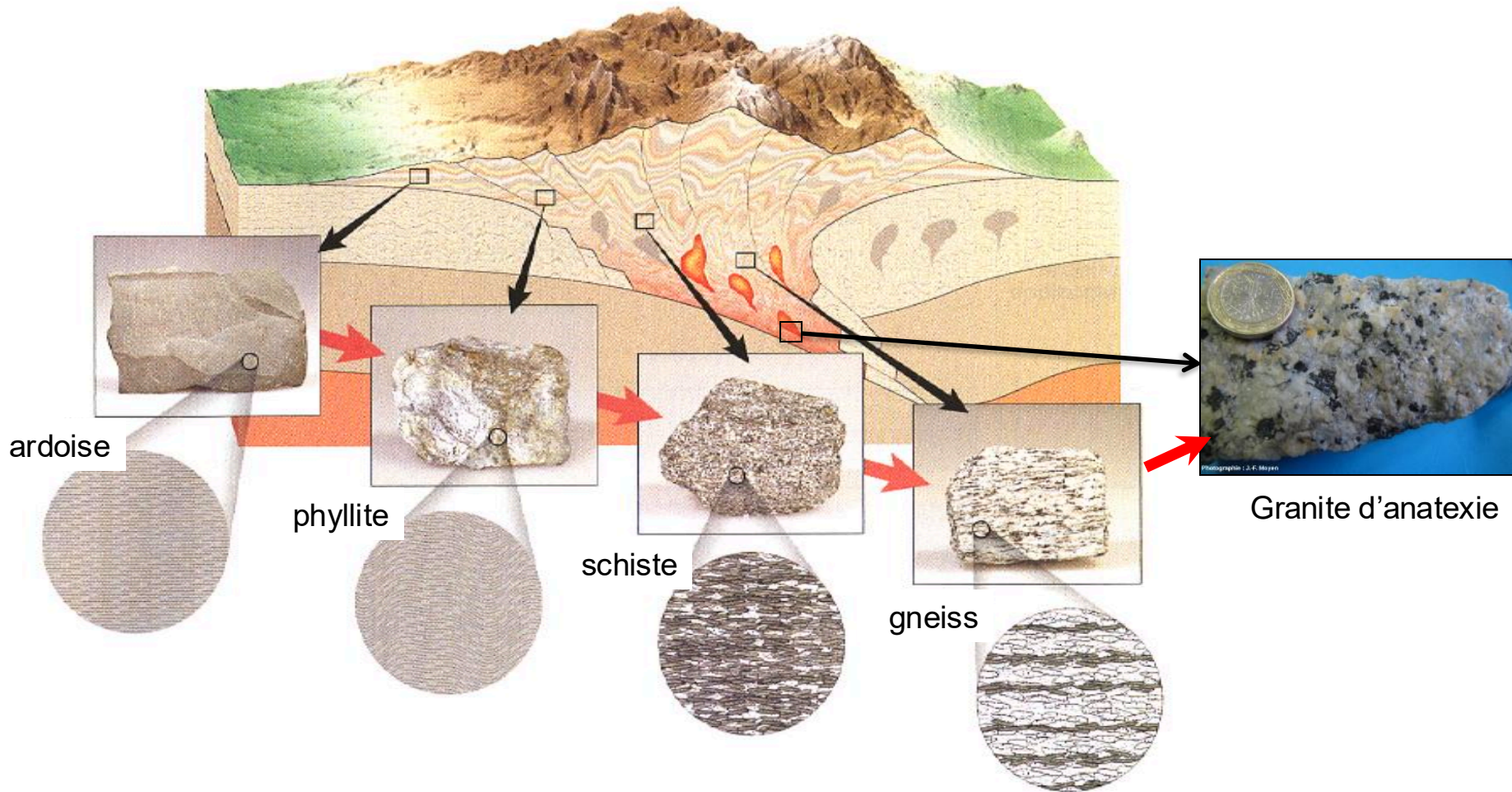




## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Métamorphisme régional

Il affecte l'ensemble des roches sur des épaisseurs et des surfaces importantes



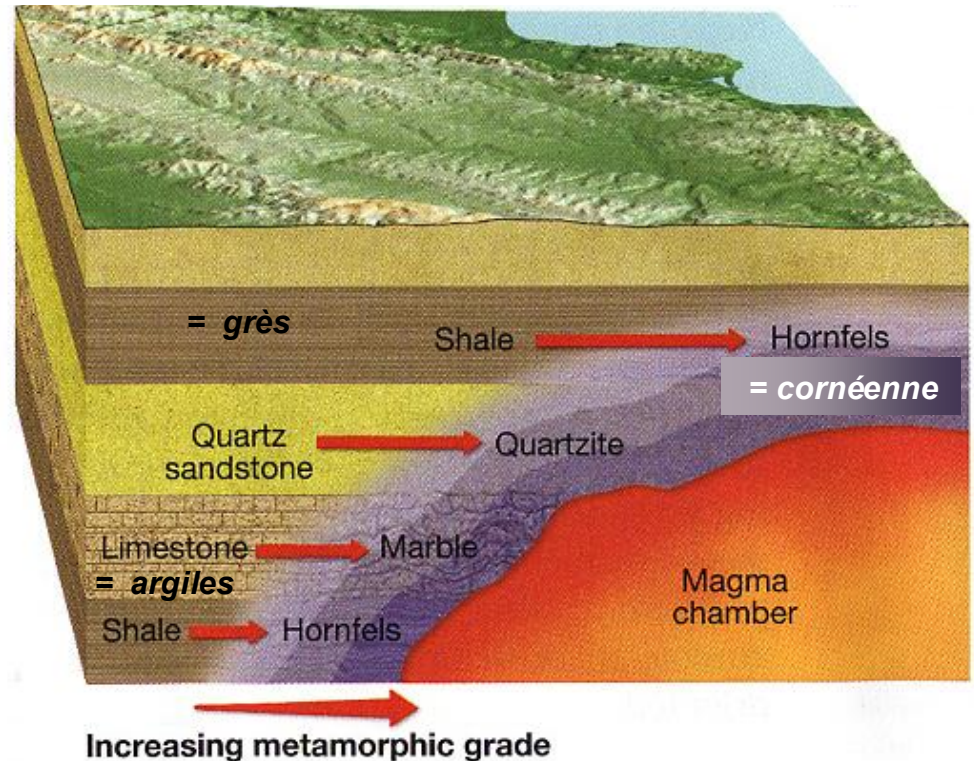
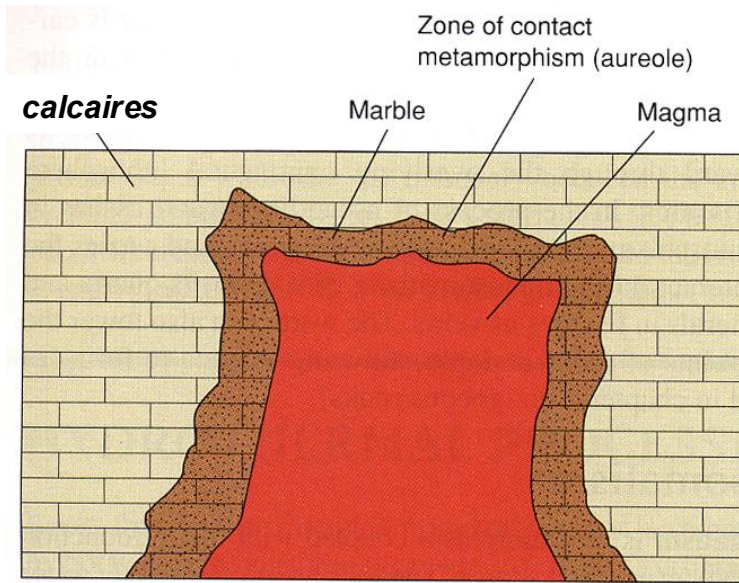
Selon un degré de métamorphisme croissant, les roches sédimentaires argileuses acquièrent des structures de plus en plus complexes depuis l'ardoise jusqu'au gneiss, voire s'il y a fusion, au granite d'anatexie.



## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Métamorphisme de contact

= localisé, il affecte uniquement les terrains traversés par une intrusion magmatique ( $T^\circ$  augmente)



Le contact entre l'intrusion magmatique et les terrains encaissants constitue une auréole de métamorphisme

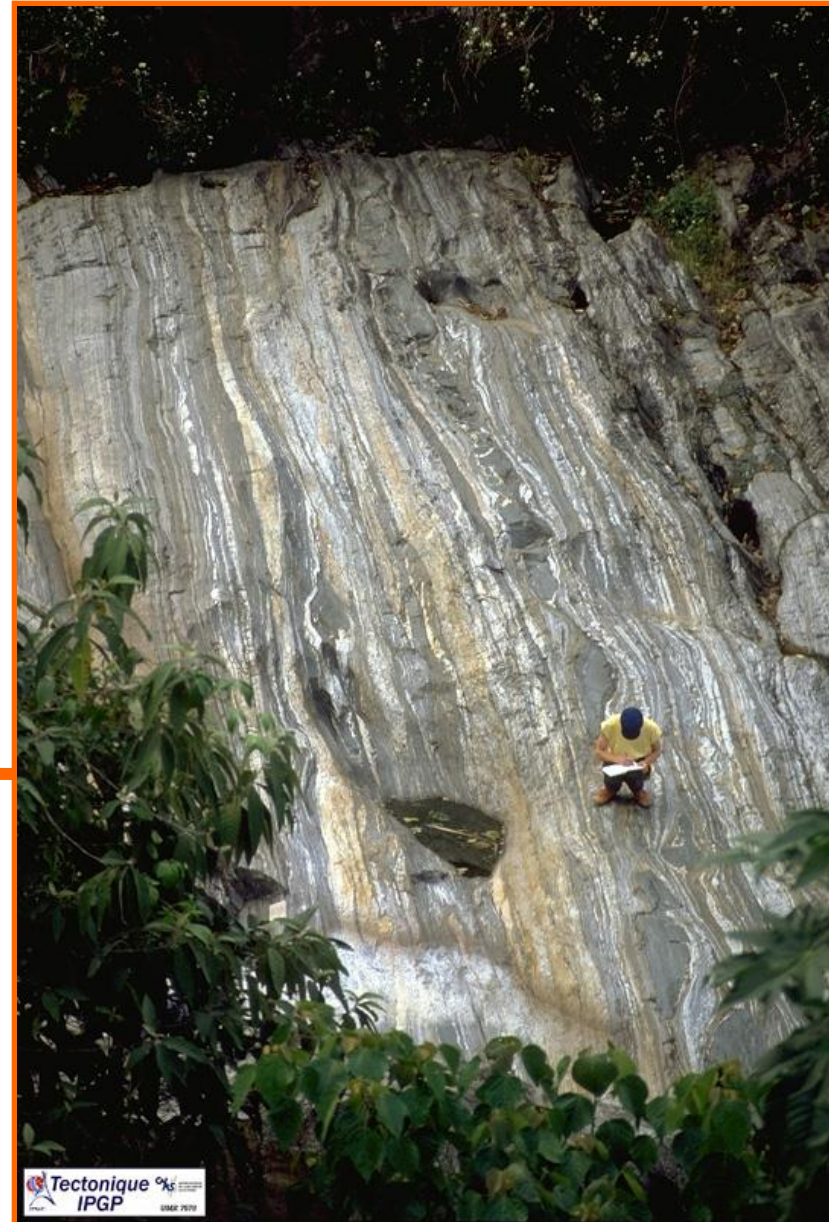
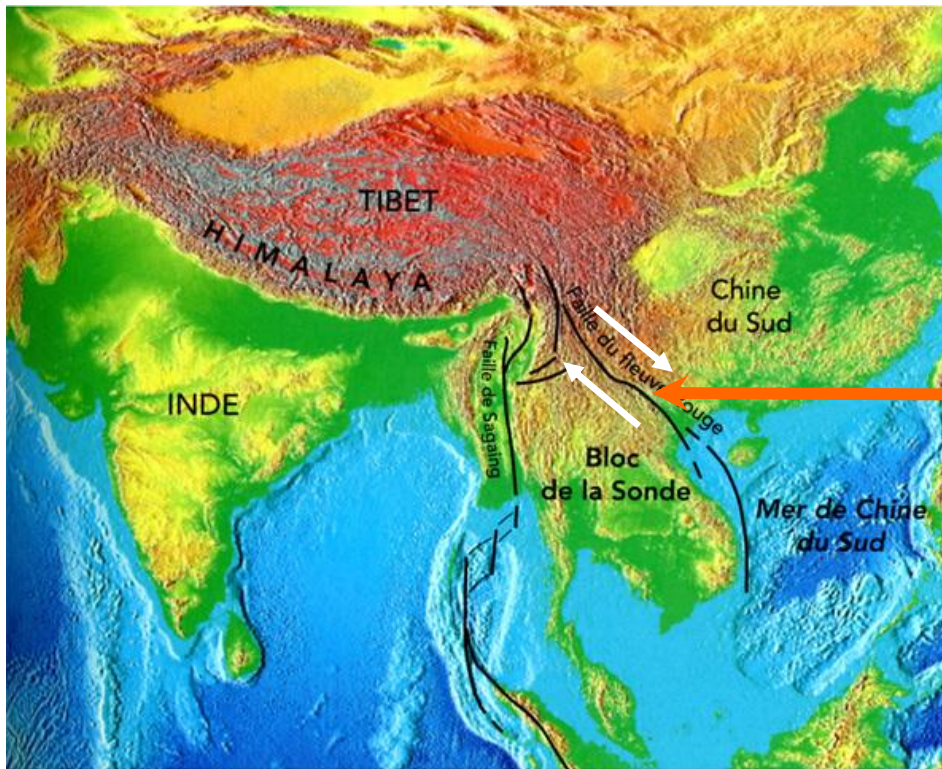


## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Métamorphisme dynamique

Lié aux contraintes opérant le long des failles majeures

Ex. : Transformation d'anciens basaltes par étirement le long de la faille du Fleuve Rouge





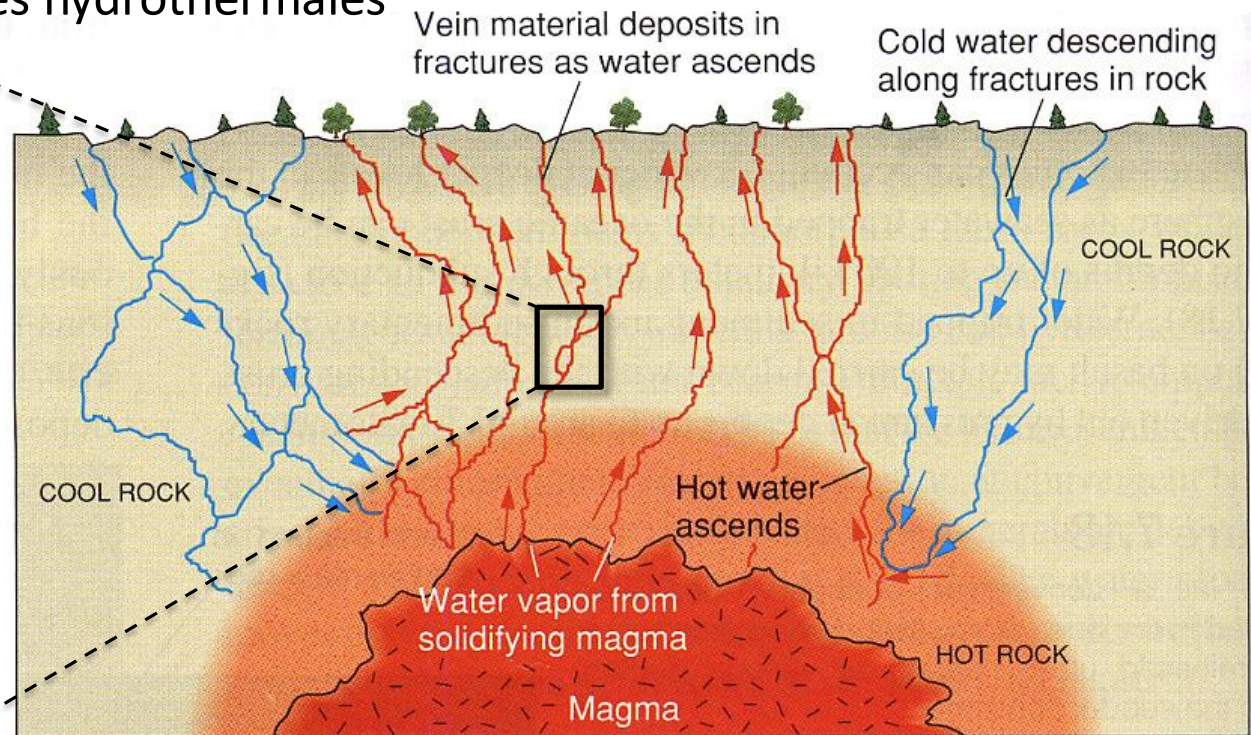
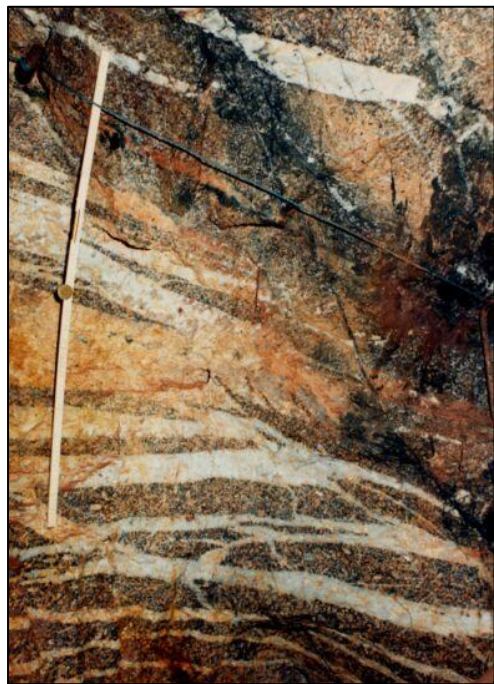
## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Métamorphisme hydrothermal

Lié à des circulations de fluides à température élevée

Les eaux de pluie s'infiltrent dans la croûte, sont réchauffées, dissolvent les roches (altération, hydrolyse), puis remontent en précipitant les ions issus de l'altération.

-> formation de veines hydrothermales

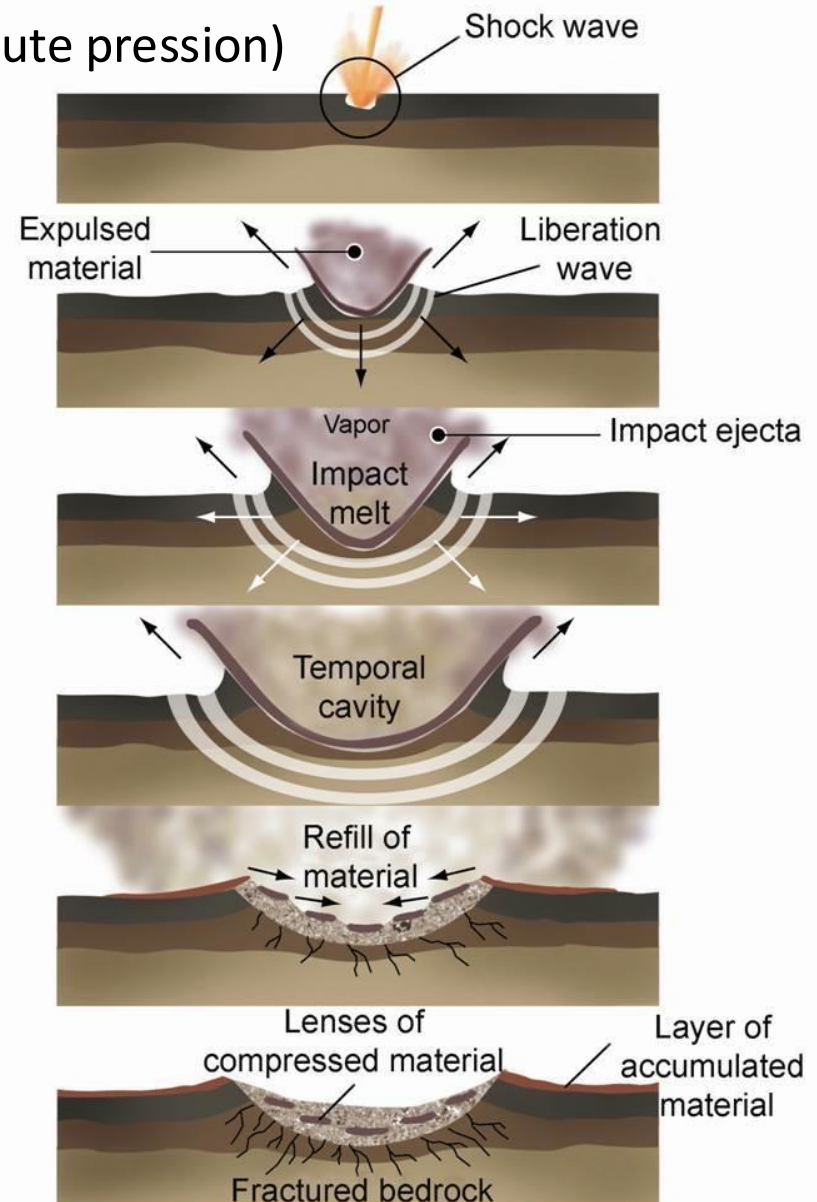
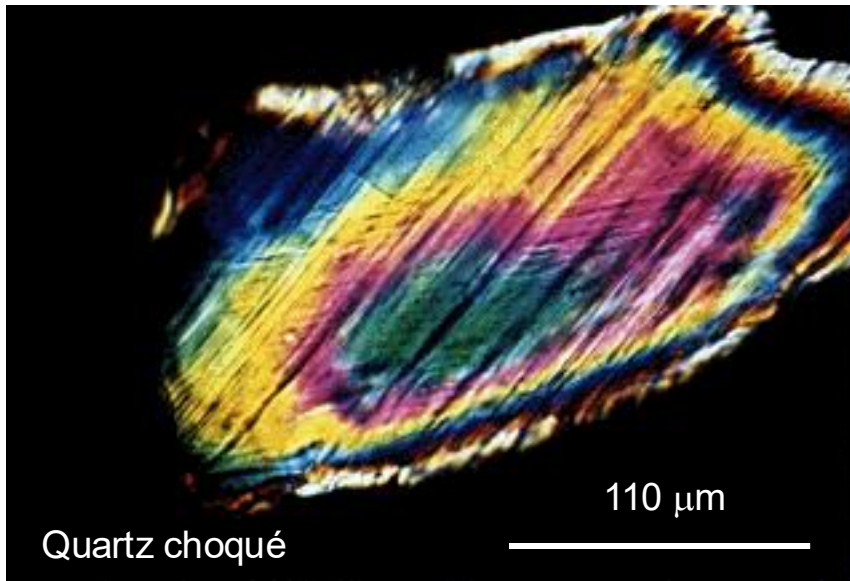




## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Métamorphisme d'impact

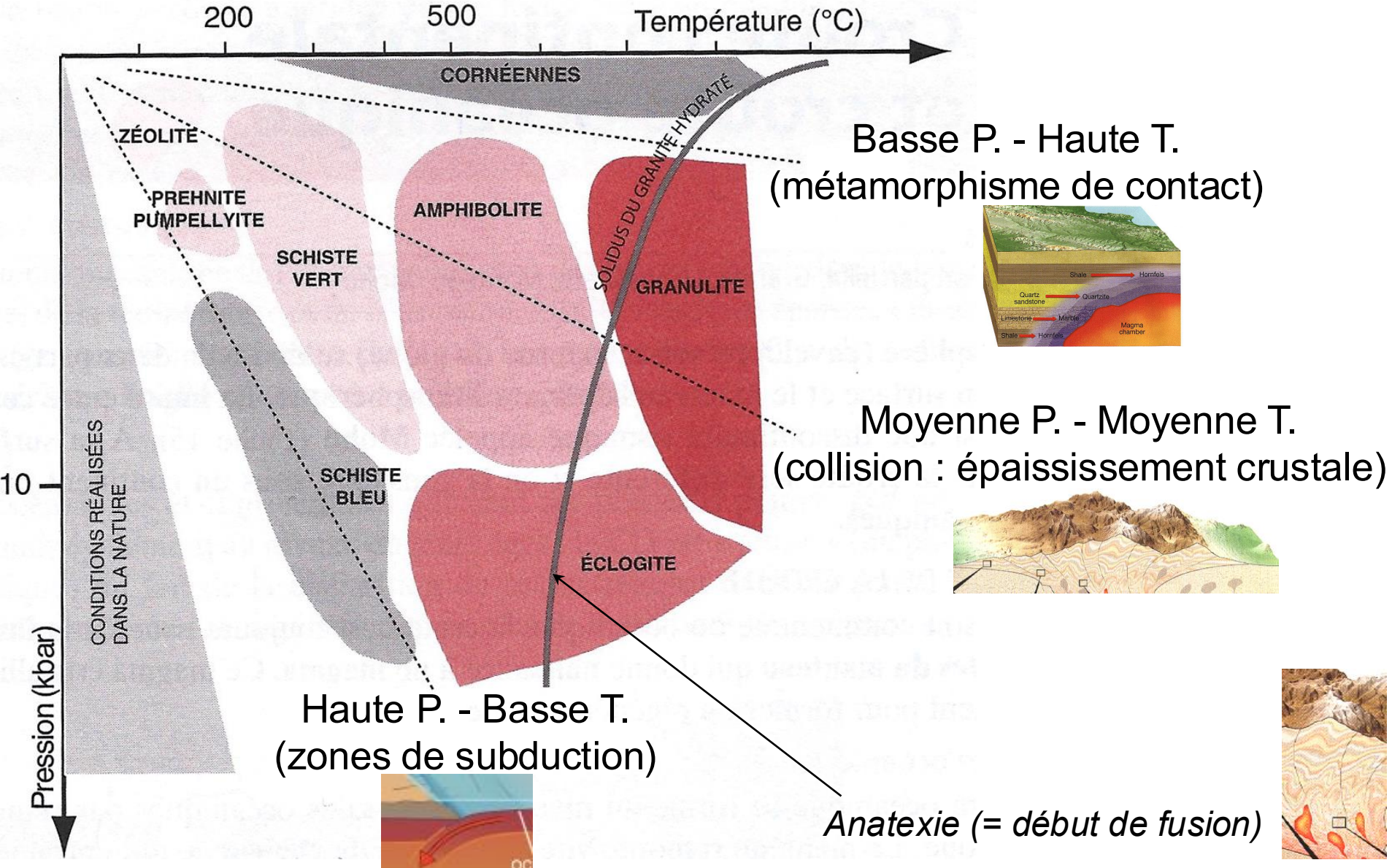
Lié à la chute de grosses météores (rare, ultra haute pression)





## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Notion de gradients et faciès associés





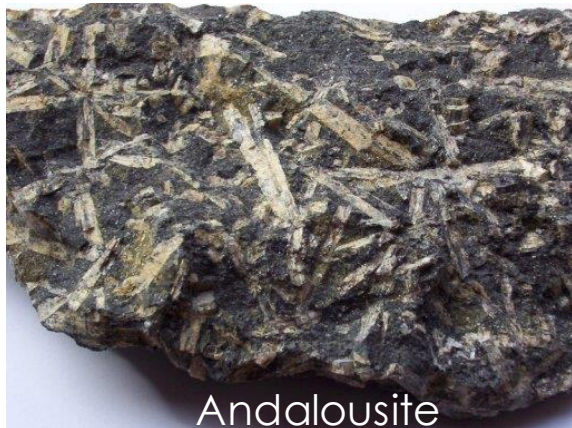
## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Quelques minéraux clés

Staurotide =  $f(\text{temperature})$



Grenat =  $f(\text{pression})$



Andalousite



Disthène

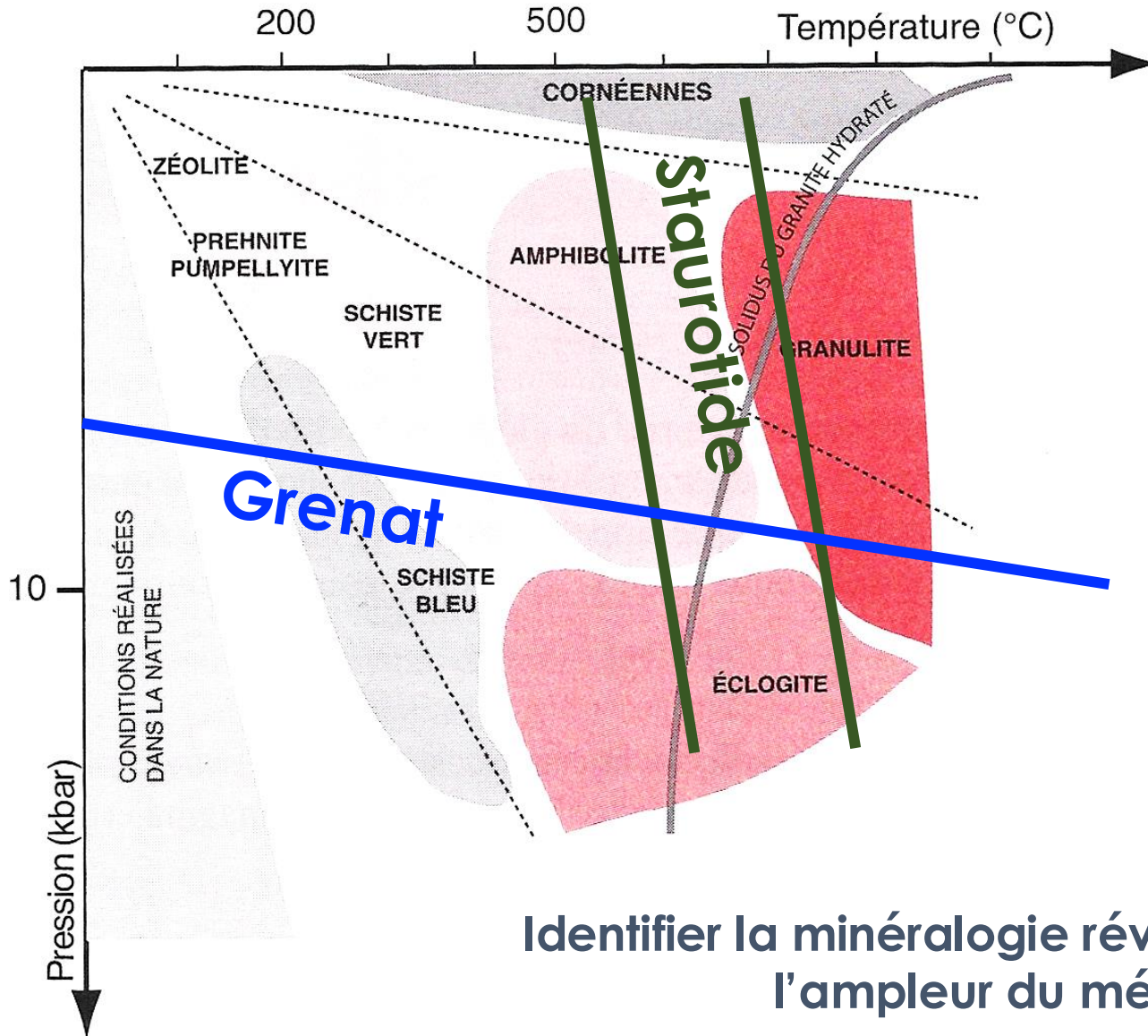
Sillimanite





## 2) b. -> Roches métamorphiques

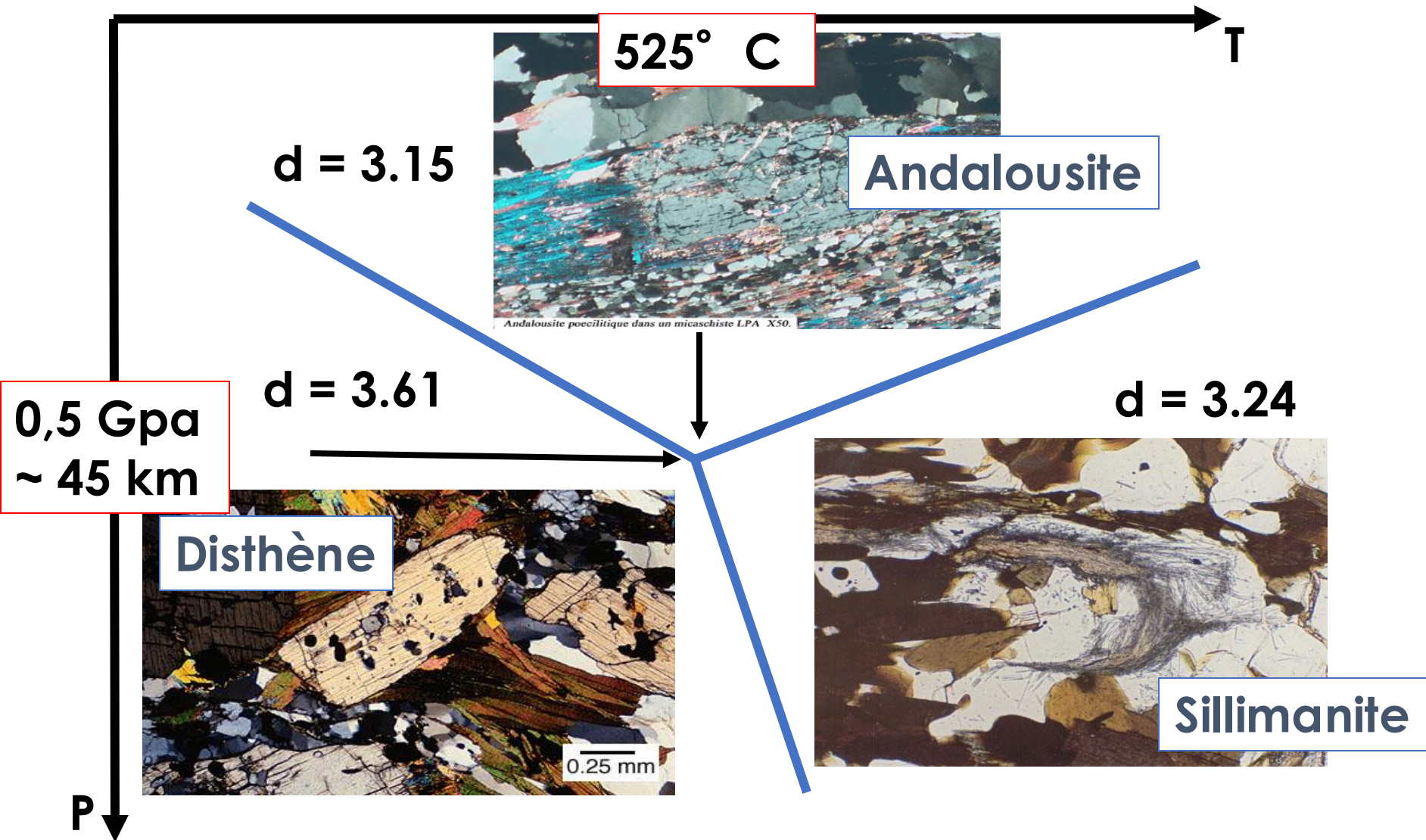
### Modifications de la minéralogie



## 2) b. -> Roches métamorphiques

Exemple des silicates d'alumine ( $\text{Al}_2\text{SiO}_5$ )

