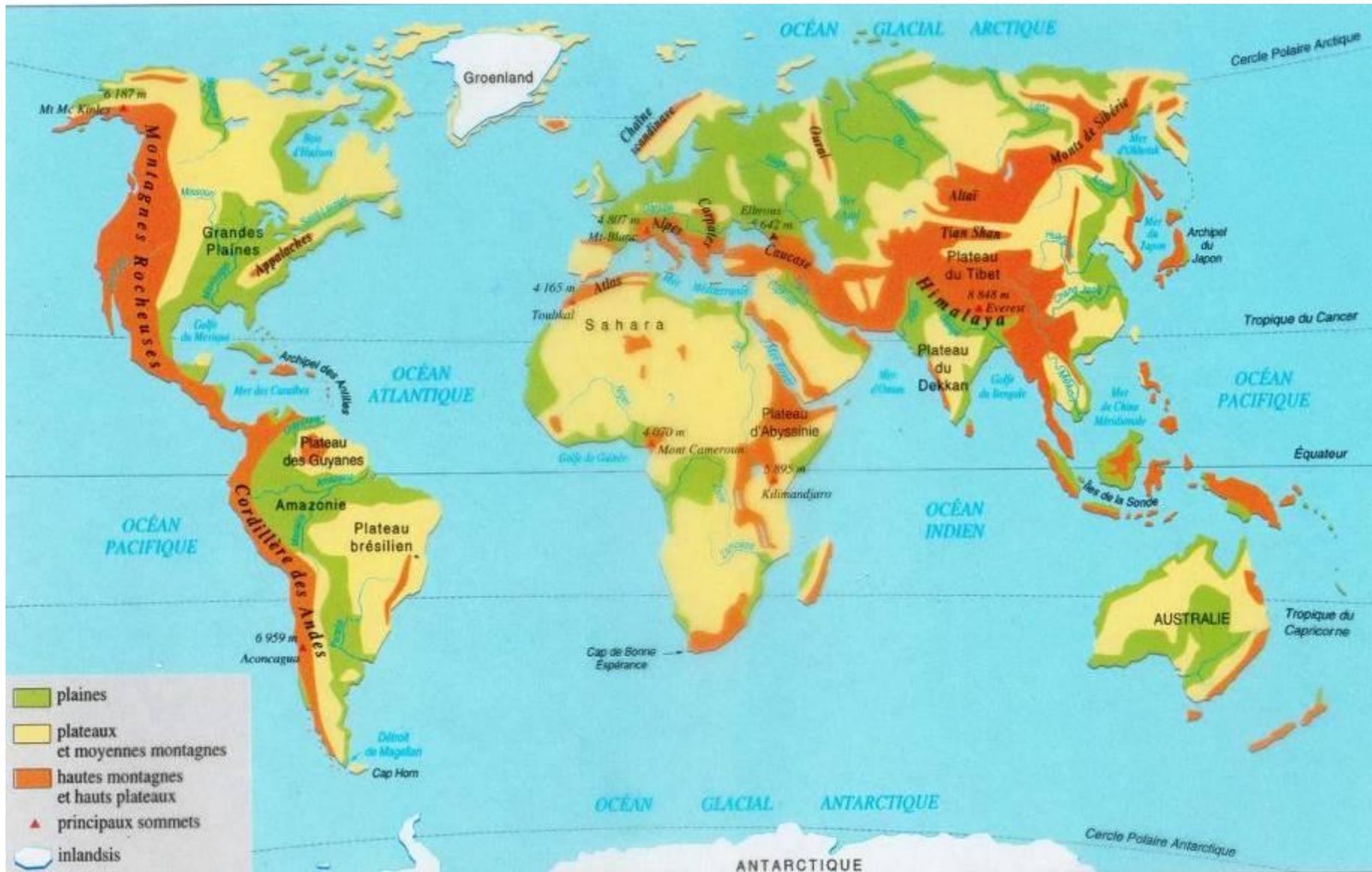


TS

Thème II: Les continents et leur dynamique

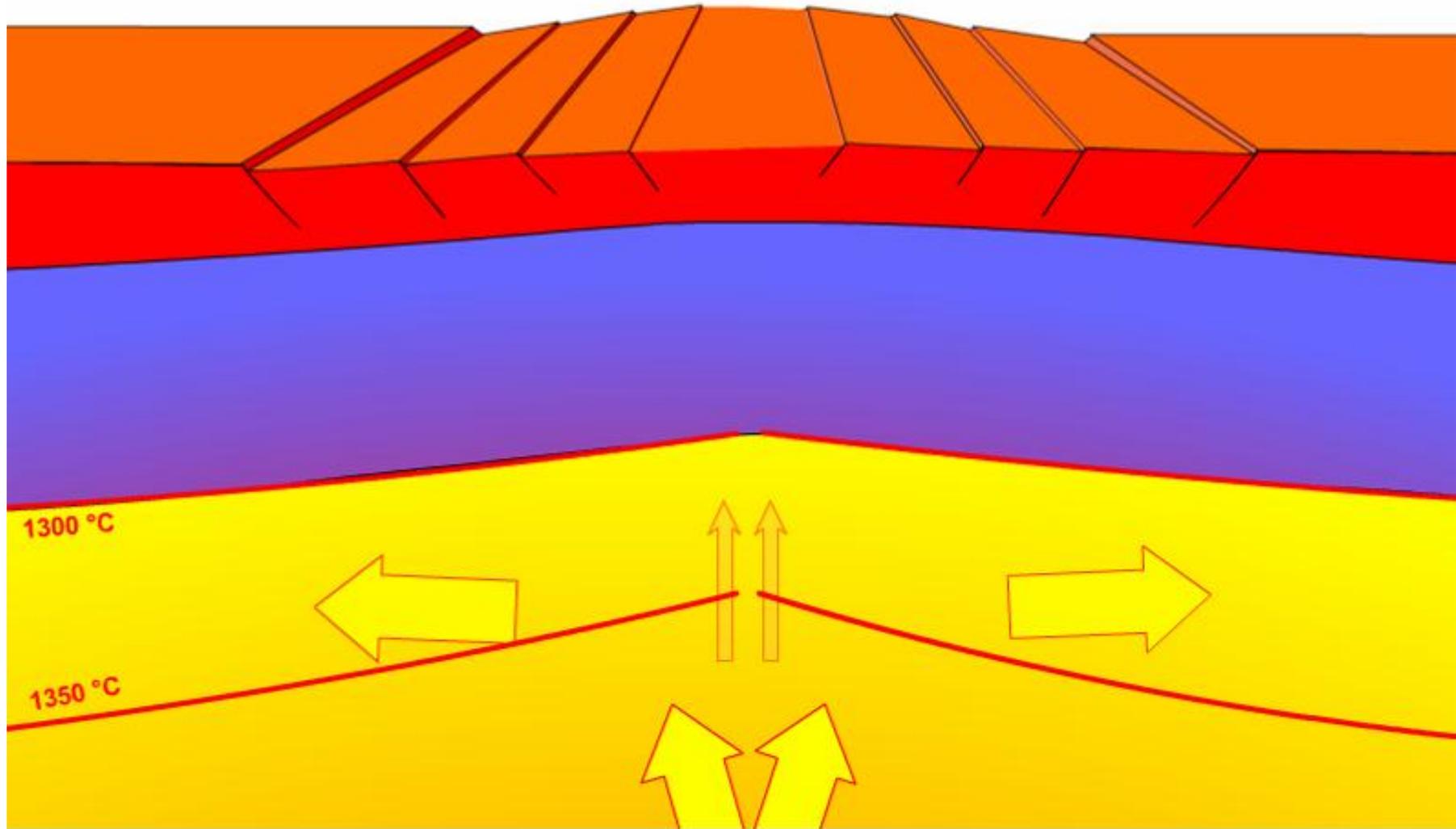
Reliefs continentaux



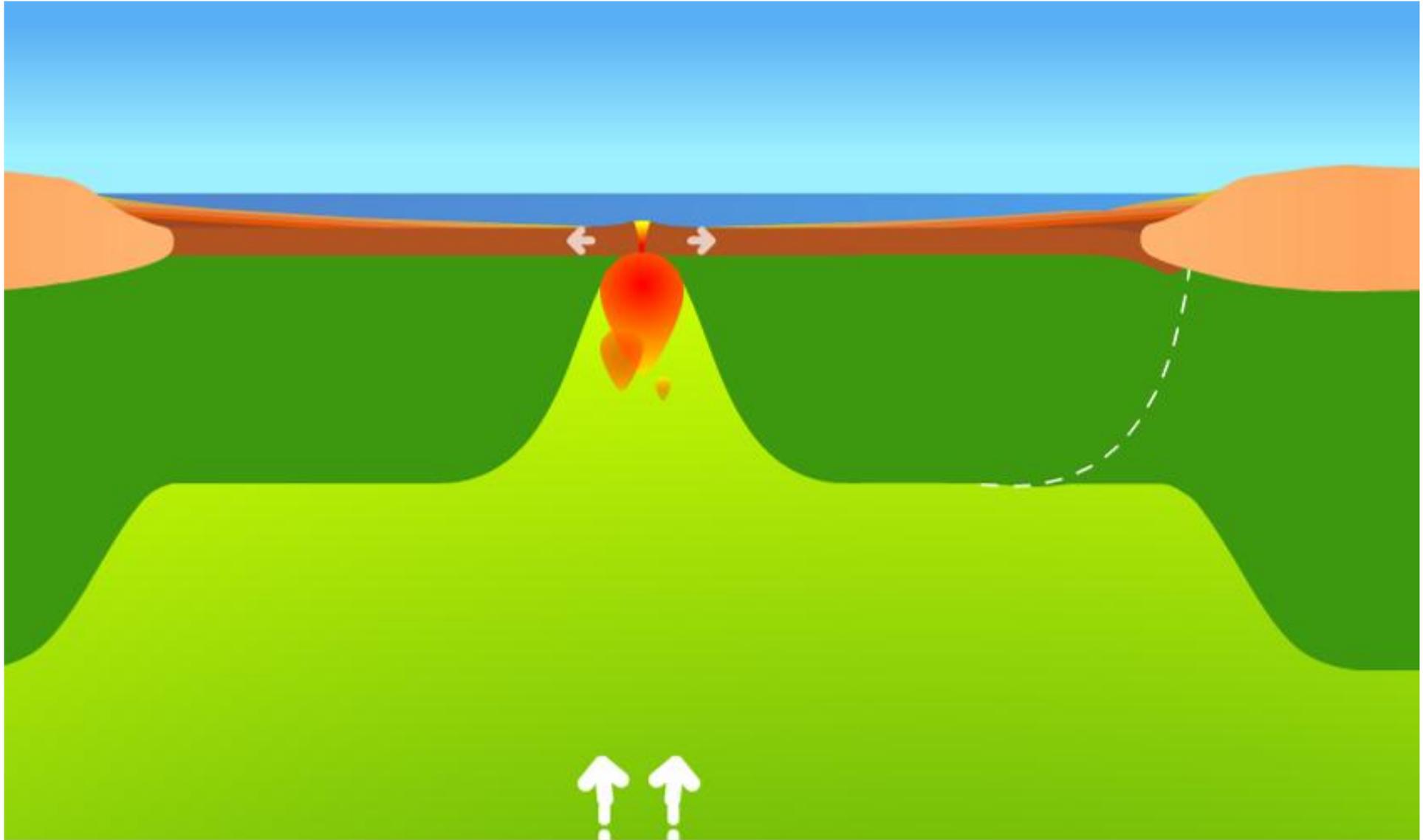
TS

Chapitre 2 : La formation des chaines de montagnes.

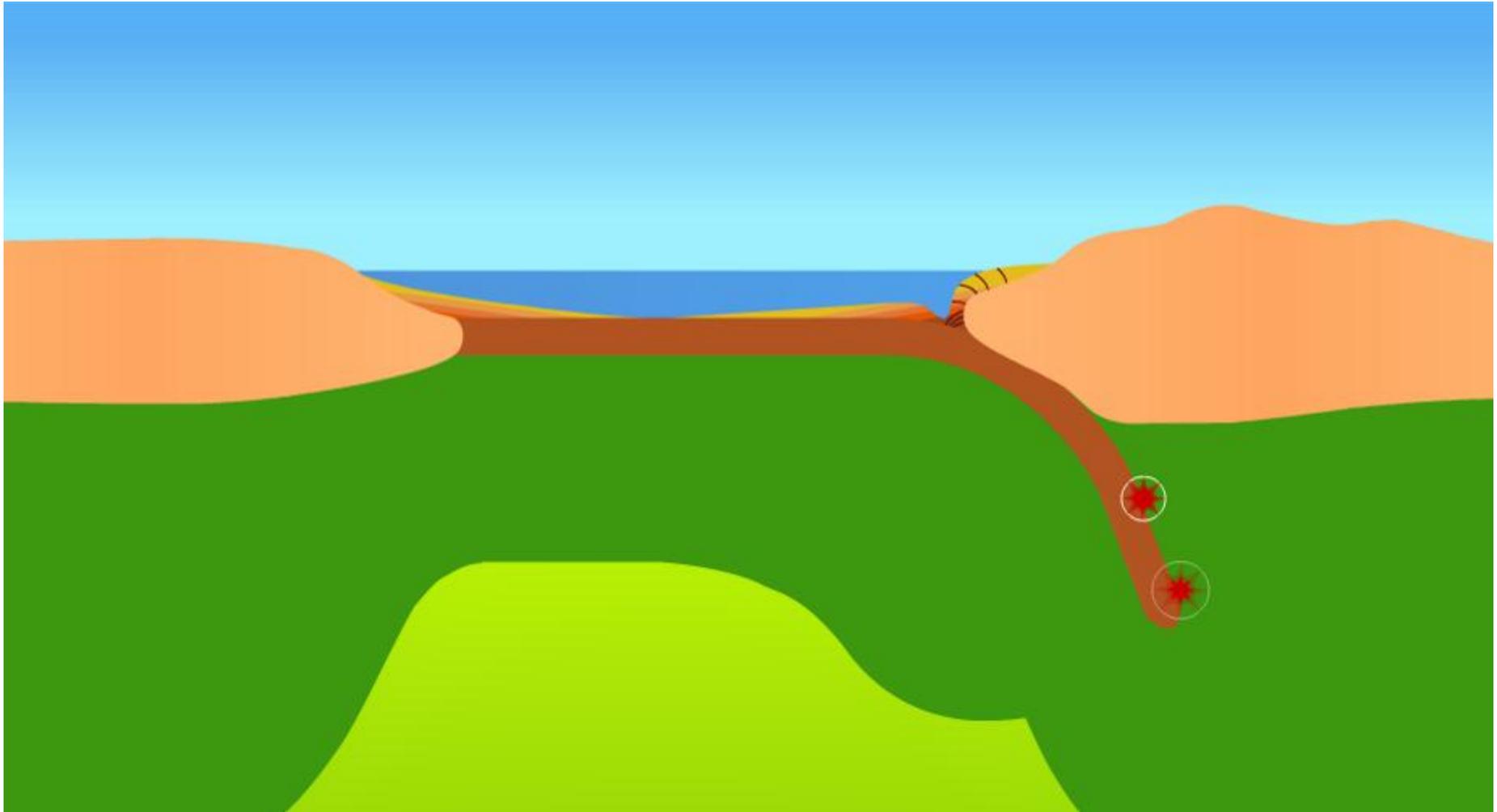
1. Déchirure continentale



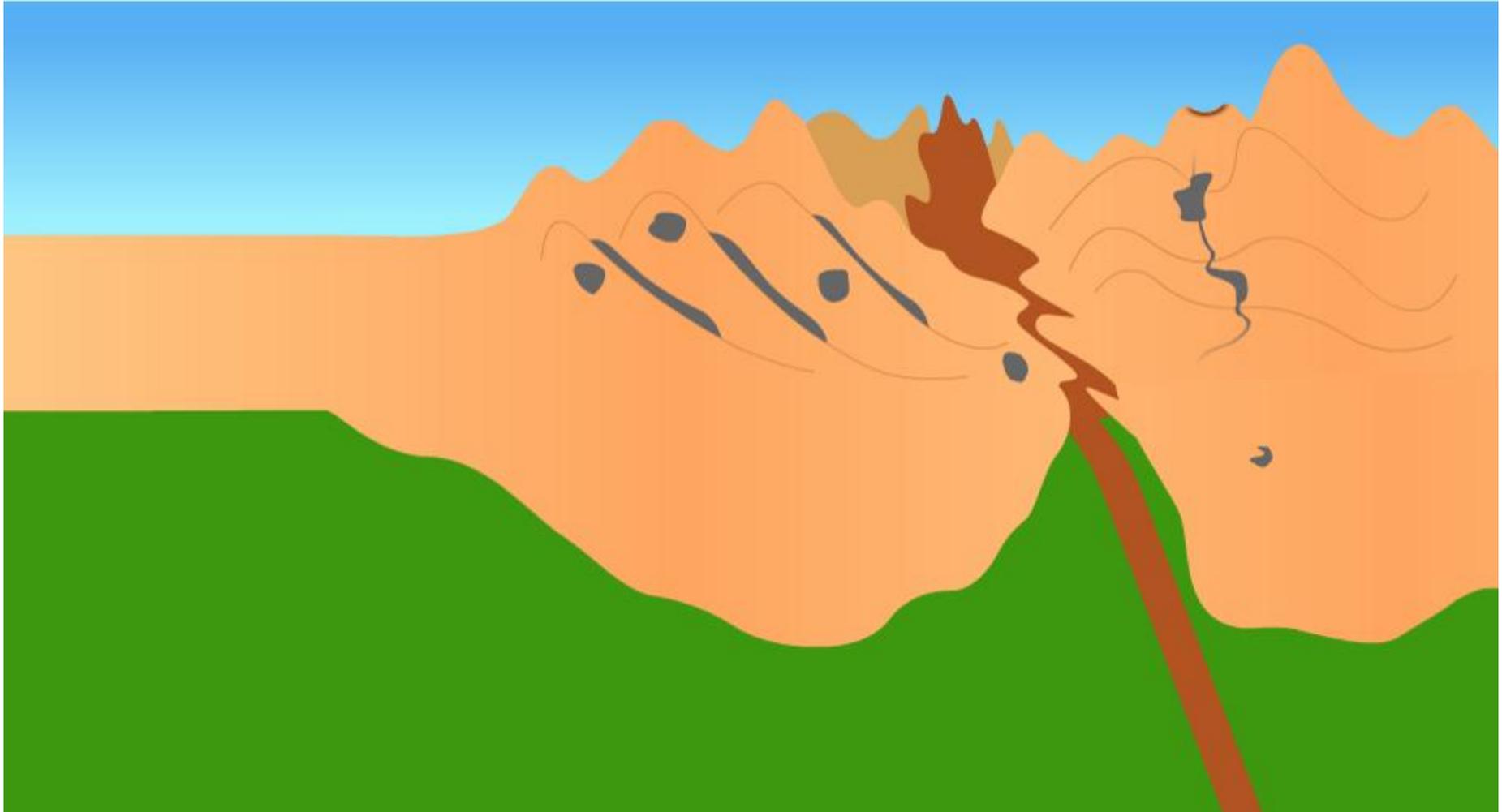
2. Ouverture et expansion océanique



3. Fermeture de l'océan par subduction



4. Collision de 2 lithosphères continentales



Comment les données de terrain nous permettent-elles de valider le modèle de la formation d'une chaîne de montagne ?

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.



