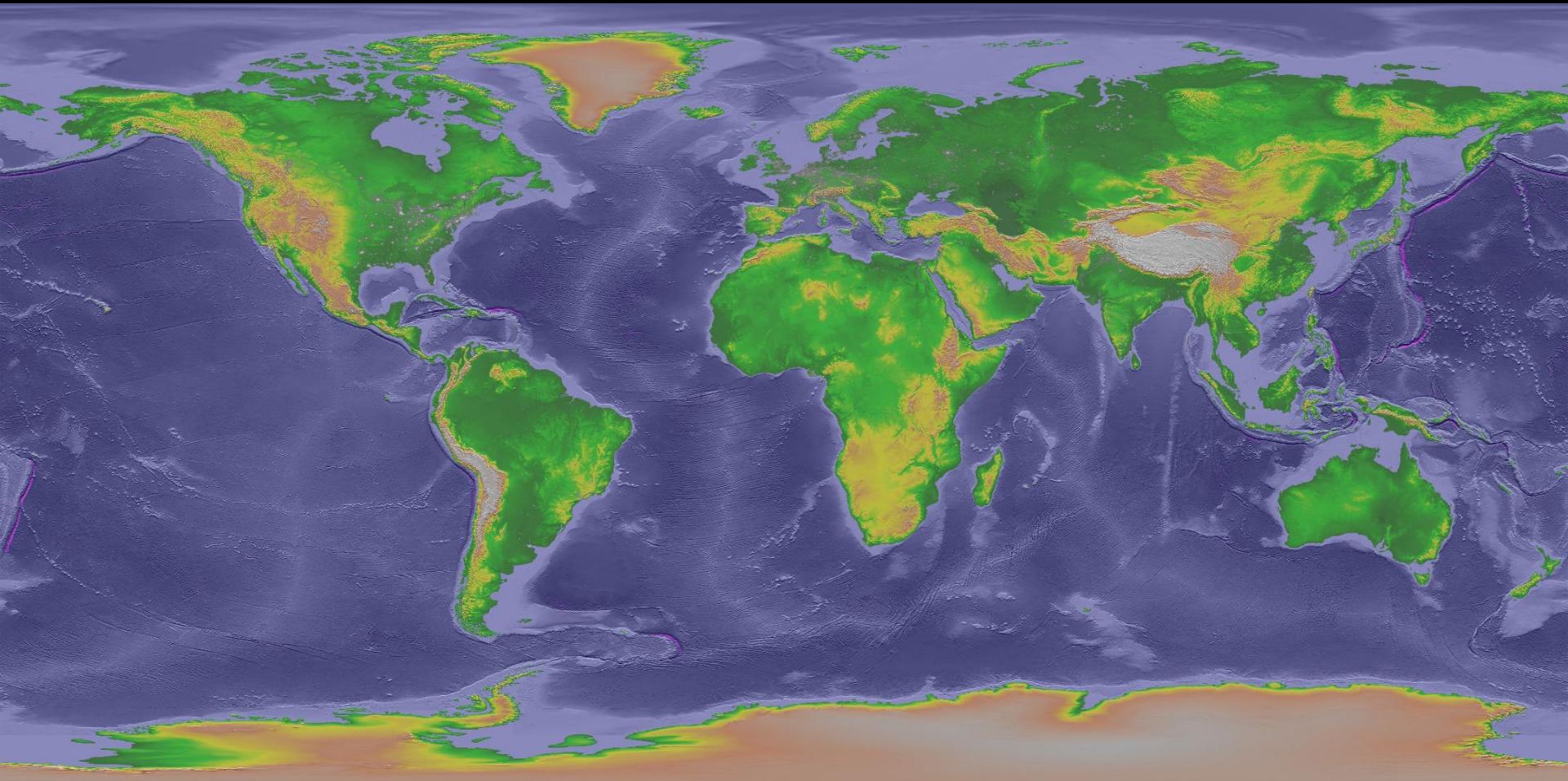


L1 Système Terre PCST & LDDGP



Xavier Quidelleur

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***

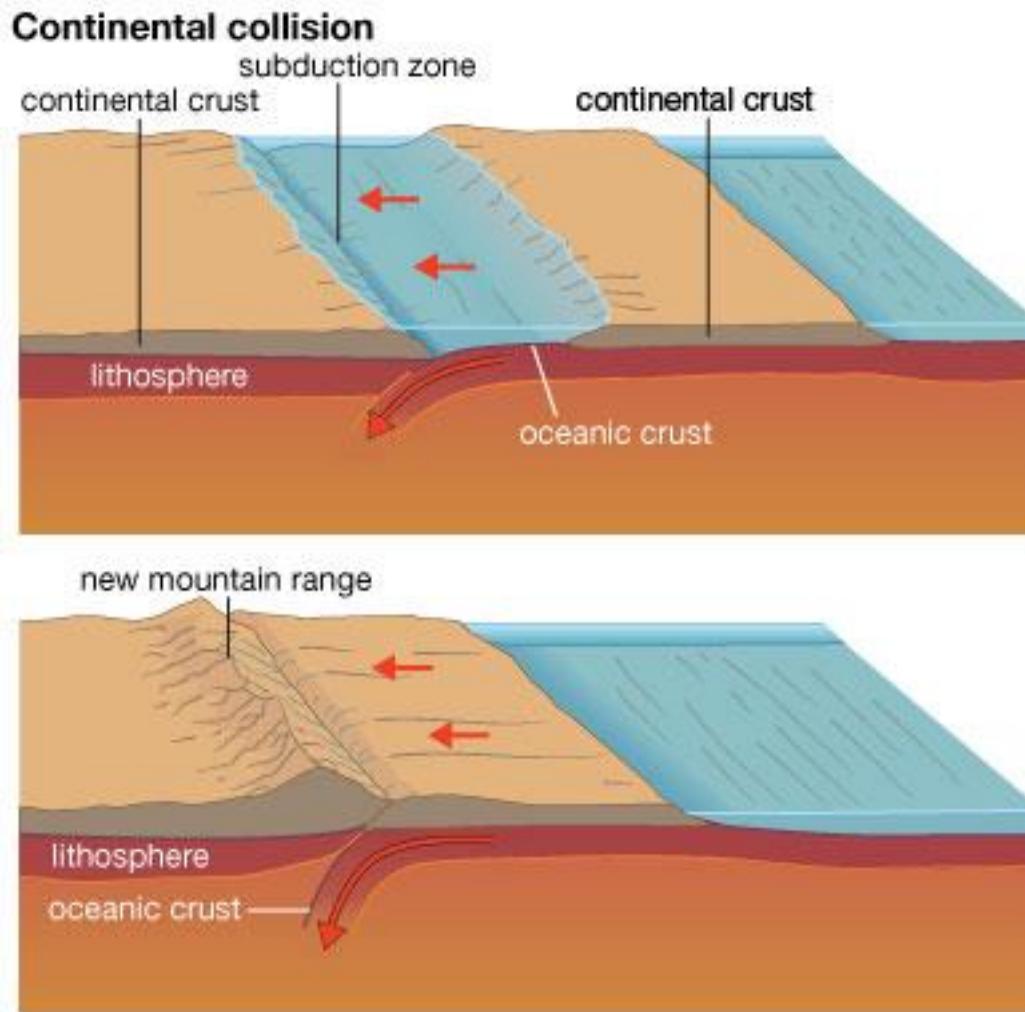
c. Les frontières de plaques décrochantes

II. Cinématique des plaques

III. Moteur(s) des mouvements

2) b. Les frontières de plaques convergentes

Cas 3 : plaque continentale – plaque continentale



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

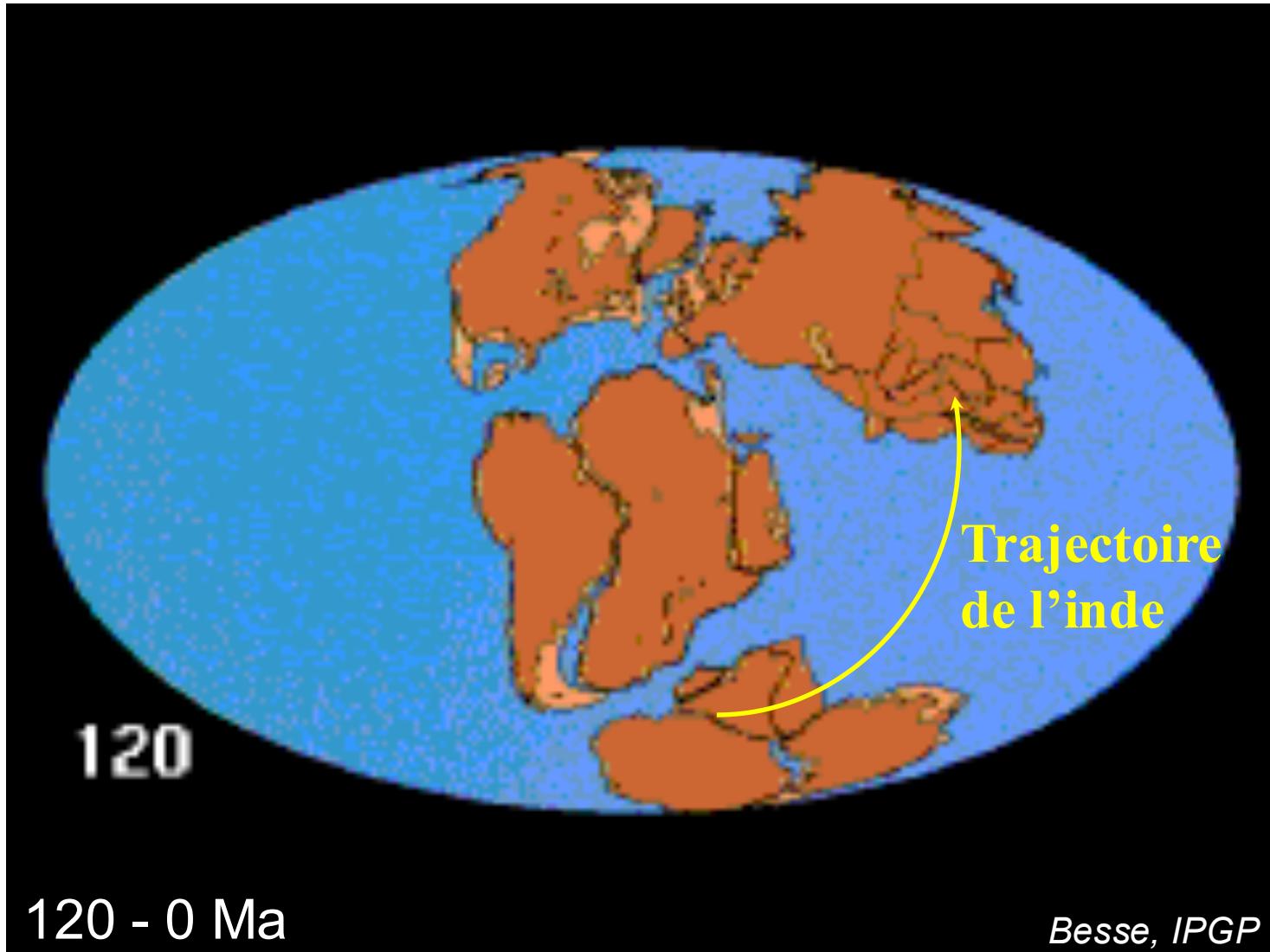
La croûte continentale reste en surface (trop légère) tandis que le manteau lithosphérique continue à s'enfoncer.

ex. de l'Himalaya

2) b. Les frontières de plaques convergentes

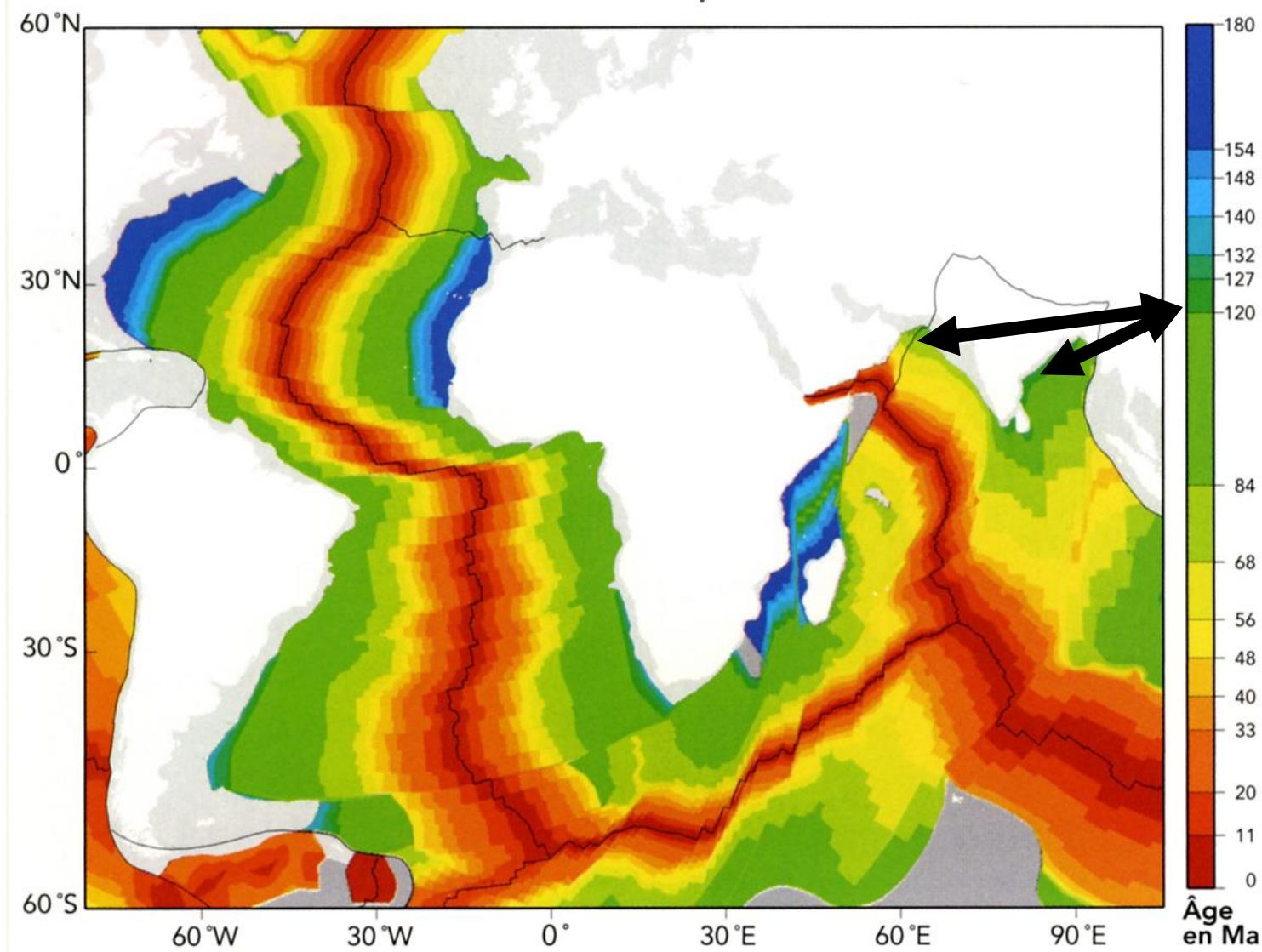
Les plaques se déplacent horizontalement

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



Remontée de l'Inde depuis 120 Ma

120 Ma = formation des 1^{er} planchers de l'O. Indien

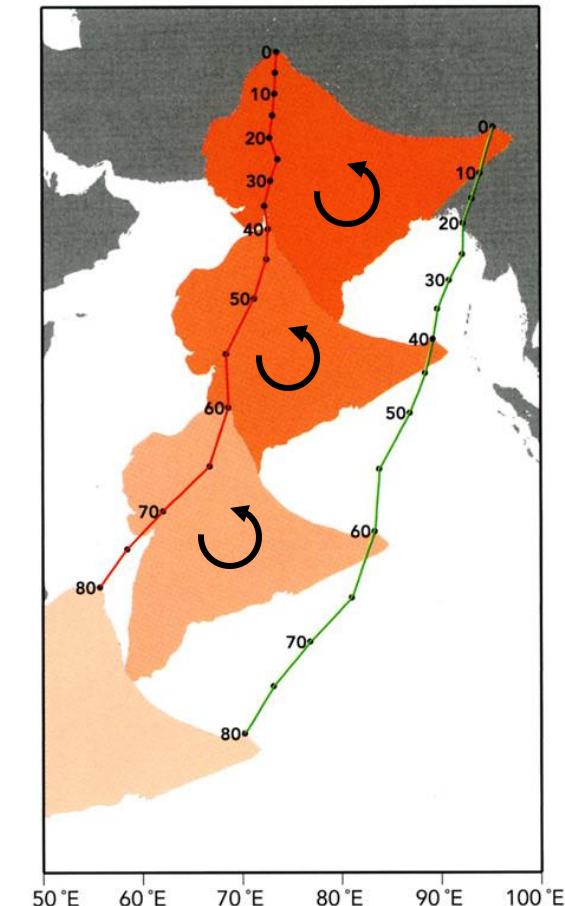
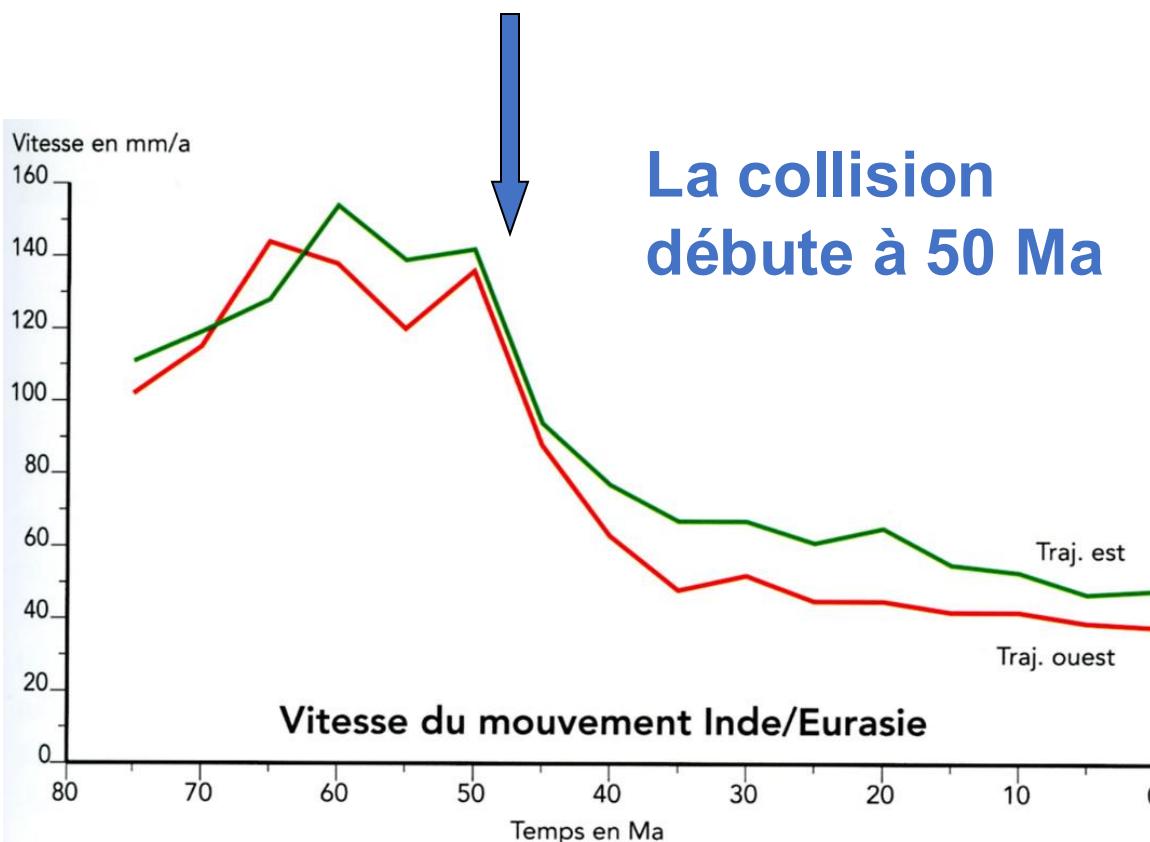


2) b. Les frontières de plaques convergentes

Les plaques se déplacent horizontalement

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

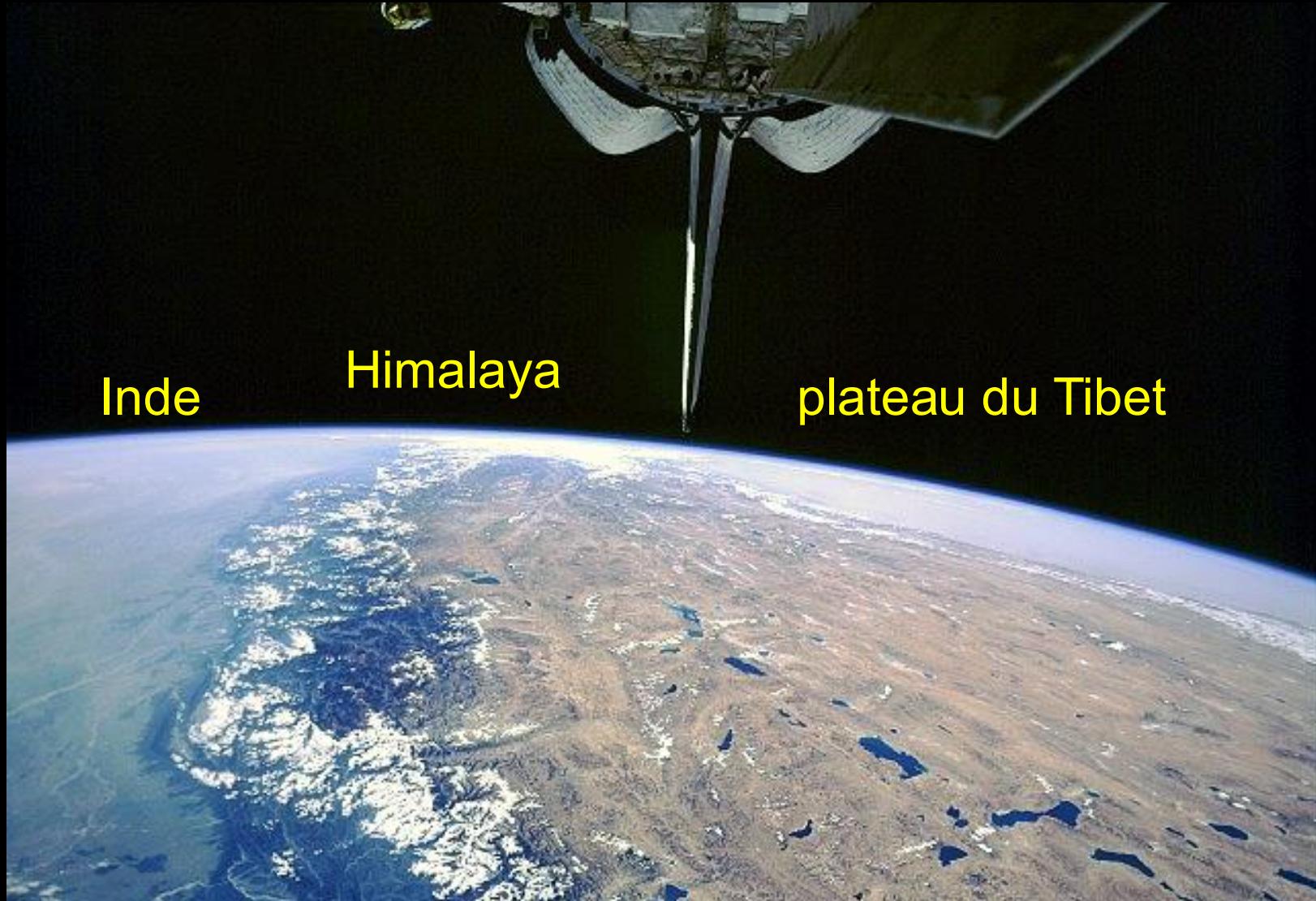
*Ralentissement du mouvement de l'Inde
suite à la collision*