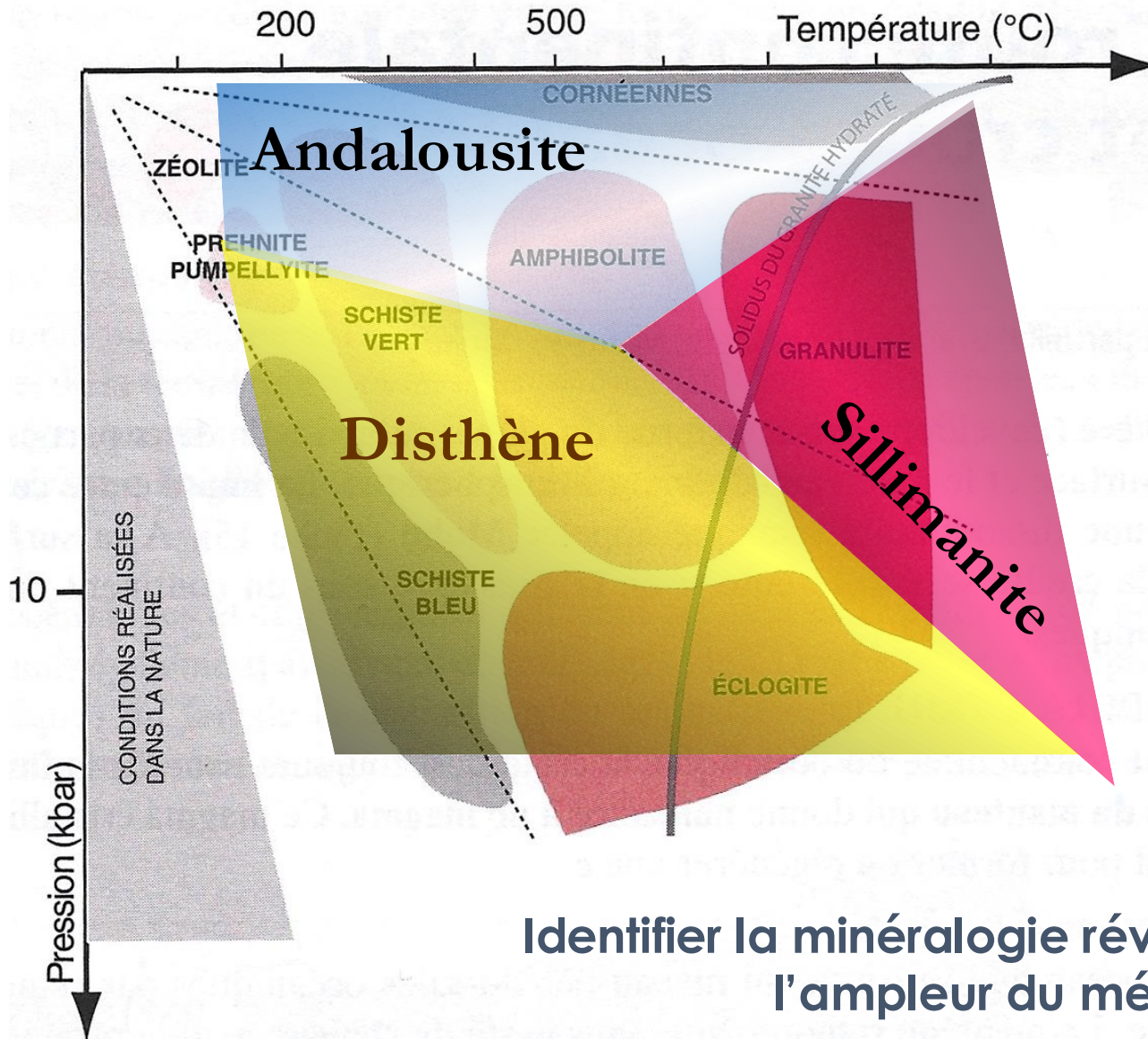
Trois formes, chacune ayant son domaine de stabilité





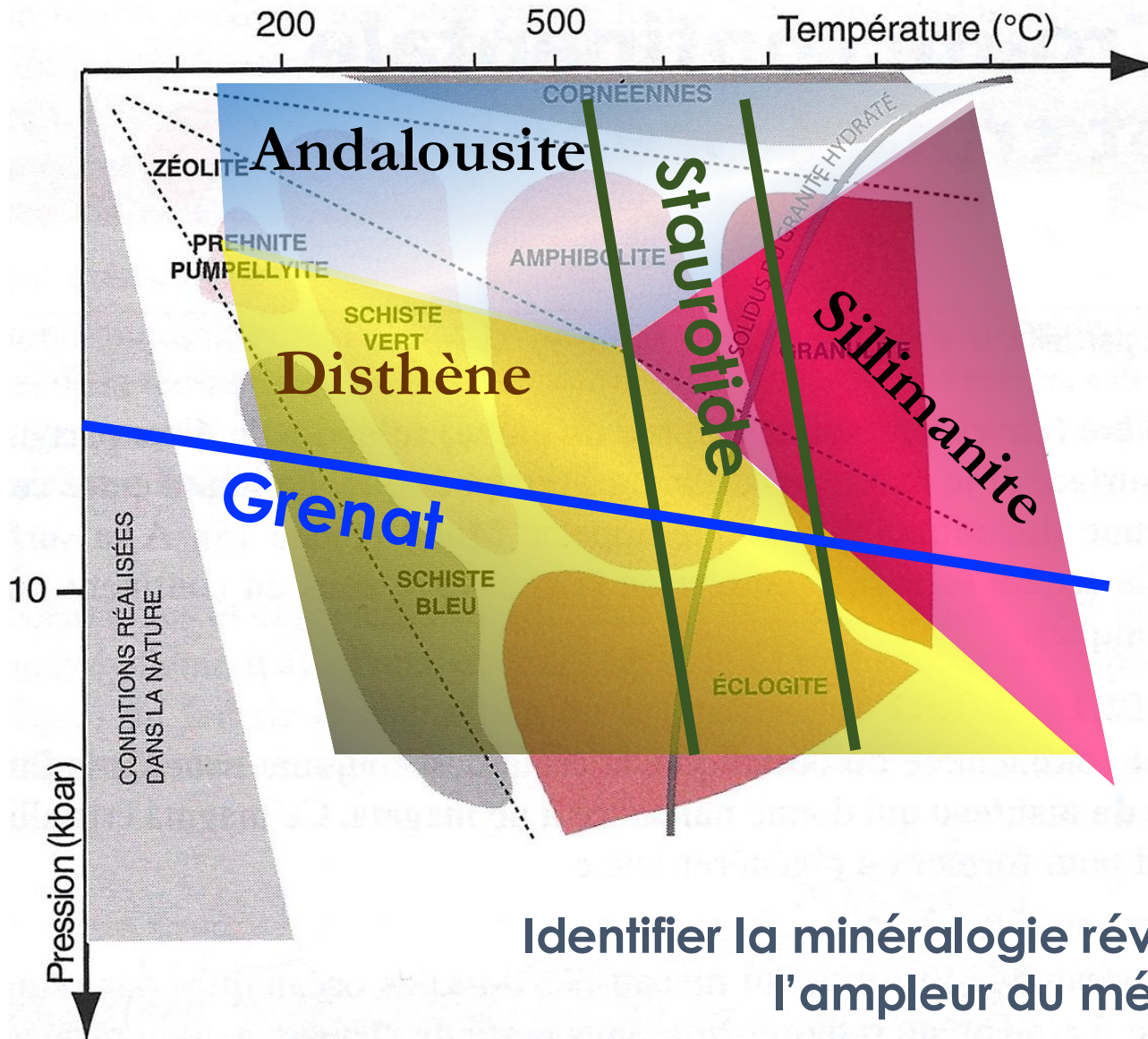
## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Modifications de la minéralogie



## 2) b. -> Roches métamorphiques

### Modifications de la minéralogie



Identifier la minéralogie révèle le type et l'ampleur du métamorphisme



# EXEMPLES DE ROCHES SEDIMENTAIRES METAMORPHISEES

**calcaire**



**marbre**

**argile  
(mud-  
stone)**



**schiste**

**Ggrès**



**quartzite**



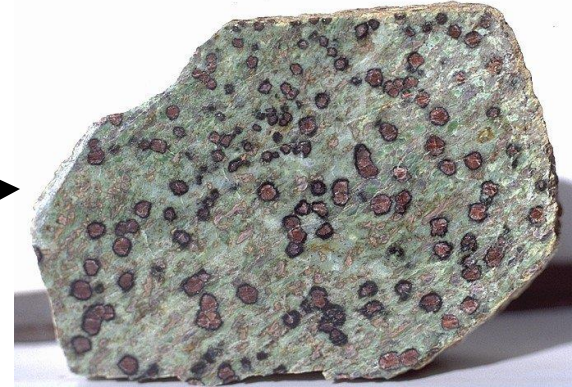
# EXEMPLES DE ROCHES MAGMATIQUES METAMORPHISEES



basalte



amphibolite



éclogite

Sédiments marnes/calcaires



ou



Granite



para-

ortho-



gneiss



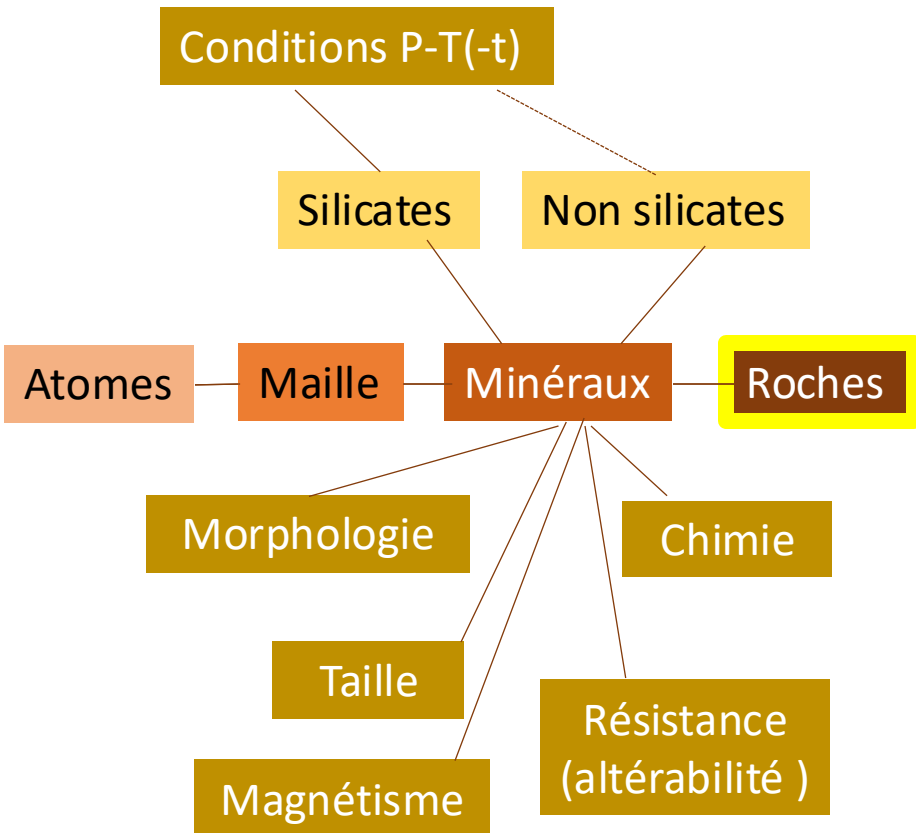
(fusion partielle)