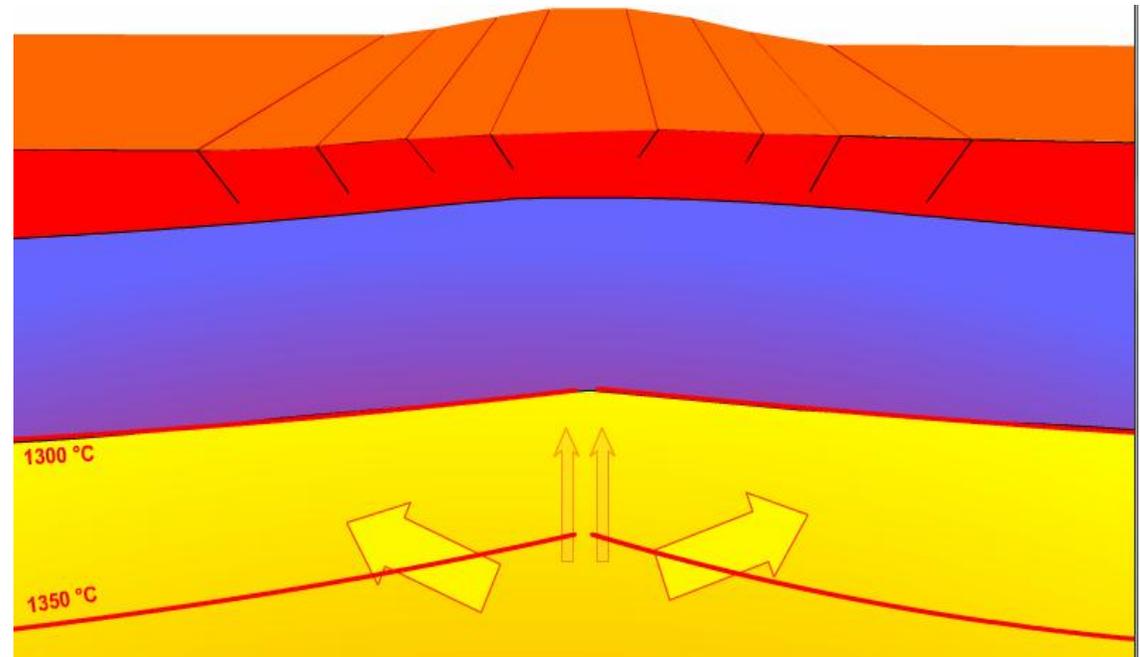
L'ouverture d'un océan débute par un amincissement et une fracturation de la croûte continentale

remontée de l'asthénosphère

un bombement de la lithosphère

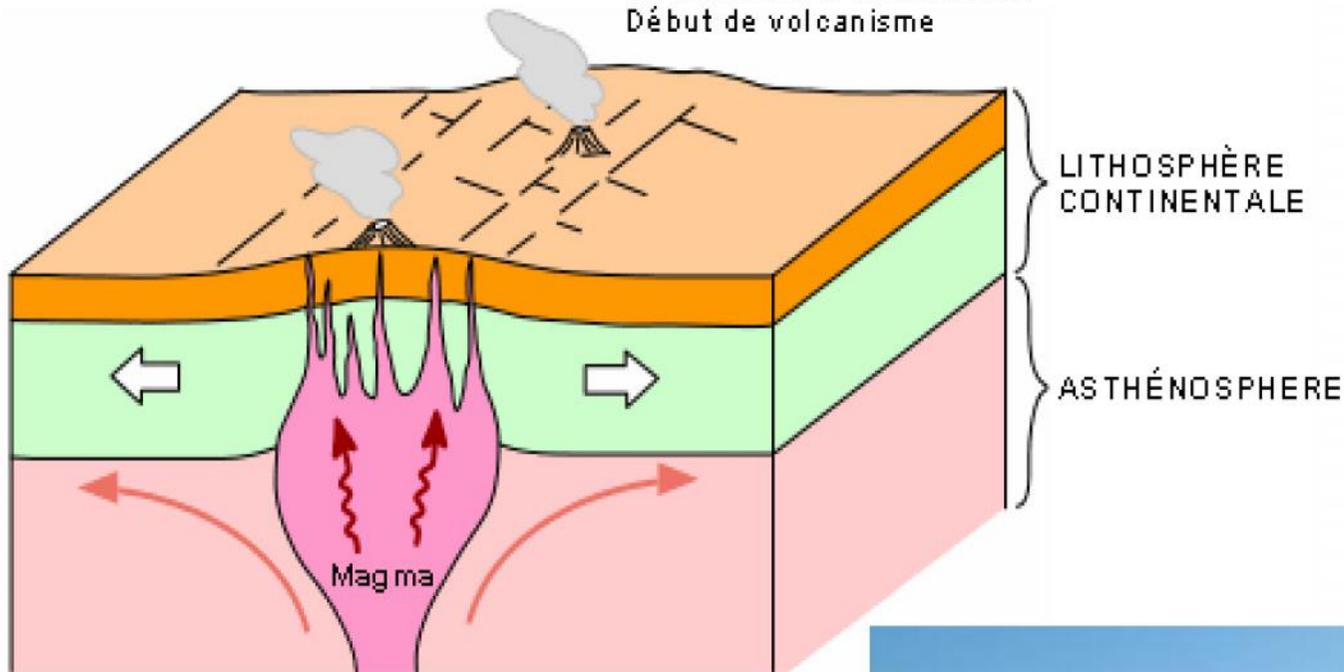
un amincissement de la croûte

fracturation de la croûte par des failles normales



Amorce d'un rift continental.

Bombement et fracturation.
Début de volcanisme

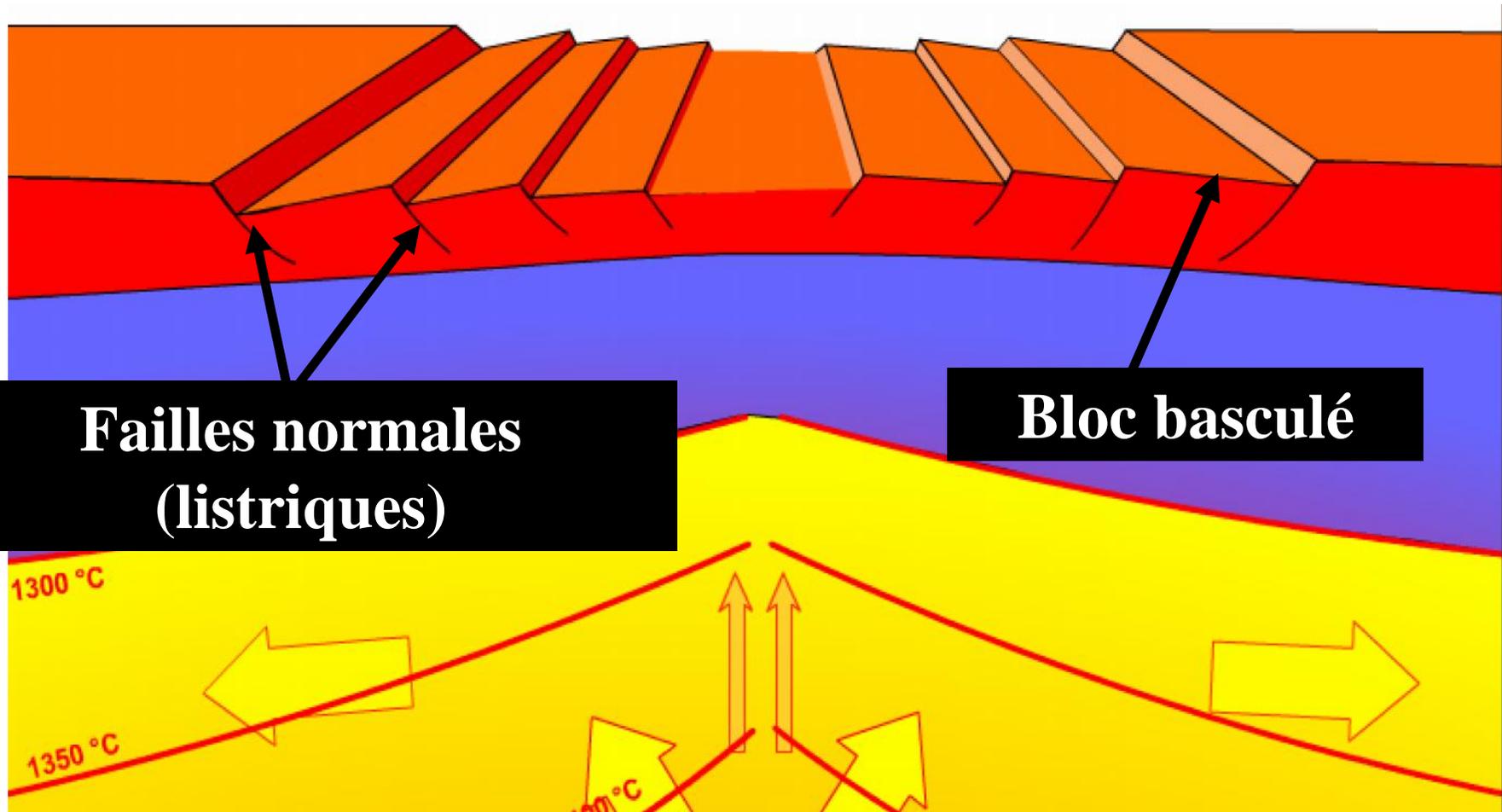


Vallée Rio Grande
USA



Stade pré-rift

Extension => effondrement => Rift

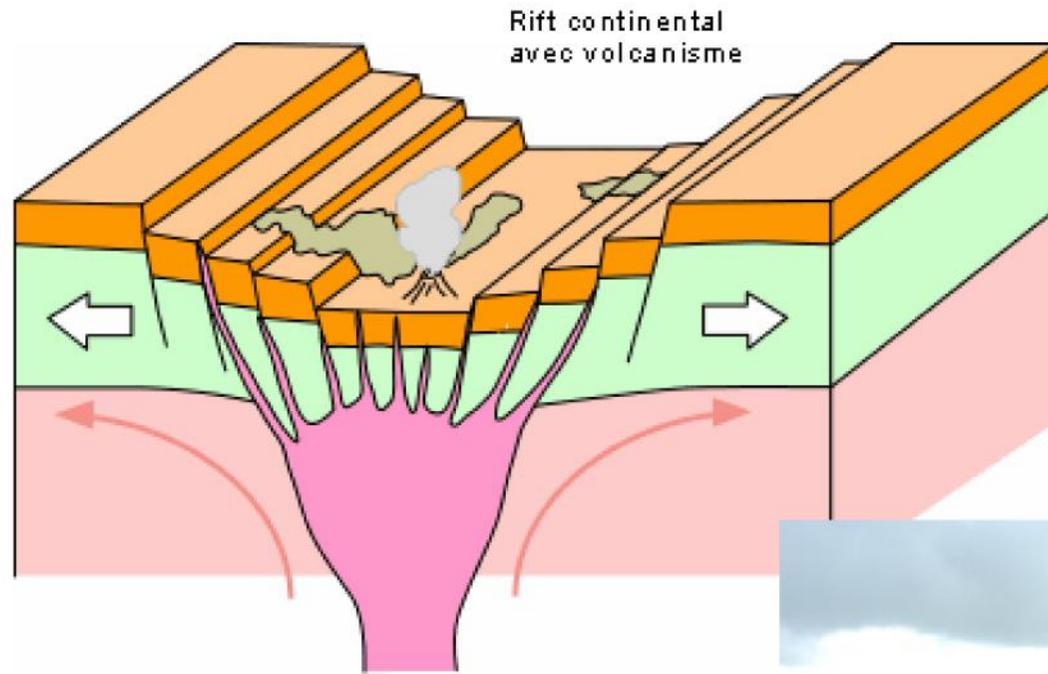


**Failles normales
(listriques)**

Bloc basculé

**Extension => grandes failles normales incurvées
(listriques) qui délimitent des blocs basculés**

Rift continental.



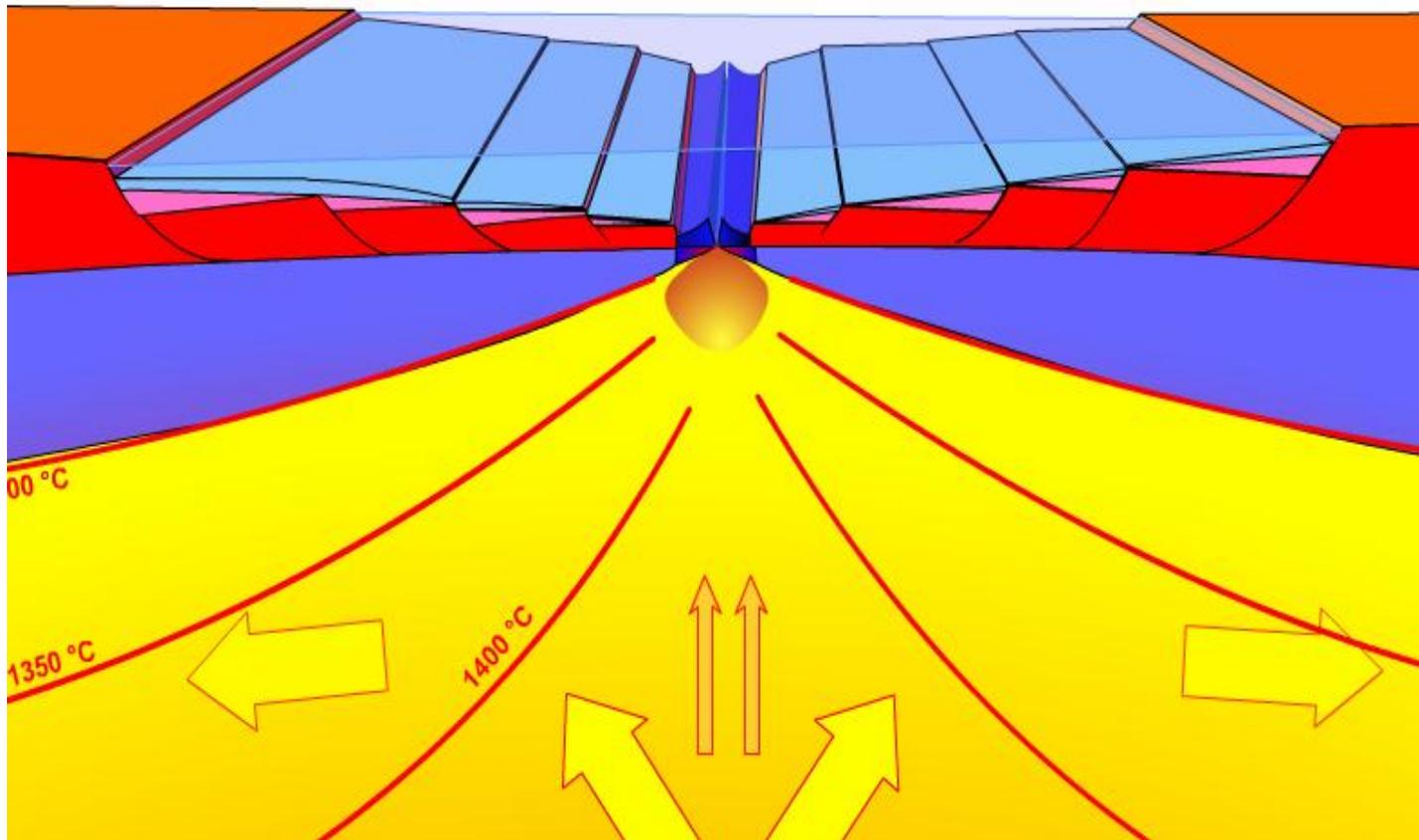
Rift est
éthiopien

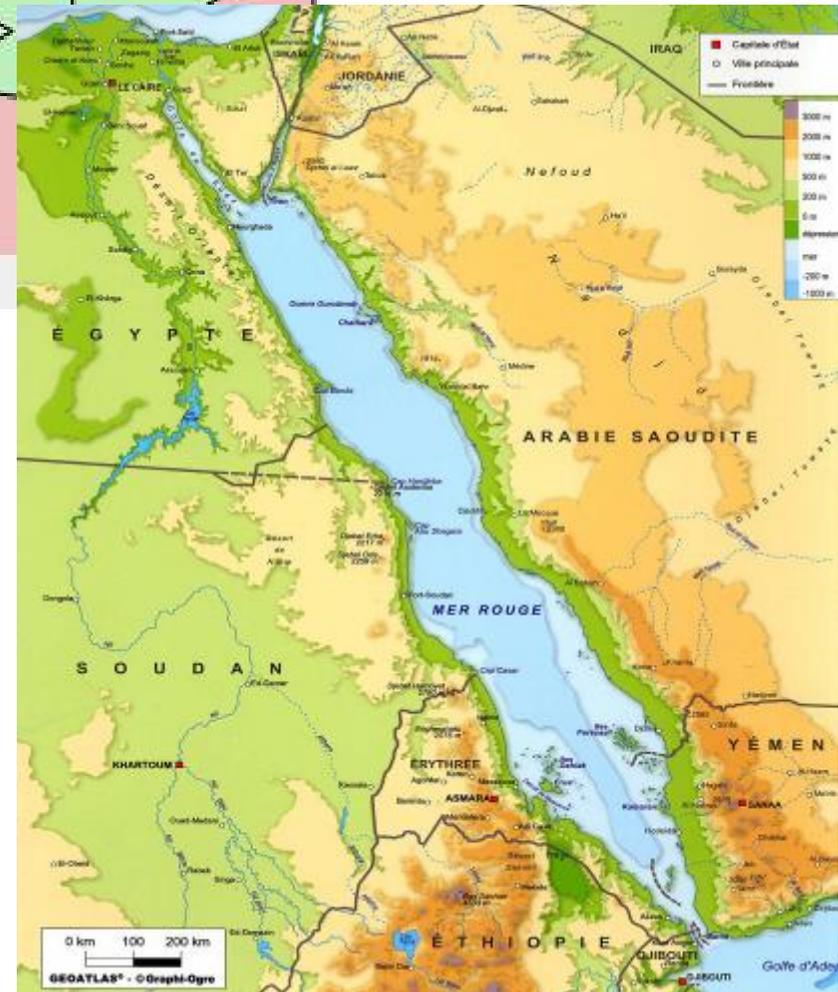
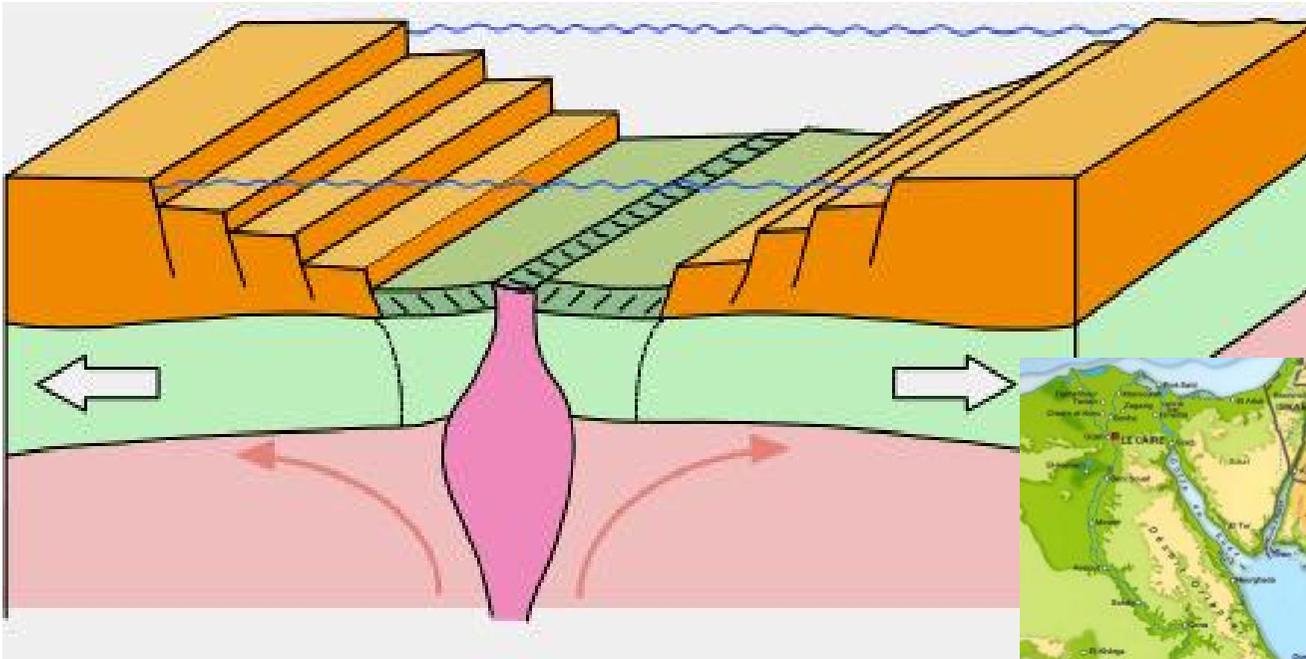