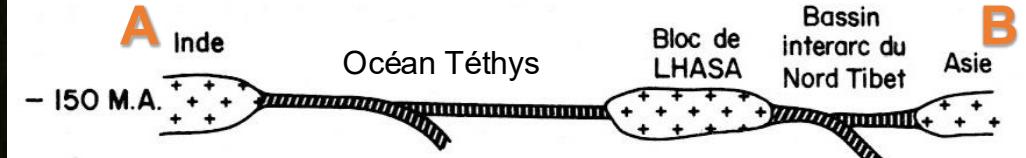


*Différence de vitesse E-W
=> rotation de l'Inde*

2) b. Les frontières de plaques convergentes

Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

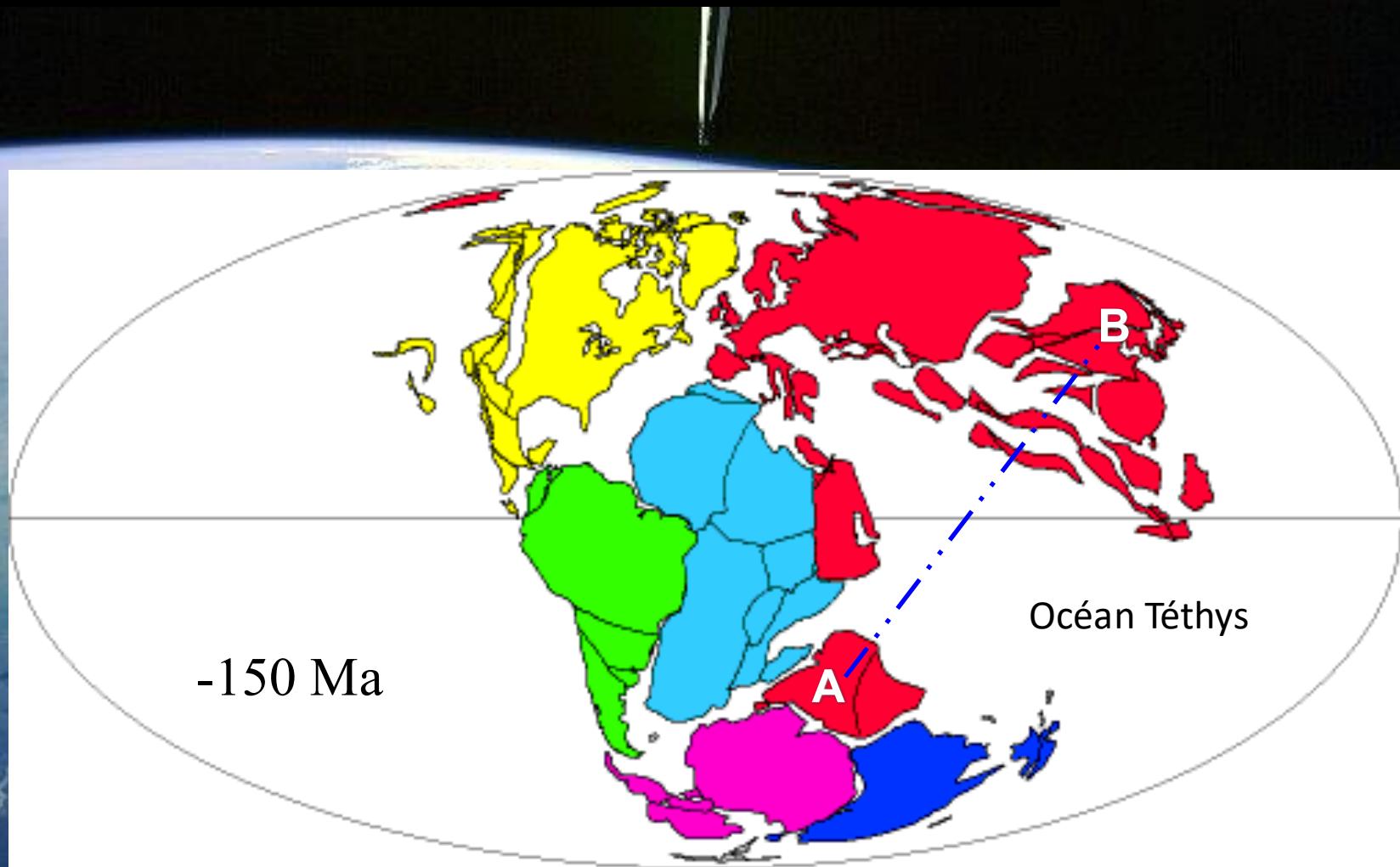




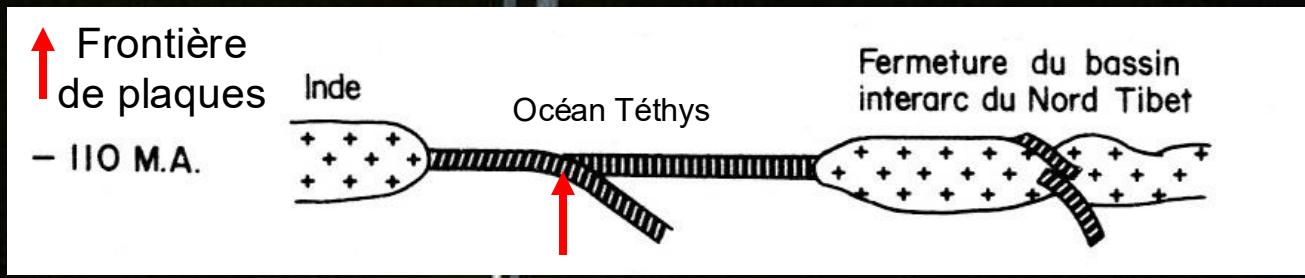
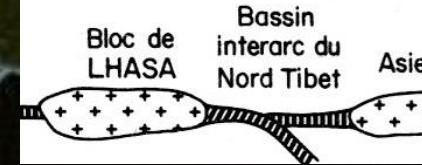
Inde

Future Asie (encore morcelée)

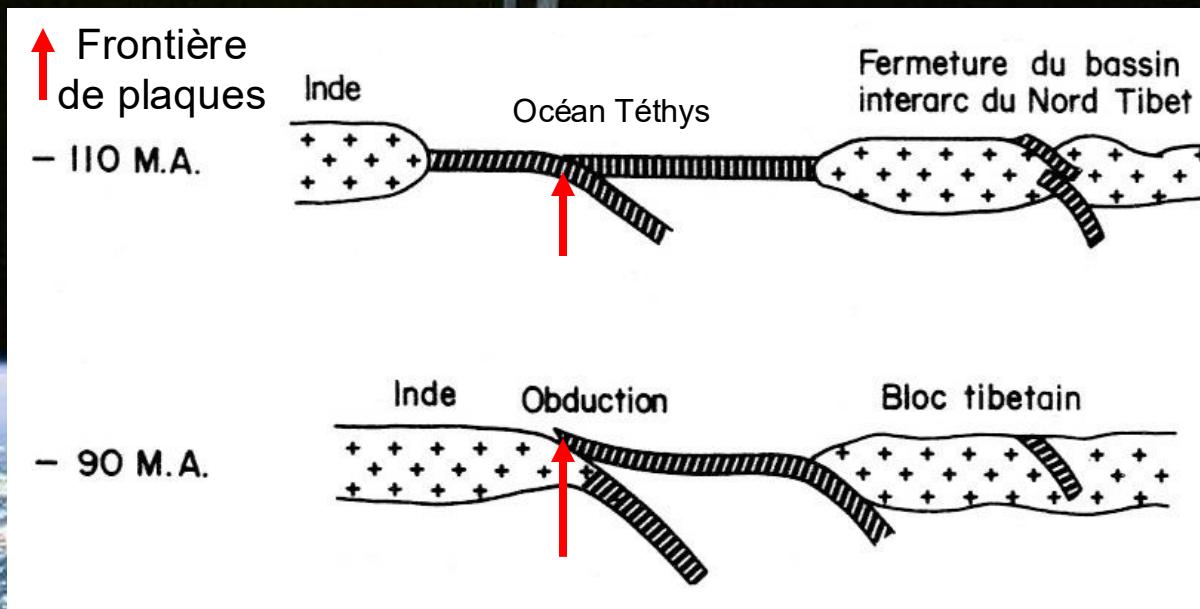
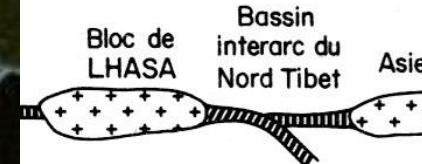
Formation de l'Himalaya



Formation de l'Himalaya

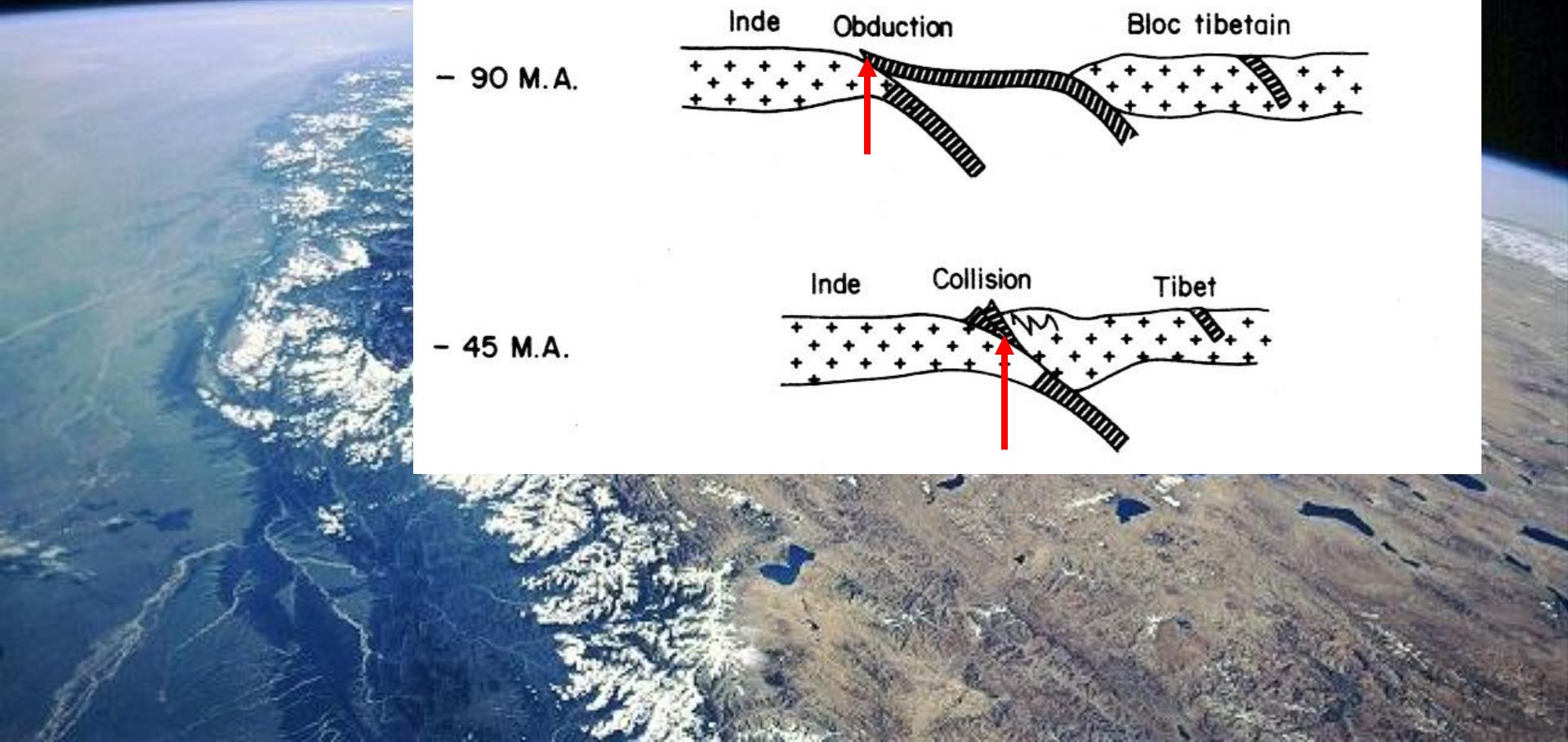
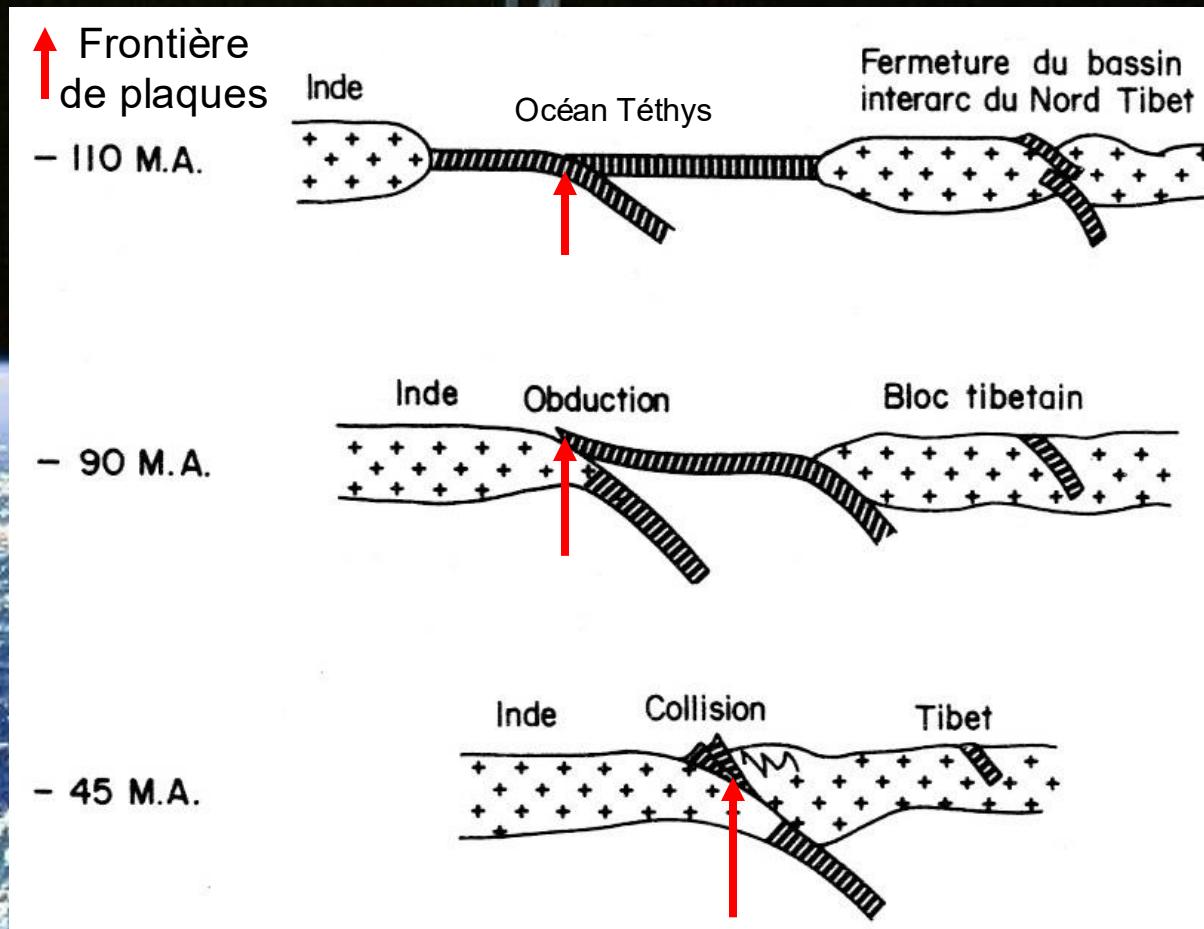
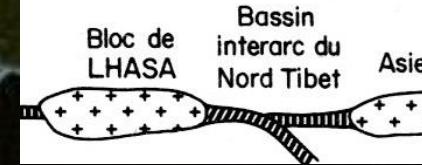


Formation de l'Himalaya

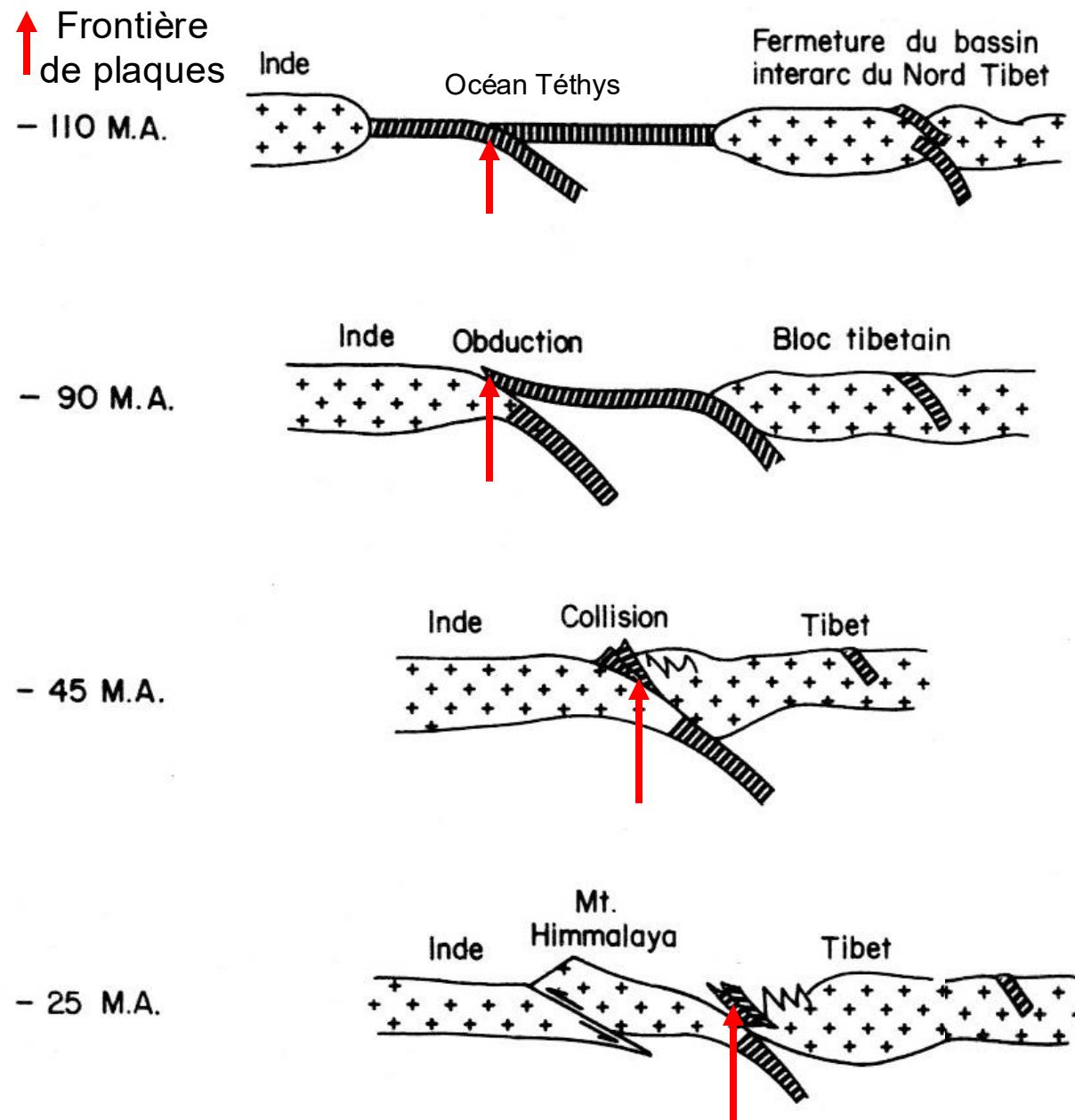
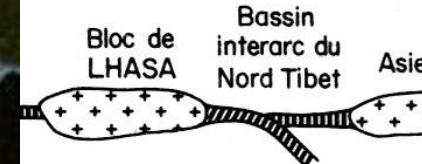