*Stade Ultime  
Très Haute T*

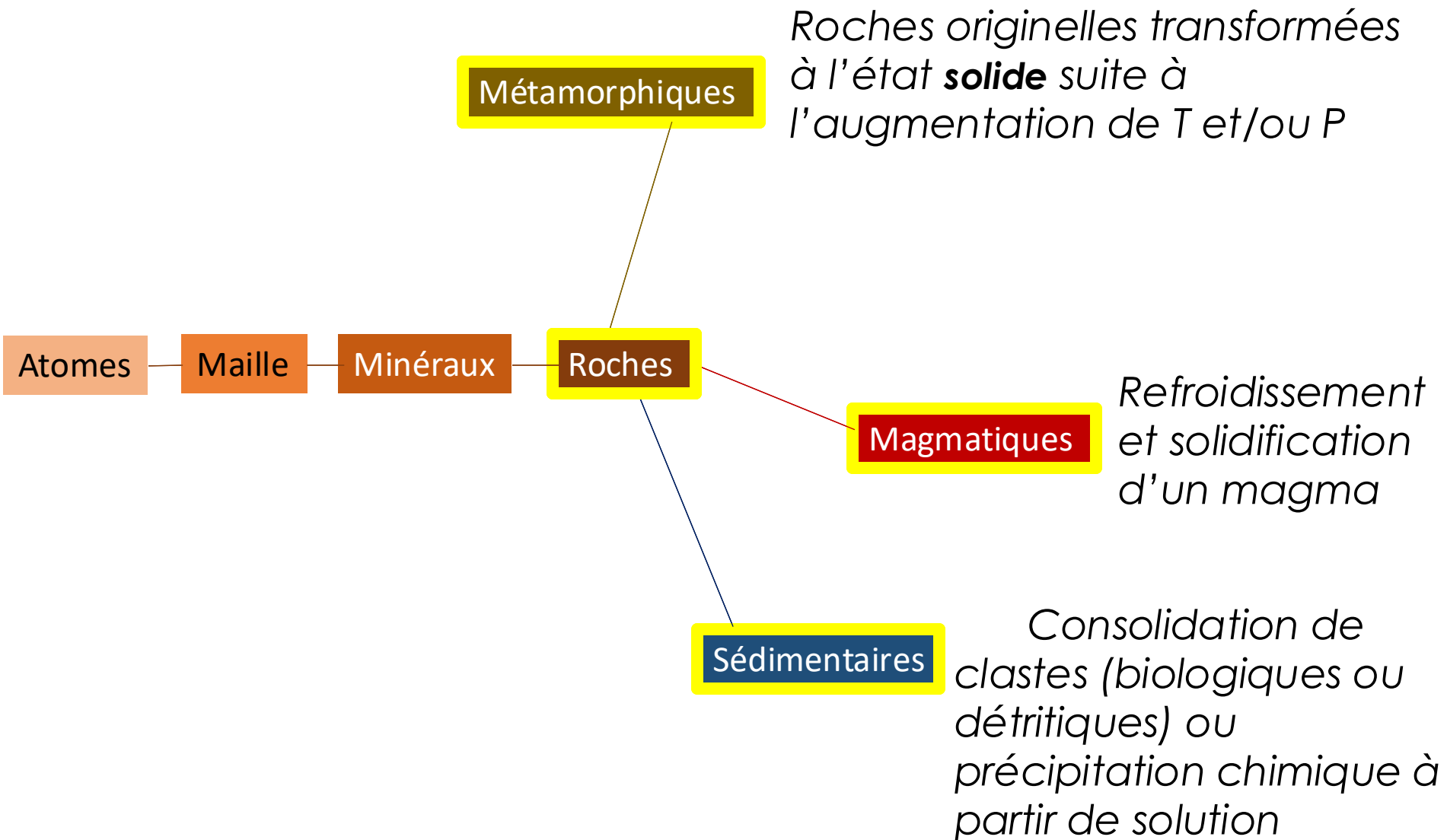
→ granite  
d' anatexie  
(fusion totale)



## Les minéraux témoins de l'histoire des roches

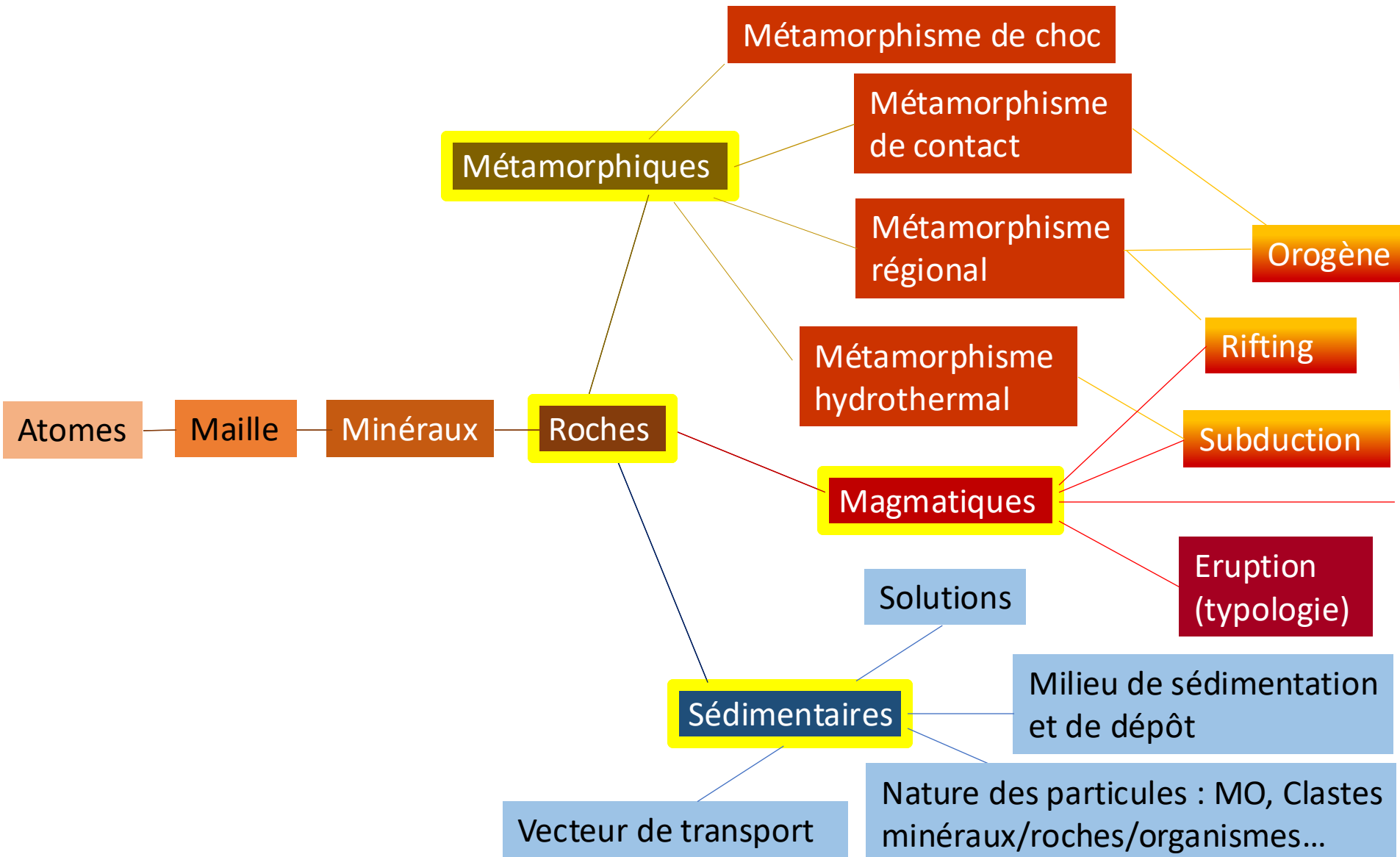


## Les minéraux témoins de l'histoire des roches



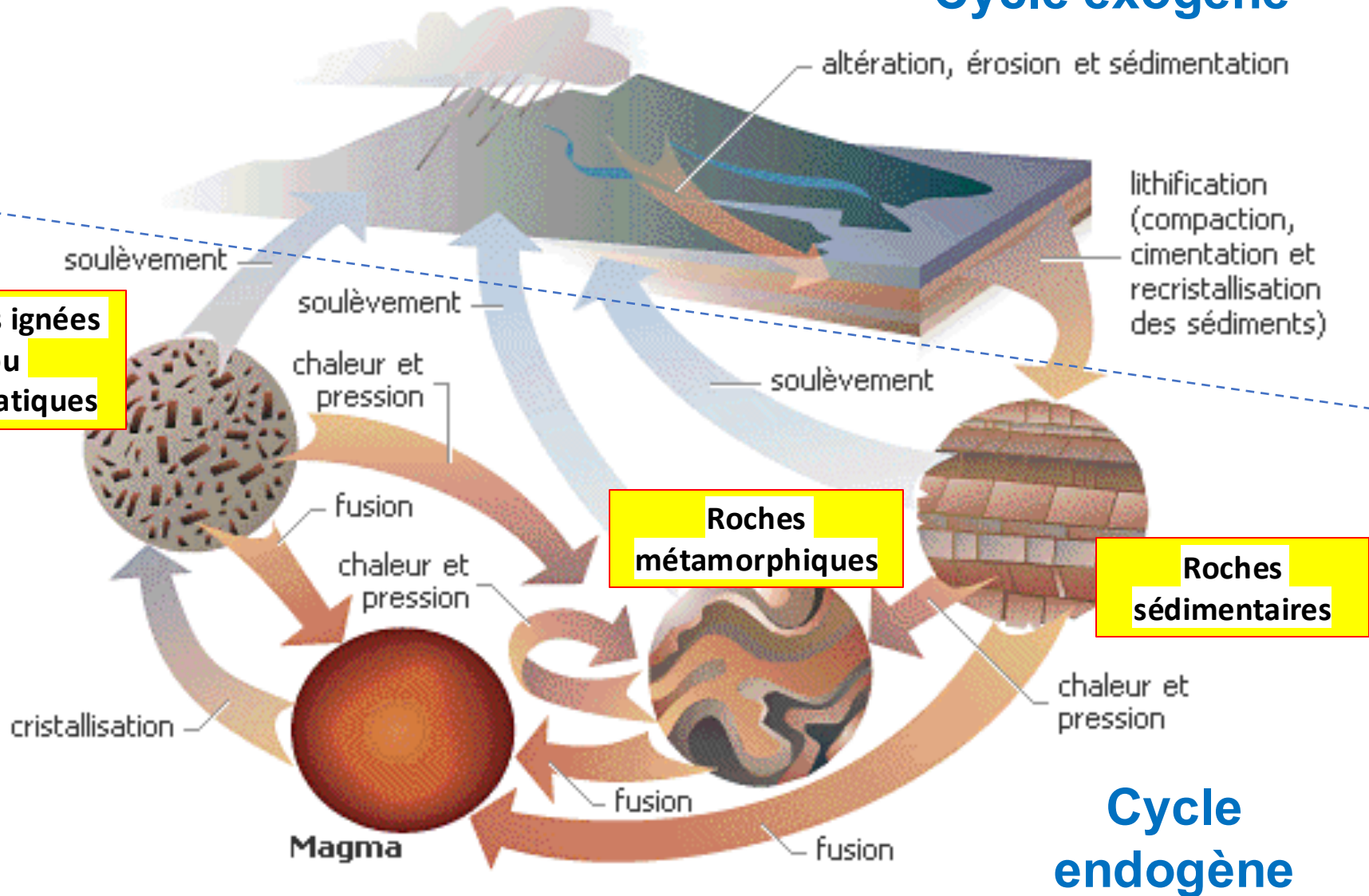


## Les minéraux témoins de l'histoire des roches



## Cycle des roches

### Cycle exogène





## I. La tectonique des plaques

### 1) Introduction - Historique

➤ *Notions de cristallographie et de minéralogie*

### 2) Frontières de plaques

#### a. Les frontières de plaques divergentes

➤ *Les roches magmatiques 1*

➤ *Les roches sédimentaires*

#### b. Les frontières de plaques convergentes

➤ *Les roches magmatiques 2*

➤ *Les roches métamorphiques*

➤ ***Les roches : ressources géologiques***

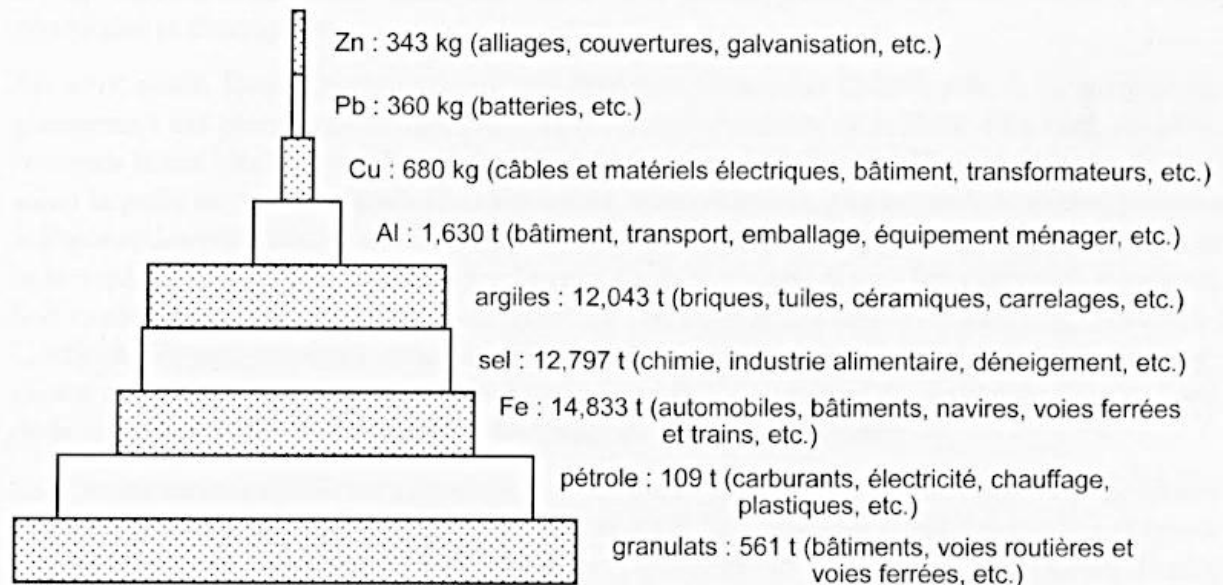
#### c. Les frontières de plaques décrochantes

## II. Cinématique des plaques

## III. Moteur(s) des mouvements

## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

- MATÉRIAU (gravier, sable ...)
- MINÉRAI (or, argent, cuivre ...)
- GEMMOLOGIE (diamant, rubis, saphir ...)
- ÉNERGIE (uranium, pétrole/gaz/charbon)
- EAU ...





## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### MATÉRIAUX : ROCHES ORNEMENTALES ET DE CONSTRUCTION

Les principaux marchés du secteur sont :

- ☐ le bâtiment (43% du CA)
- ☐ le funéraire (41%)
- ☐ la voirie (8%).



*Calcaire Comblanchien (21)*



*Granite de Senones (88)*

### **MATÉRIAUX : GRANULATS**

Les granulats sont des petits morceaux de roches, sables et graviers, dont la taille est comprise entre 0 et 125 mm.

Extraits

- 1) dans des carrières alluvionnaires exploitant des sables et graviers déposés dans l'ancien lit d'une rivière.
- 2) dans des carrières de roches massives exploitant des roches «dures».
- 3) dans une moindre mesure, extractions marines et recyclage.



*Sable de Fontainebleau (91)*



## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### MATÉRIAUX : CIMENT ET BÉTON

Liant pour la construction

Production de **chaux** :

Calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) + chaleur ( $900^\circ \text{C}$ ) -> chaux vive ( $\text{CaO}$ ) +  $\text{CO}_2$   
chaux vive ( $\text{CaO}$ ) +  $\text{H}_2\text{O}$  ->  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (chaux éteinte)



Four à chaux

Production de **ciment** : calcaire + argiles

Le mélange calcaire + argile est chauffé -> clinker

La prise, réalisée par ajout d'eau, correspond à la carbonatation et à la cristallisation de silicates et d'aluminates de Ca

Le **béton** est un mélange entre des granulats et un liant (ciment)

# **MATÉRIAUX : MINÉRAUX INDUSTRIELS**

### **Matériaux naturels utilisés dans des applications industrielles**

- Argiles fines (céramiques, carrelage, réfractaires, étanchéité, ... )
- $\text{CaCO}_3$  (papier, plastiques, peinture, environnement, fertilisants, ...)
- Diatomite (filtration, porteurs, ...)
- Kaolin (papier, céramiques, peinture, réfractaires, cosmétique, ...)
- Silice
- Talc (céramiques, plastiques, peinture, environnement, ...)
- ...



## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### MINERAI

Un minerai est une roche contenant des minéraux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier l'exploitation par l'industrie.

La plupart des minerais métallifères sont :

- \* des oxydes (bauxite-Al) ;
- \* des sulfures (galène-Pb) ;
- \* des carbonates (malachite-Cu, sidérite-Fe) ;
- \* des silicates (garniérite-Ni) ;
- \* des fluorures (fluorite-F).

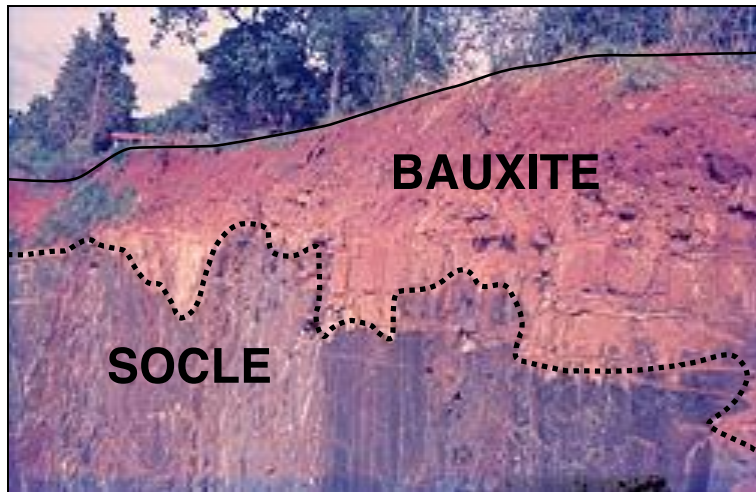


## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

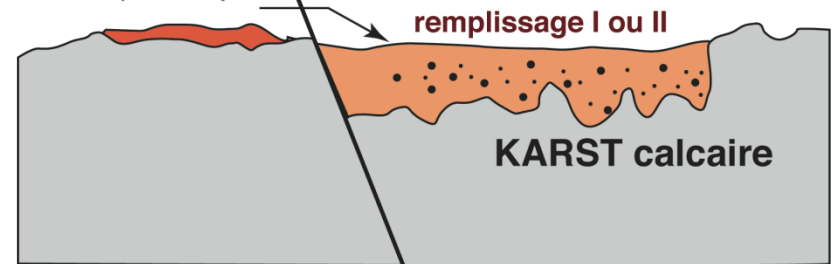
### BAUXITE: oxyde d'aluminium

La bauxite est une roche latéritique, caractérisée par sa forte teneur en alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  et en oxydes de fer, qui lui confèrent souvent une coloration rouge. Cette roche constitue le **principal minéral d'aluminium**.

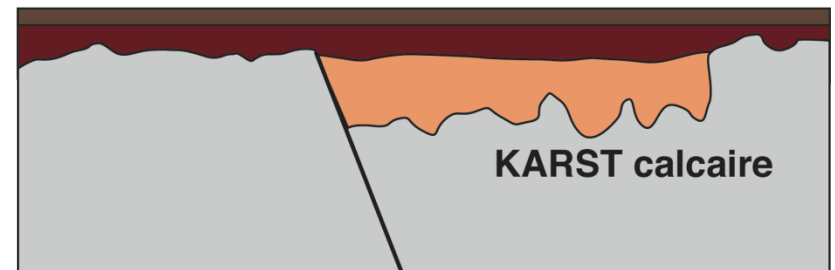
Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide.



Formation de Bauxites  
Altération des  
sols (latérite)



Sédimentation et Préservation des Bauxites

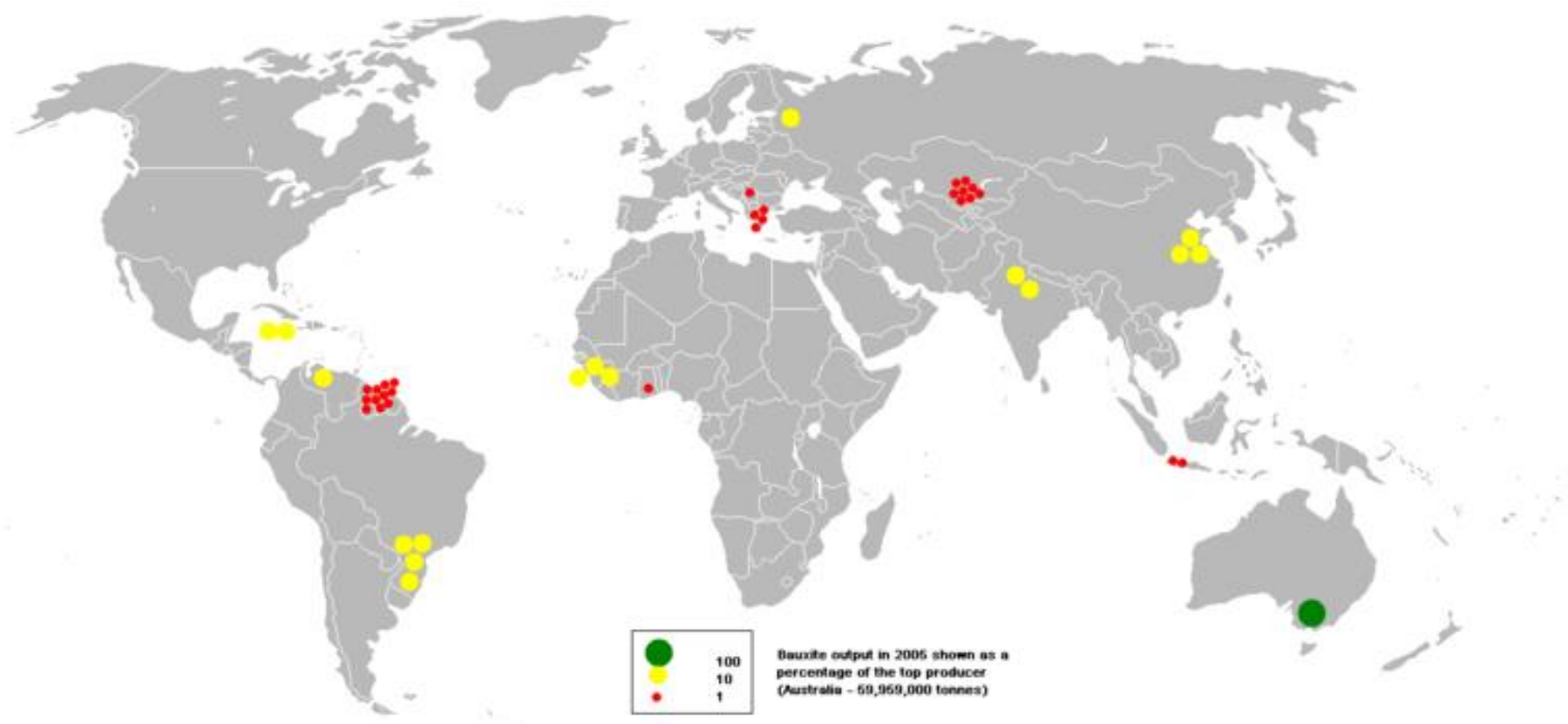




## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### **BAUXITE: oxyde d'aluminium**

Les bauxites se forment par altération des sols pour des températures élevées et des milieux humides. Les gisements principaux se trouvent dans les régions où le climat passé ou actuel a été ou est favorable.