Stade mer étroite

lithosphère océanique crée

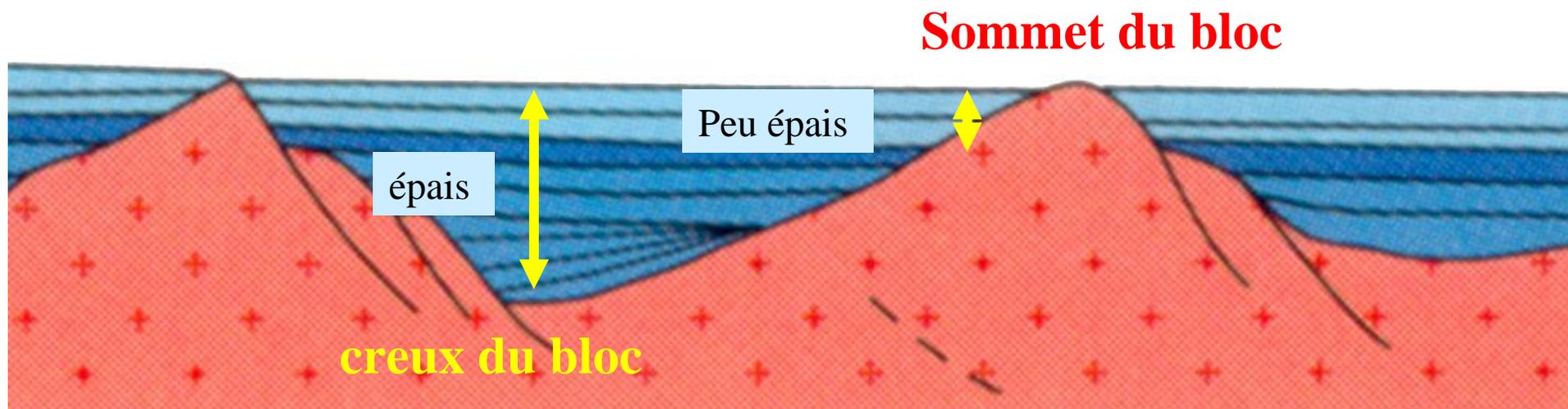
la mer envahit progressivement le rift





Mer rouge

blocs recouverts de sédiments

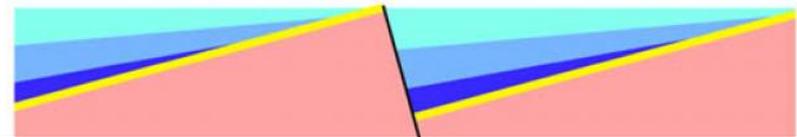


Enregistrement sédimentaire de la déchirure continentale

1. avant le basculement : sédiments ante-rifts



2. pendant le basculement :
Sédiments syn-rift **structure**
en éventail



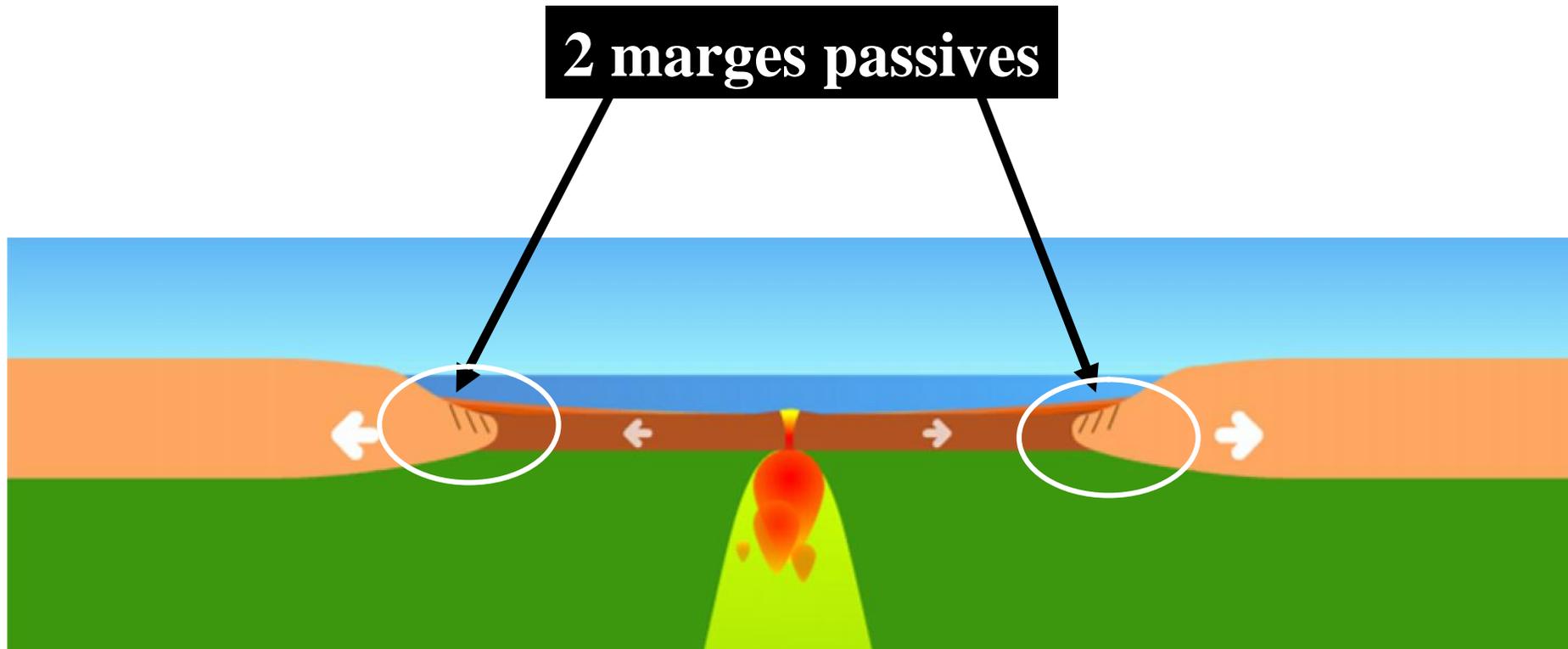
3. après le basculement :

sédiments disposés en éventail

datation de la phase d'extension crustale.



Deux marges passives de part et d'autre de l'océan ouvert



structures sédimentaires et tectoniques qui ont accompagné la déchirure continentale **marge passive**

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

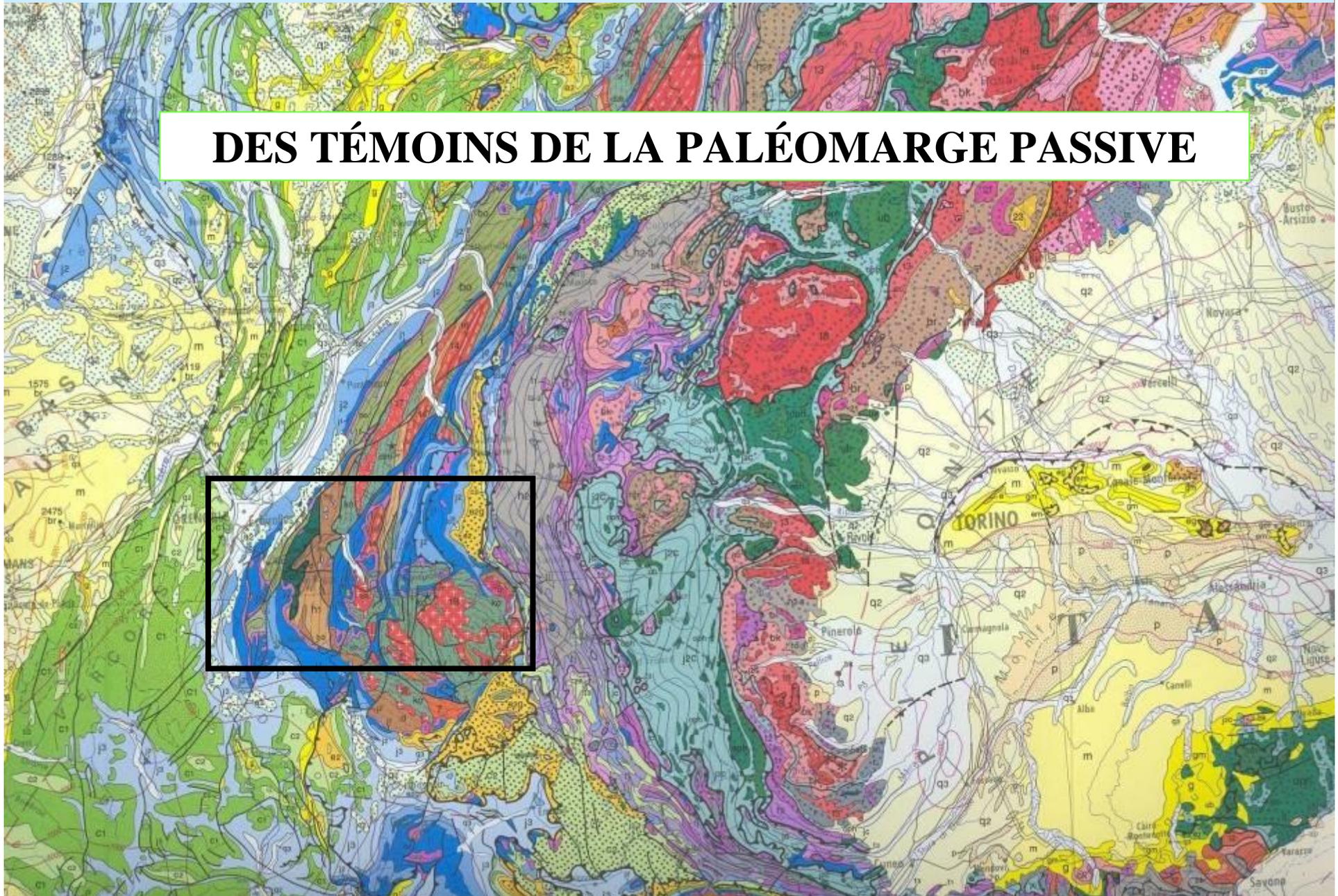
I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

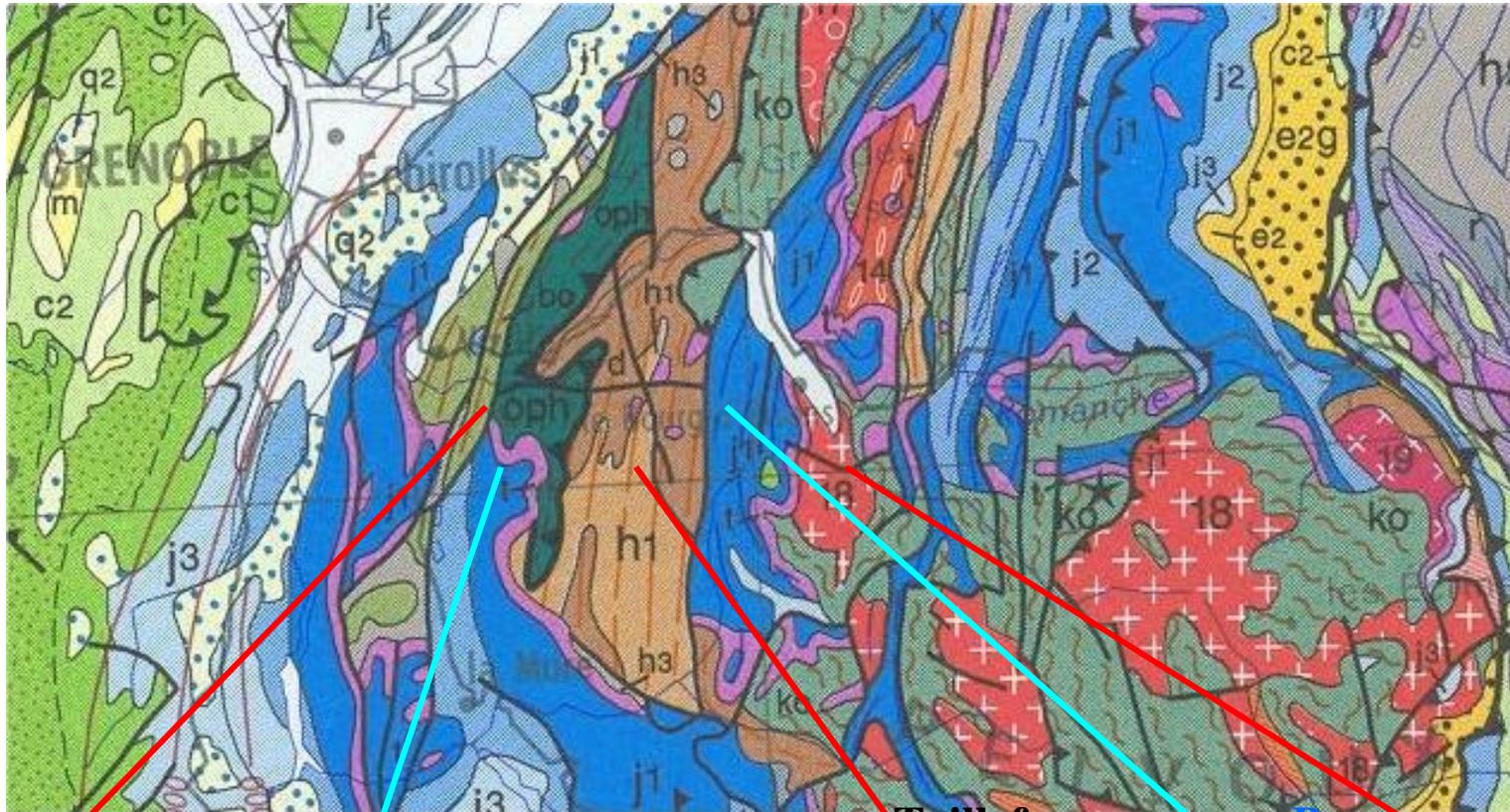
B. Les traces d'une marge passive retrouvées dans les Alpes.