Obduction : chevauchement d'une croûte continentale par une croûte océanique

Formation de l'Himalaya



Formation de l'Himalaya

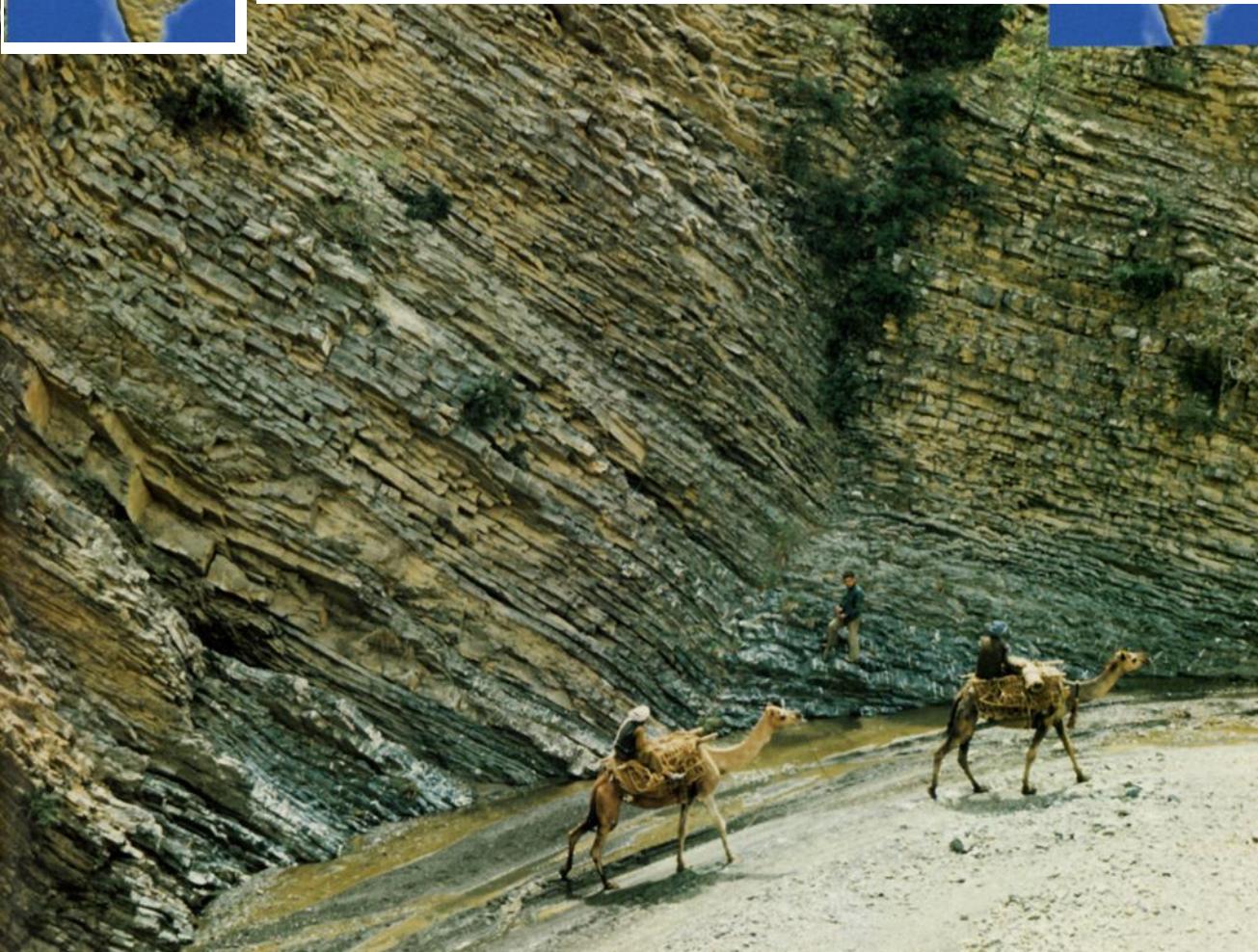


2) b. Les frontières de plaques convergentes

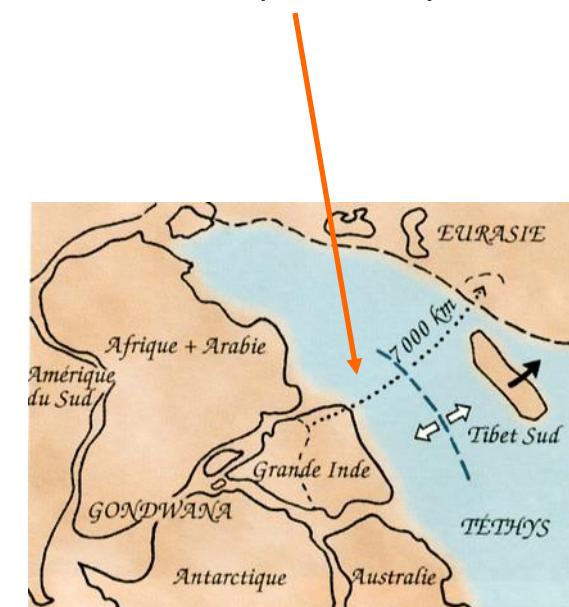


Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

Arguments sédimentologiques



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

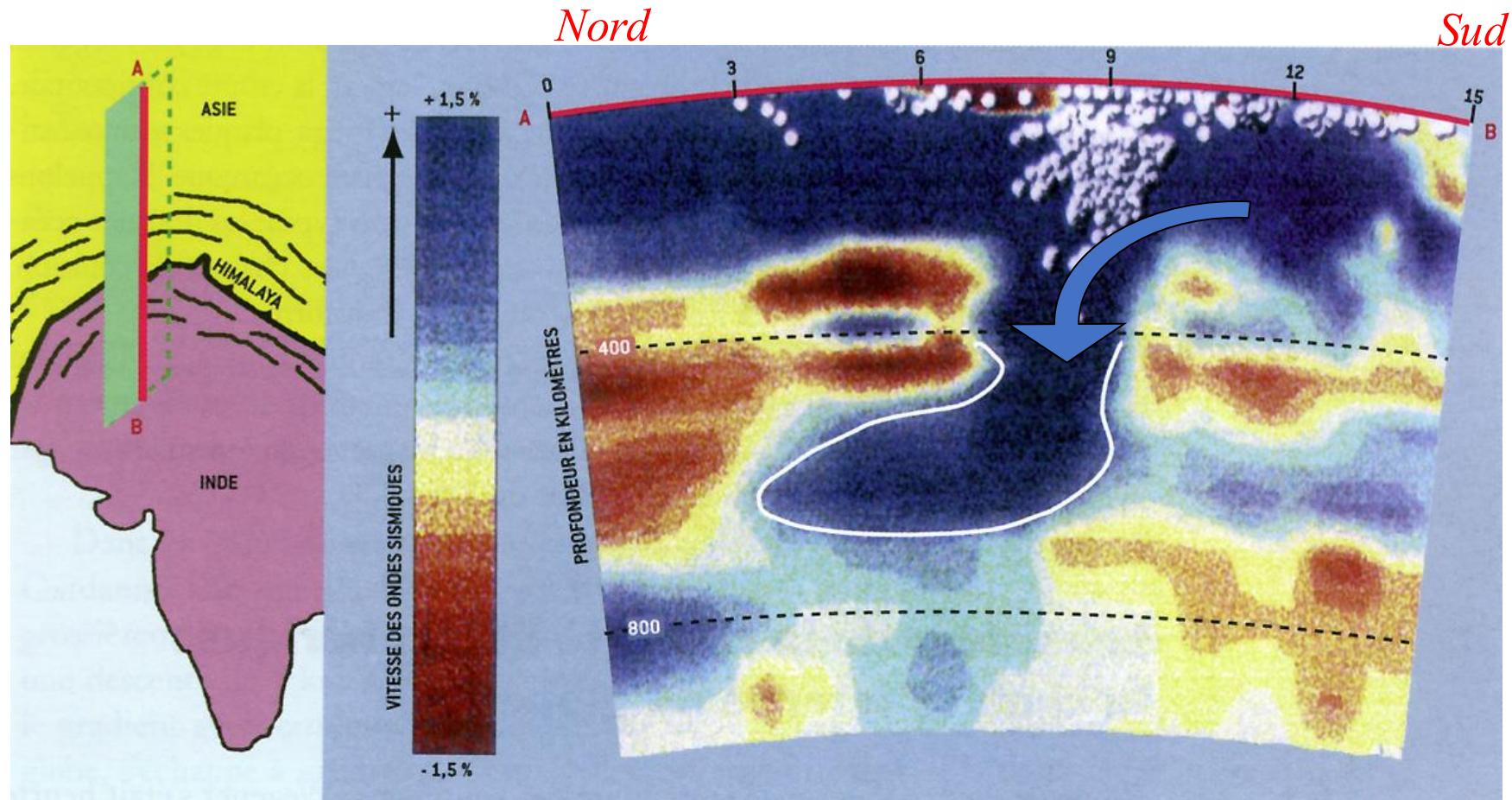


On trouve aujourd'hui à l'Ouest de l'Himalaya à plus de 2000m d'altitude des **calcaires marins**

2) b. Les frontières de plaques convergentes

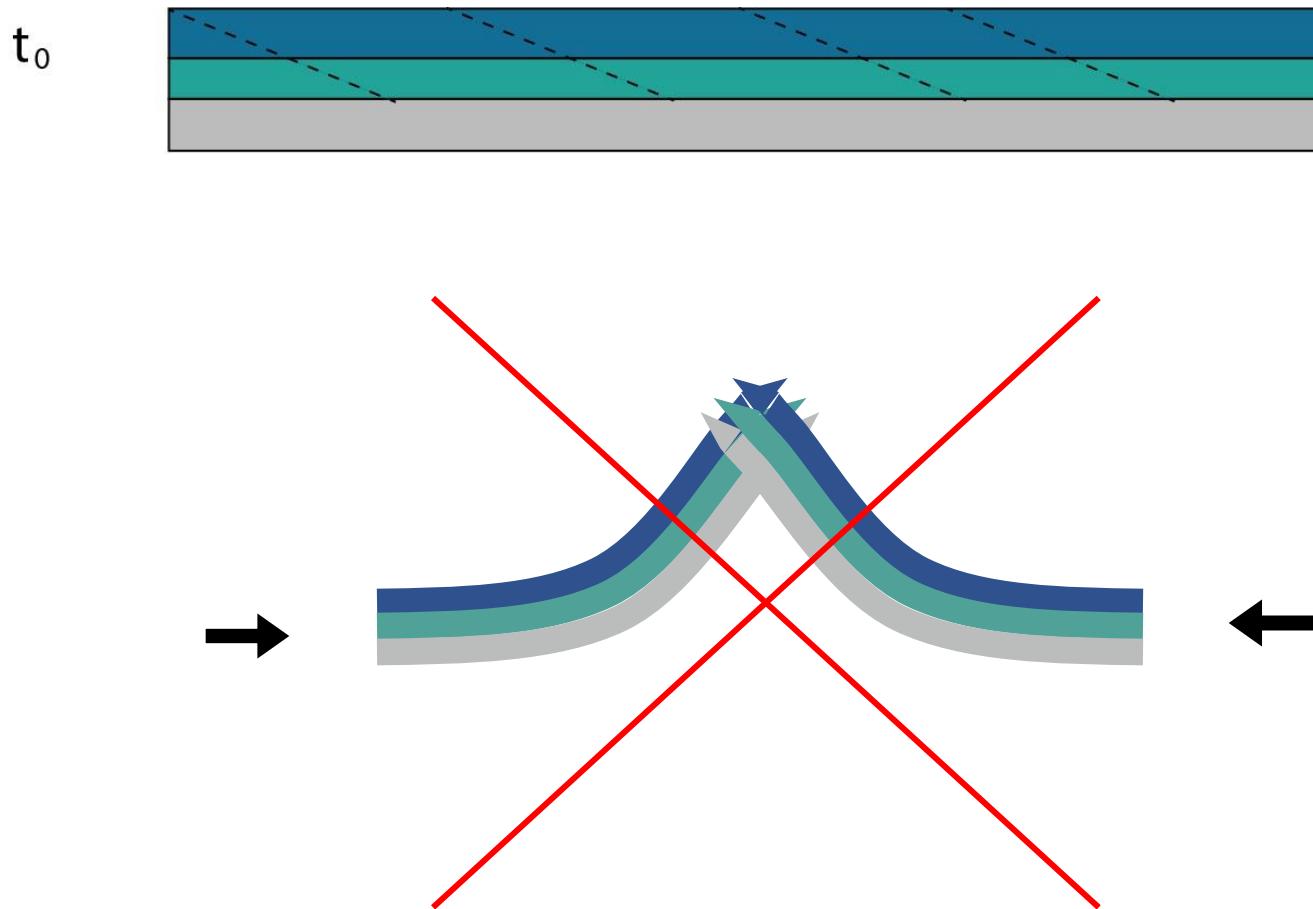
Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

Arguments géophysiques (tomographie sismique)



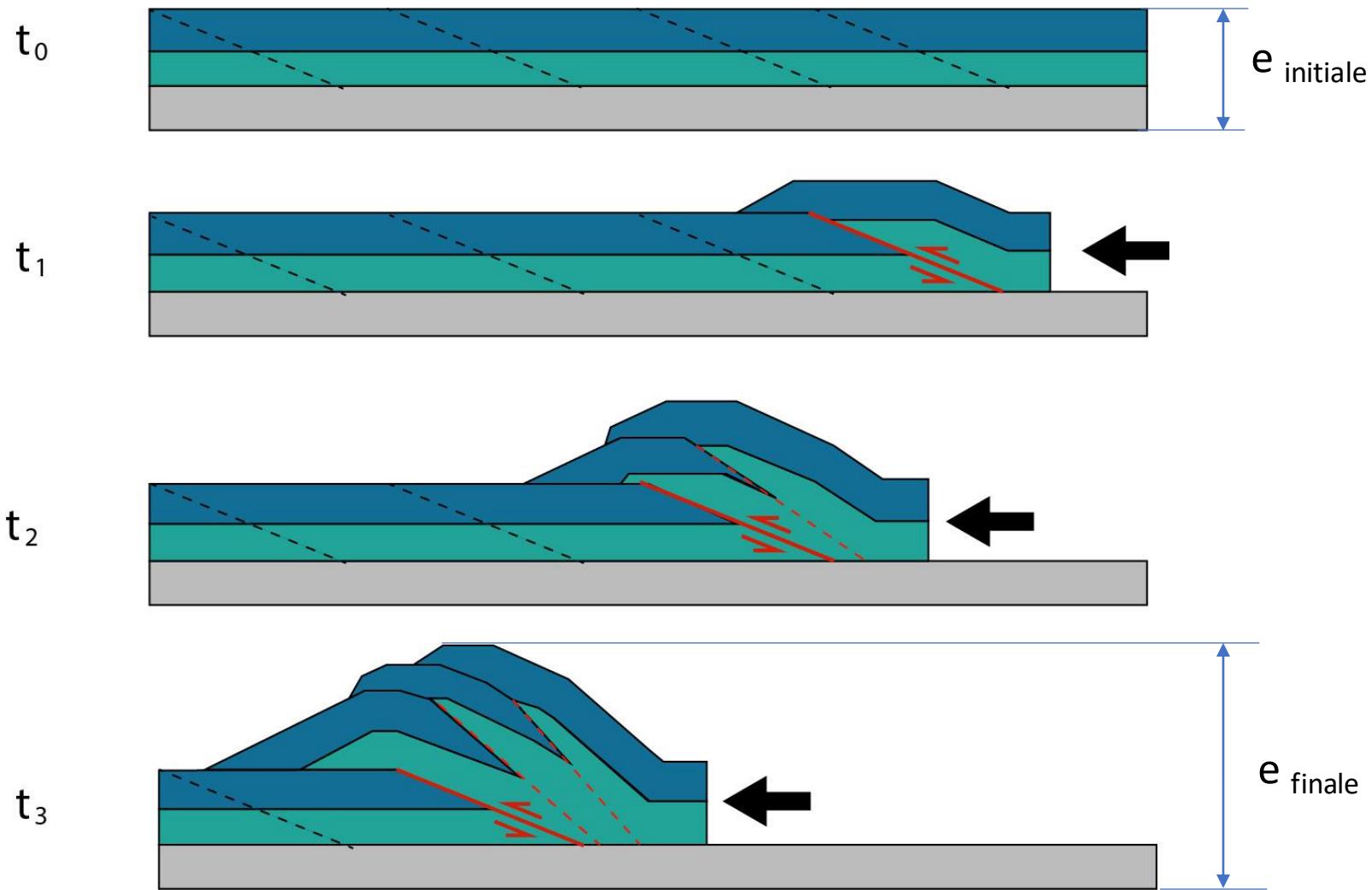
-> *La lithosphère indienne plonge sous l'Asie*

2) b. Les frontières de plaques convergentes



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

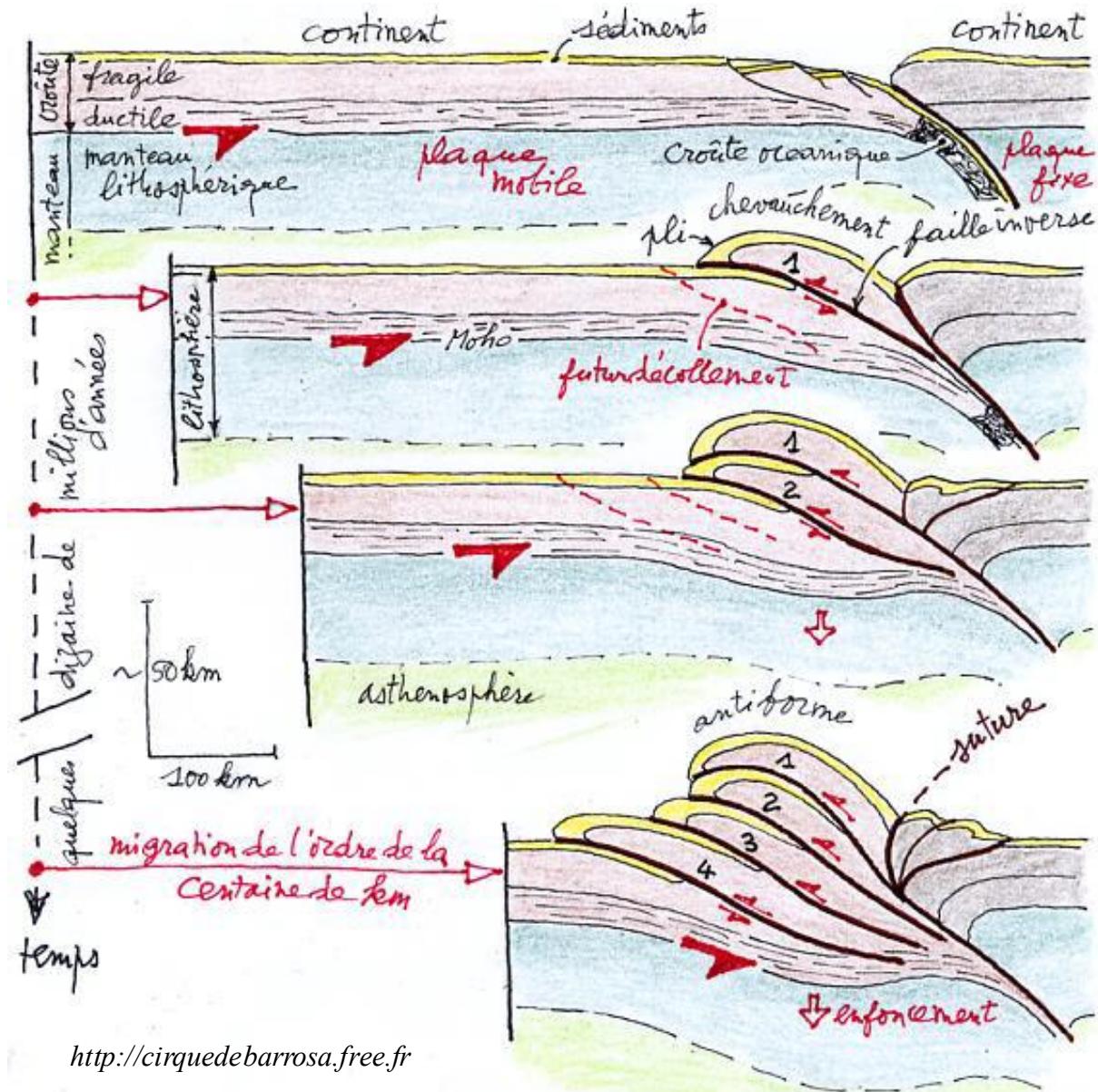
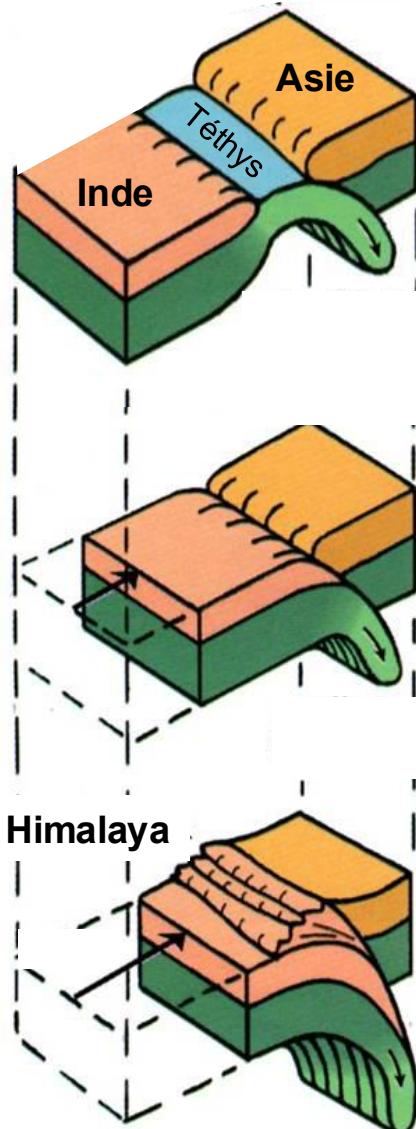
2) b. Les frontières de plaques convergentes



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

2) b. Les frontières de plaques convergentes

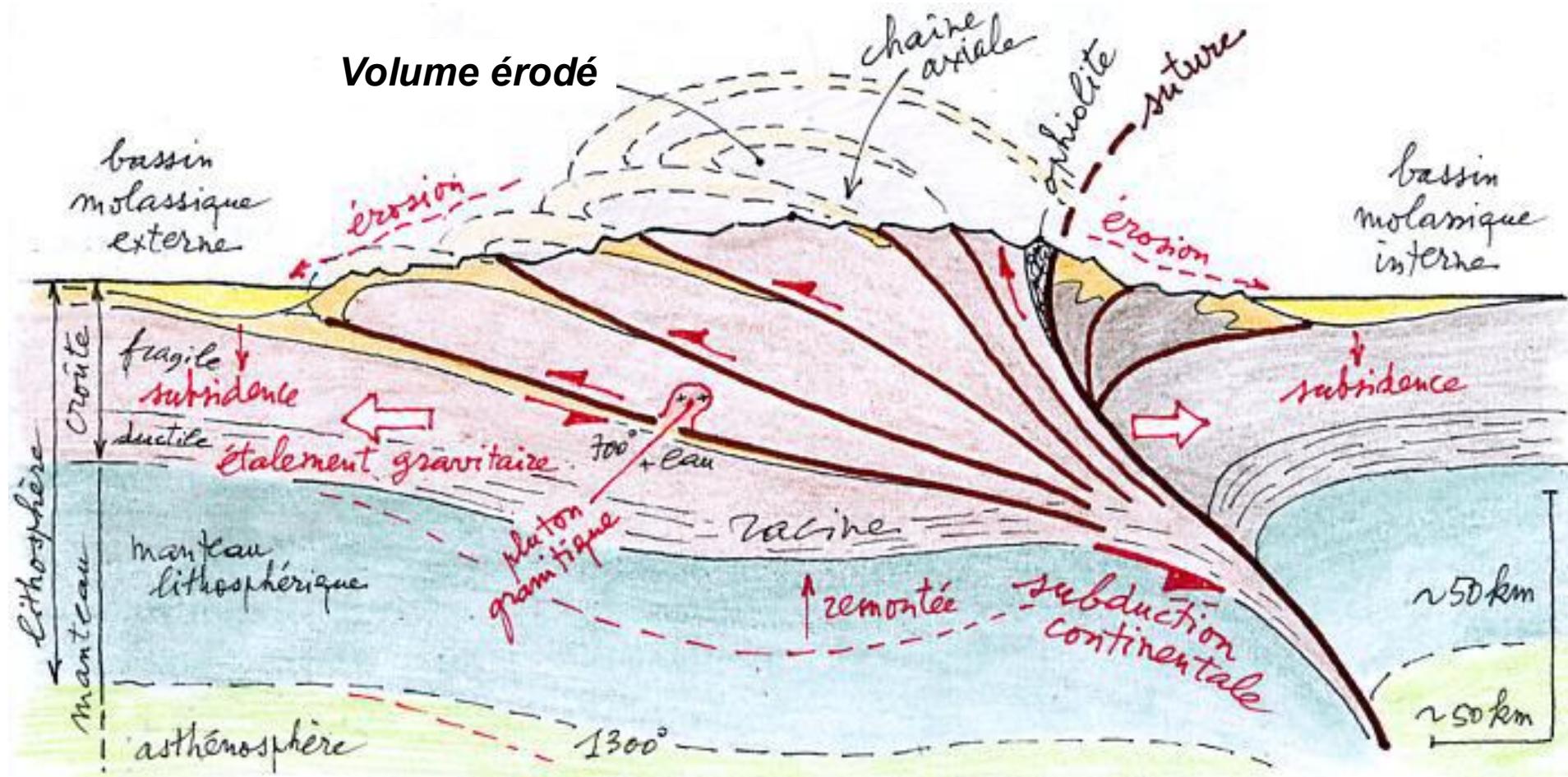
Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya: les différentes étapes



2) b. Les frontières de plaques convergentes

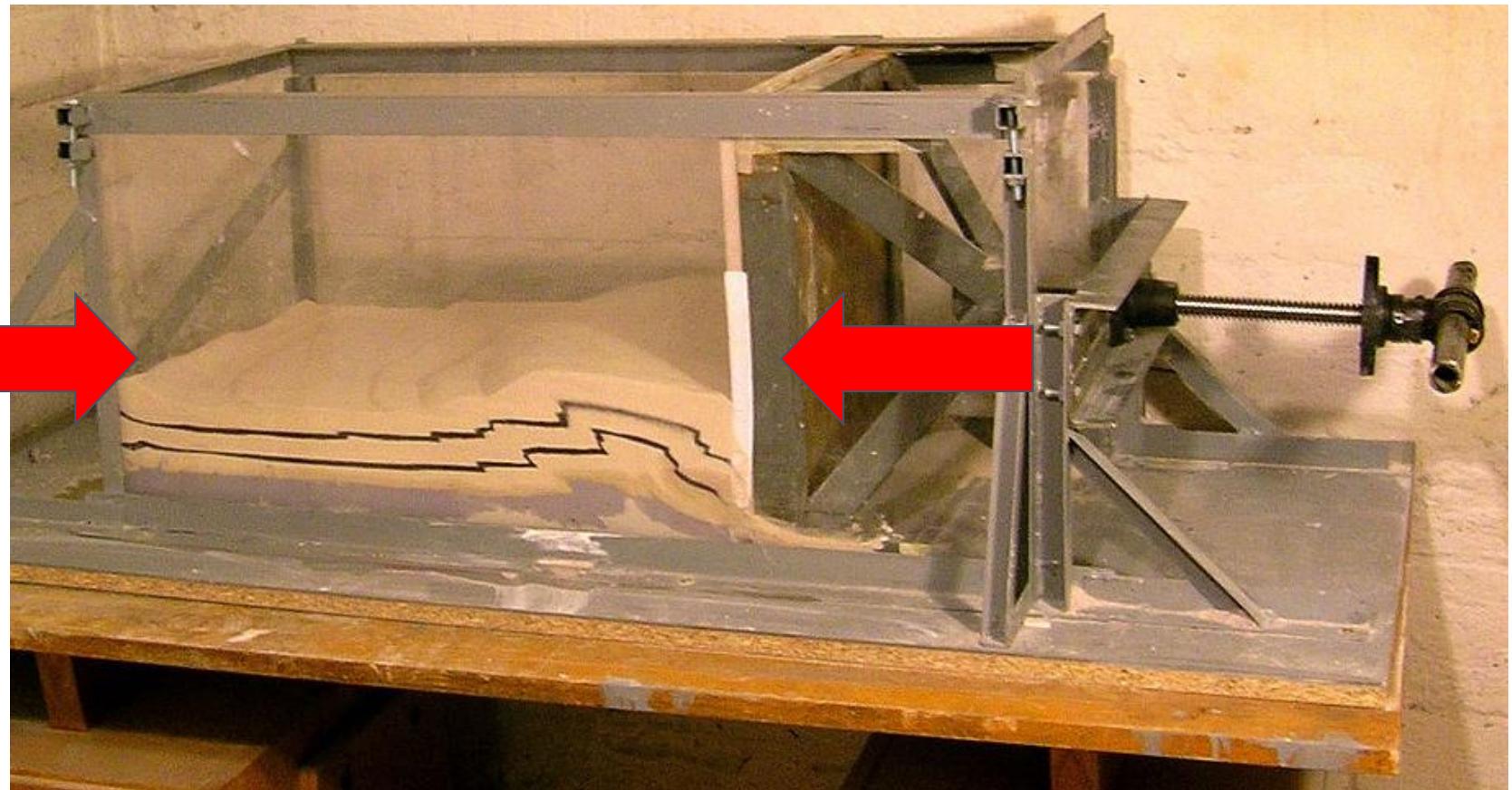
Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