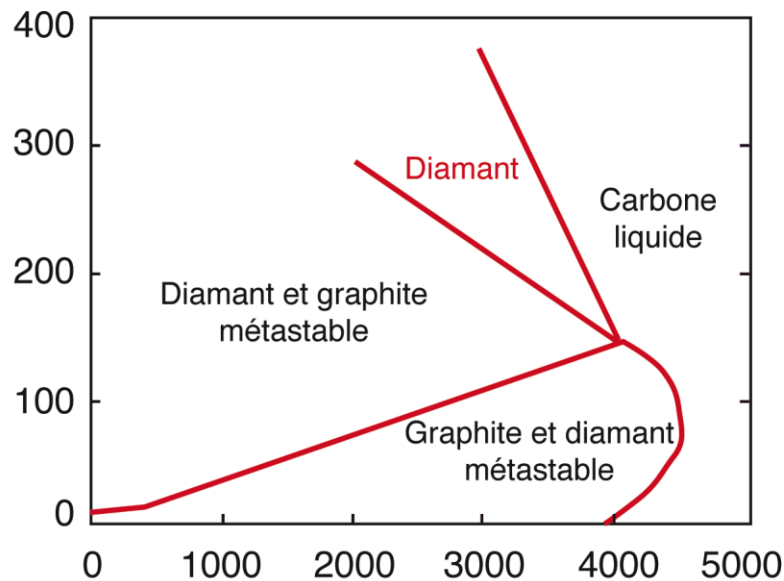
Gisements de bauxite en 2005

## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

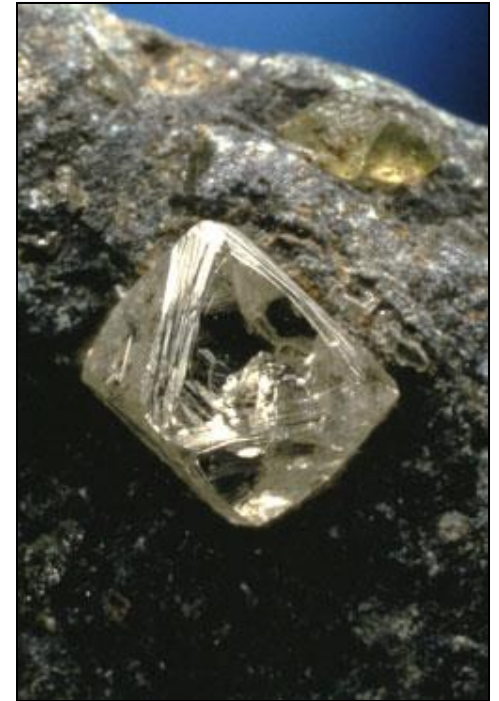
### GEMMOLOGIE : DIAMANTS

- Le diamant est un minéral composé de carbone et est la forme stable de haute pression/haute température du carbone.
- Il est formé dans le manteau entre 150 et 300 km.

**Profondeur, km**



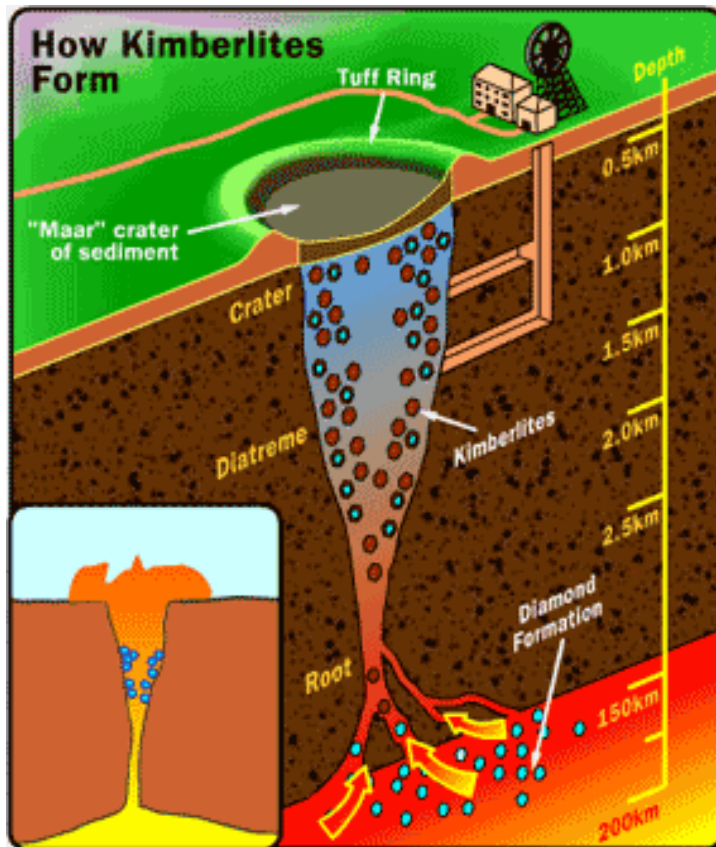
**Temperature °C**



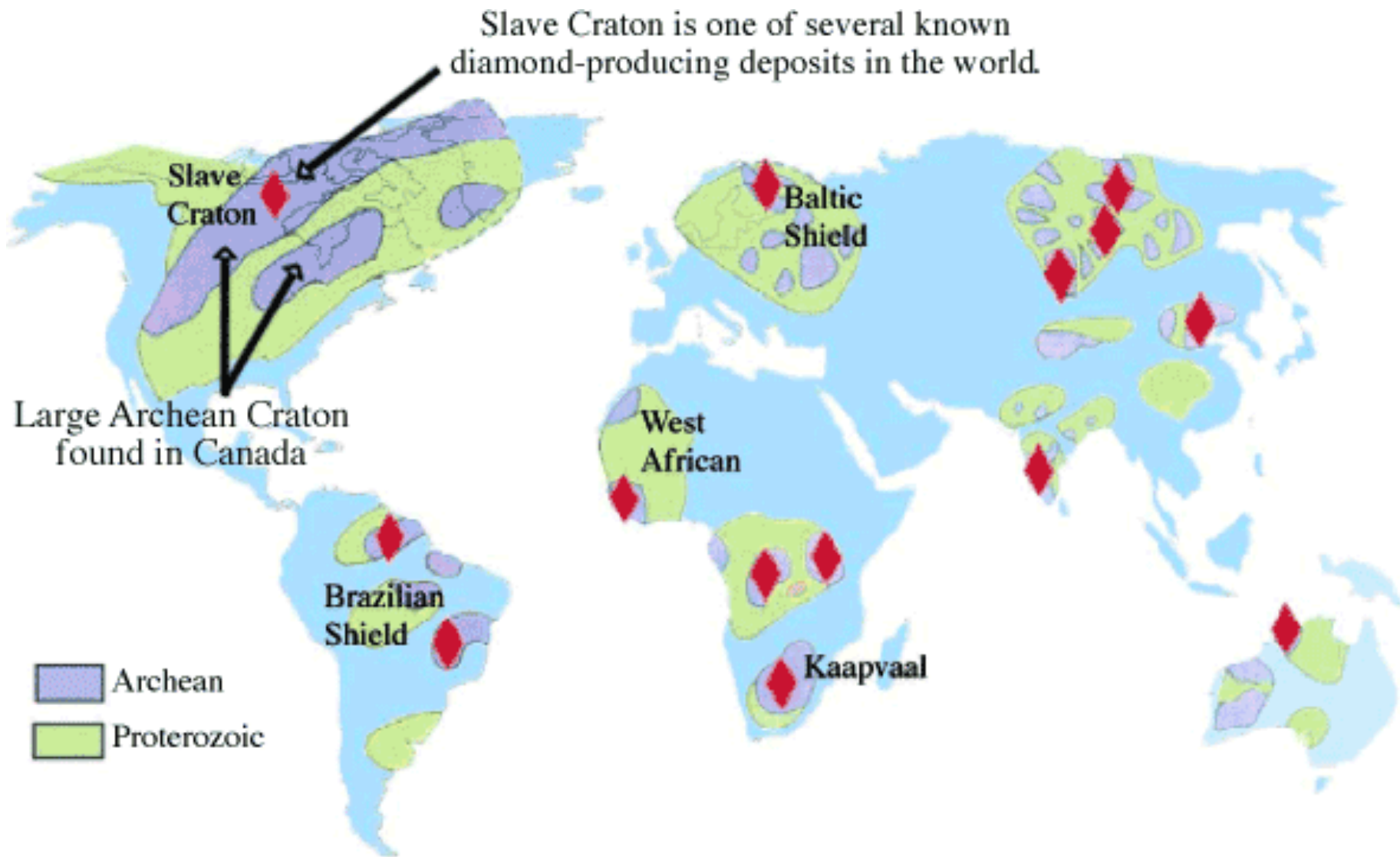


## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

Les diamants sont ramenés à la surface via un volcanisme particulier qui forme des « Kimberlites ».



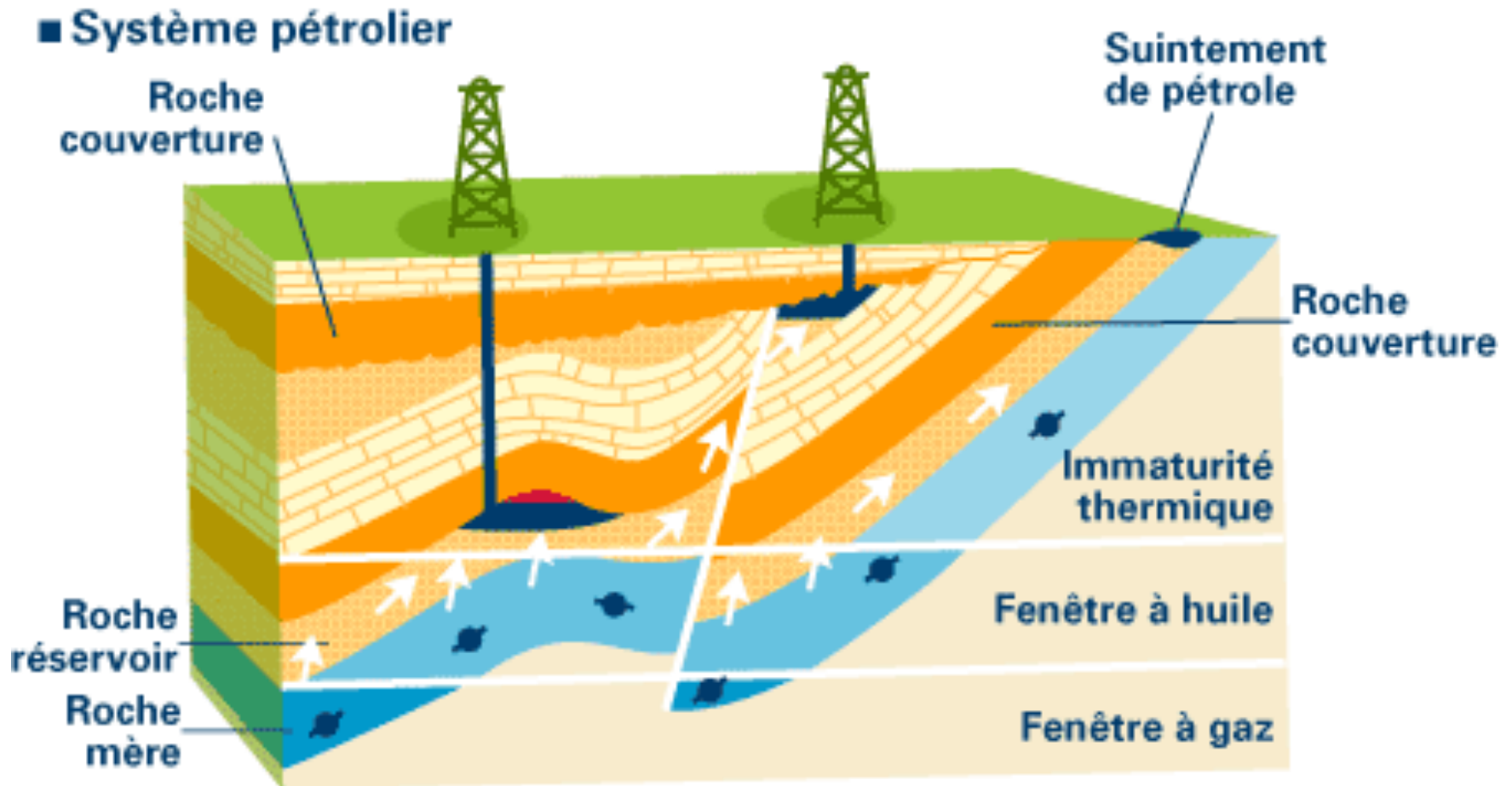
## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques





## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### PÉTROLE ET GAZ

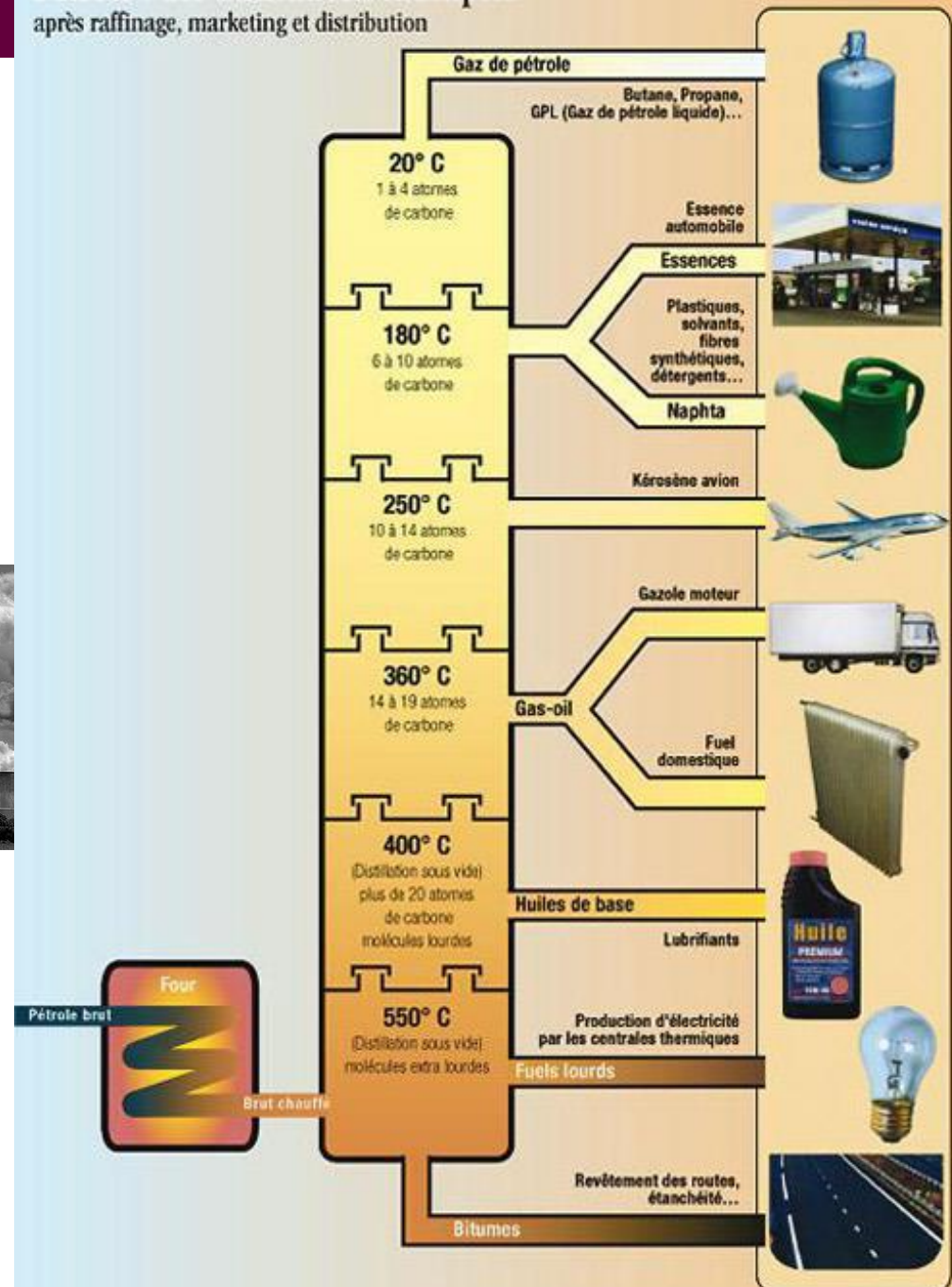


## 2) a. -> Roches sédimentaires

*Des ressources naturelles  
de premier intérêt*



Pétrole : des utilisations multiples  
après raffinage, marketing et distribution





## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

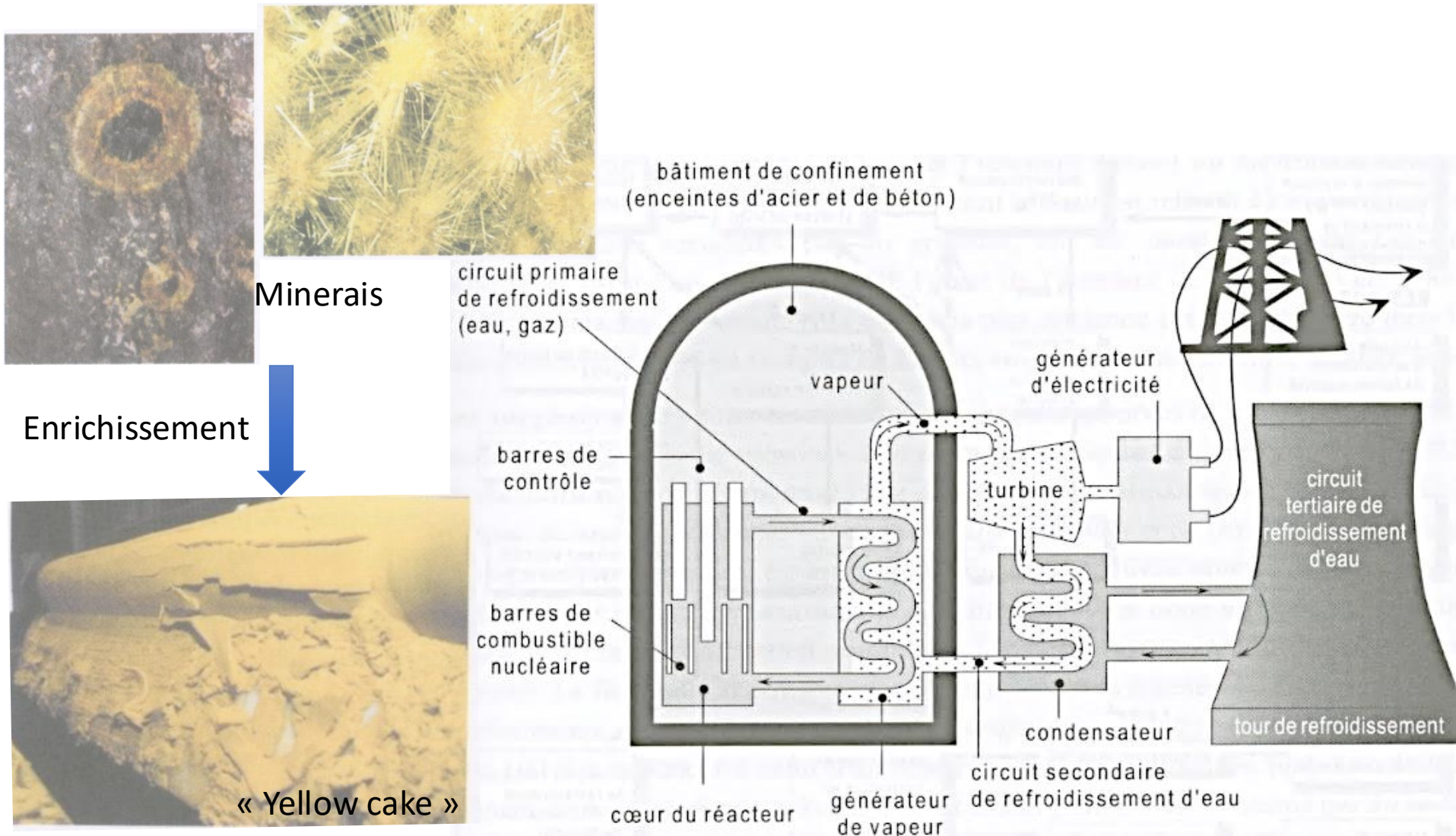
### GISEMENTS DE PÉTROLE ET GAZ



## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### URANIUM

- **Utilisation** : production d'électricité
- **Forme exploitée** : Uraninite ou pechblende



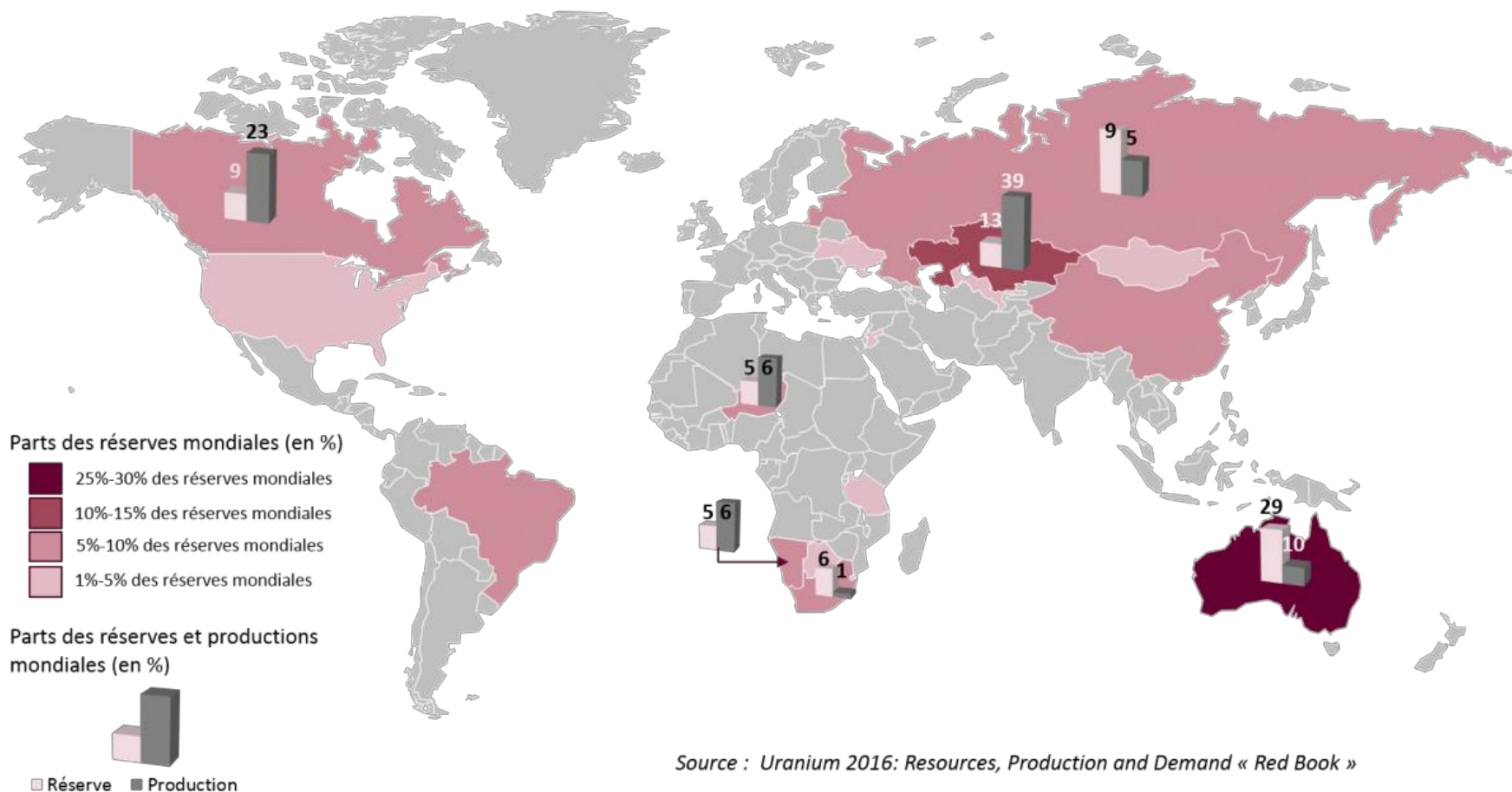


## 2) b. -> Les roches : ressources géologiques

### URANIUM

### Répartition des ressources mondiales

#### Répartition des réserves et productions mondiales d'uranium



Source : Uranium 2016: Resources, Production and Demand « Red Book »

## Conclusions/points importants

- Grande diversité de roches : variété de composition et des modes de formations
- Notions sur les roches métamorphiques
- Roches : matériaux de construction
- Matériaux industriels et minerais/ Gemmes
- Ressources énergétiques



## Questions:

- Quelles sont les différentes étapes conduisant à une collision continentale ?
- Quels sont les mécanismes permettant d'expliquer l'épaississement crustal des zones de collision ?
- Quelles sont les trois grandes catégories de roches
- Quels sont les cinq types de métamorphisme ?
- Citer plusieurs exemples de couple protolithe/roche métamorphique
- Dessiner le cycle des roches