Des blocs basculés dans les Alpes

DES TÉMOINS DE LA PALÉOMARGE PASSIVE



Des blocs basculés dans les Alpes témoins d'une déchirure



Ouest

Est



La Mure

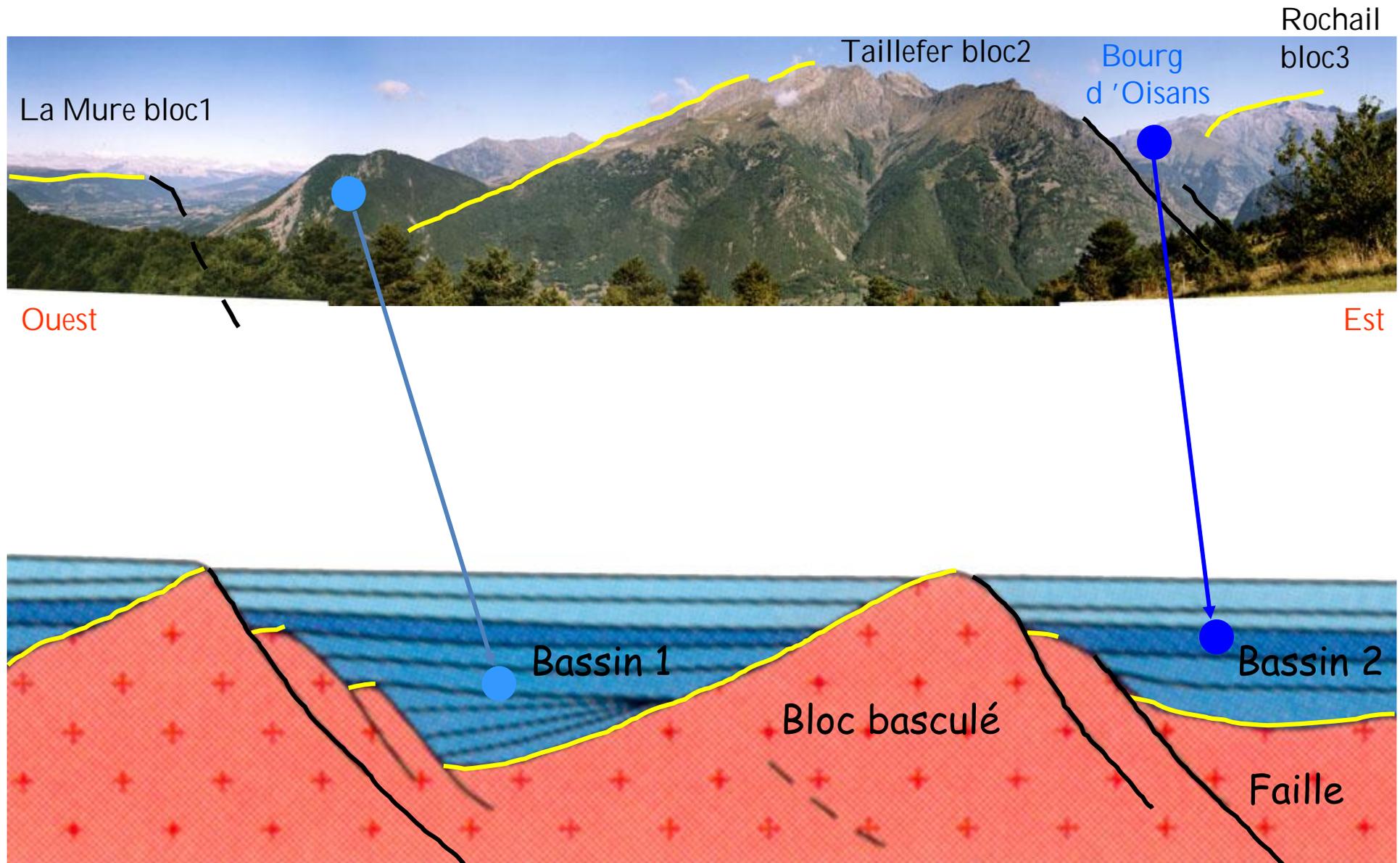
Taillefer

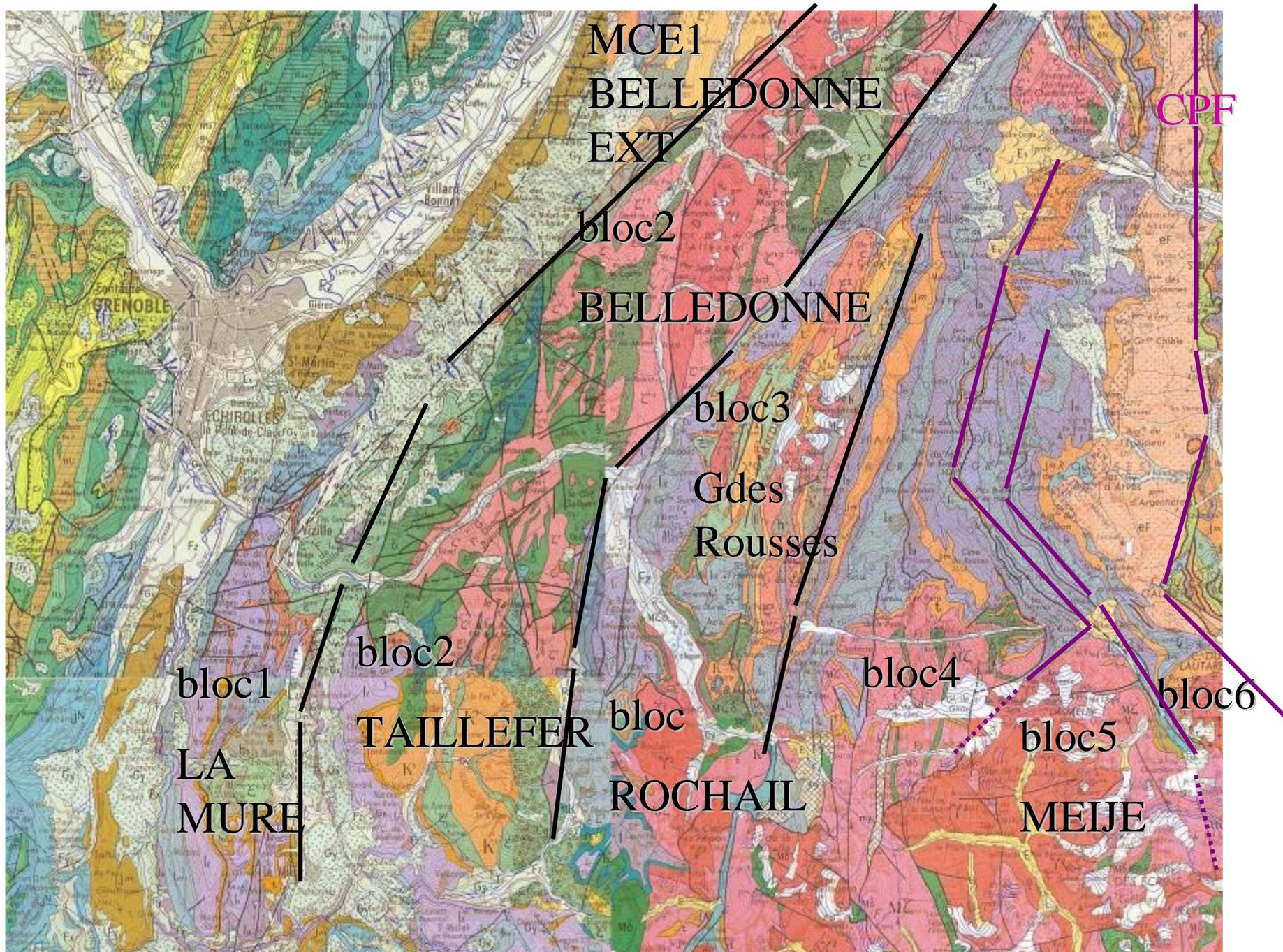
Bourg d'Oisans

Rochail

Un ancien bloc basculé

Des blocs basculés dans les Alpes





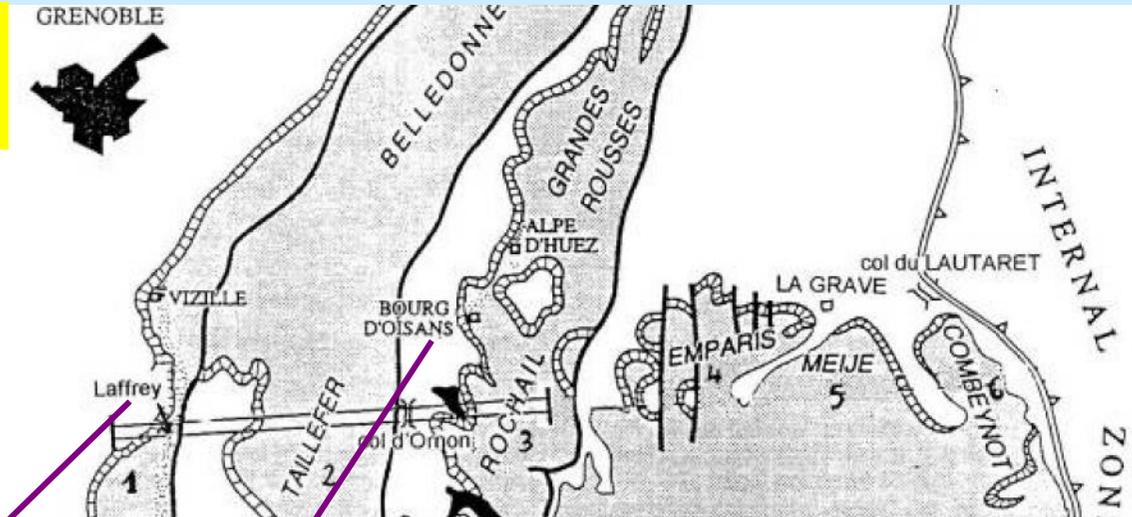
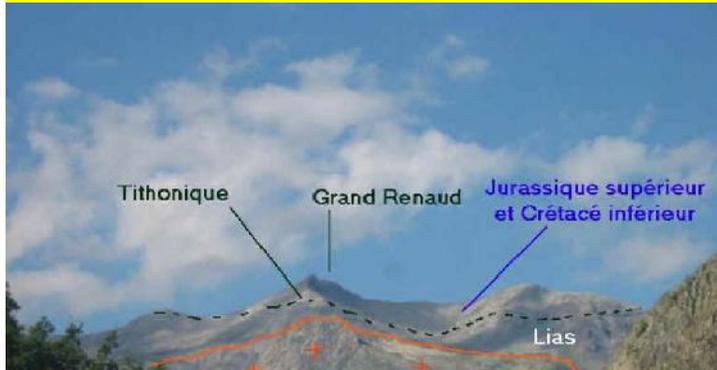
Des blocs basculés dans les Alpes

**failles normales datées de -190 Ma.
séparant des blocs basculés**

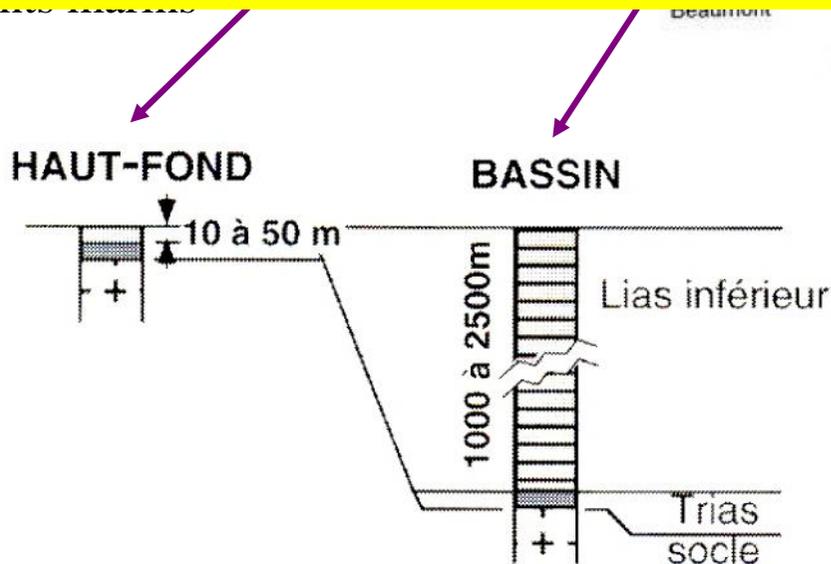
**zone alpine soumise à une distension
crustale.**

Des différences importantes de séries sédimentaires

**sédiments marins
minces aux sommets des blocs**



variations d'épaisseur lors de la formation de l'océan alpin, cette région marge passive.



sédiments marins épais dans les creux des blocs



Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

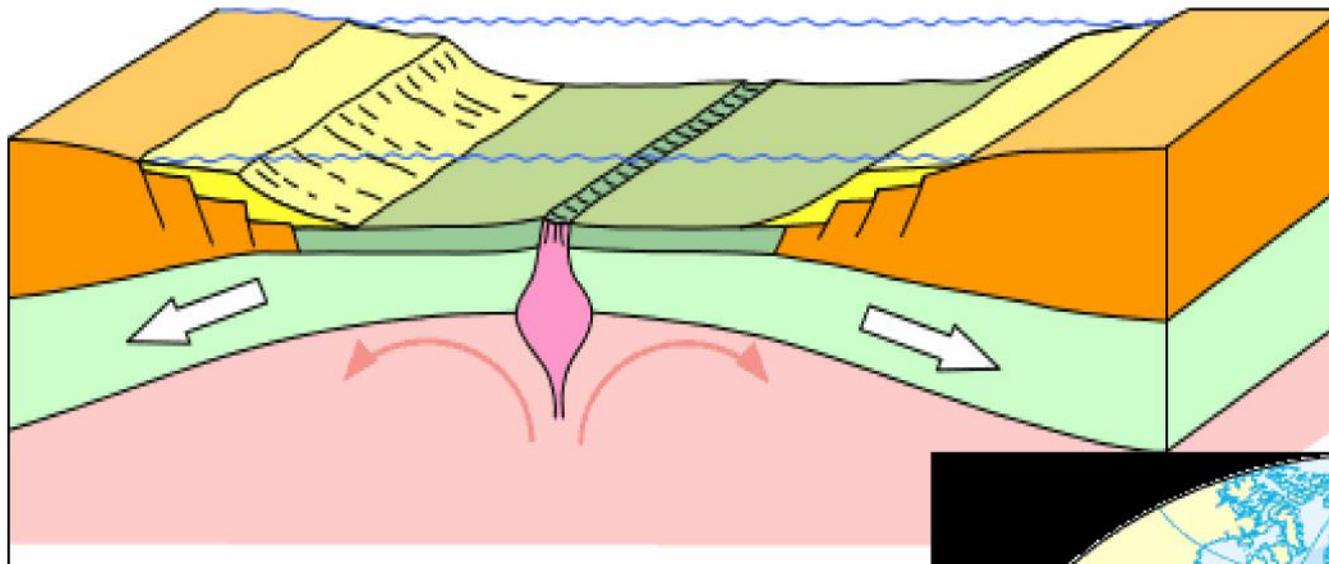
B. Les traces d'une marge passive retrouvés dans les Alpes.

II. 2ème étape : L'expansion océanique.

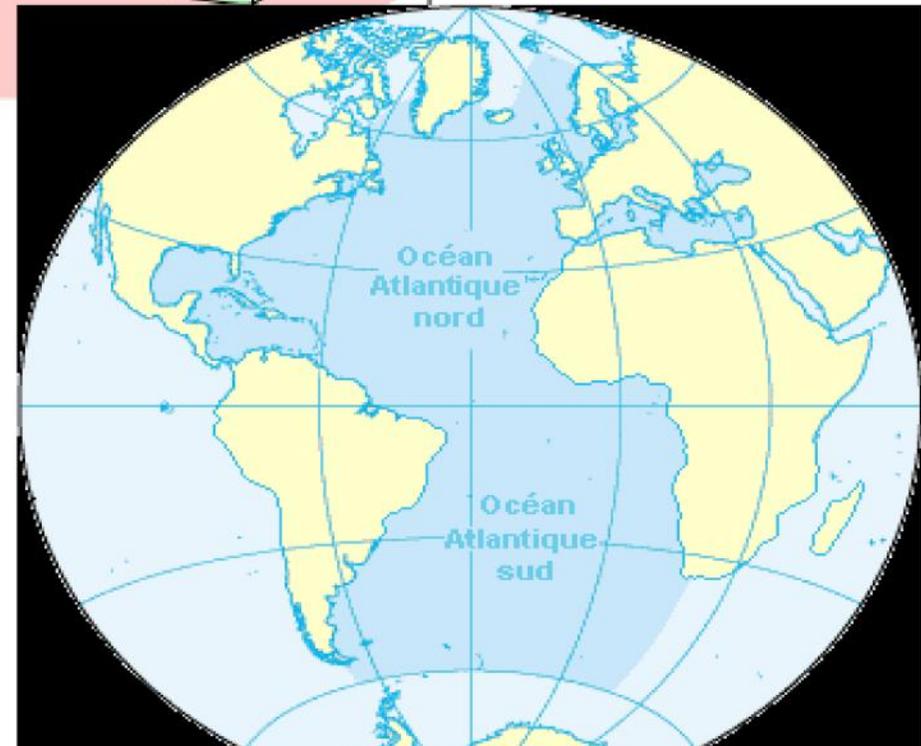
A. Les caractéristiques d'un domaine océanique.



Océan de type Atlantique



Océan
Atlantique



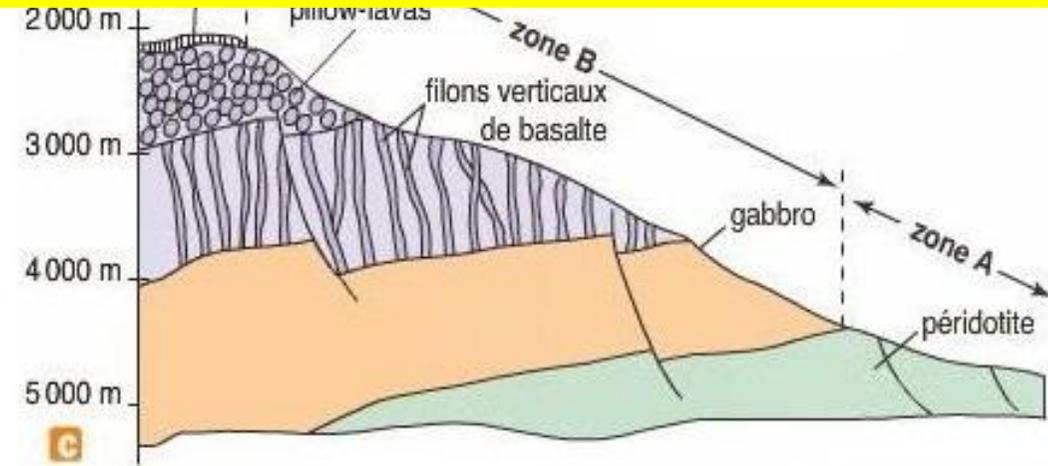
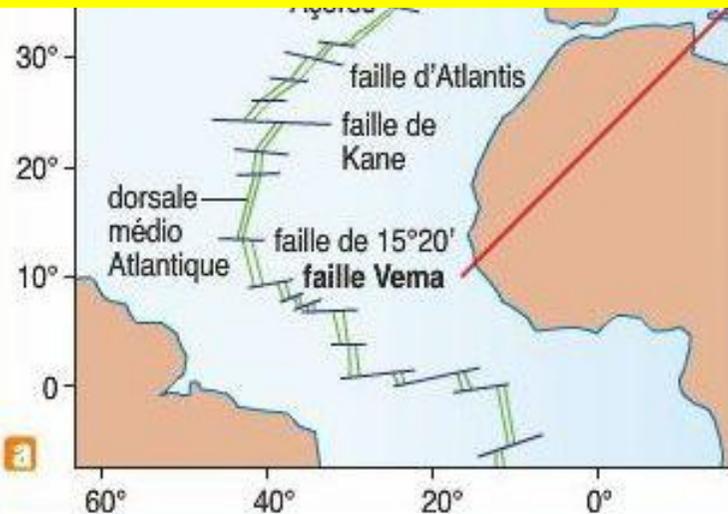
Stade océan

Les roches de la lithosphère océanique

En 1988, le submersible Nautilus explore une faille transformante : la faille Vema (a). En décalant deux blocs de dorsale (b), cette faille permet l'observation directe d'une « tranche » de lithosphère océanique (c).



La lithosphère océanique se forme au niveau des dorsales



Les roches de la lithosphère océanique

Basaltes en pillow-lavas



Basaltes en filons

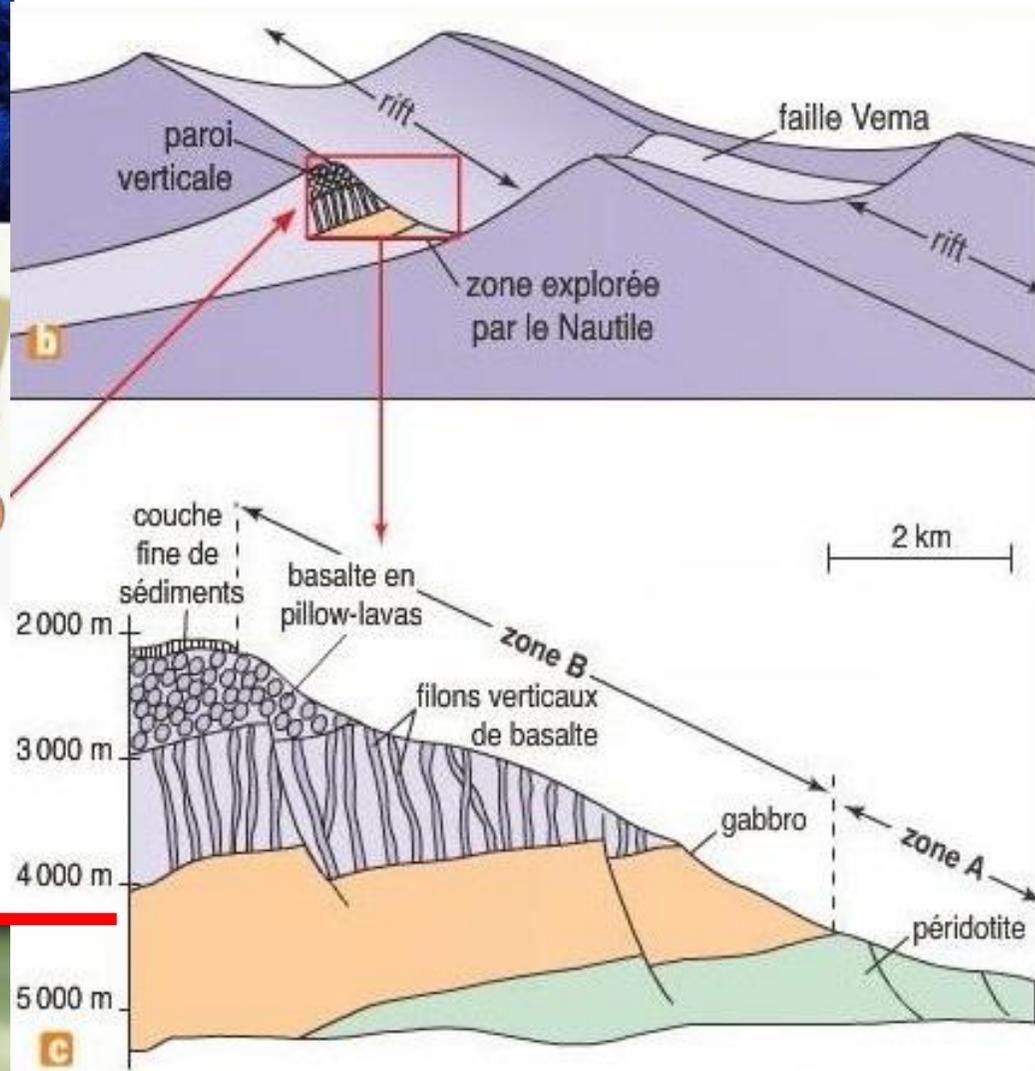


gabbros

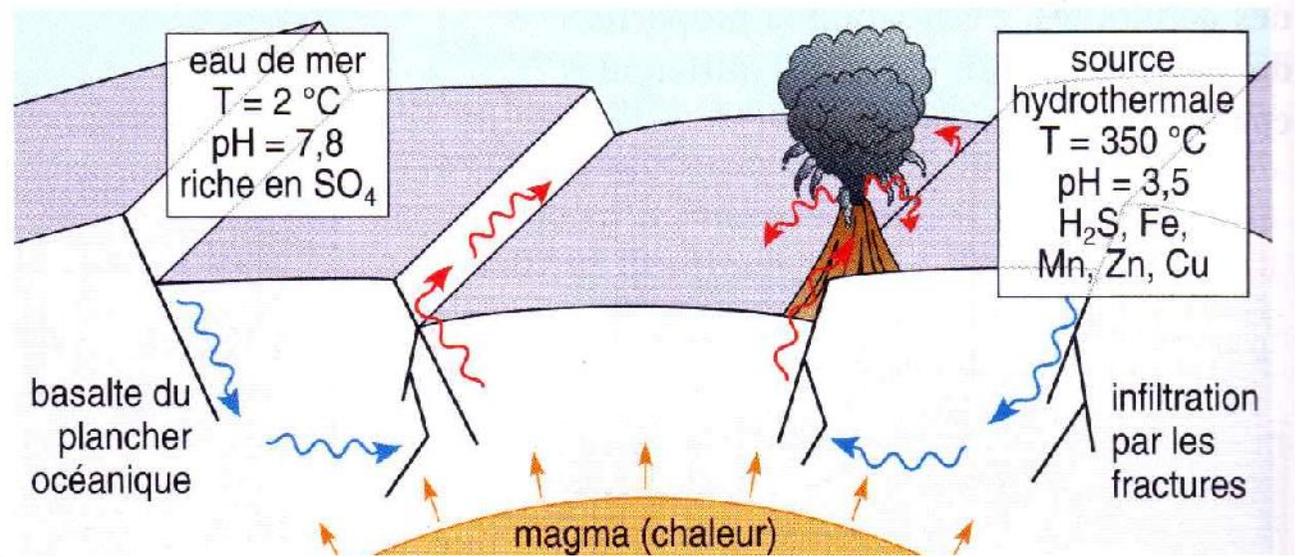
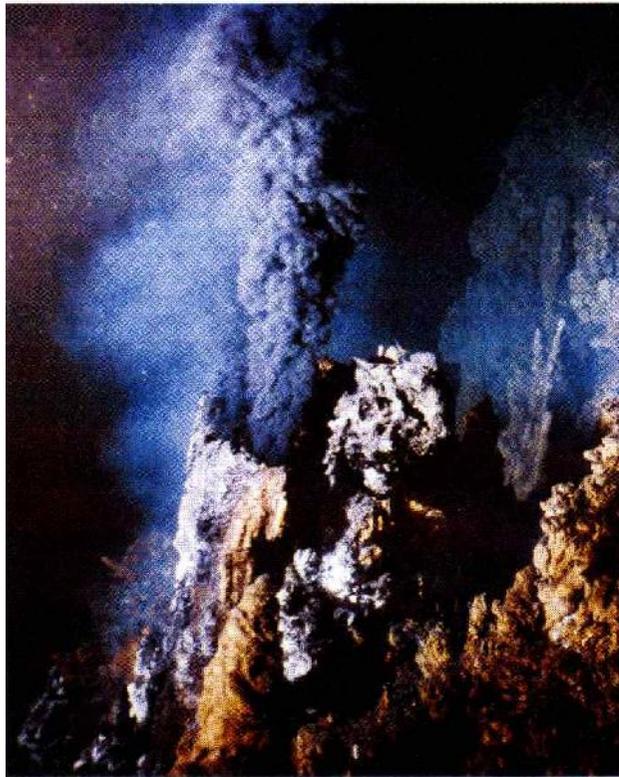