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

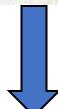
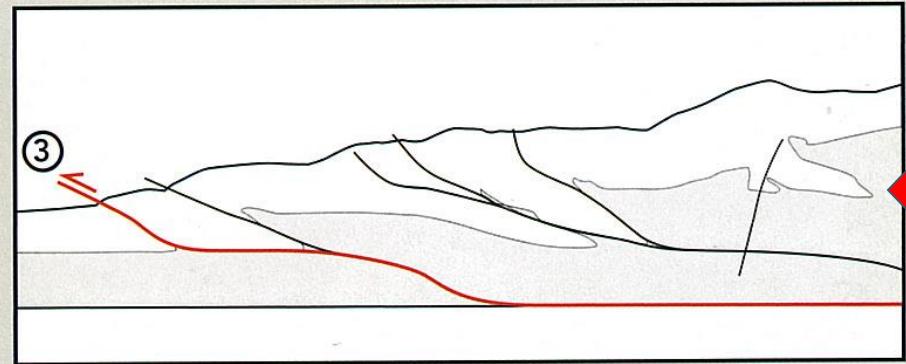
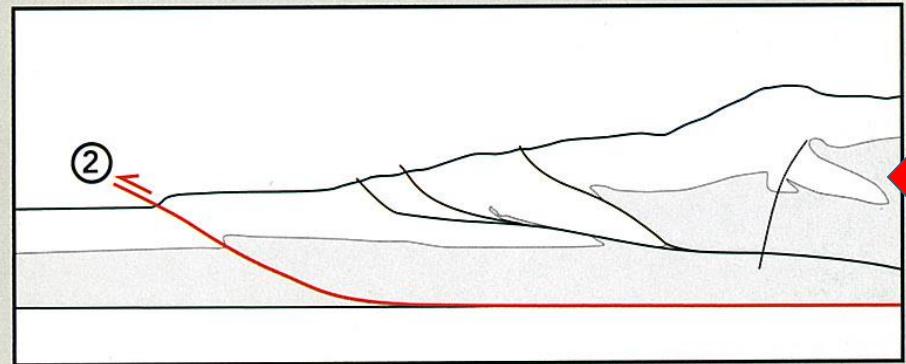
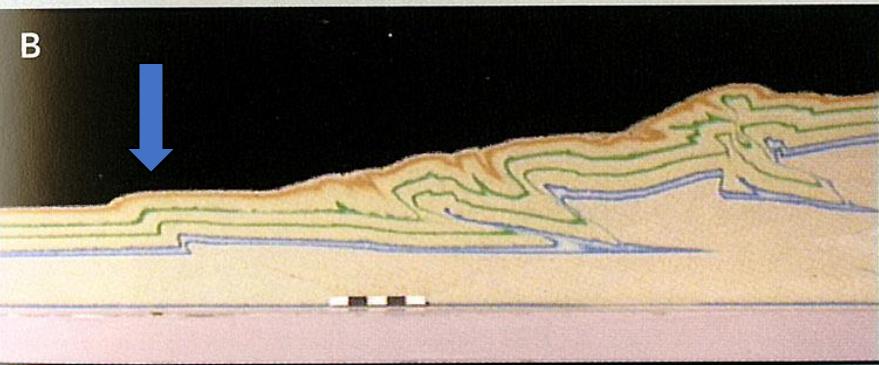
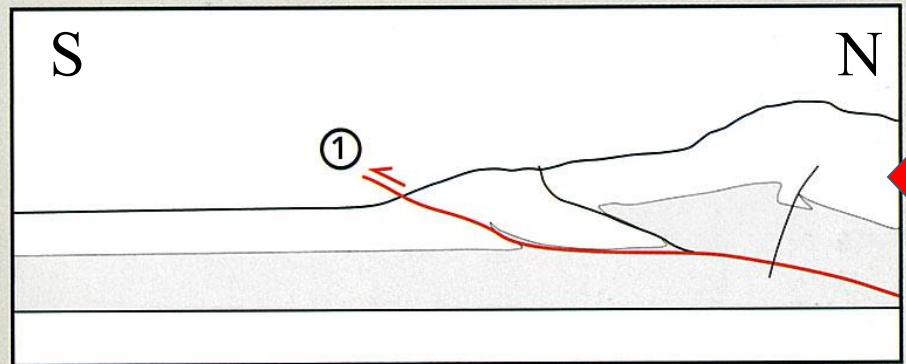
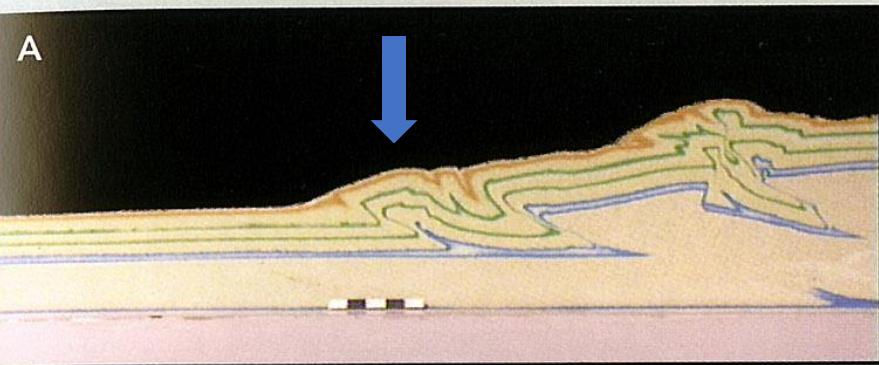


Mécanisme de la collision

Modèle analogique



Mécanisme de la collision

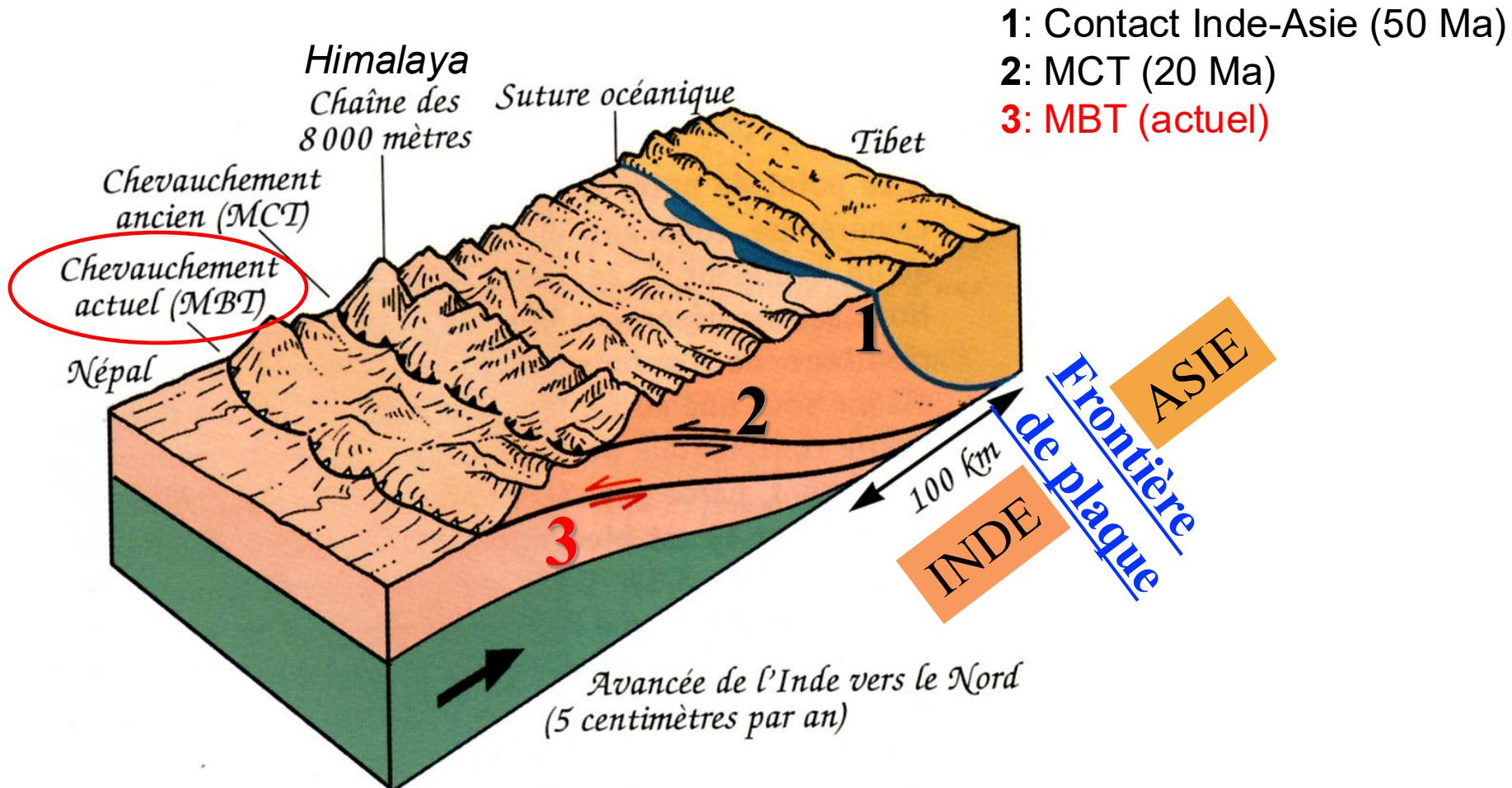


Migration horizontale du front actif et épaississement crustal

2) b. Les frontières de plaques convergentes

Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya

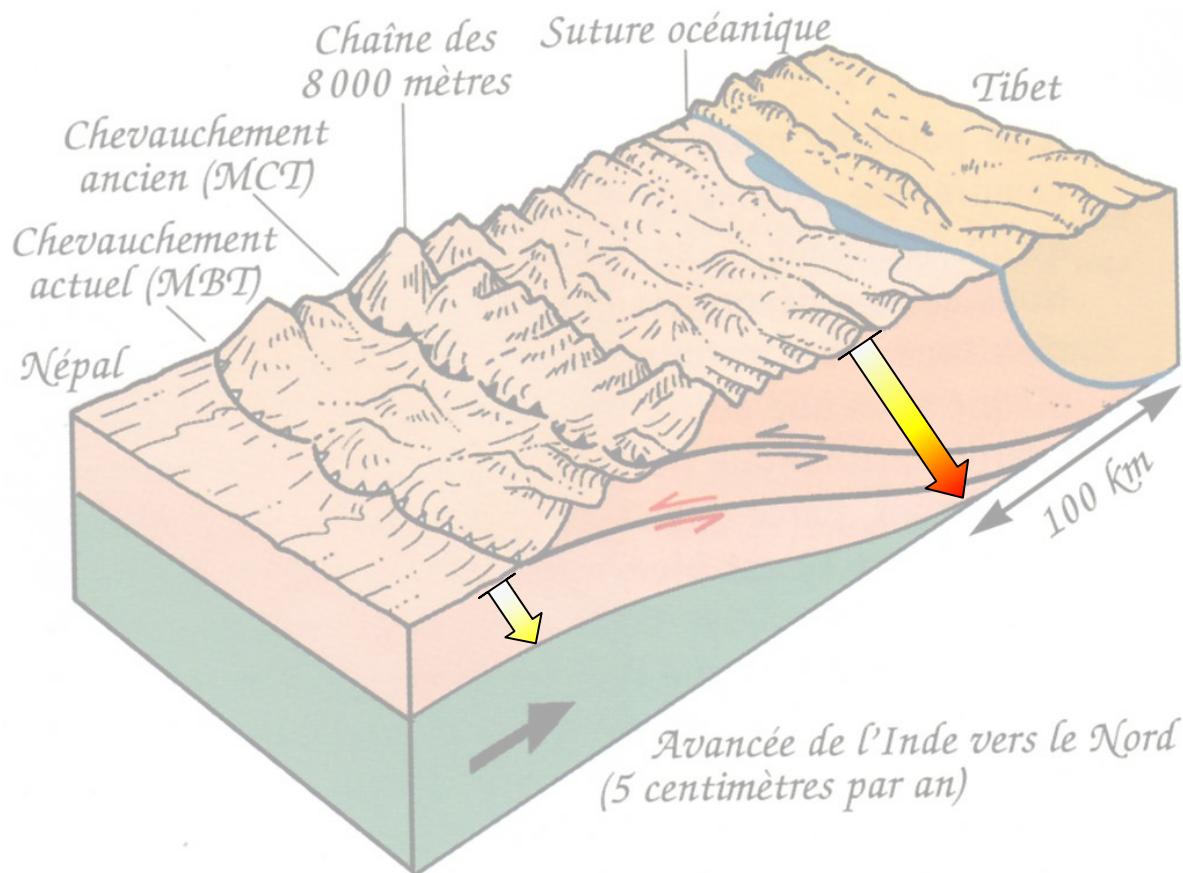
La convergence de l'Inde sous le Tibet produit des **grands chevauchements**.



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

2) b. Les frontières de plaques convergentes

Collision Inde-Asie et formation de l'Himalaya



... et épaissement crustal

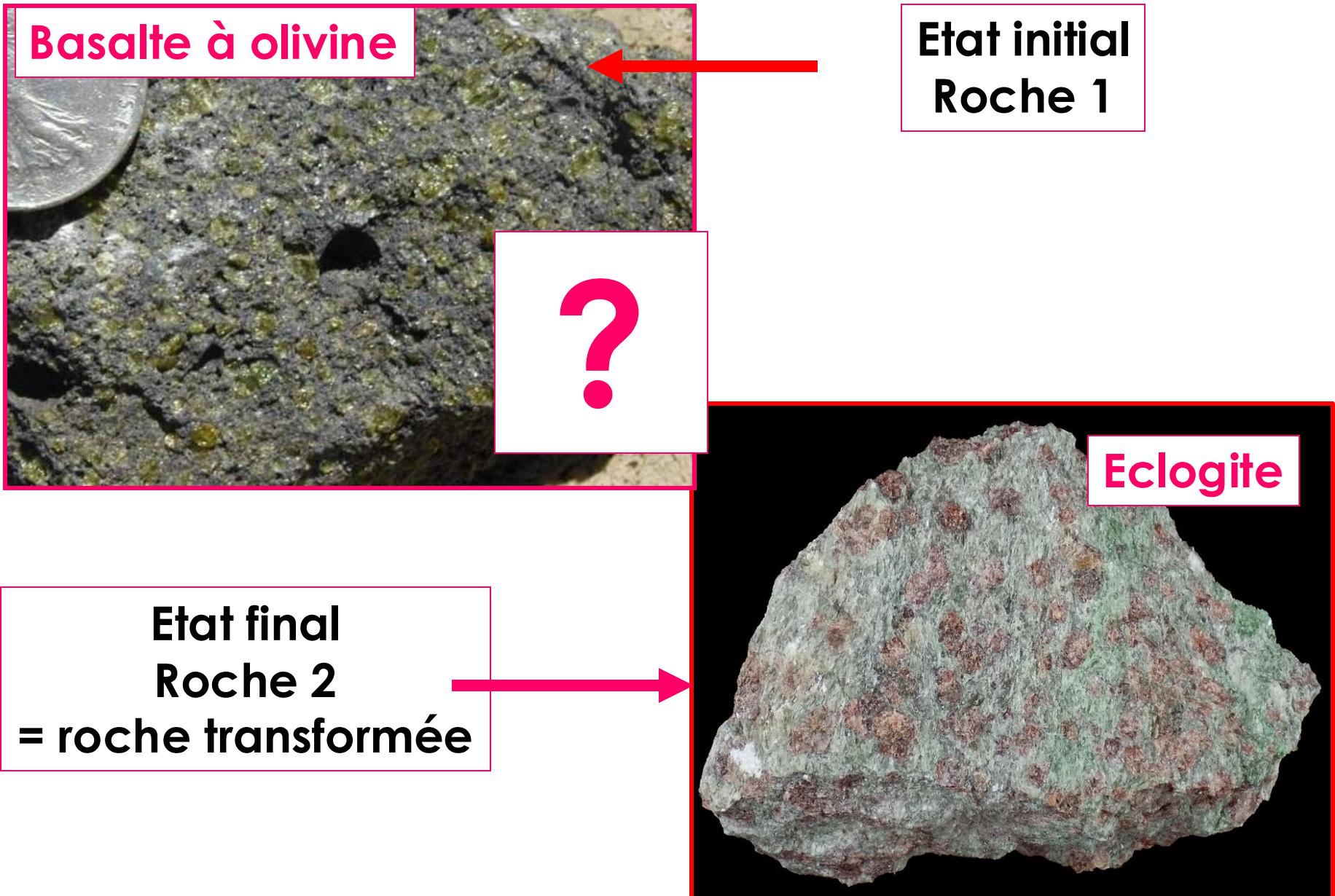
Ces chevauchements produisent un fort épaississement crustal par superposition des couches.

⇒ P & T augmentent



⇒ **Formation de roches métamorphiques**

2) b. -> Roches métamorphiques



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 **protolith**



Protolith \Rightarrow Roche métamorphique

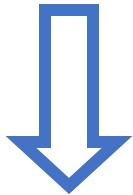
- Structure conservée ou pas (ex: granoclassement)
- Déformations acquises
- Modifications (minéralogiques, de structures...)

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 SiO_2



Quartzite
 SiO_2
 ~~Al_2O_3 FeO MgO~~



Calcaire « pur »
 CaCO_3



Marbre
 CaCO_3



2) b. -> Roches métamorphiques

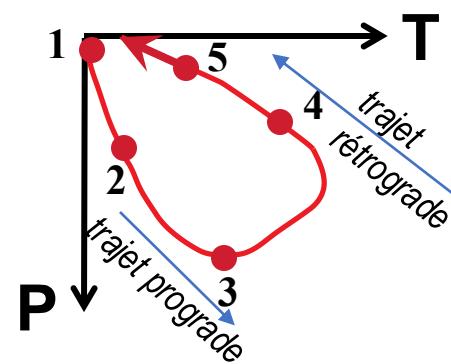
Facteurs du métamorphisme

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

Durée du métamorphisme

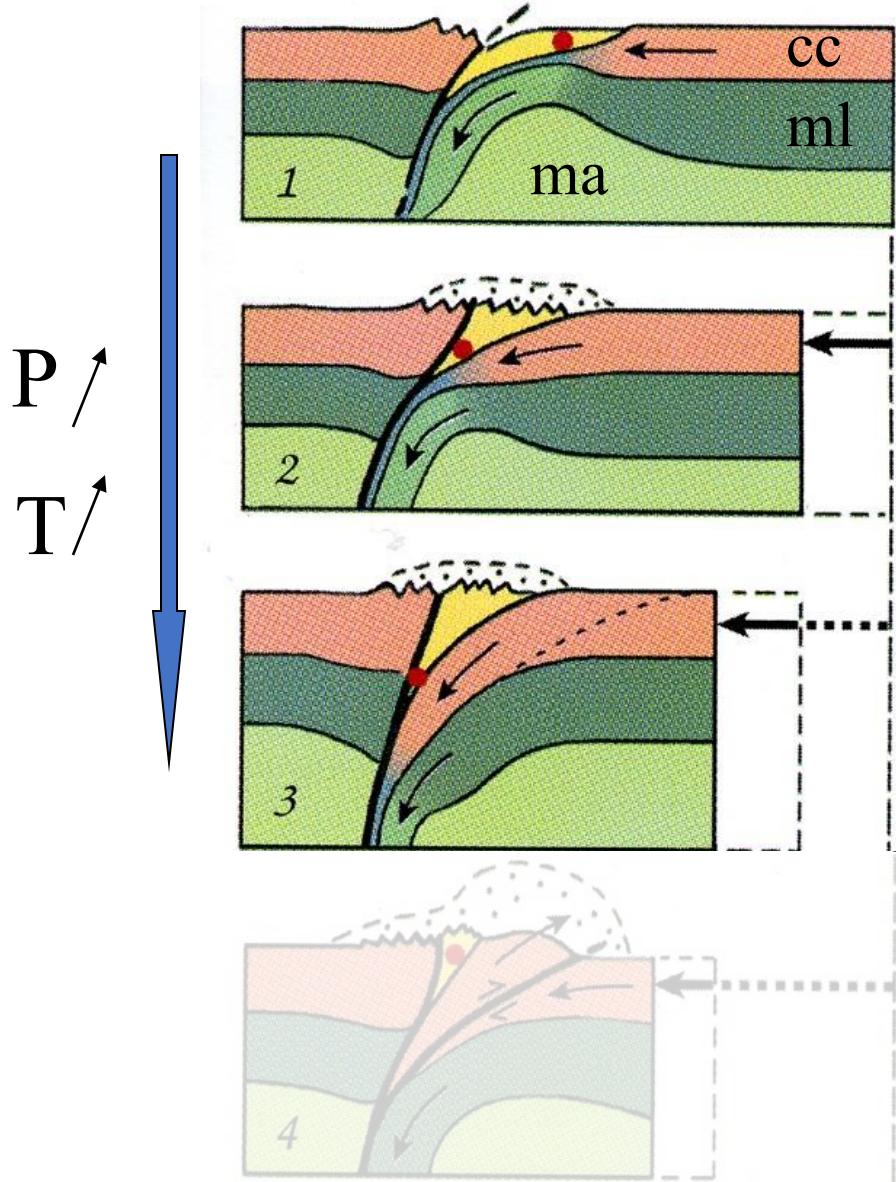
Au cours du métamorphisme, P & T changent mais pas toujours de façon parallèle