MOHO

Péridotites lithosphériques



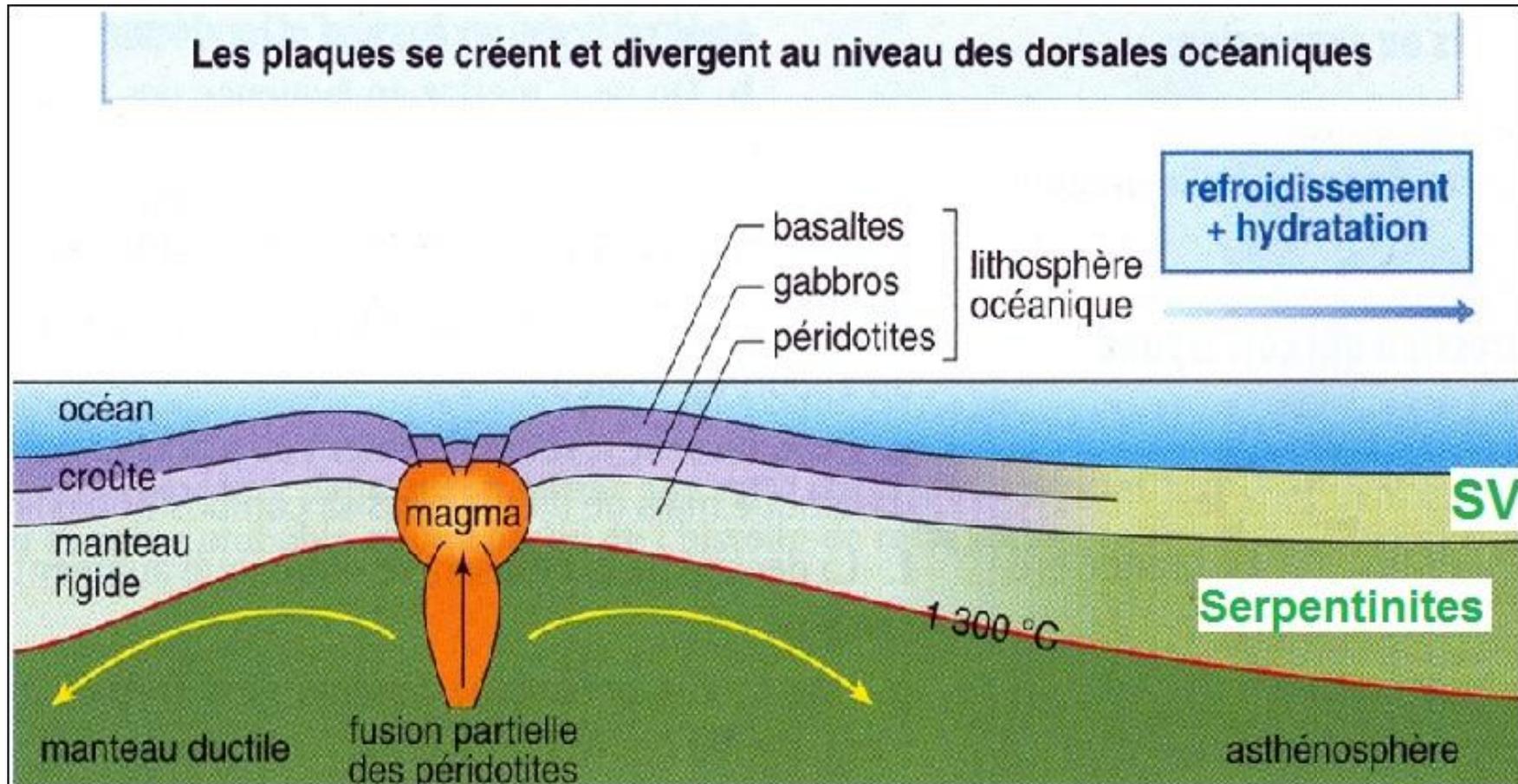
La circulation hydrothermale



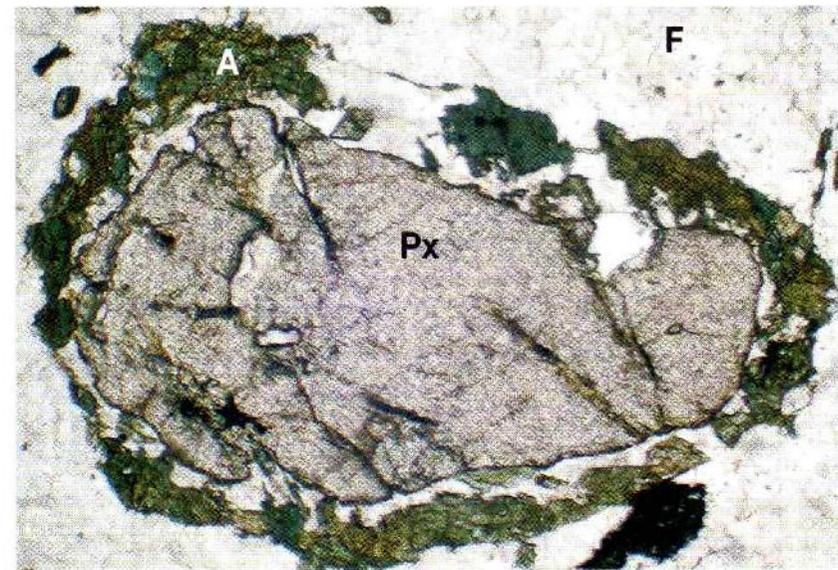
Circulation d'eau de mer au sein de la lithosphère océanique

transformations minéralogiques

Les roches de la lithosphère océanique



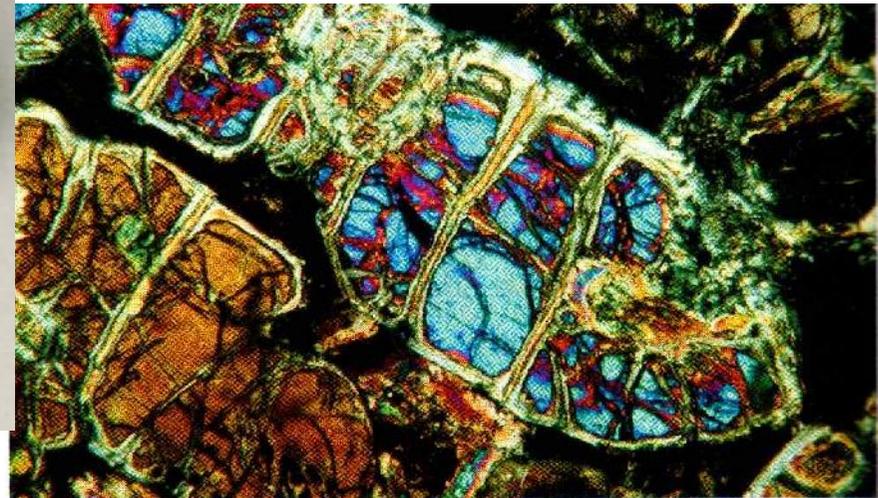
Métagabbro de faciès schiste vert (à hornblende)



a. Lame mince de gabbro âgé et altéré.

Px = pyroxène. F = feldspaths. A = amphiboles hornblende et actinote.

Serpentinite (péridotite altérée)



b. Lame mince de péridotite âgée et altérée.

La partie mantellique de la lithosphère océanique est elle aussi altérée par les circulations hydrothermales : l'olivine est transformée peu à peu en serpentine.

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

B. Les traces d'une marge passive retrouvés dans les Alpes.

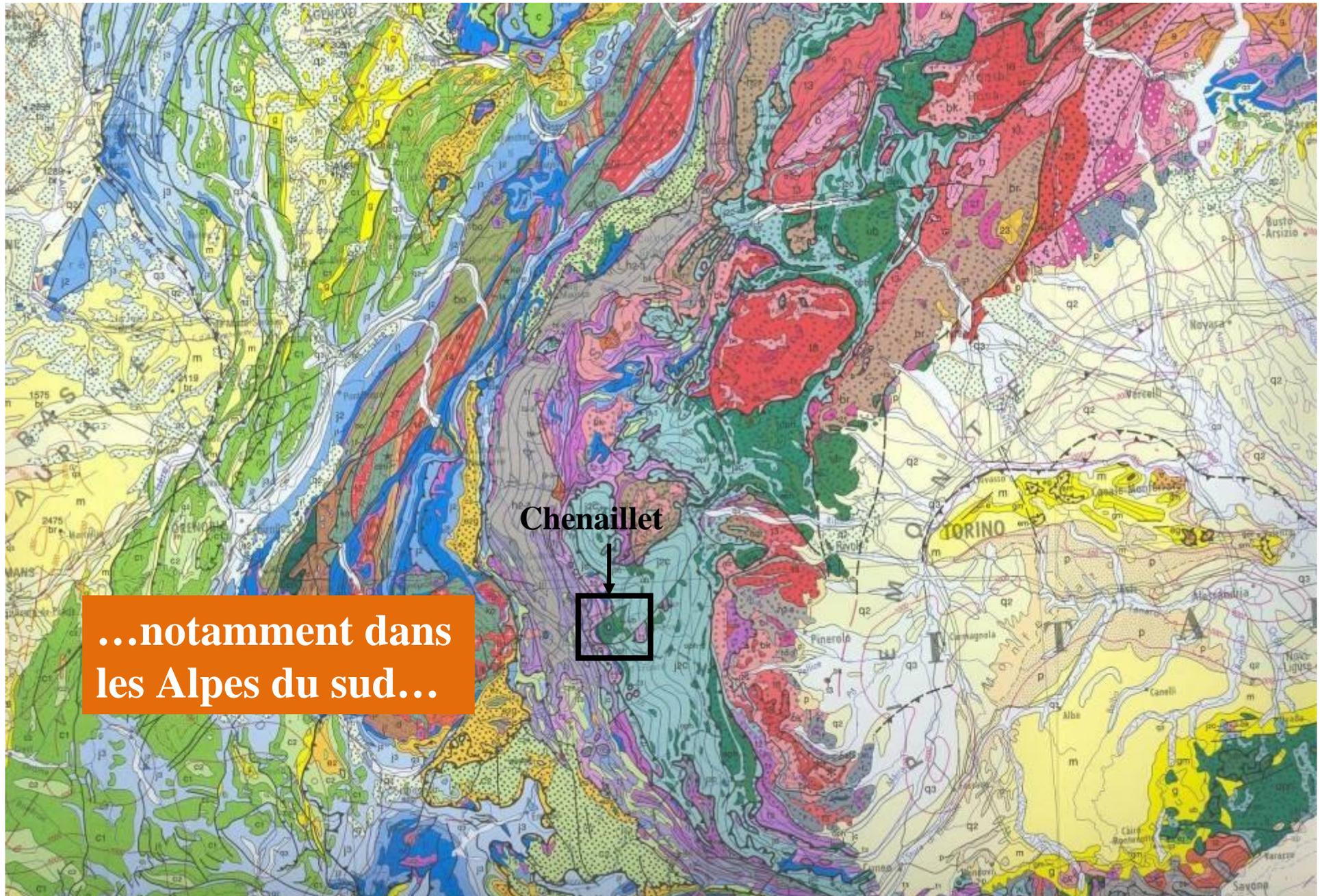
II. 2ème étape : L'expansion océanique.

A. Les caractéristiques d'un domaine océanique.



B. Les traces d'un océan ancien retrouvées dans les Alpes.

Des traces de l'océan perdu...

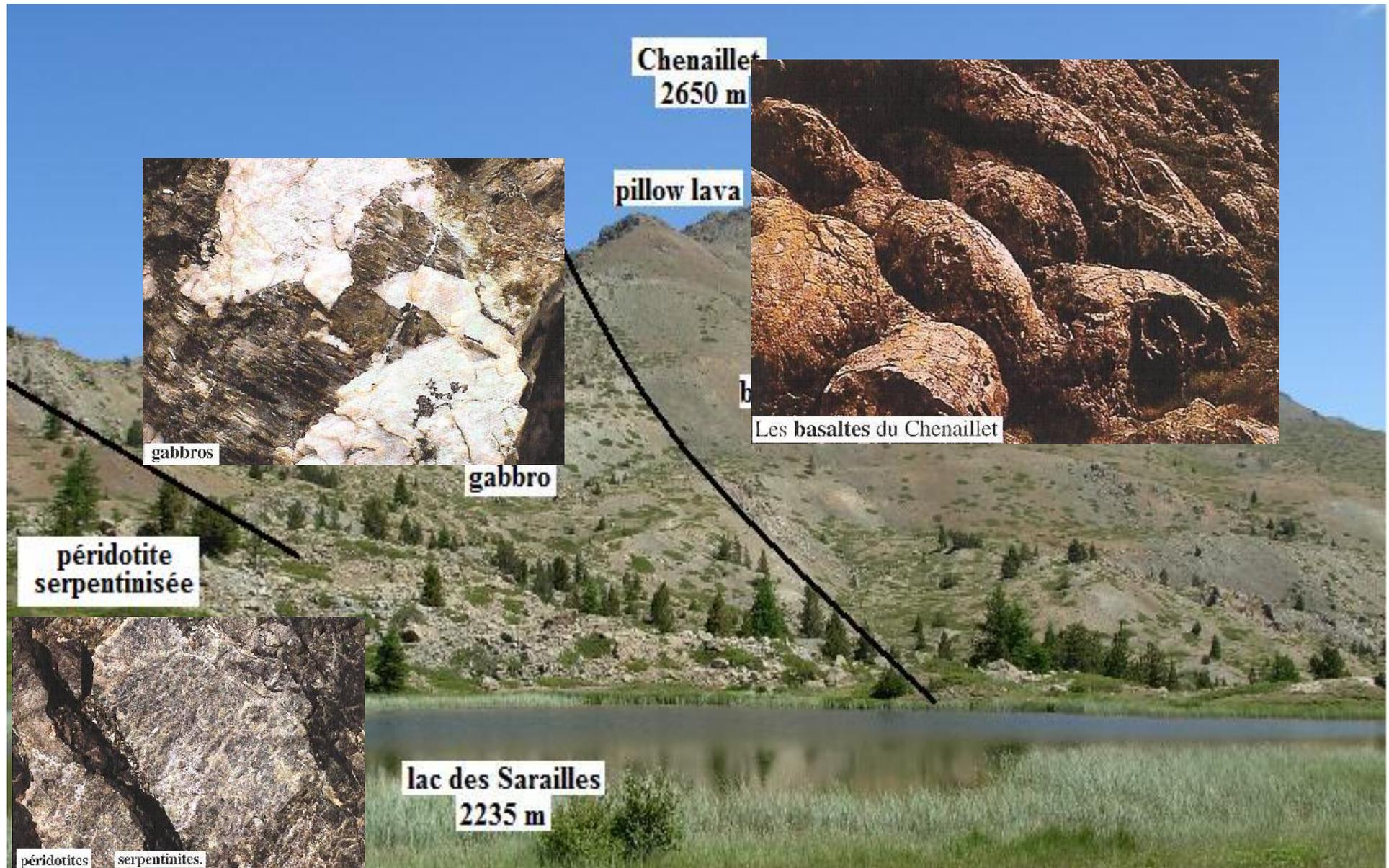


Des pillow-lavas au sommet du massif du Chenaillet !!



Sommet du massif de chenaillet

Le Chenaillet : un lambeau de lithosphère océanique dans les Alpes



formations rocheuses appelées **ophiolites** (-150 et -80 Ma)

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

B. Les traces d'une marge passive retrouvés dans les Alpes.

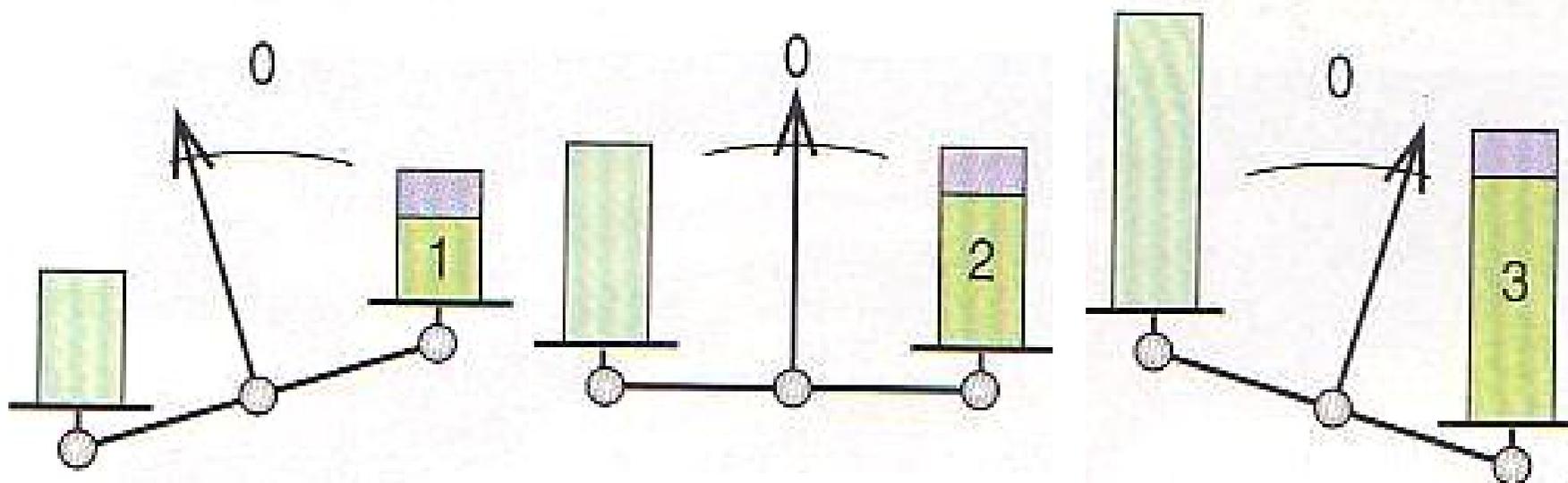
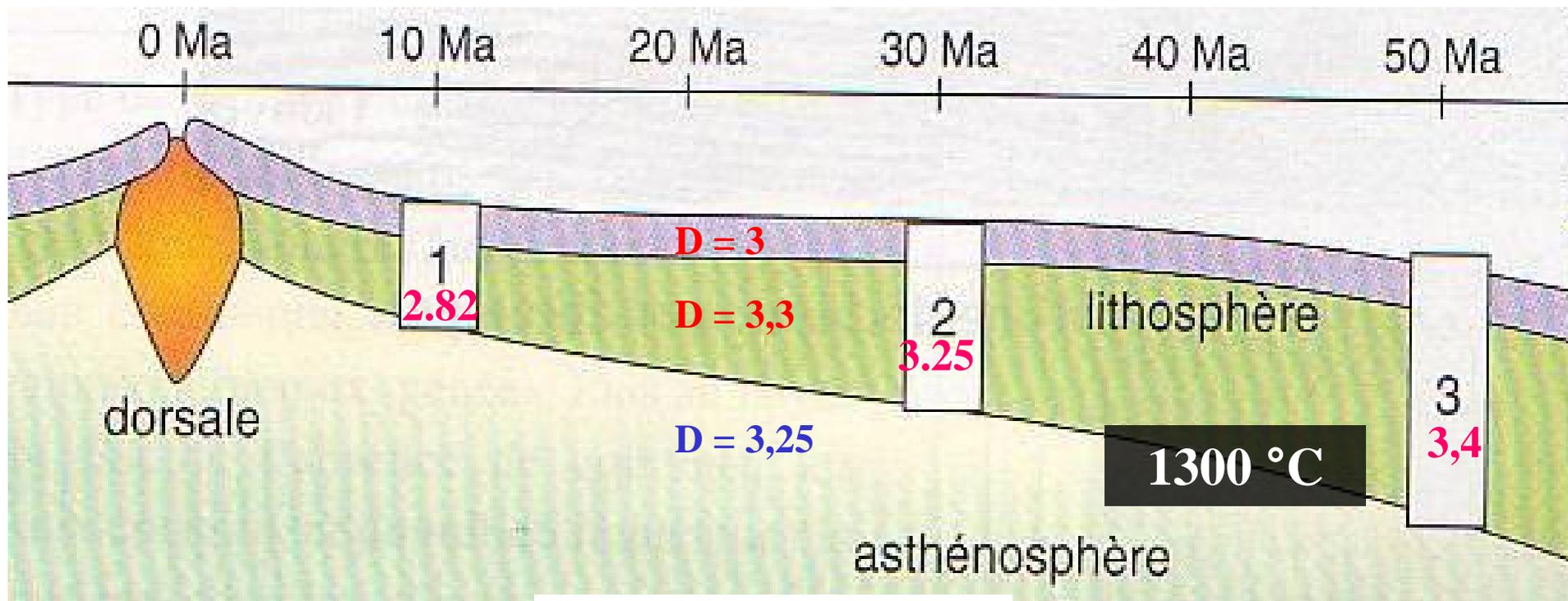
II. 2ème étape : L'expansion océanique.