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



LES MATERIAUX PEUVENT ETRE ENFOUIS PUIS EXHUMES

1/2



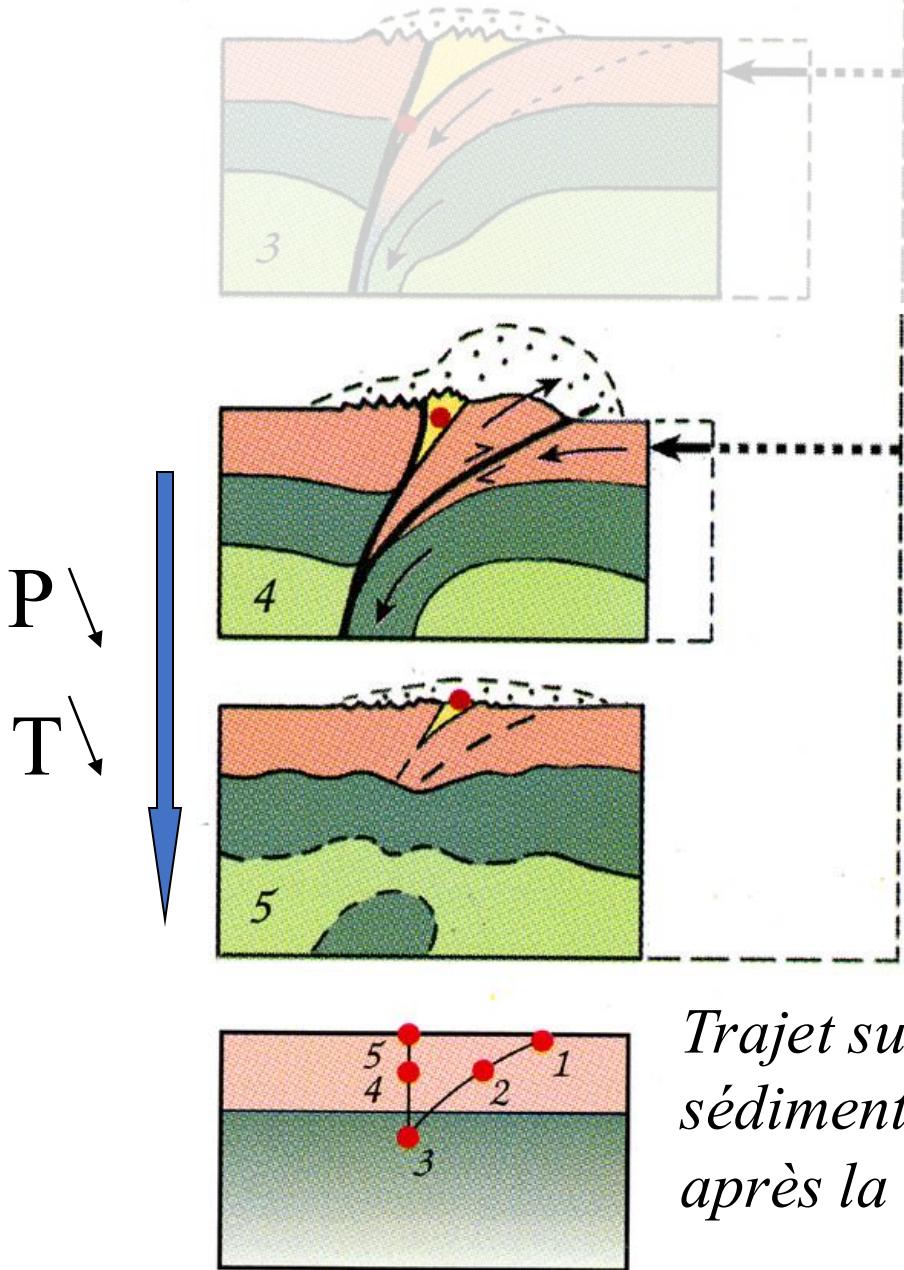
La **croûte océanique** (en bleu)
« disparaît » (subduction) et
entraîne (un peu) la croûte
continentale

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

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

LES MATERIAUX PEUVENT ETRE ENFOUIS PUIS EXHUMES

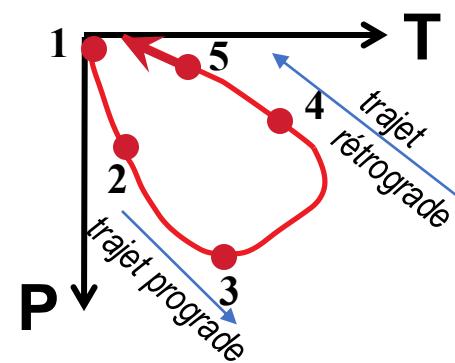
2/2



Puis, ces roches métamorphiques sont exhumées

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

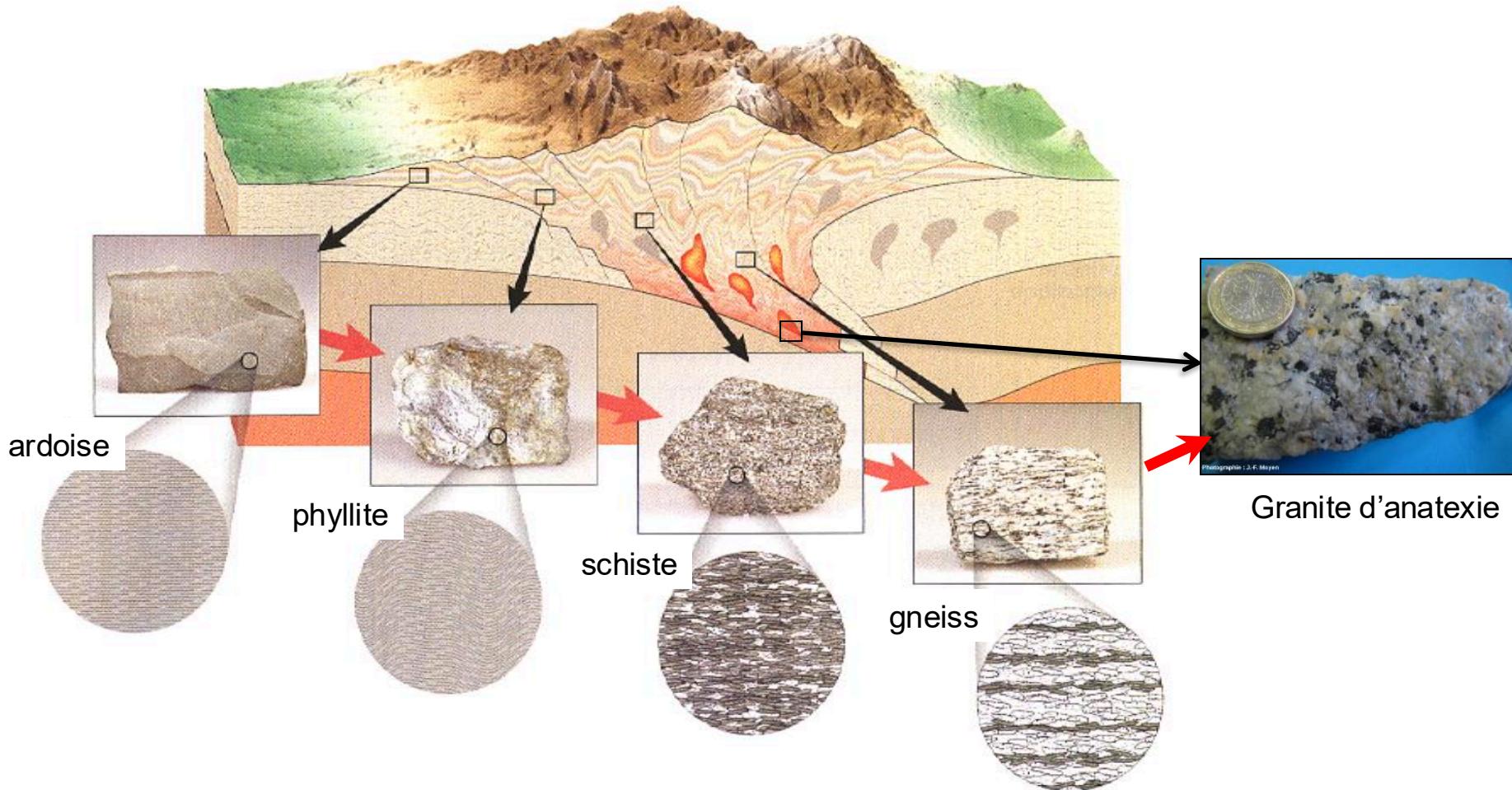
Trajet subi par les roches sédimentaires des bassins après la collision



2) b. -> Roches métamorphiques

Métamorphisme régional

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

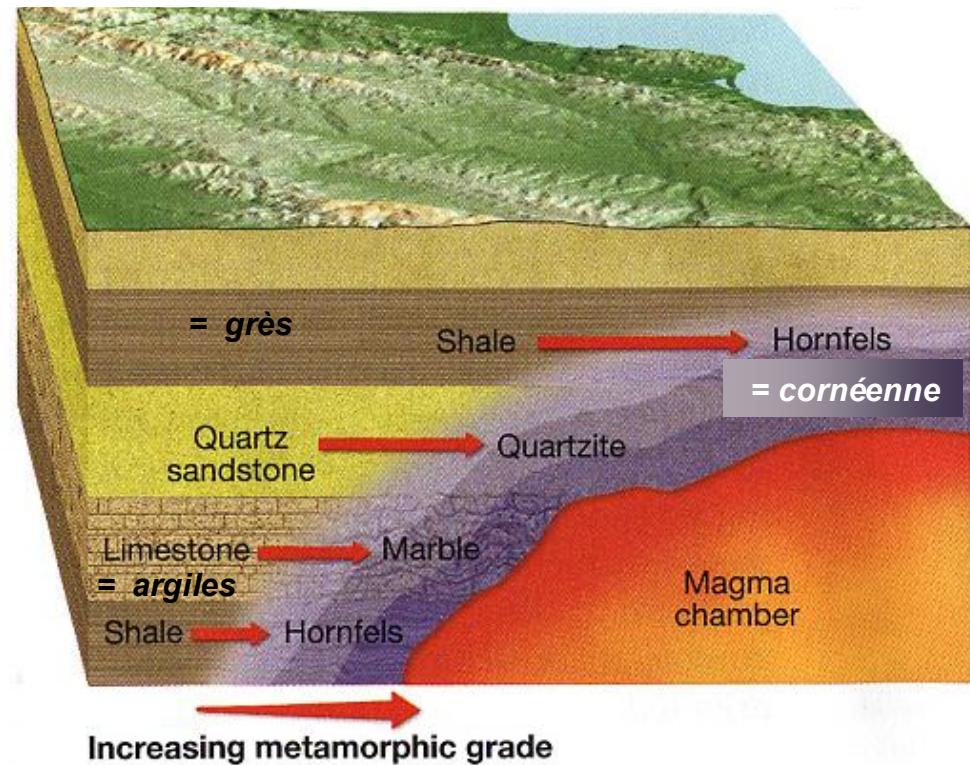
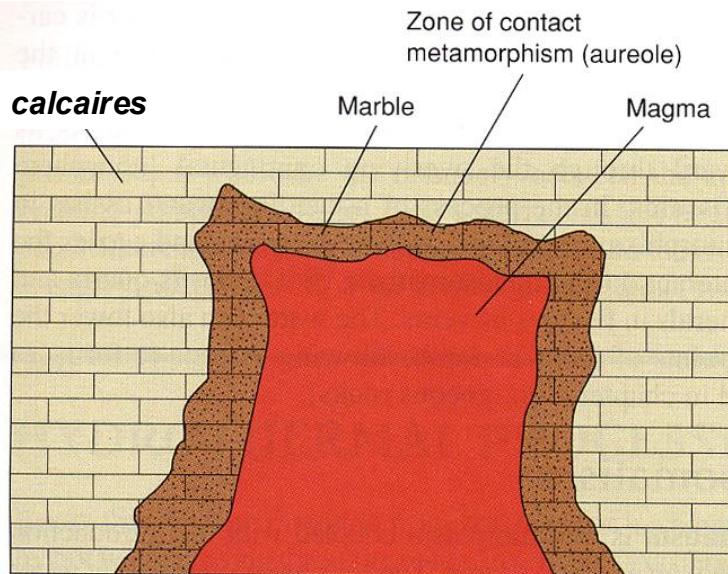


Selon un degré de métamorphisme croissant, les roches sédimentaires argileuses acquièrent des structures de plus en plus complexes depuis l'ardoise jusqu'au gneiss, voire s'il y a fusion, au granite d'anatexie.

2) b. -> Roches métamorphiques

Métamorphisme de contact

= localisé, il affecte uniquement les terrains traversés par une intrusion magmatique (T° augmente)



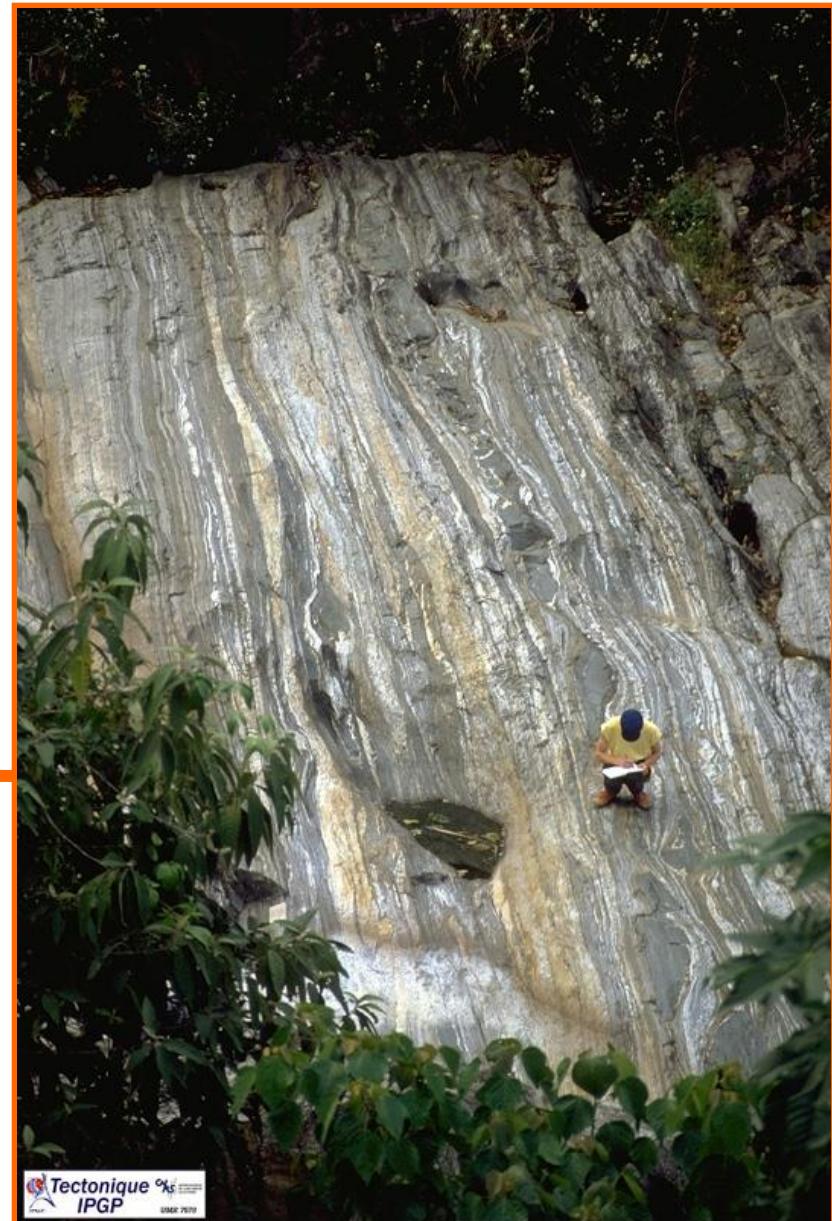
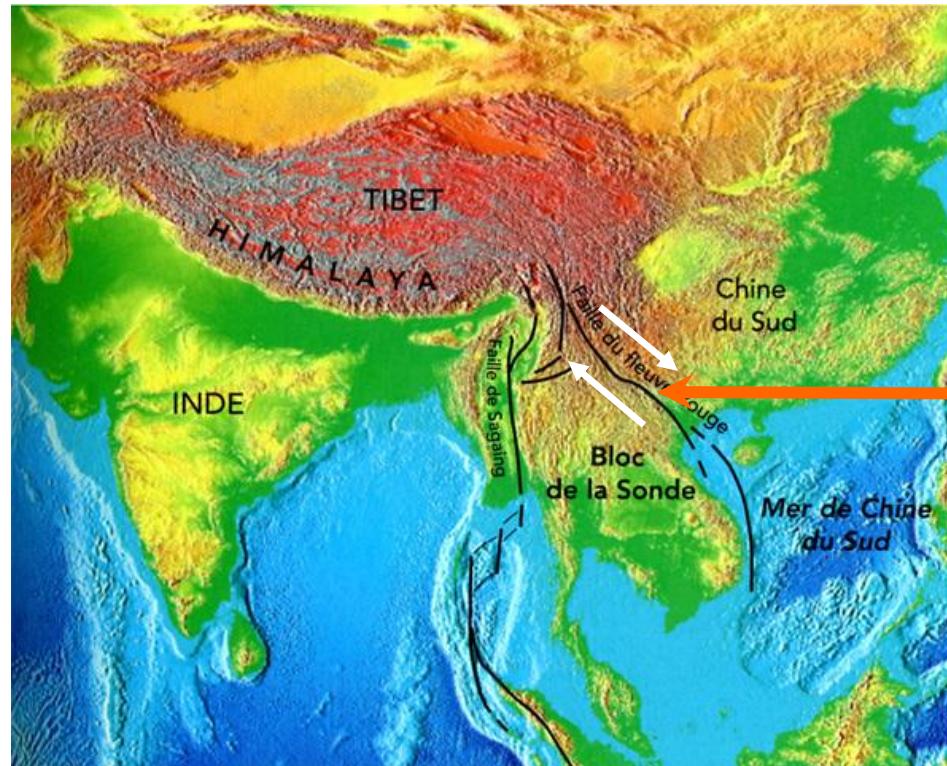
Le contact entre l'intrusion magmatique et les terrains encaissants constitue une auréole de métamorphisme

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



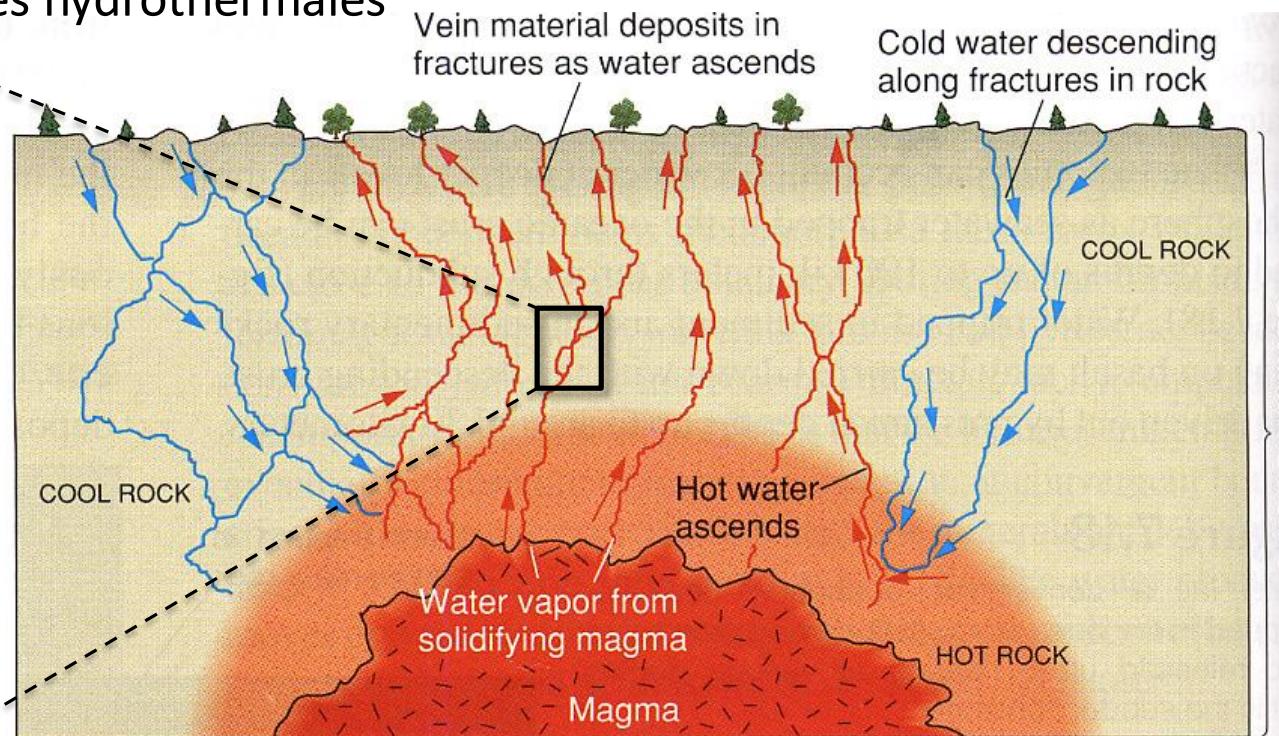
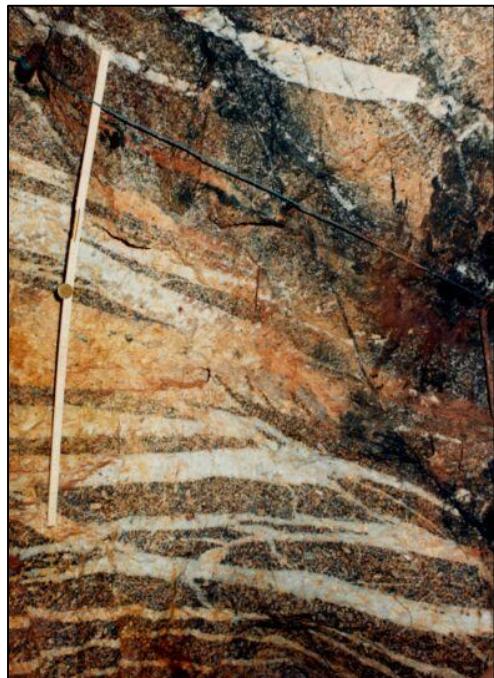
2) b. -> Roches métamorphiques

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.

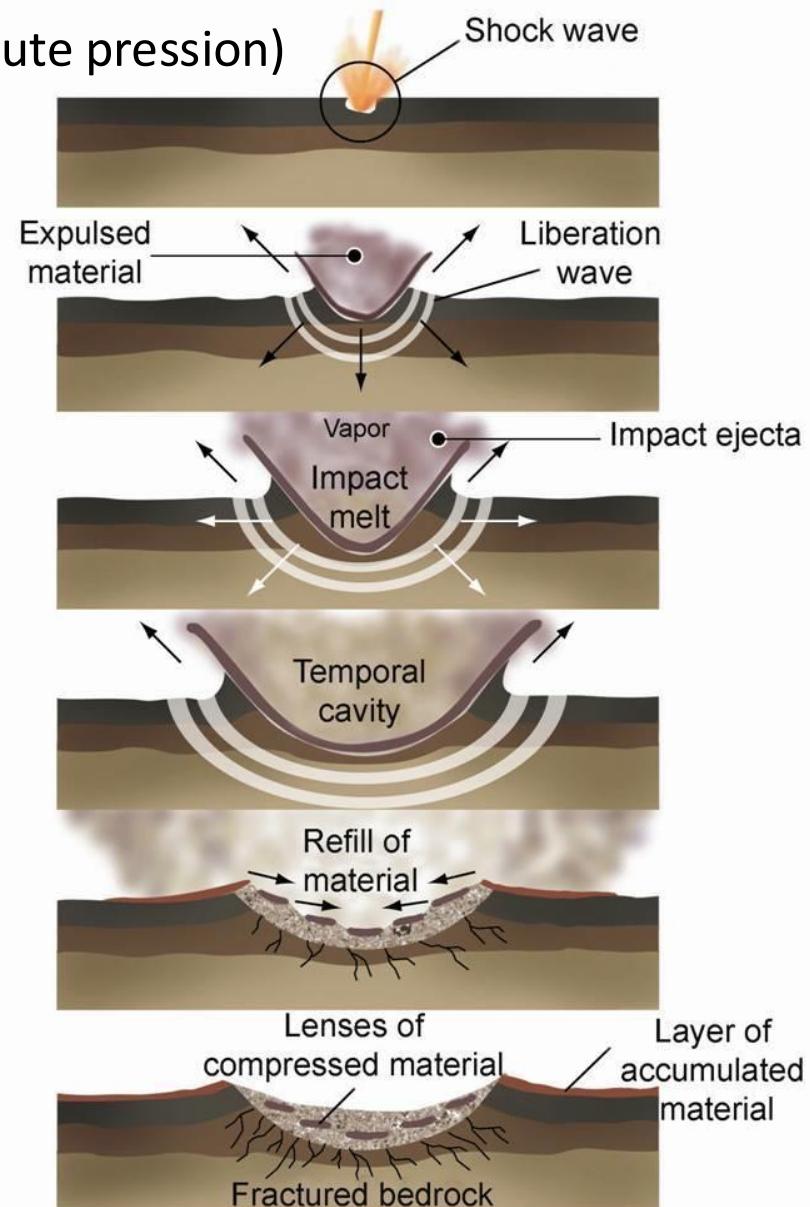
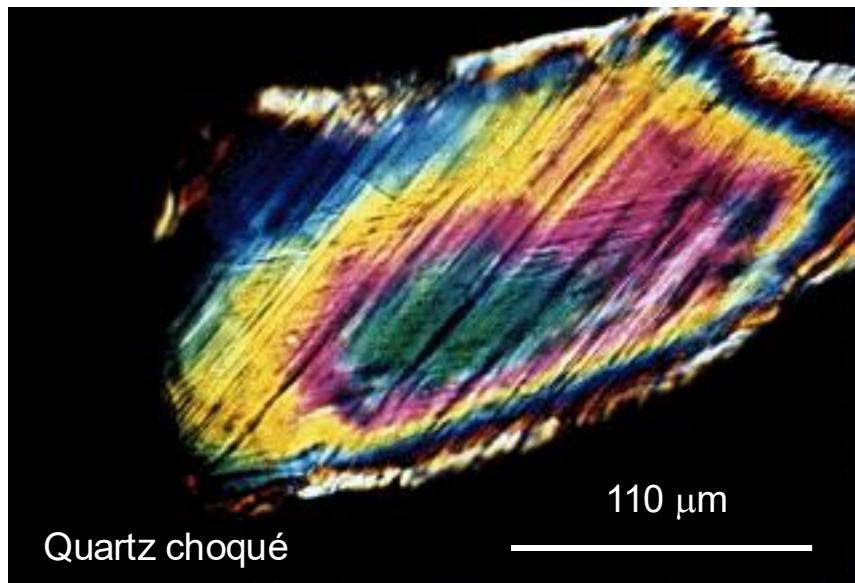
-> formation de veines hydrothermales



2) b. -> Roches métamorphiques

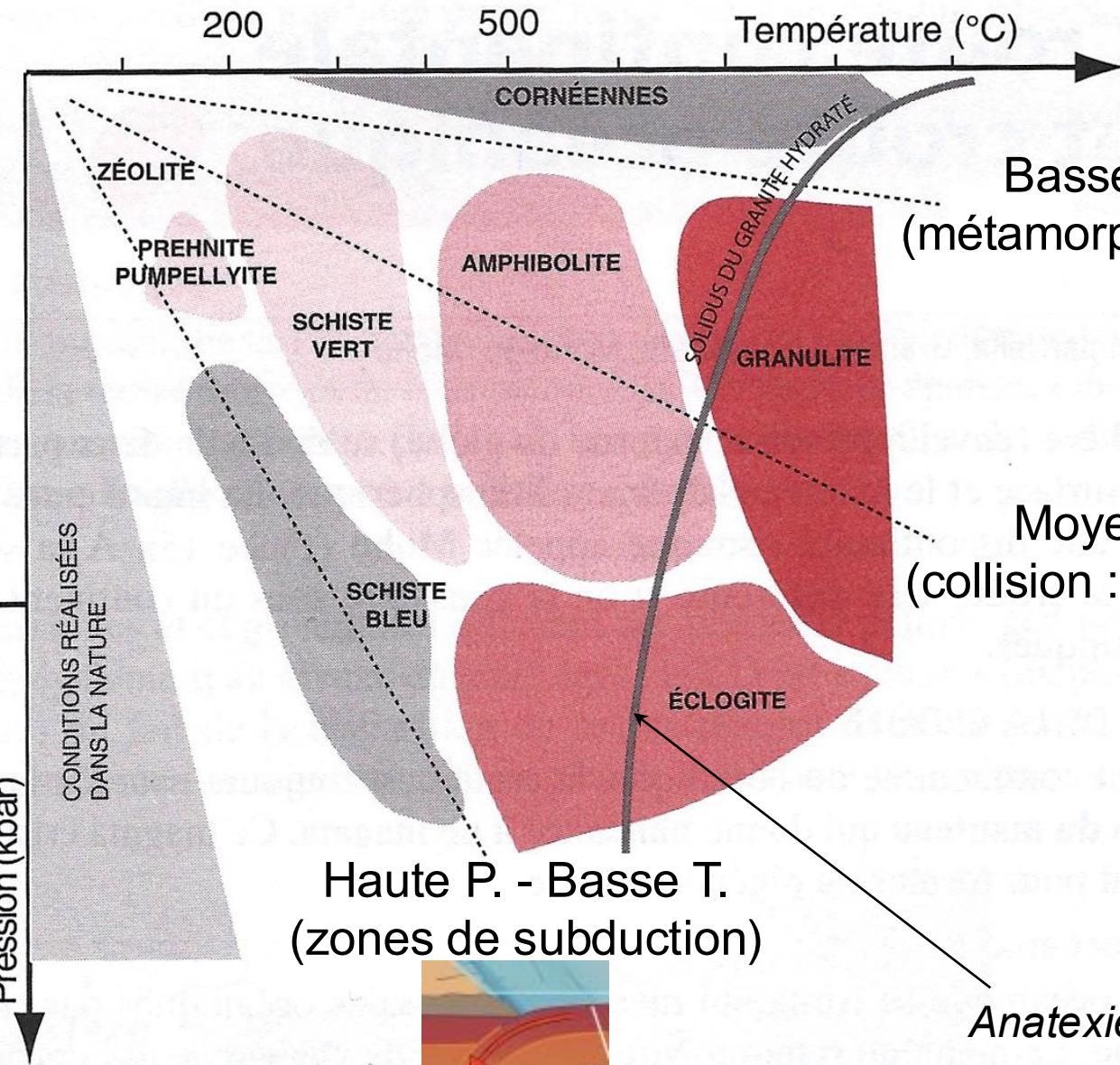
Métamorphisme d'impact

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

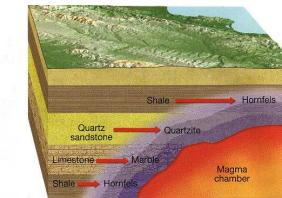


2) b. -> Roches métamorphiques

Notion de gradients et faciès associés



Basse P. - Haute T.
(métamorphisme de contact)



Moyenne P. - Moyenne T.
(collision : épaississement crustale)



Haute P. - Basse T.
(zones de subduction)



Anatexie (= début de fusion)



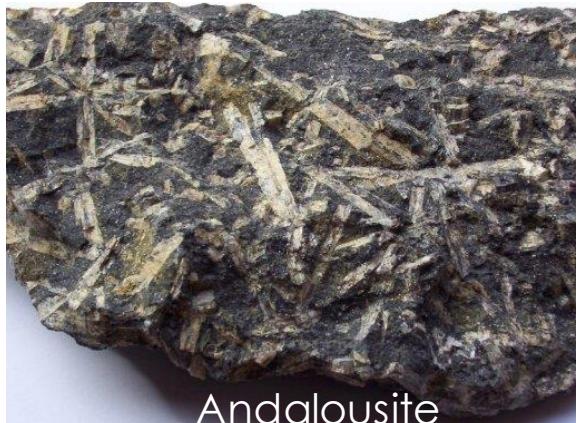
2) b. -> Roches métamorphiques

Quelques minéraux clés

Staurotide = f(temperature)



Grenat = f(pression)



Andalousite



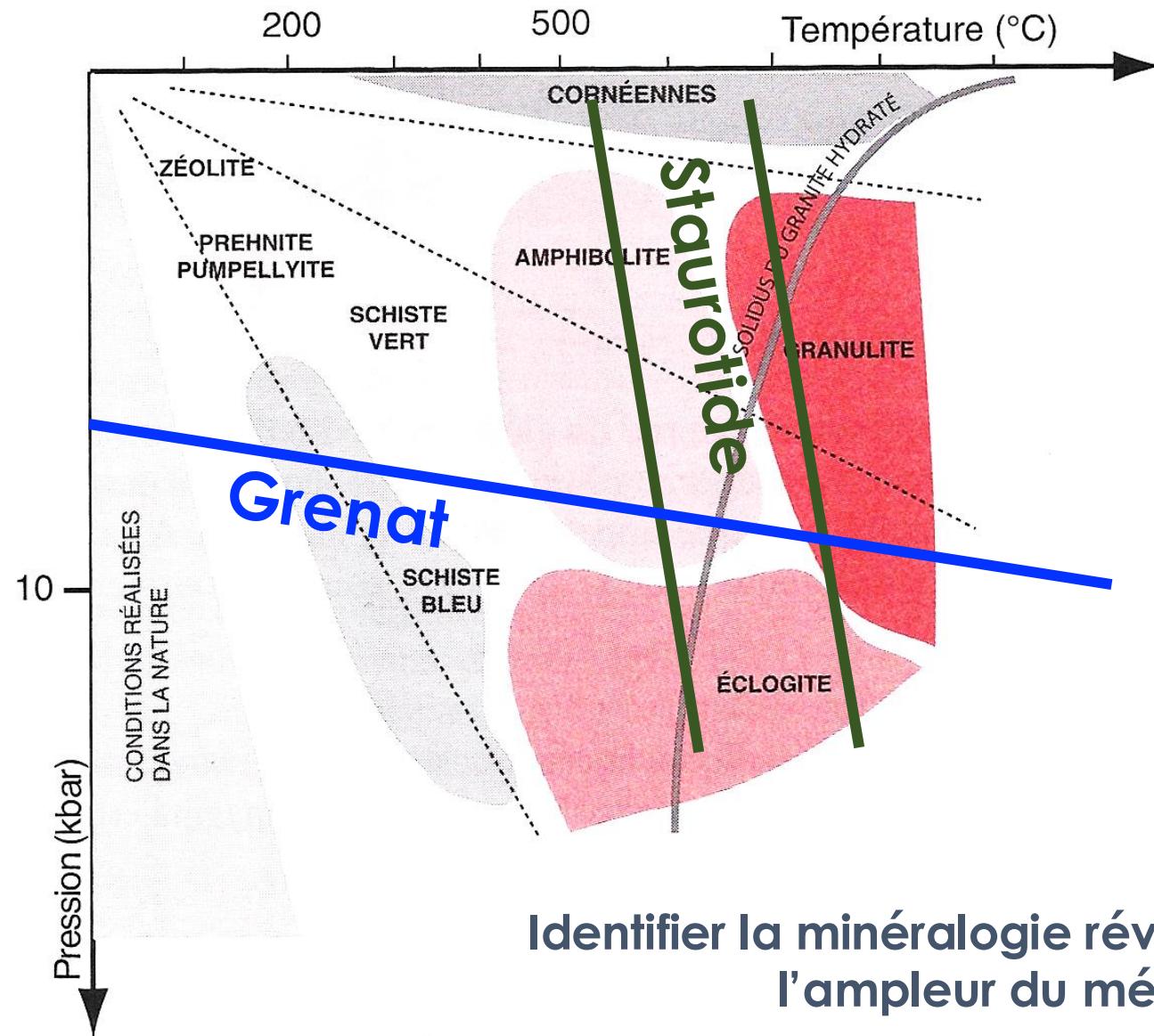
Disthène



Sillimanite

2) b. -> Roches métamorphiques

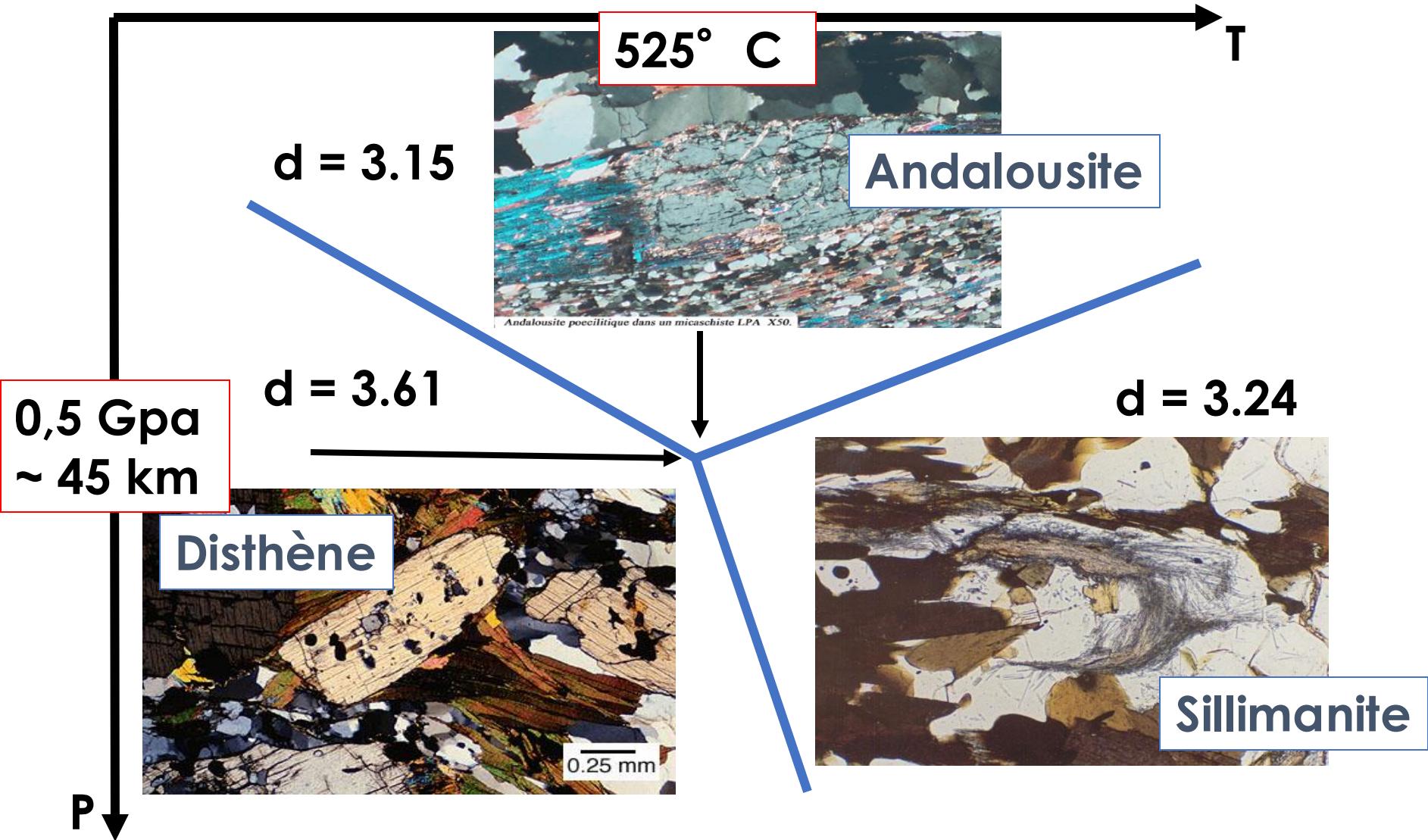
Modifications de la minéralogie



2) b. -> Roches métamorphiques

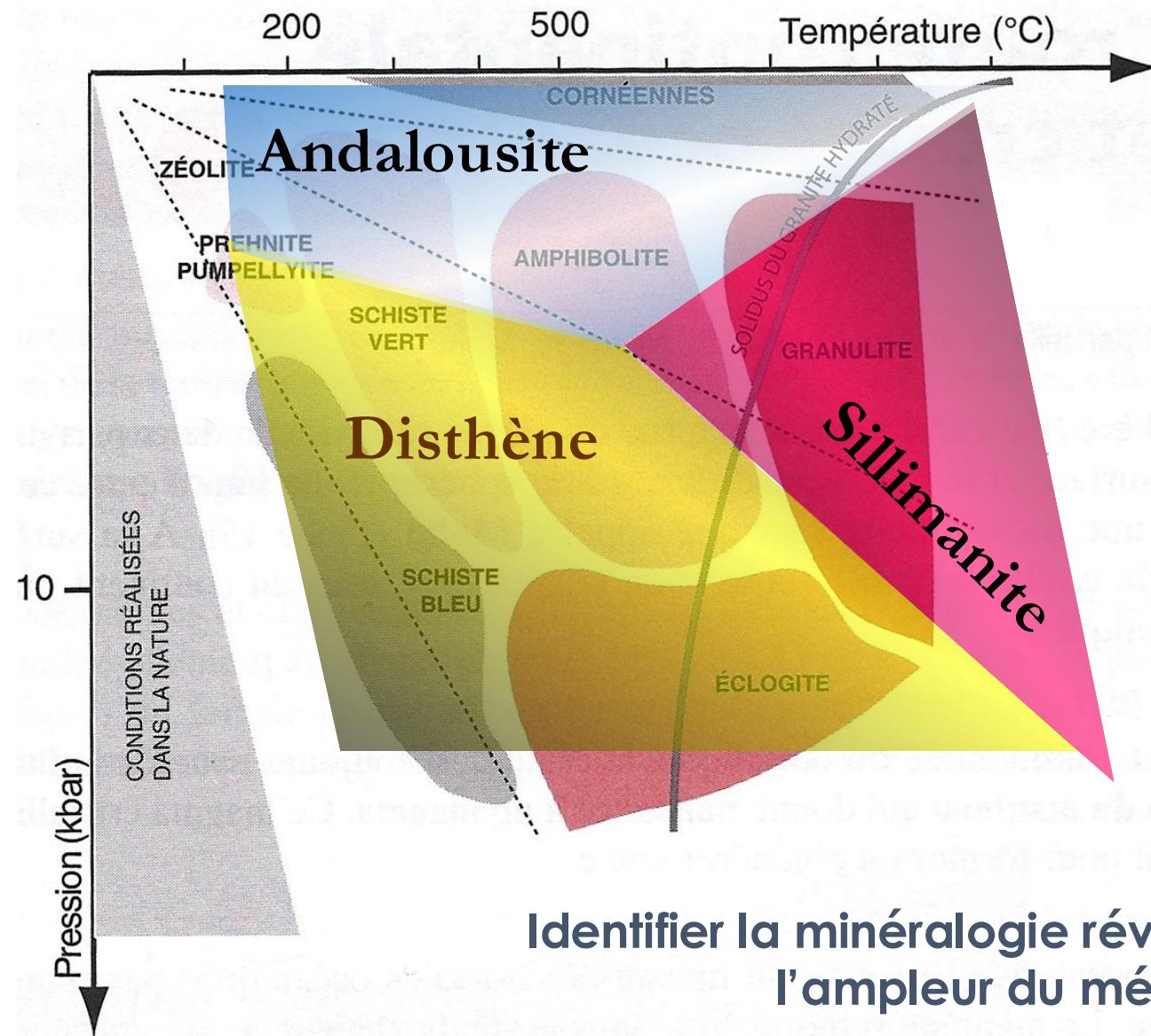
Exemple des silicates d'alumine (Al_2SiO_5)

Trois formes, chacune ayant son domaine de stabilité



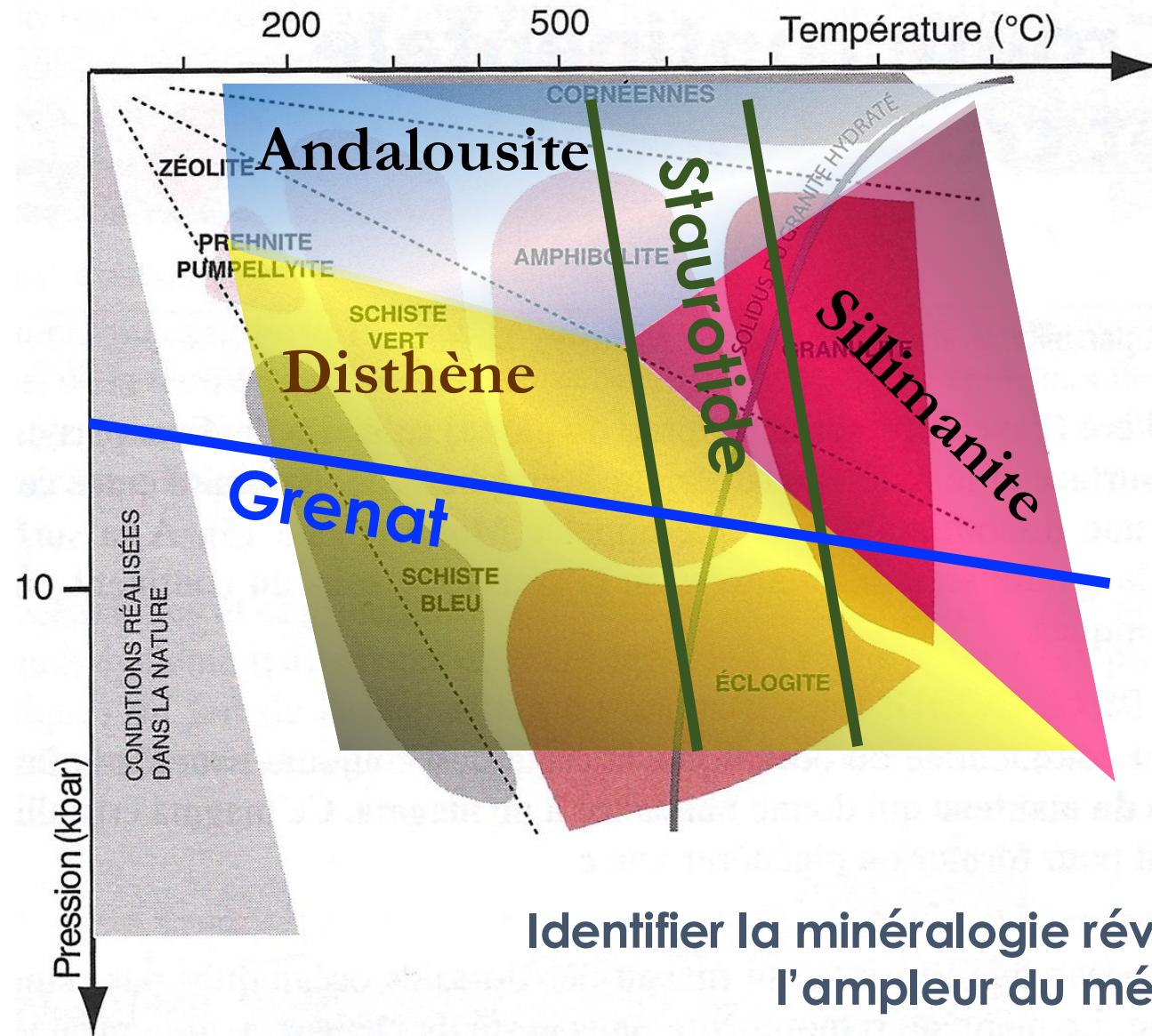
2) b. -> Roches métamorphiques

Modifications de la minéralogie



2) b. -> Roches métamorphiques

Modifications de la minéralogie



EXEMPLES DE ROCHES SEDIMENTAIRES METAMORPHISEES

calcaire



marbre



schiste

argile
(mud-
stone)