A. Les caractéristiques d'un domaine océanique.

B. Les traces d'un océan ancien retrouvées dans les Alpes.

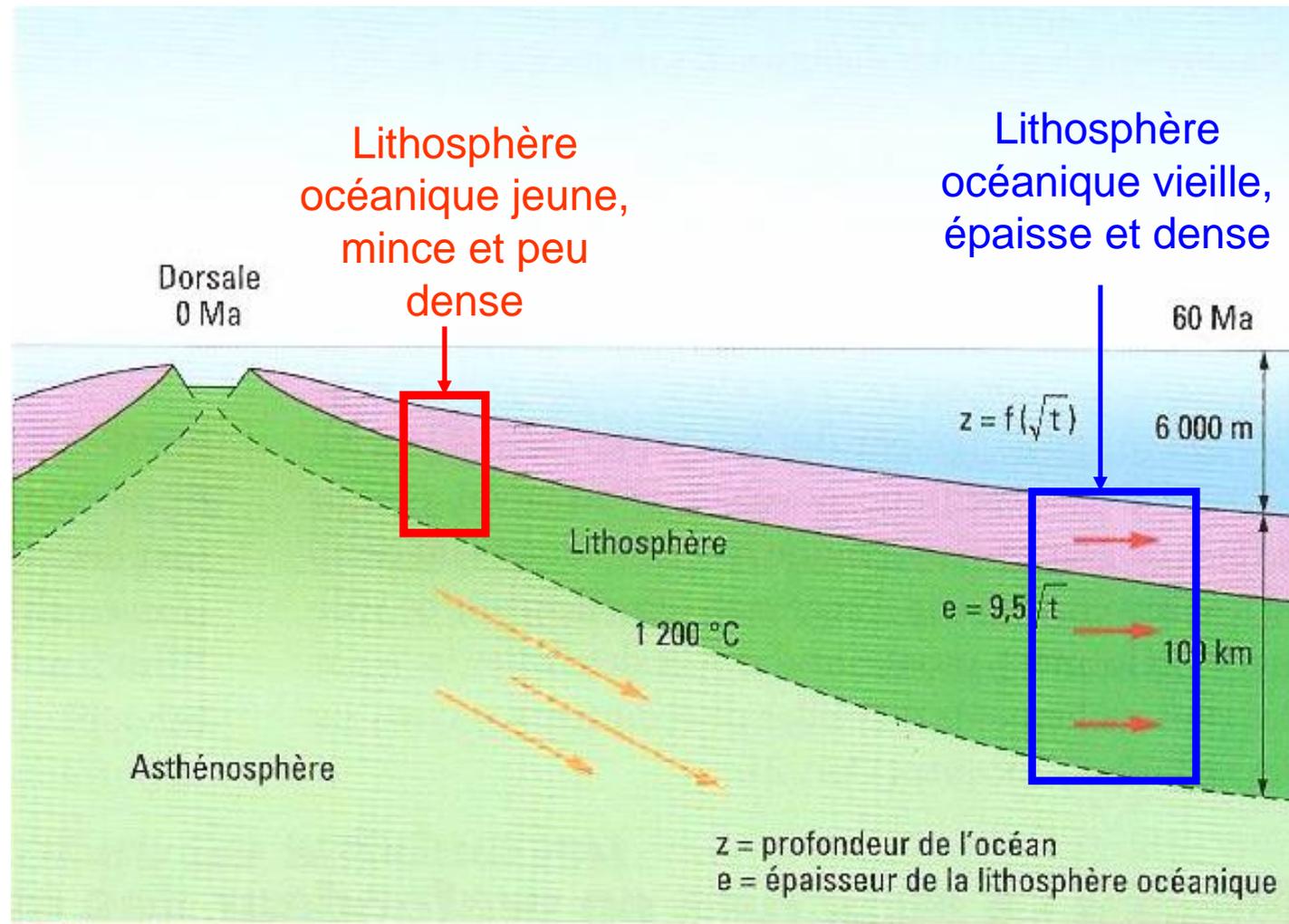
III. 3ème étape : La subduction.

A. Principale cause de la subduction.

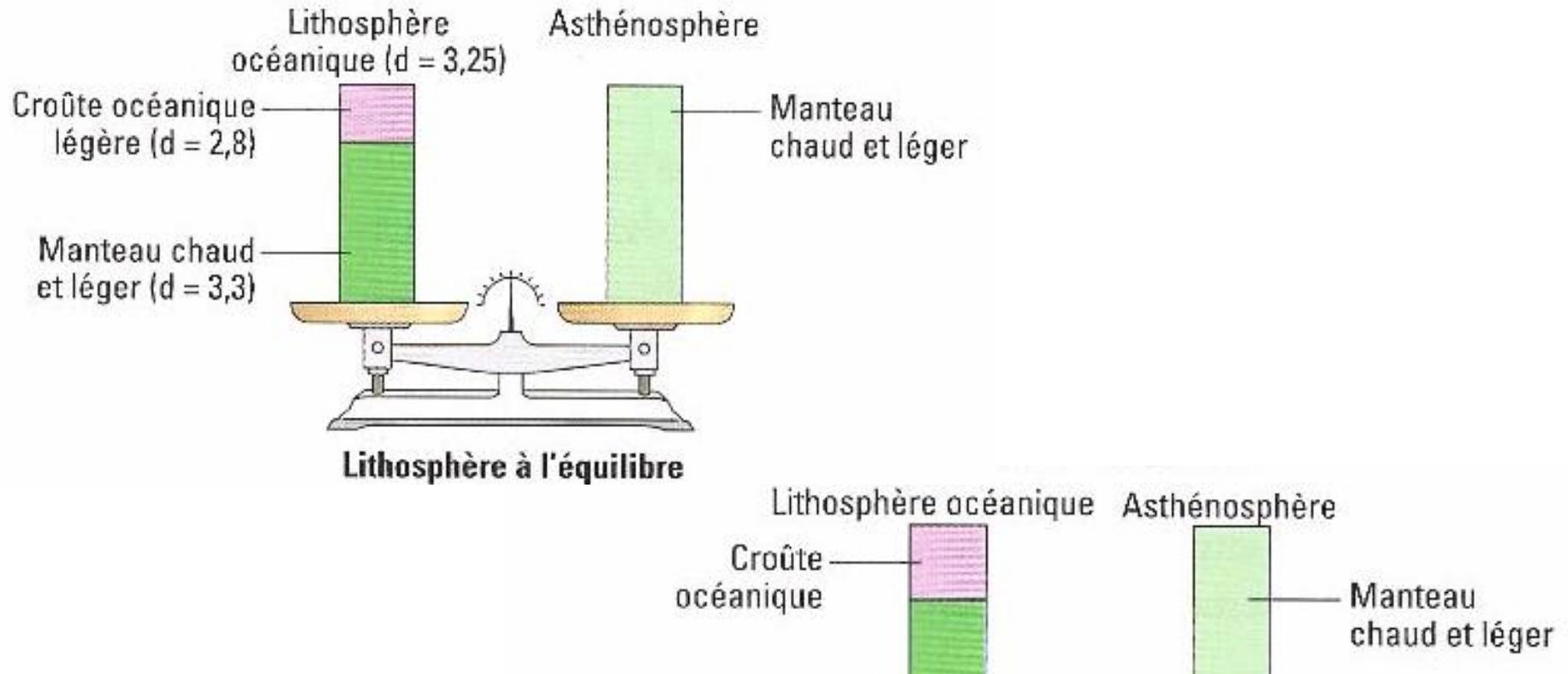


Vieillissement de la lithosphère océanique

Vieillissement de la lithosphère océanique



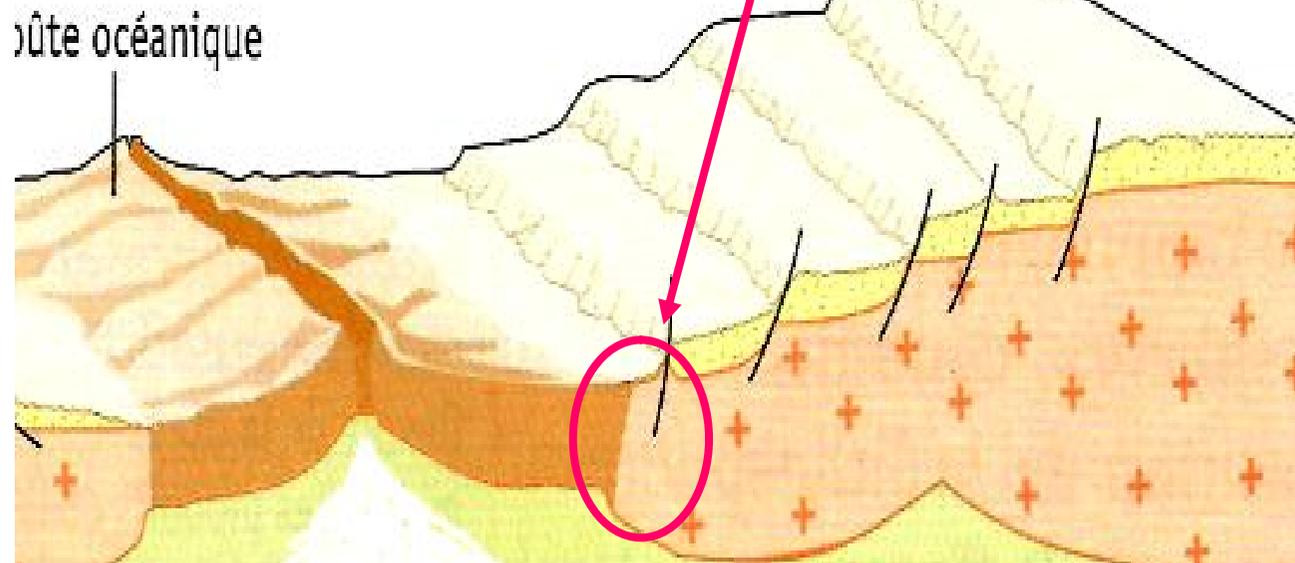
Vieillessement de la lithosphère océanique : début de la subduction



vieillessement de la lithosphère océanique

principal moteur de la subduction.

**Dans un premier temps la lithosphère océanique reste en surface
soutenue par la lithosphère voisine**



mouvements tectoniques globaux

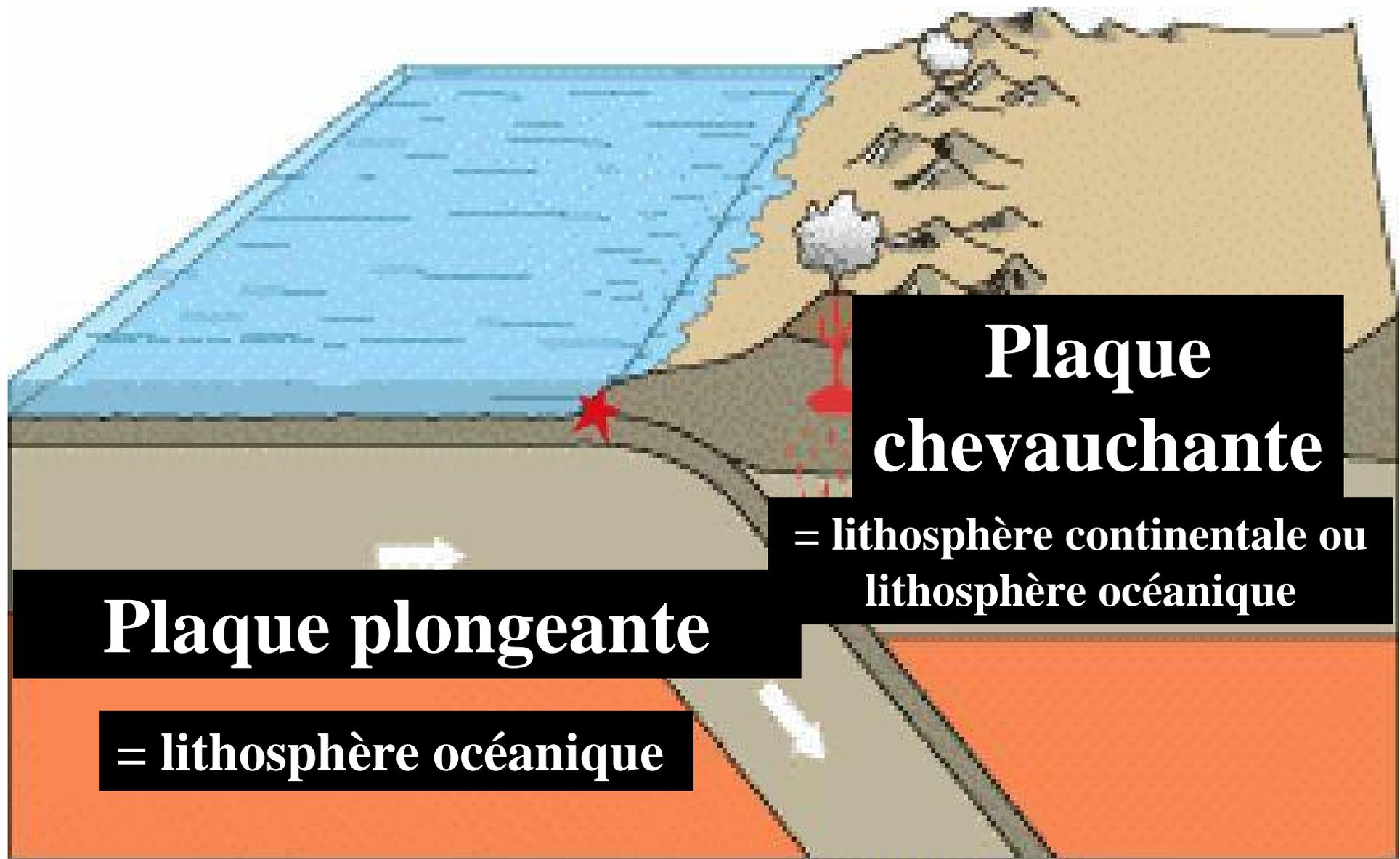
la lithosphère océanique sombre dans l'asthénosphère

début de la subduction.

vieillissement de la lithosphère océanique

principal moteur de la subduction.

Vieillissement de la lithosphère océanique : début de la subduction



Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

B. Les traces d'une marge passive retrouvés dans les Alpes.

II. 2ème étape : L'expansion océanique.

A. Les caractéristiques d'un domaine océanique.

B. Les traces d'un océan ancien retrouvées dans les Alpes.

III. 3ème étape : La subduction.

A. Principale cause de la subduction.

B. Les transformations des roches de la lithosphère océanique lors de la subduction.

subduction

gabbros océaniques

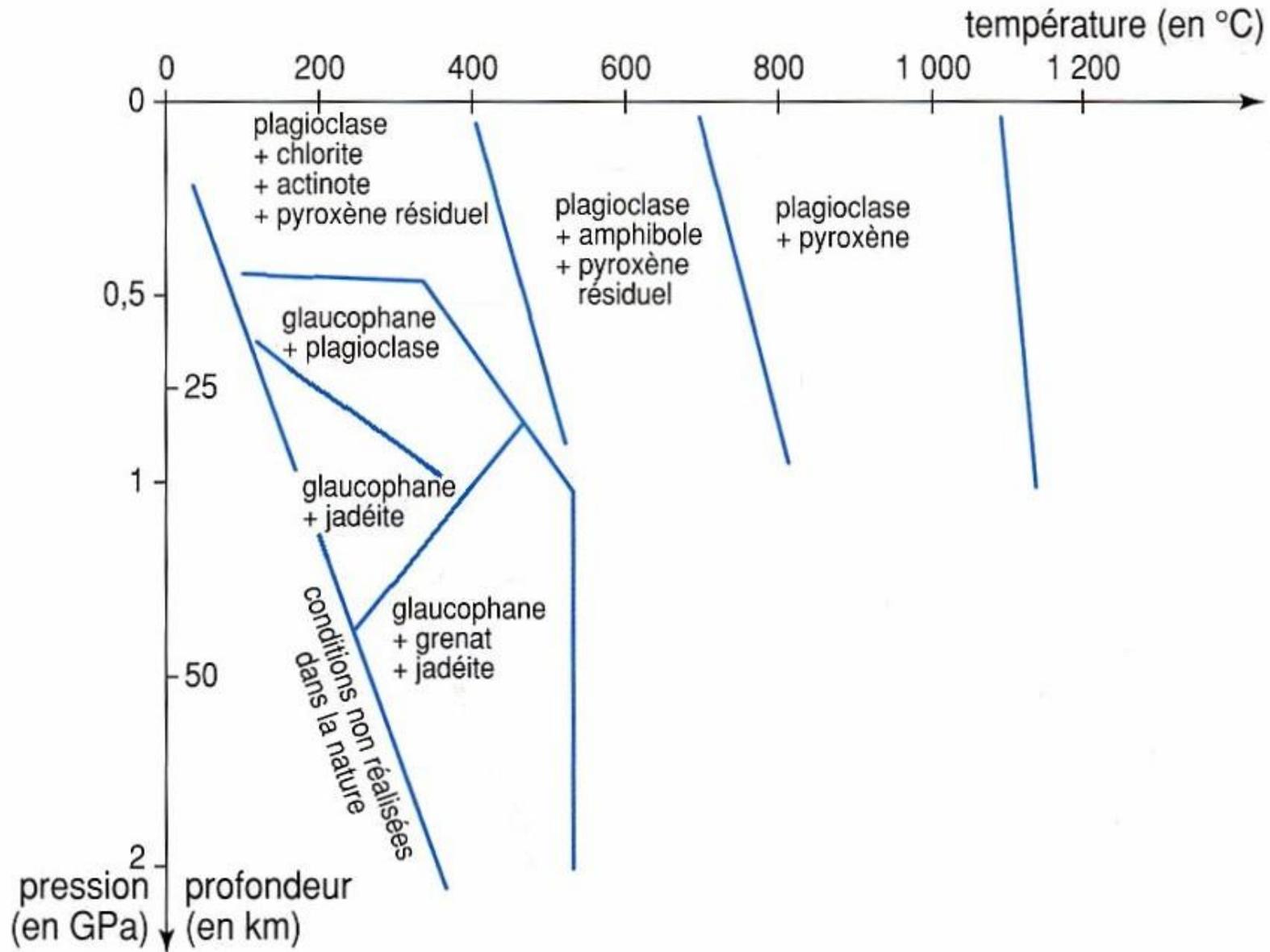
entraînés en profondeur

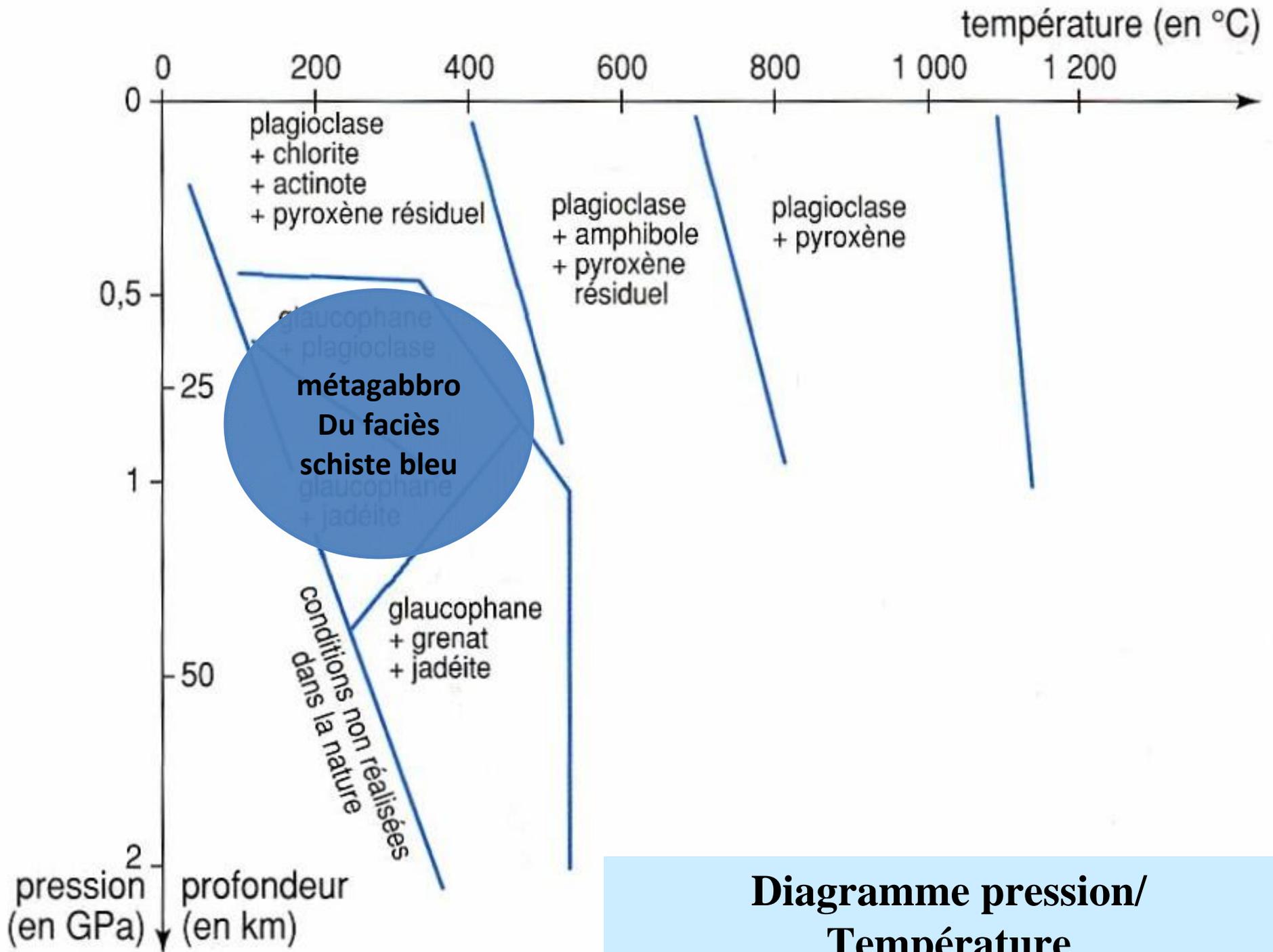
transformations métamorphiques
(augmentation de la pression)

les gabbros deviennent des métagabbros.