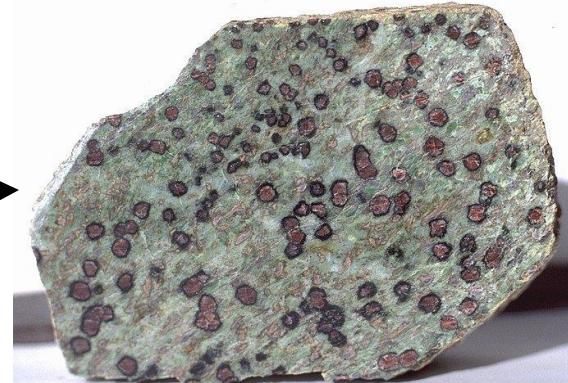
Grès



quartzite



EXEMPLES DE ROCHES MAGMATIQUES METAMORPHISEES



basalte

Sédiments marnes/calcaires

amphibolite

éclogite



ou



Granite

para-
ortho-



gneiss



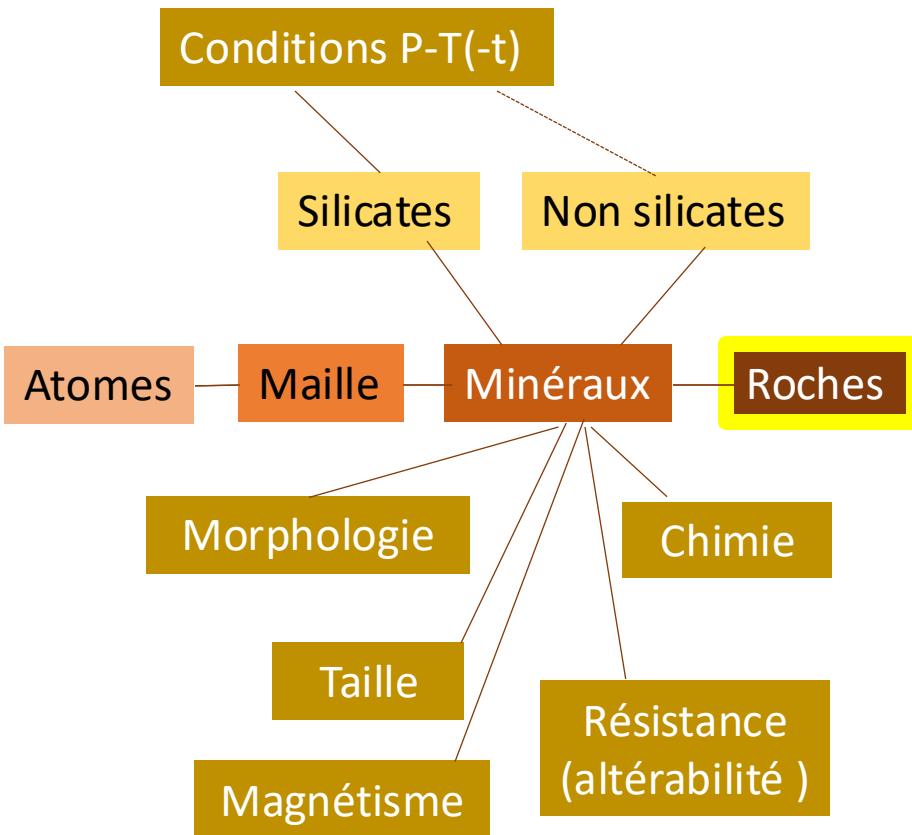
*Stade Ultime
Très Haute T*

→ granite
d'anatexie
(fusion totale)

(fusion partielle)

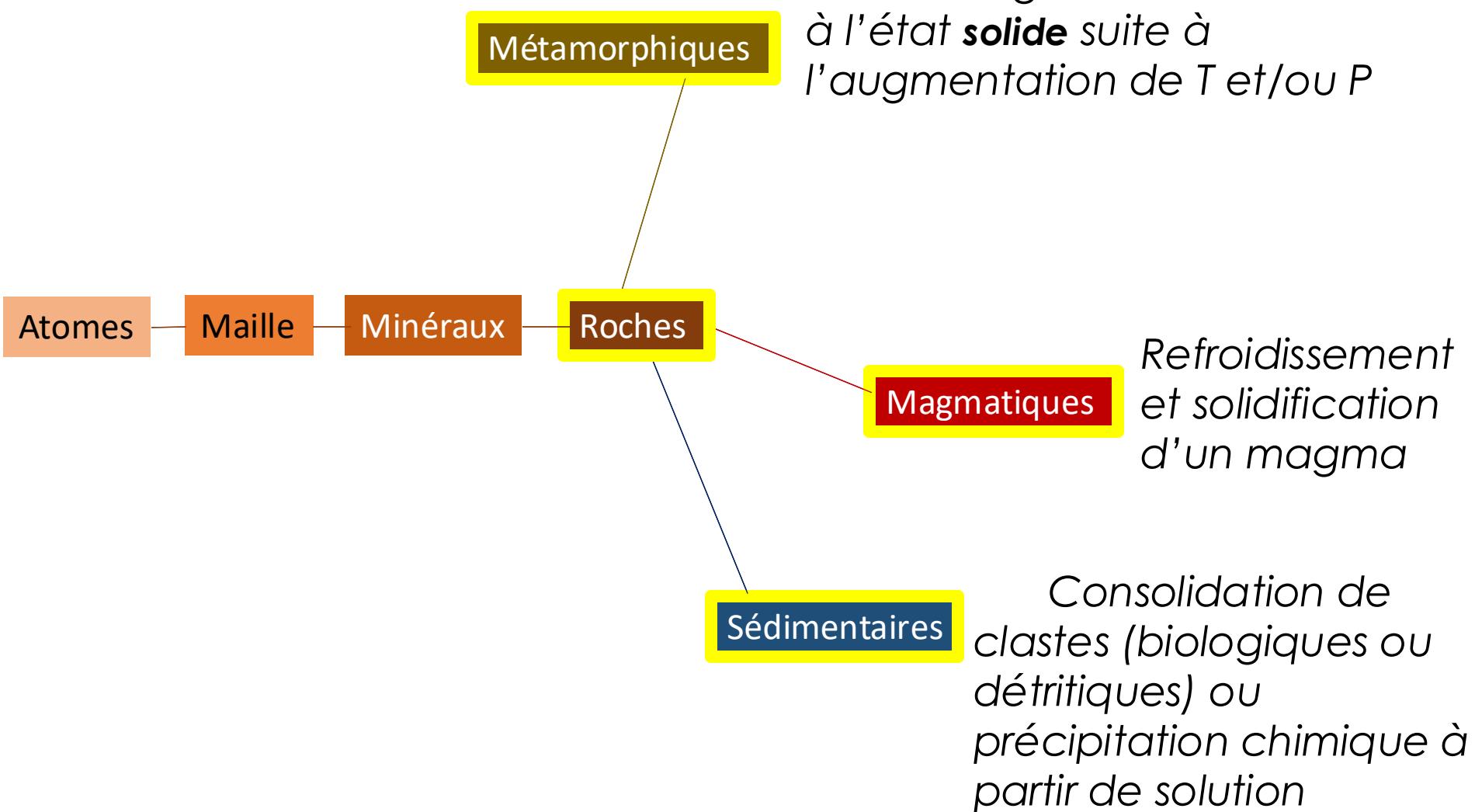
Résumé

Les minéraux témoins de l'histoire des roches



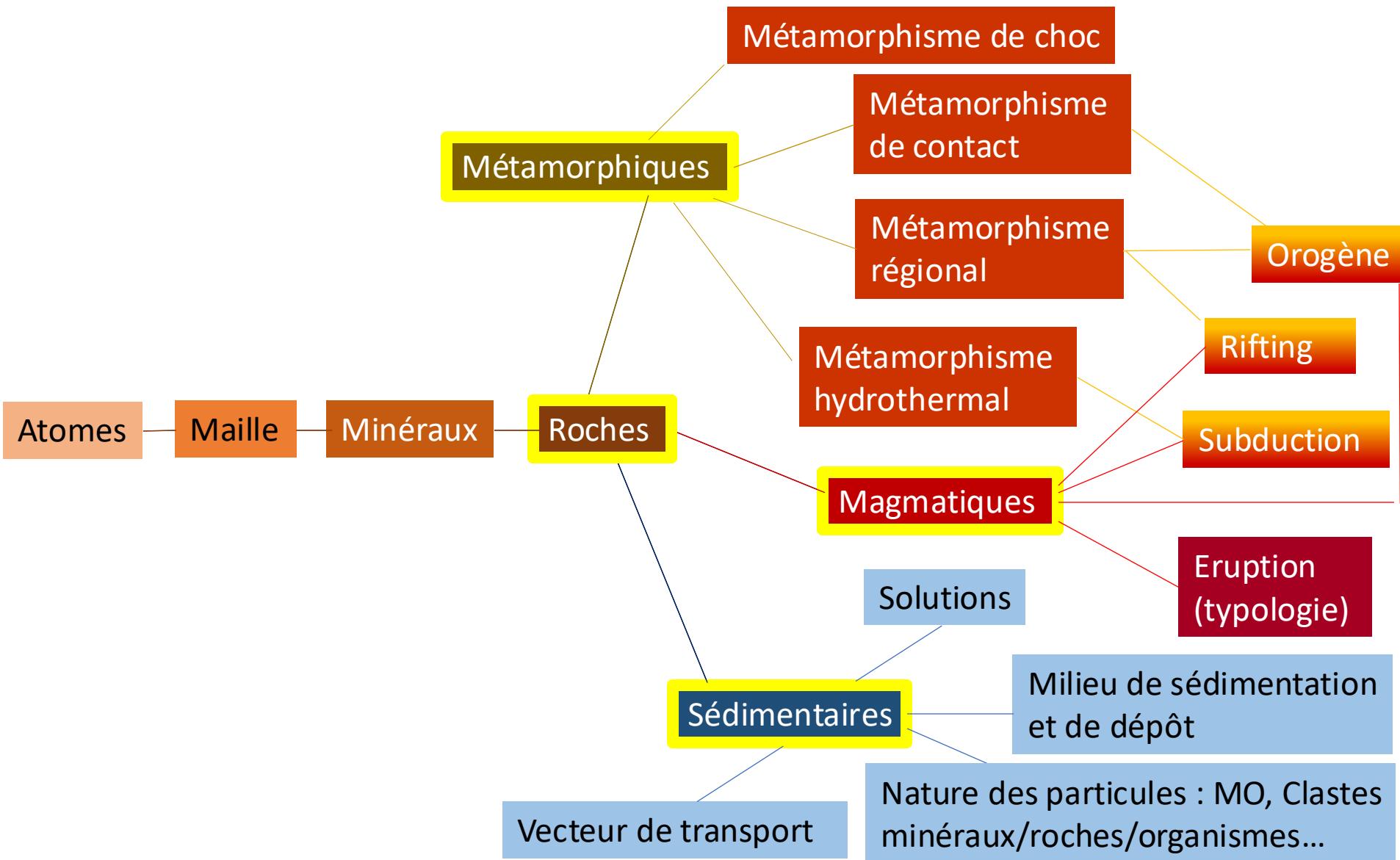
Résumé

Les minéraux témoins de l'histoire des roches



Résumé

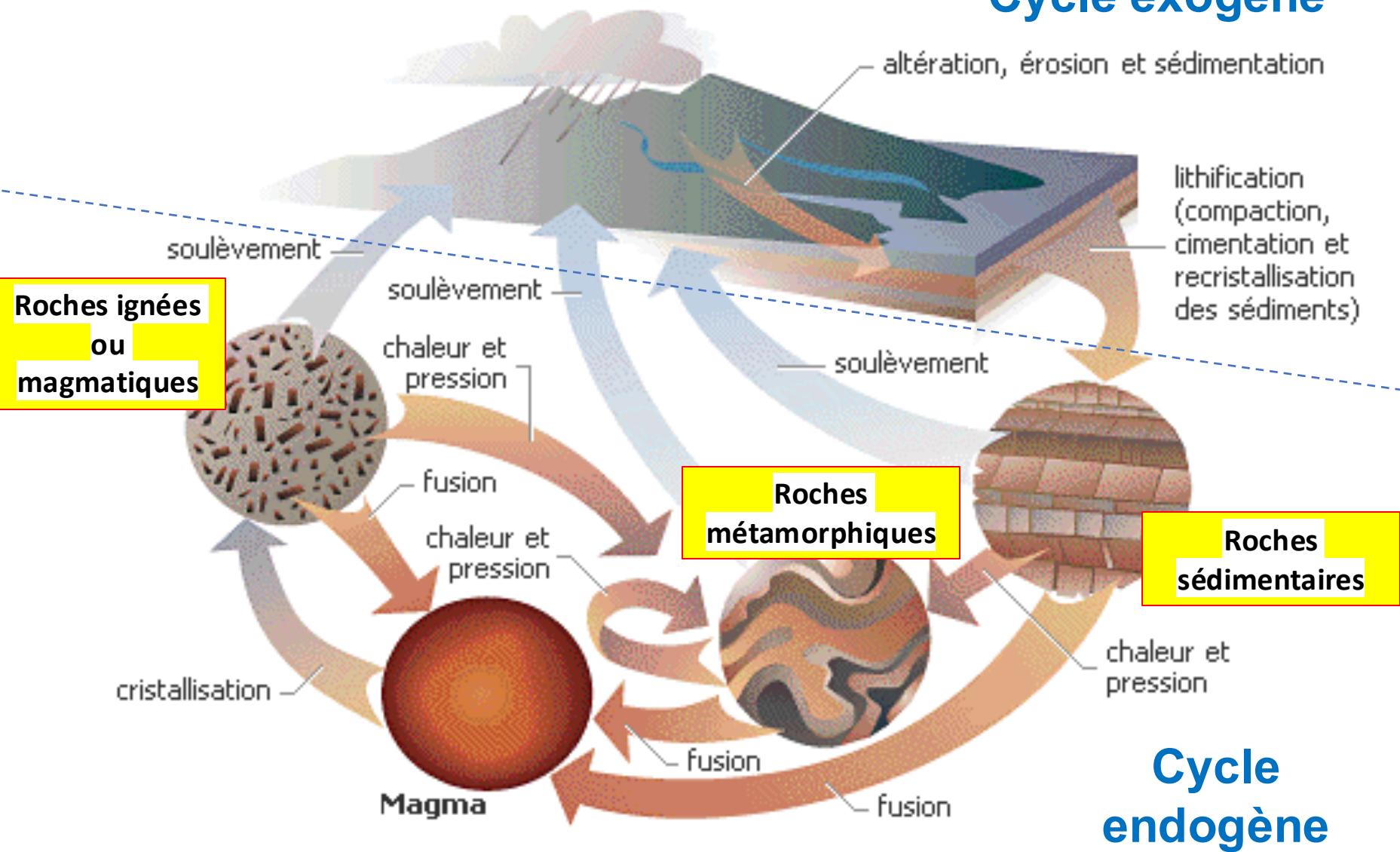
Les minéraux témoins de l'histoire des roches



Résumé

Cycle des roches

Cycle exogène



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 roches : ressources géologiques

- **MATÉRIAUX** (gravier, sable ...)



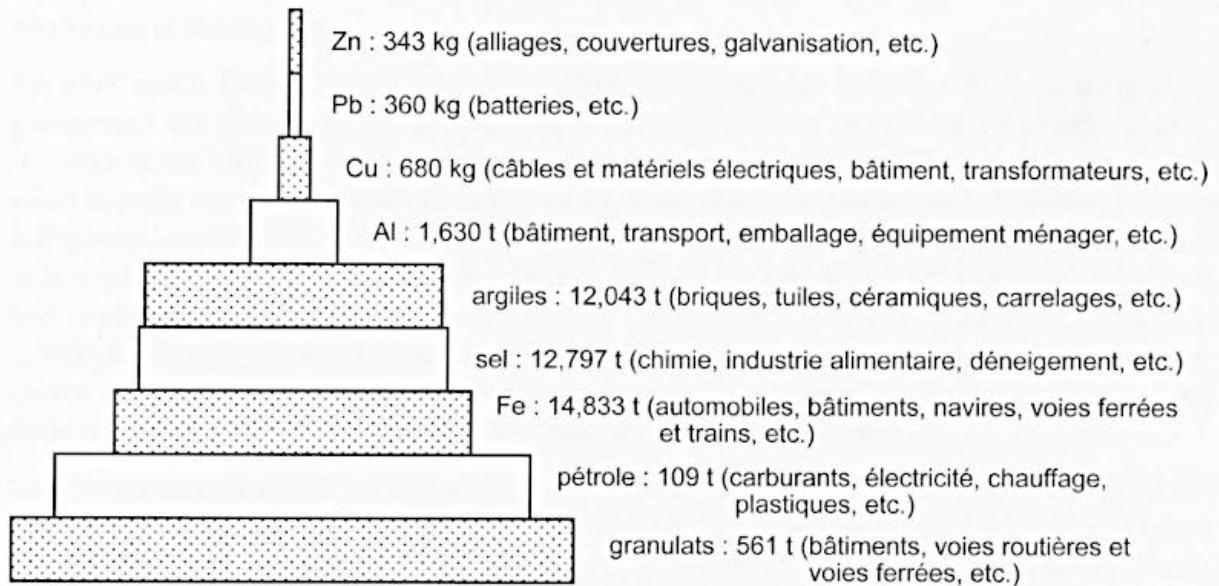
- **MINERAIS** (or, argent, cuivre ...)



- **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%).



2) b. -> Les roches : ressources géologiques

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 (CaCO_3) + chaleur (900° C) -> chaux vive (CaO) + CO_2
chaux vive (CaO) + H_2O -> $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (chaux éteinte)



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



Four à chaux

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

2) b. -> Les roches : ressources géologiques

MATÉRIAUX : MINÉRAUX INDUSTRIELS

Matériaux naturels utilisés dans des applications industrielles

- Argiles fines (céramiques, carrelage, réfractaires, étanchéité, ...)
- CaCO₃ (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 minéral est une roche contenant des minéraux utiles en proportion suffisamment intéressante pour justifier l'exploitation par l'industrie.

La plupart des minéraux métallifères sont :

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



Malachite



Galène



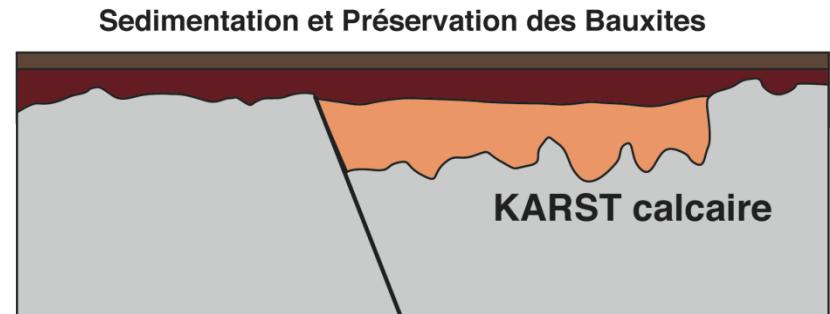
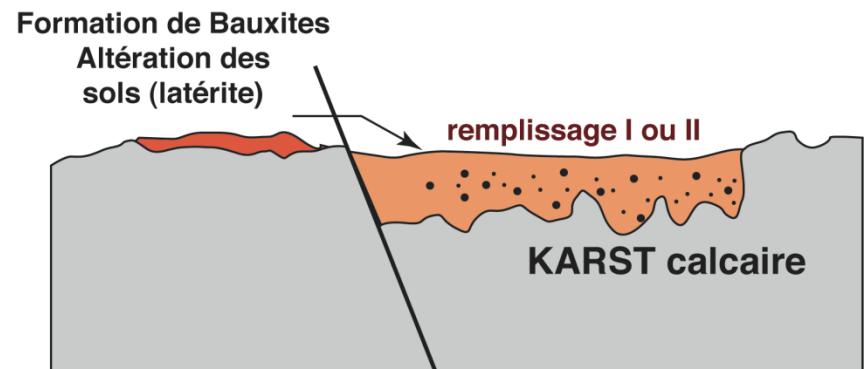
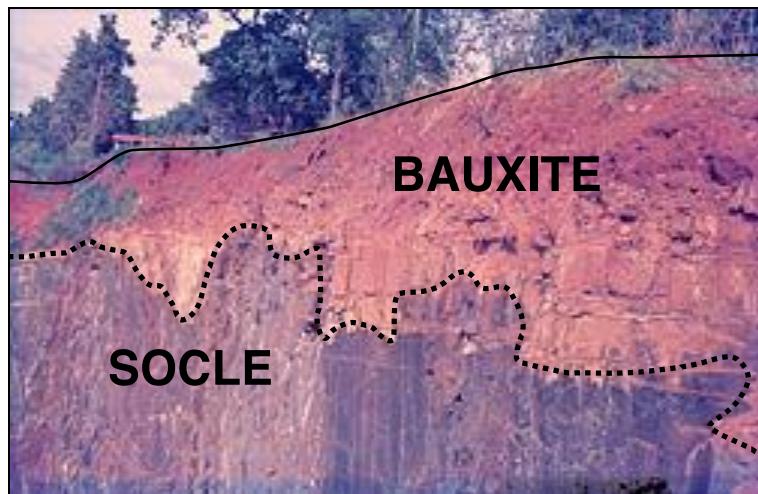
Bauxite

2) b. -> Les roches : ressources géologiques

BAUXITE: oxyde d' aluminium

La bauxite est une roche latéritique, caractérisée par sa forte teneur en alumine Al_2O_3 et en oxydes de fer, qui lui confèrent souvent une coloration rouge. Cette roche constitue le **principal minéral d'aluminium**.

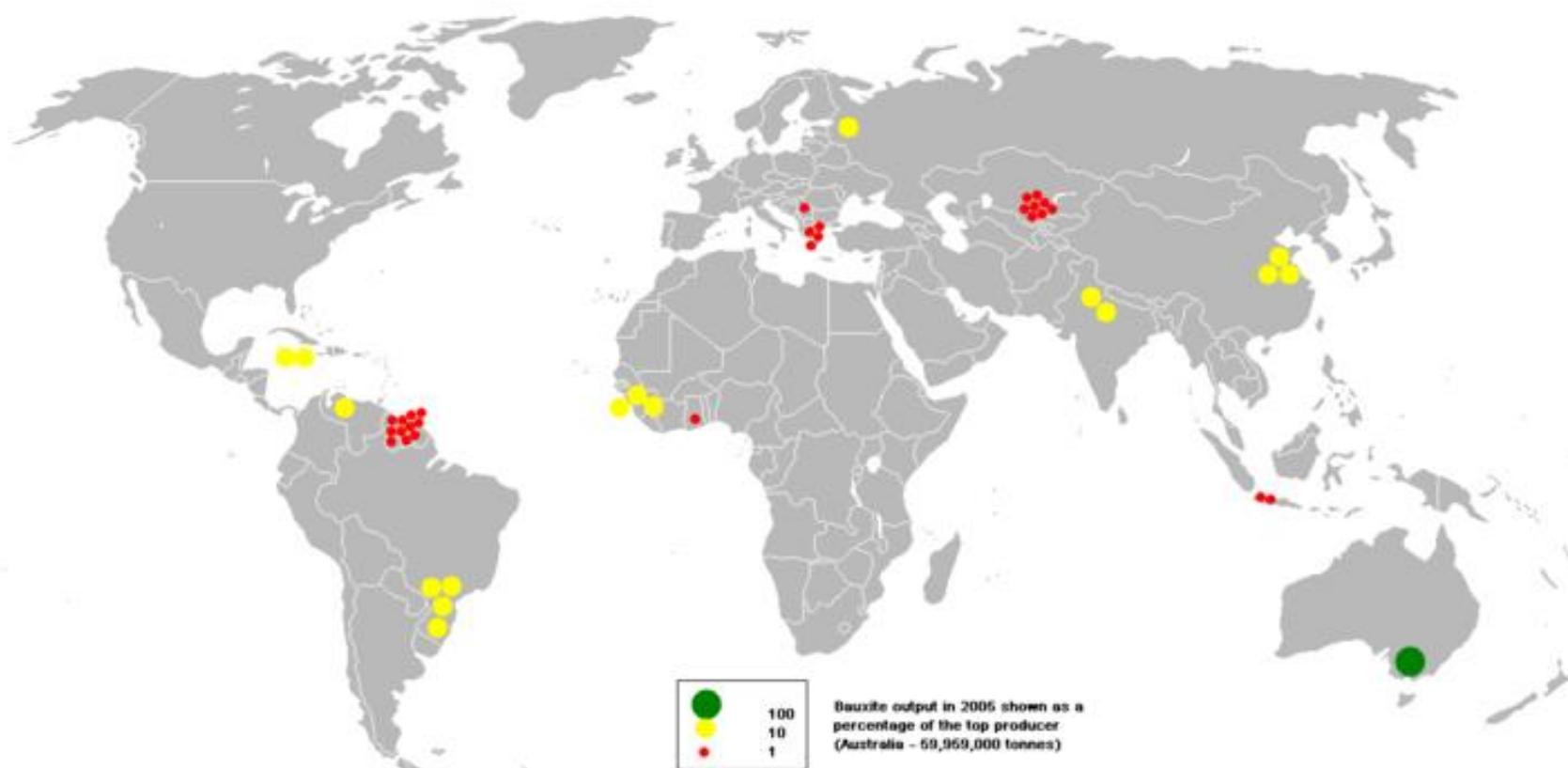
Elle se forme par altération continentale en climat chaud et humide.