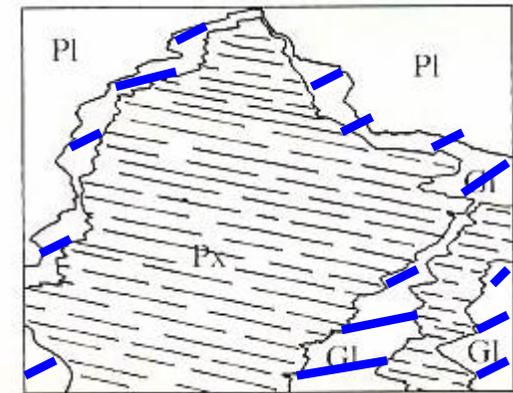
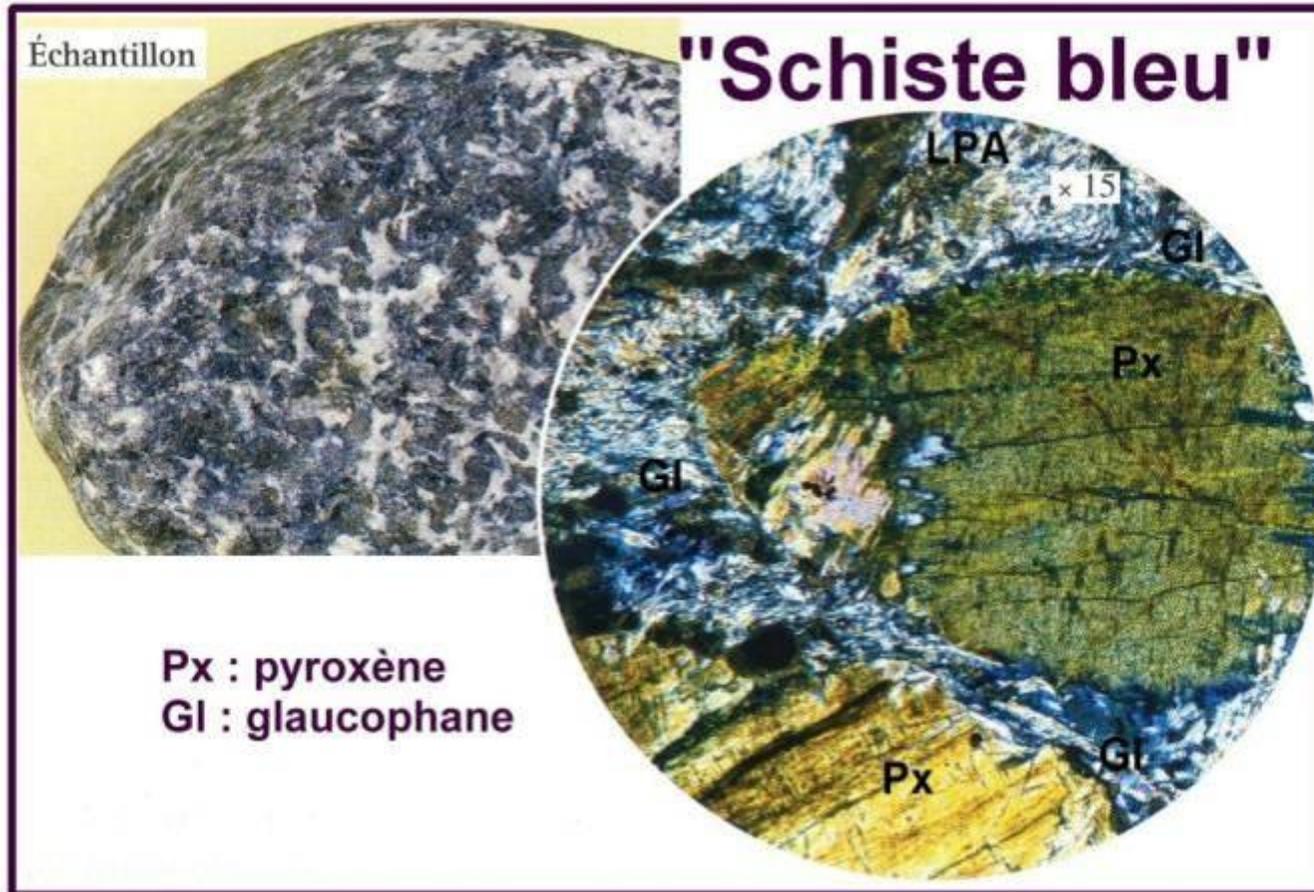
- En labo \Rightarrow minéraux \Rightarrow conditions croissantes de température et de pression
- On trace sur un diagramme les zones de P/T dans laquelle les structures des différents minéraux sont stables.
- Une **association particulière de minéraux caractérise un faciès** : domaine défini par un intervalle de pression et de température précis.

Diagramme pression/ Température





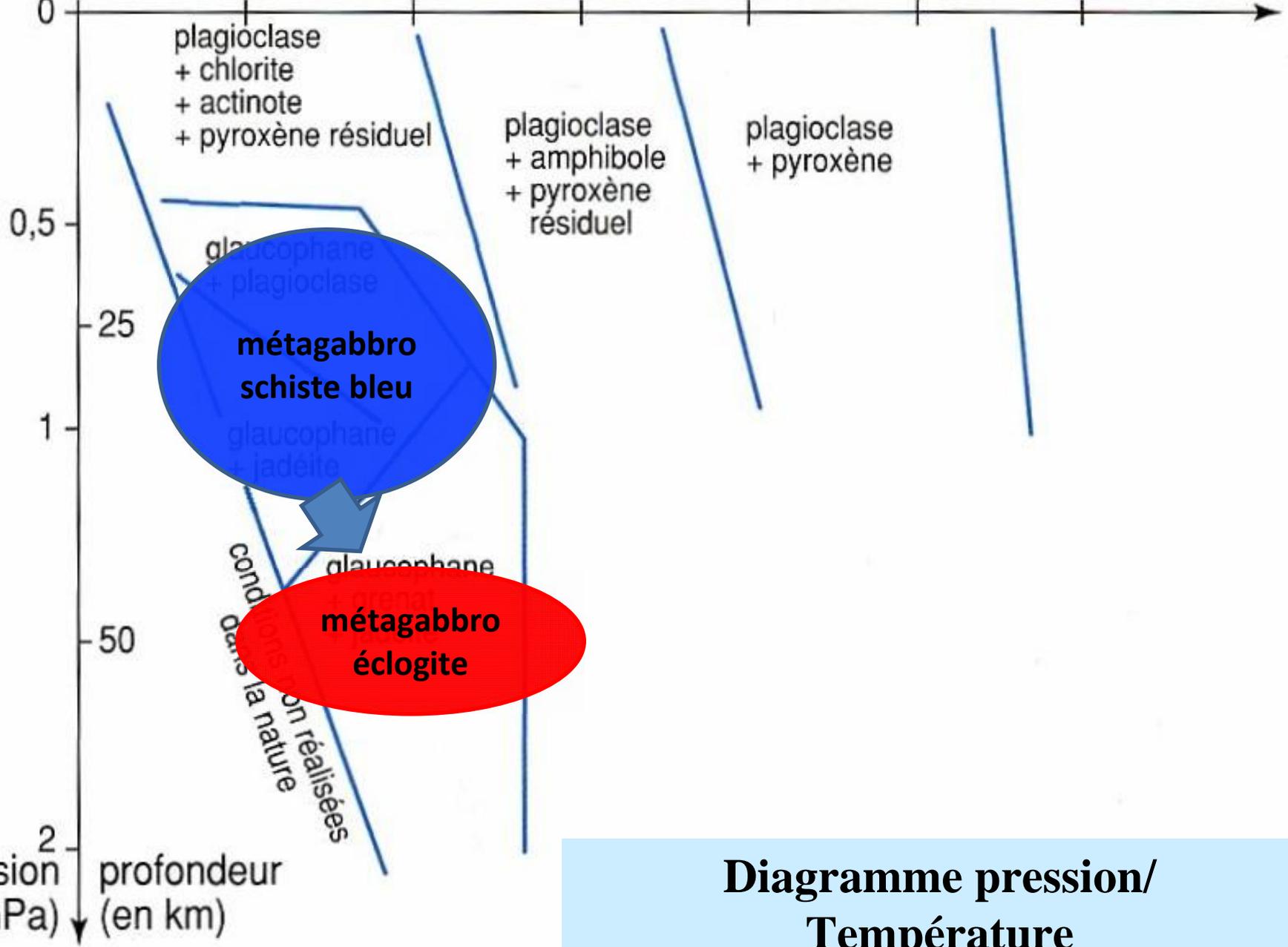
Métagabbro du faciès des schiste bleus



Plagioclase + Chlorite + Actinote → Amphibole bleue (Glaucophane) + eau

température (en °C)

0 200 400 600 800 1 000 1 200

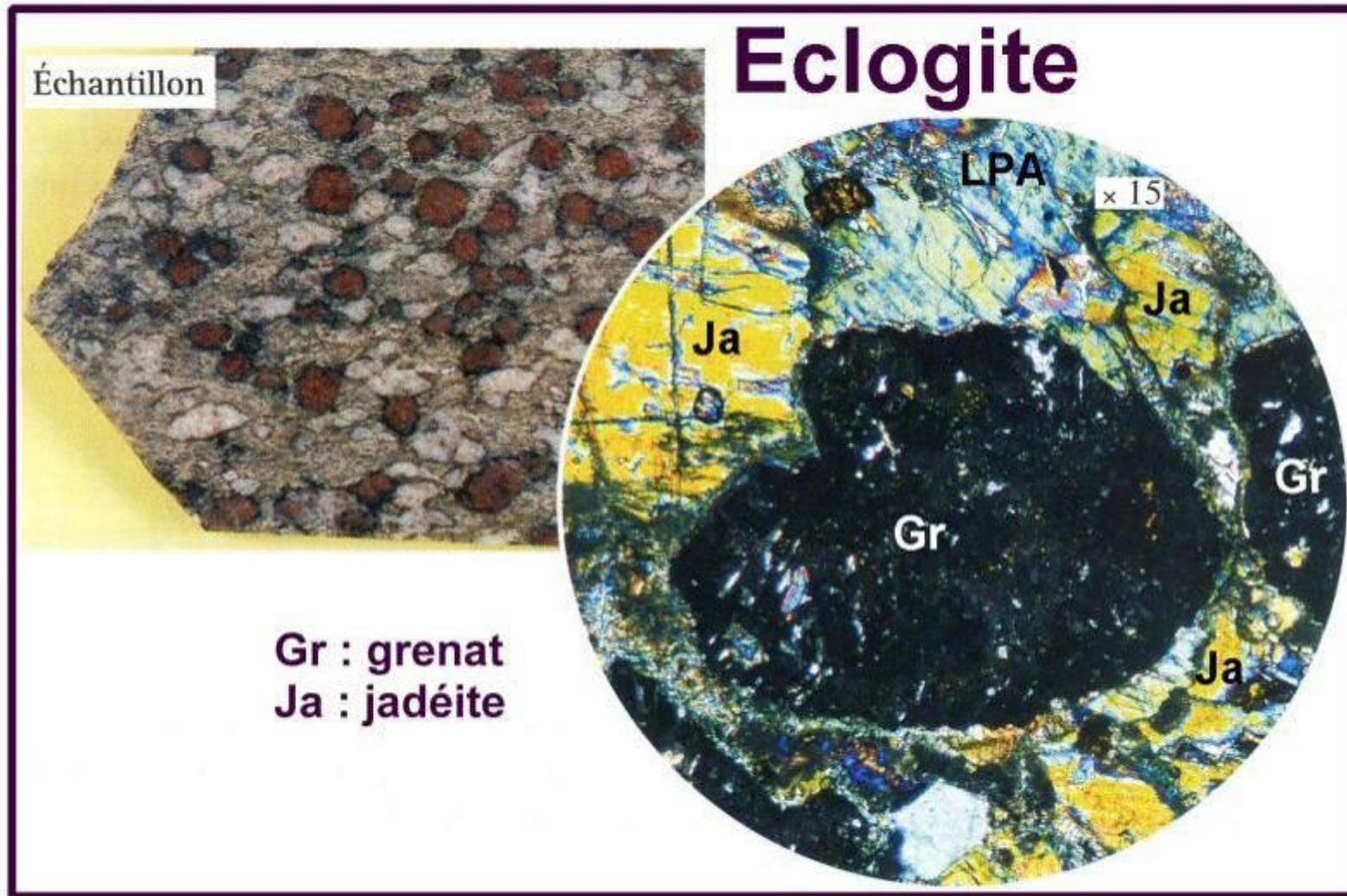


métagabbro schiste bleu

métagabbro éclogite

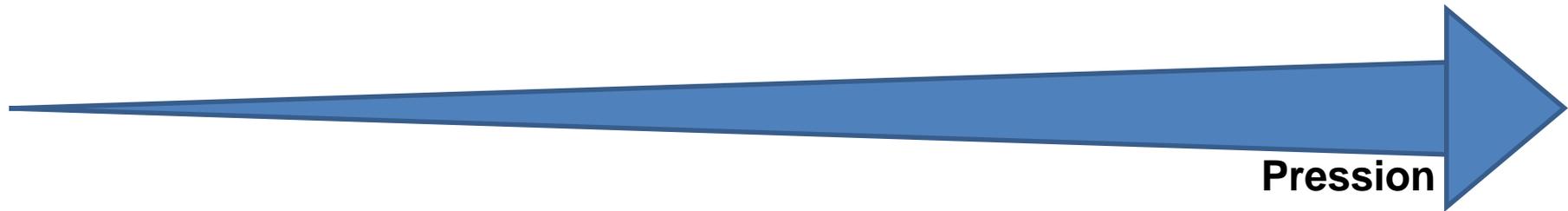
Diagramme pression/ Température

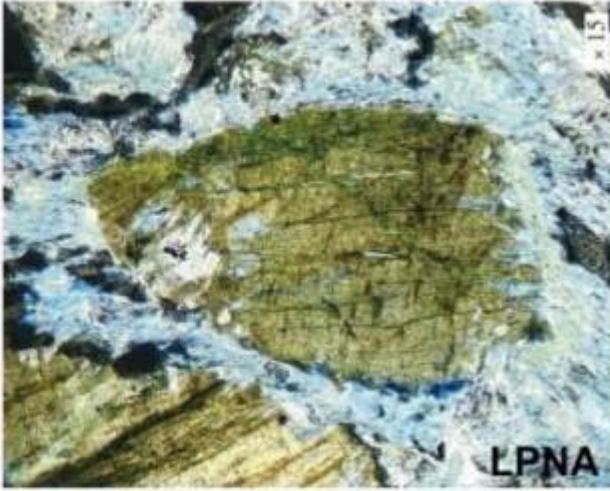
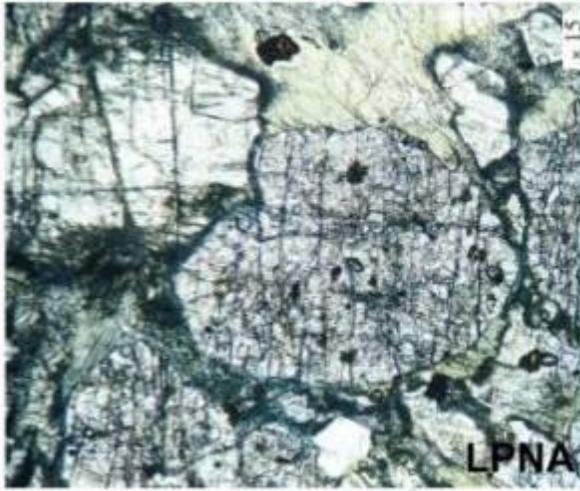
Métagabbro du faciès des éclogites



Plagioclase + Glaucophane → Grenat + Pyroxène vert (Jadéite) + eau

Les roches métamorphiques de la subduction

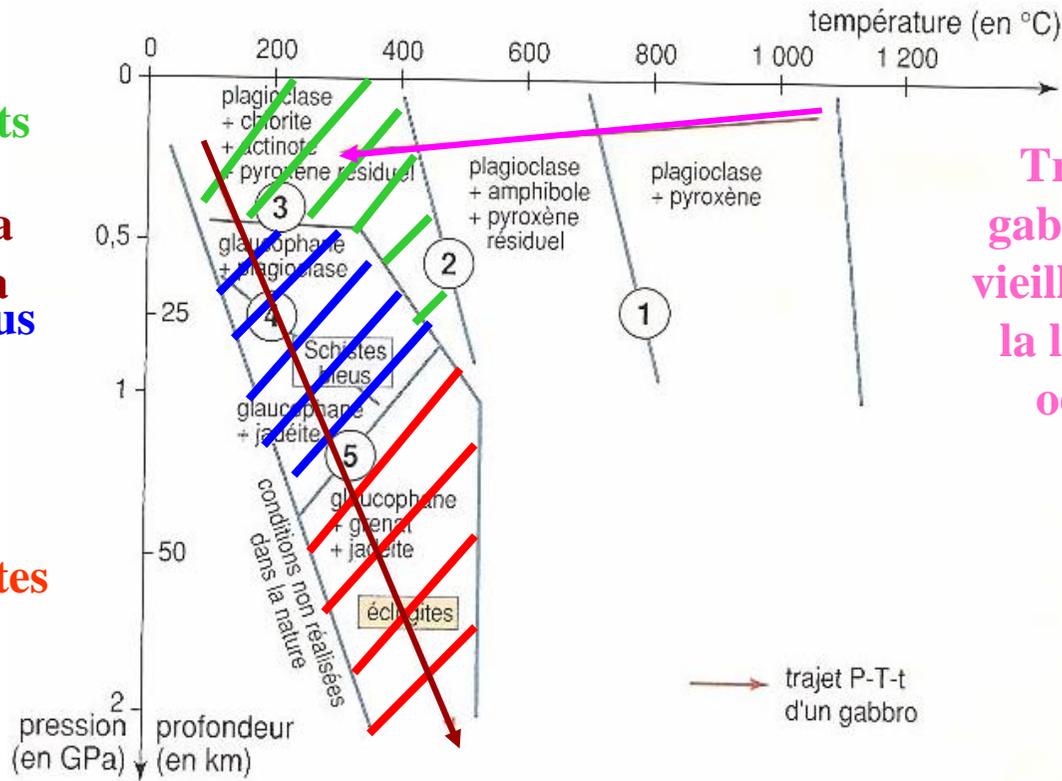


"Schiste bleu"	"Eclogite"
	