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.

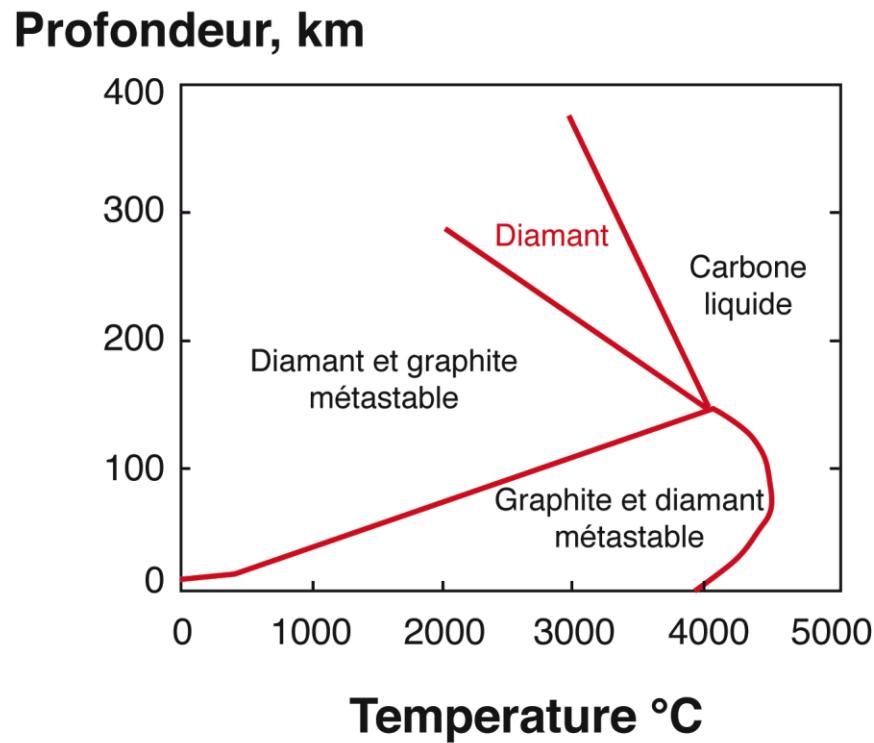


Gisements de bauxite en 2005

2) b. -> Les roches : ressources géologiques

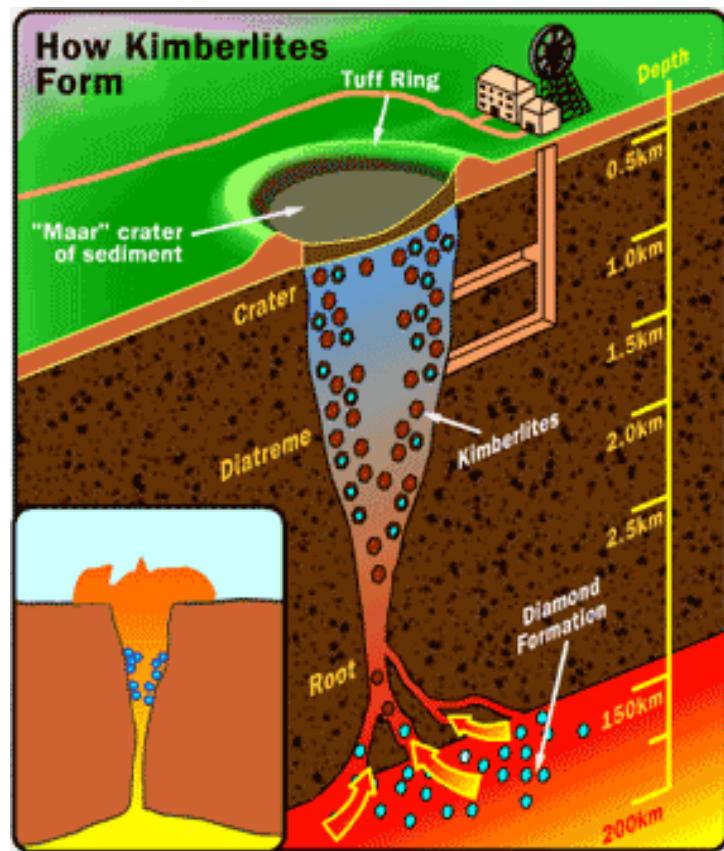
GEMMOLOGIE : DIAMANTS

- 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.

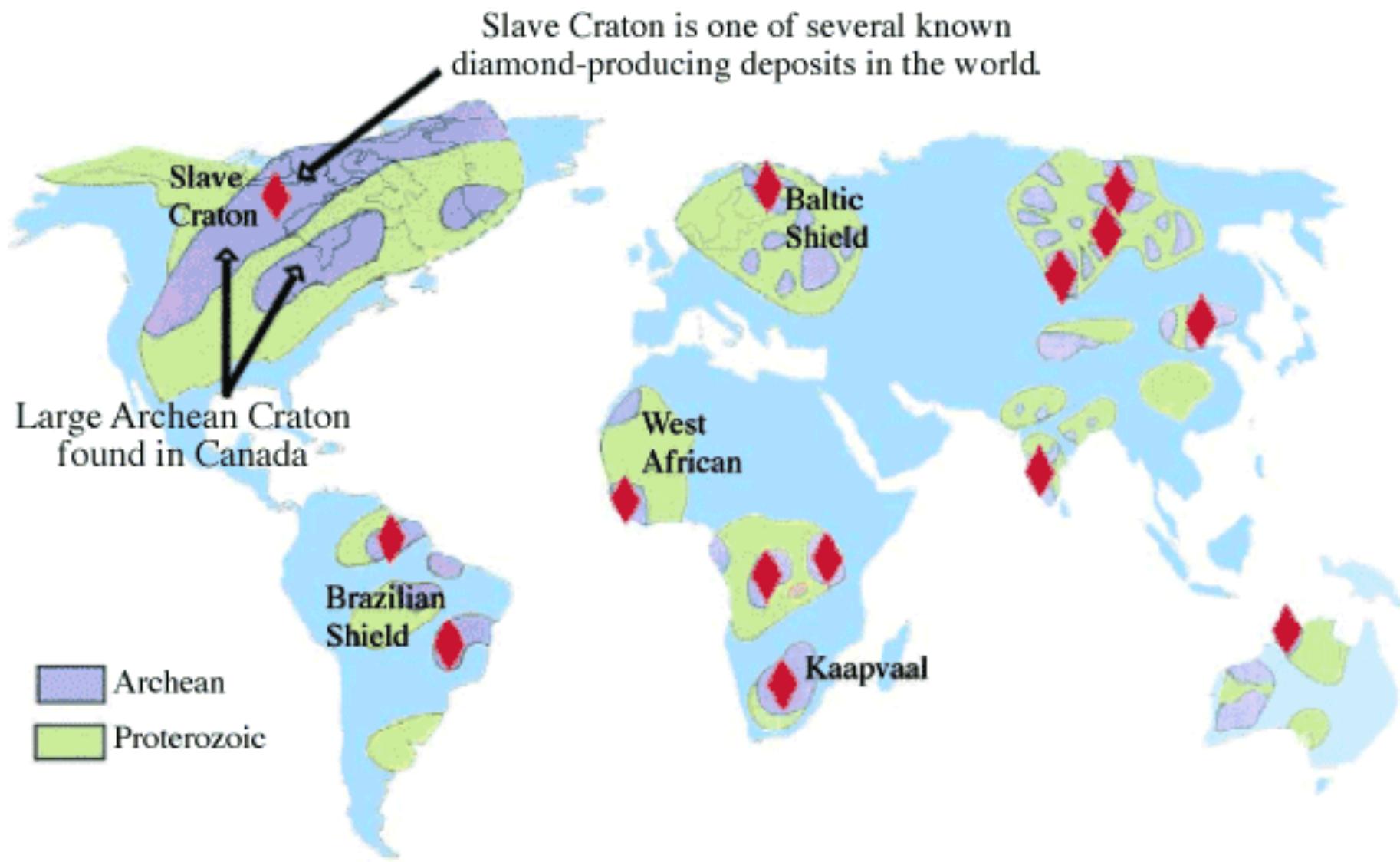


2) b. -> Les roches : ressources géologiques

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



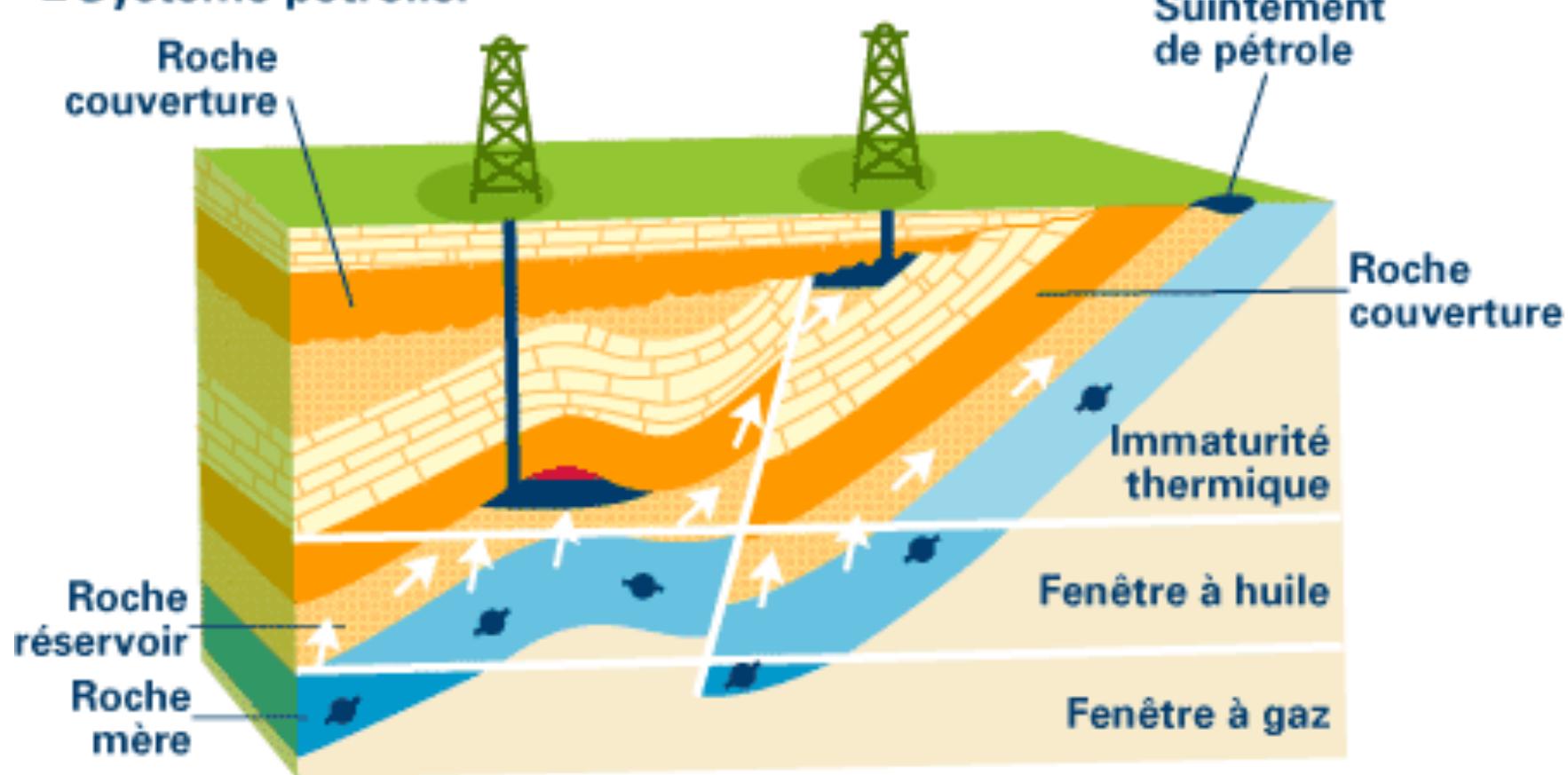
2) b. -> Les roches : ressources géologiques



2) b. -> Les roches : ressources géologiques

PÉTROLE ET GAZ

■ Système pétrolier



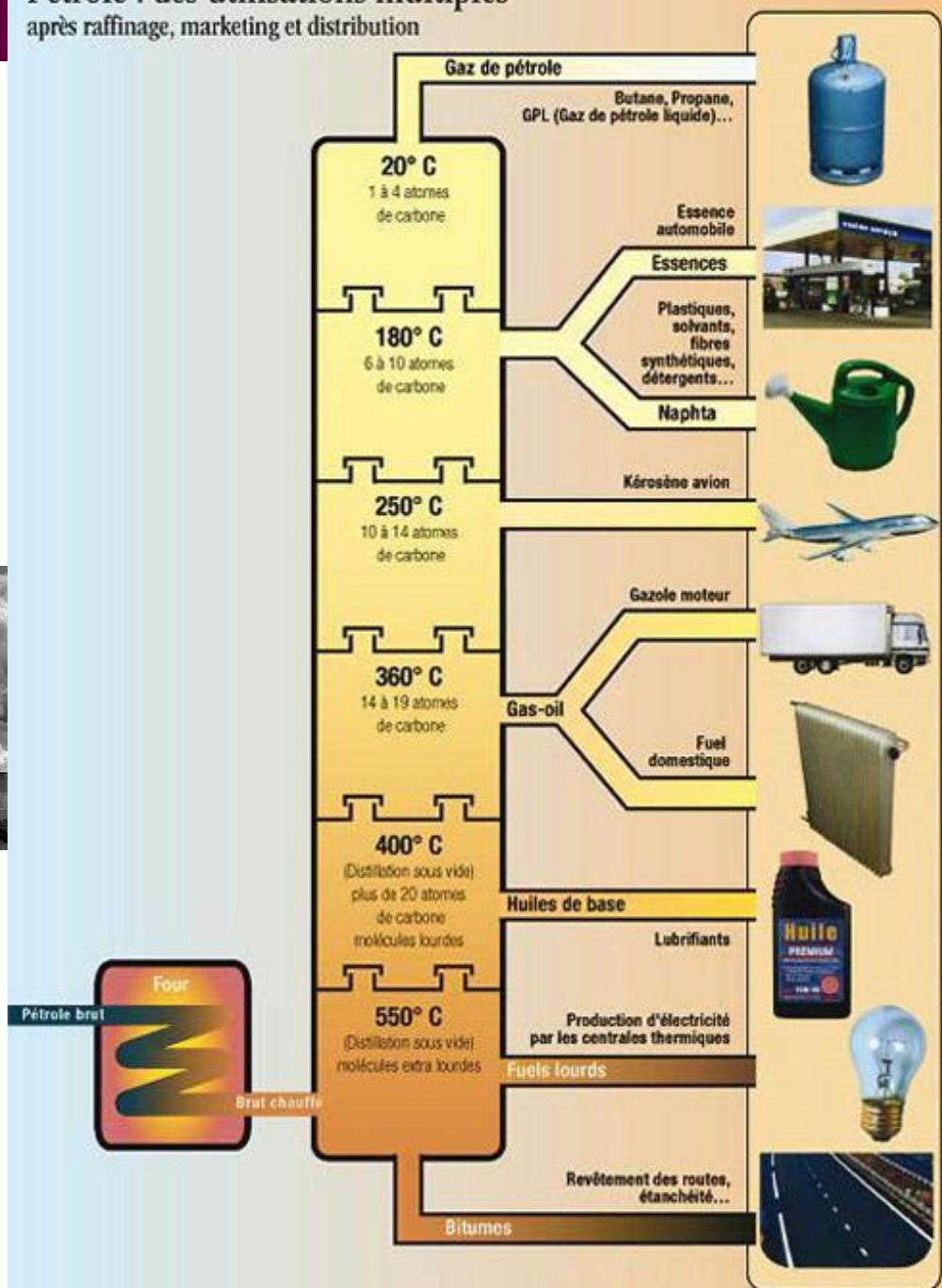
2) a. -> Roches sédimentaires

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

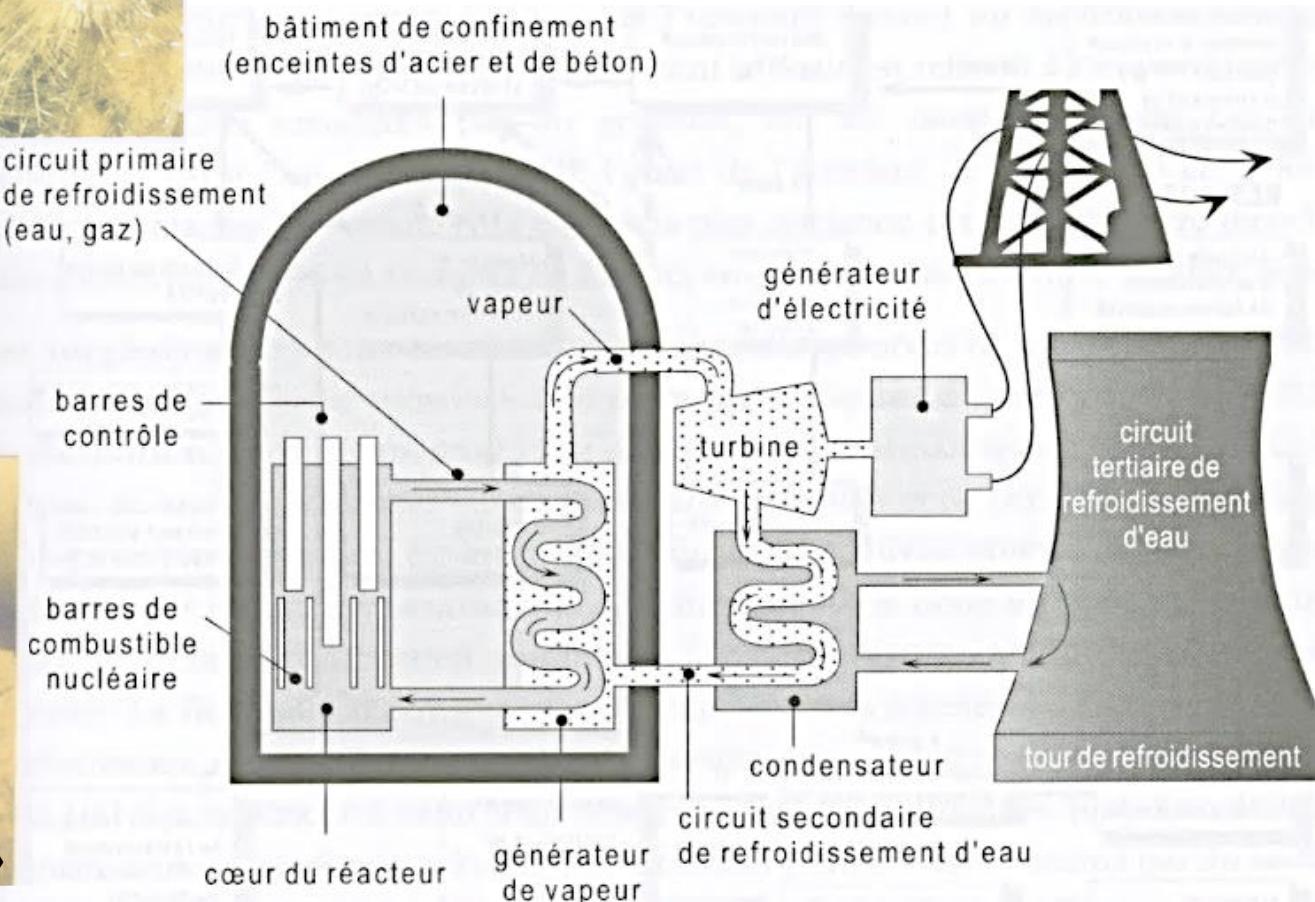


Minerais

Enrichissement



« Yellow cake »

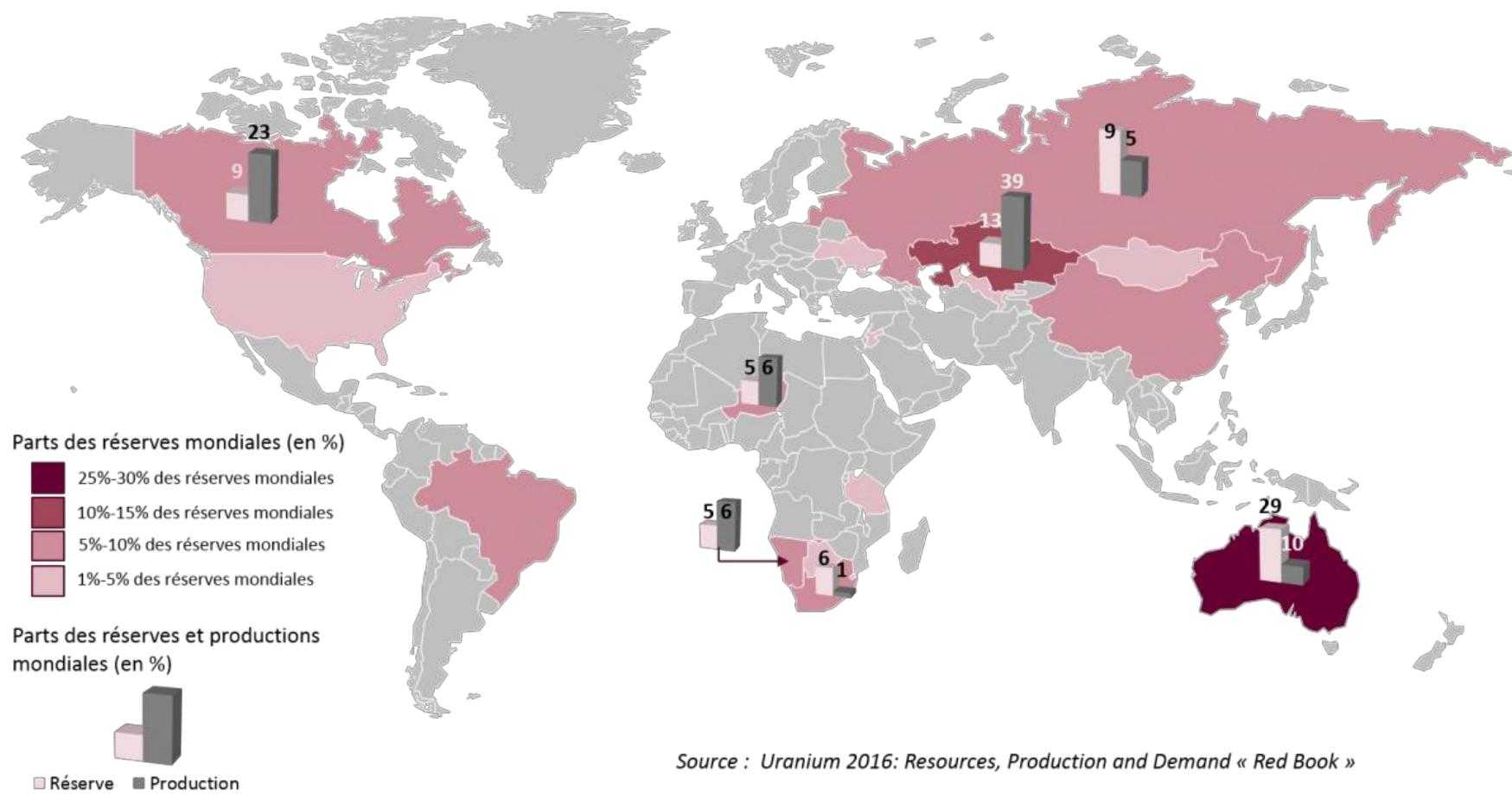


2) b. -> Les roches : ressources géologiques

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 minéraux/ Gemmes
- Ressources énergétiques

Conclusions/points importants

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 protolith/roche métamorphique
- Dessiner le cycle des roches