Métagabbro à Glaucophane	Métagabbro à Jadéite et Grenat

Schistes verts
Trajet d'un gabbro lors de la subduction de la lithosphère océanique

Schistes bleus

éclogites

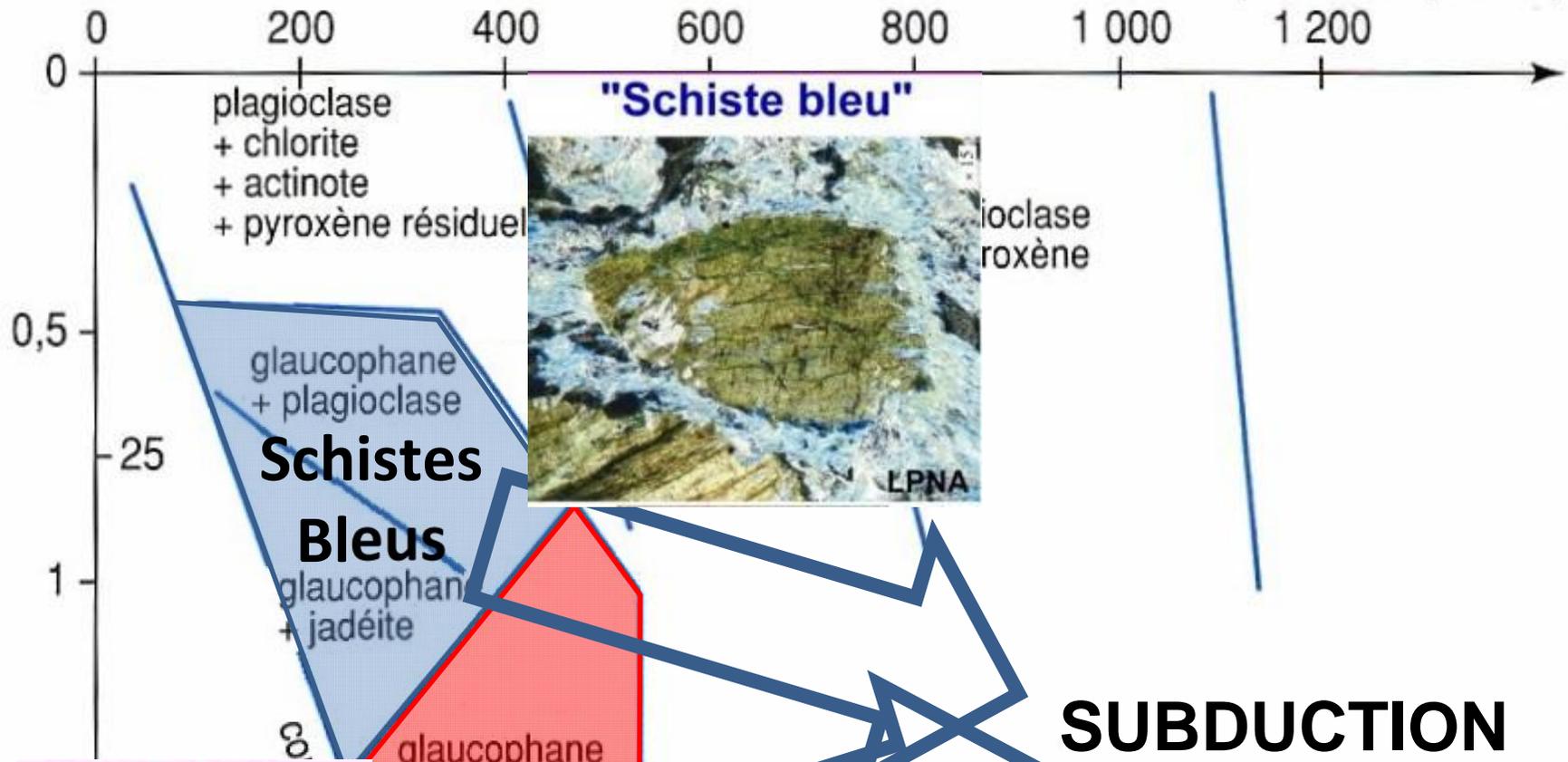


Trajet d'un gabbro lors du vieillissement de la lithosphère océanique

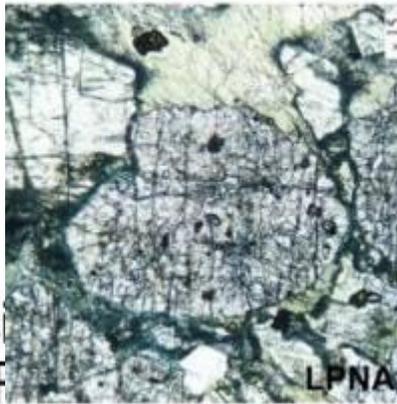
Trajet P/T d'un gabbro lors du vieillissement de la LO et lors de la subduction de la LO

Les faciès métamorphiques

température (en °C)



press
(en GF



LPNA

Augmentation de la densité des roches et entretien de la subduction

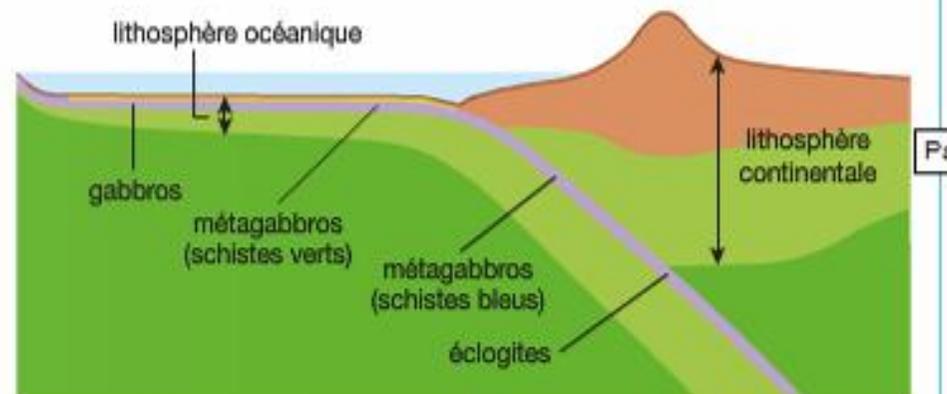
• Le contexte géodynamique

Lors de la subduction, l'augmentation de pression et de température produit des transformations minéralogiques dans les roches de la croûte océanique. Ainsi, les gabbros sont transformés en métagabbros puis en éclogites. Ces transformations s'accompagnent d'une modification de la densité des roches que l'on se propose d'évaluer expérimentalement.

■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL



En utilisant le protocole décrit page 147 (*document 3*), déterminer la densité d'un schiste bleu (métagabbro à glaucophane) et d'une éclogite. On rappelle que la densité s'exprime par la même valeur que la masse volumique, mais sans unité puisqu'il s'agit d'un rapport de deux masses volumiques.



■ RÉSULTATS

Roches	Densité
Gabbro	2,9 à 3,1
Métagabbro (schistes verts)	3,2
Métagabbro (schistes bleus)	3.4
Éclogite	3.5

Doc. 4 Des modifications de la densité des roches au cours de la subduction.

Chapitre 2 : la formation d'une chaîne de montagnes

I. 1ère étape : La déchirure continentale.

A. Les caractéristiques d'une déchirure continentale.

B. Les traces d'une marge passive retrouvés dans les Alpes.

II. 2ème étape : L'expansion océanique.

A. Les caractéristiques d'un domaine océanique.

B. Les traces d'un océan ancien retrouvées dans les Alpes.

III. 3ème étape : La subduction.

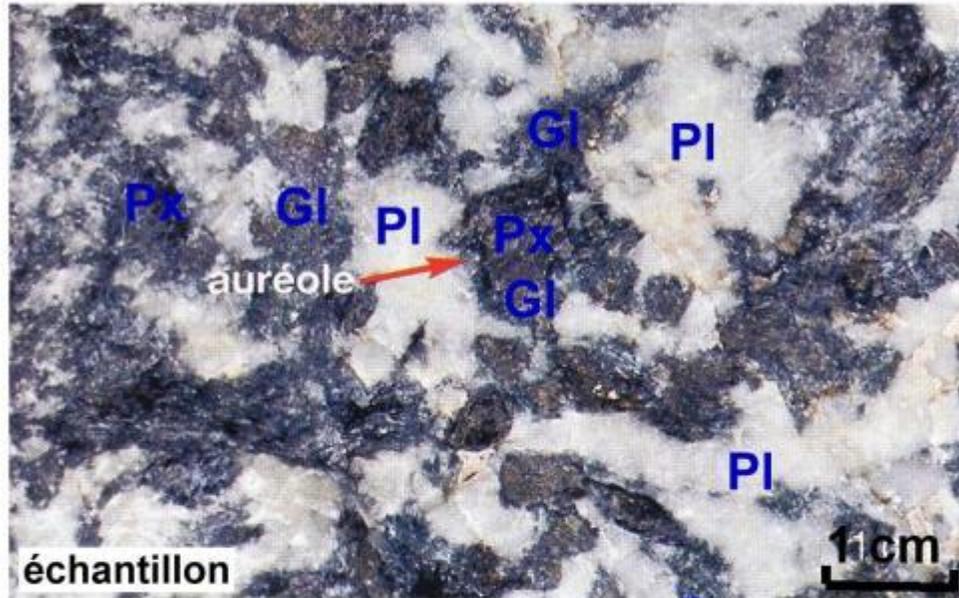
A. Principale cause de la subduction.

B. Les transformations des roches de la lithosphère océanique lors de la subduction.

C. Les traces d'une subduction ancienne dans les Alpes.

Les métamorphismes du Queyras et du Viso témoins de la subduction

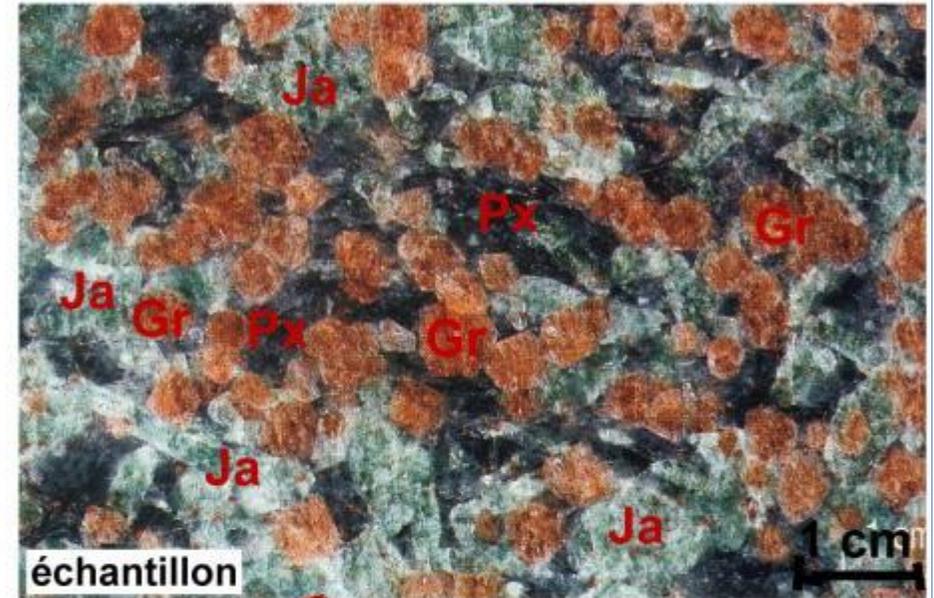
"Schiste bleu"



Métagabbro à glaucophane

Px = pyroxène
Gl = glaucophane
Pl = feldspath
plagioclase

"Eclogite"

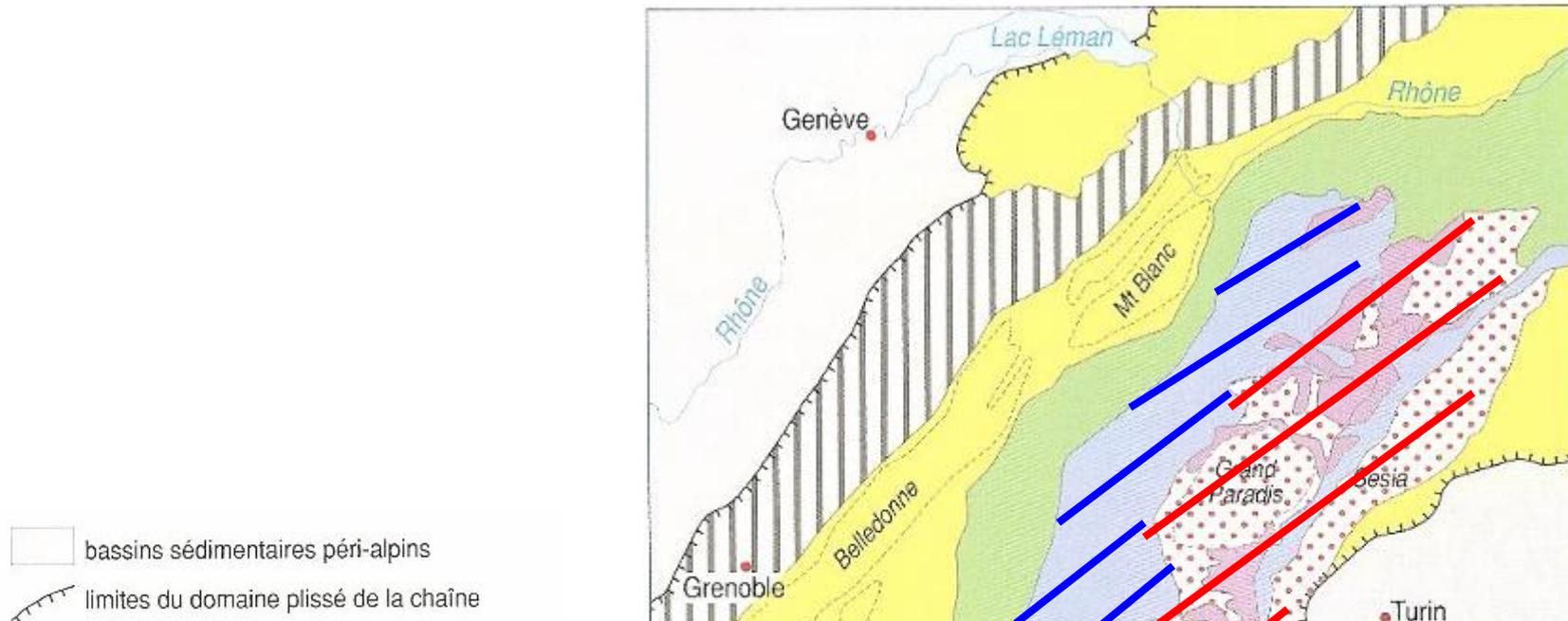


Métagabbro à jadéite et grenat

Gr = grenat
Ja = jadéite
(pyroxène vert)
Px = relique
de pyroxène



L'intensité du métamorphisme augmente d'ouest en est



Entre – 70 et -50 Ma, il s'est produit une subduction de la lithosphère océanique de la plaque européenne sous la lithosphère continentale de la plaque adriatique.

Crétacé supérieur

 faciès d'ultra haute pression



Thème : Les continents et leur dynamique.

Chapitre 2. La formation d'une chaîne de montagnes.

I. 1^{ère} étape : la déchirure continentale.

II. 2^{ème} étape : l'expansion océanique.

III. 3^{ème} étape : La subduction.

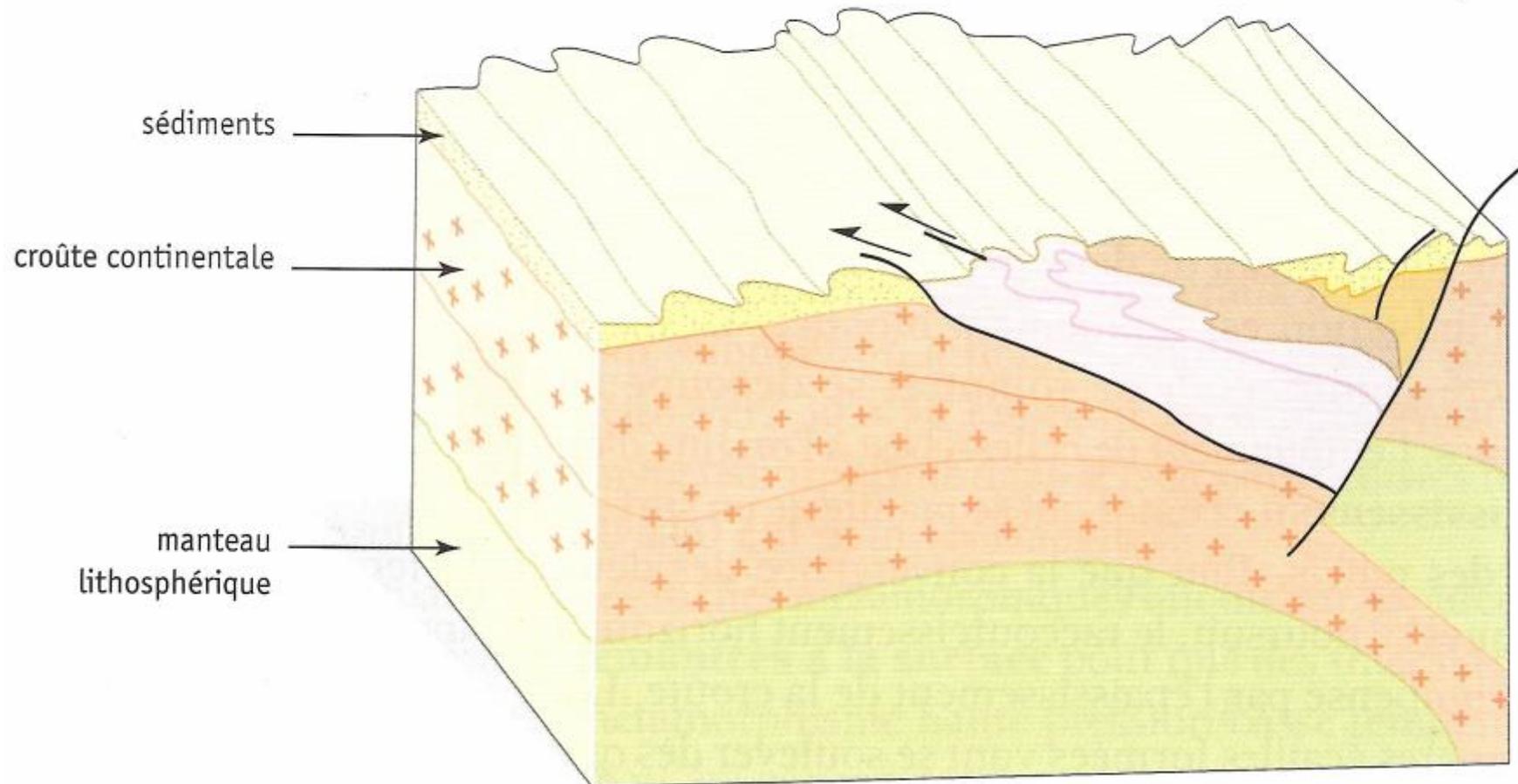
A. Principale cause de la subduction.

B. Les transformations des roches de la lithosphère océanique lors de la subduction.

C. Les témoins d'une subduction retrouvés dans les Alpes.

IV. 4^{ème} étape : Collision et subduction continentale.

Collision des 2 lithosphères continentales qui bordaient l'océan



Les roches \ominus soumises à des contraintes compressives.

Thème : Les continents et leur dynamique.

Chapitre 2. La formation d'une chaîne de montagnes.

I. 1^{ère} étape : la déchirure continentale.

II. 2^{ème} étape : l'expansion océanique.

III. 3^{ème} étape : La subduction.

A. Principale cause de la subduction.

B. Les transformations des roches de la lithosphère océanique lors de la subduction.

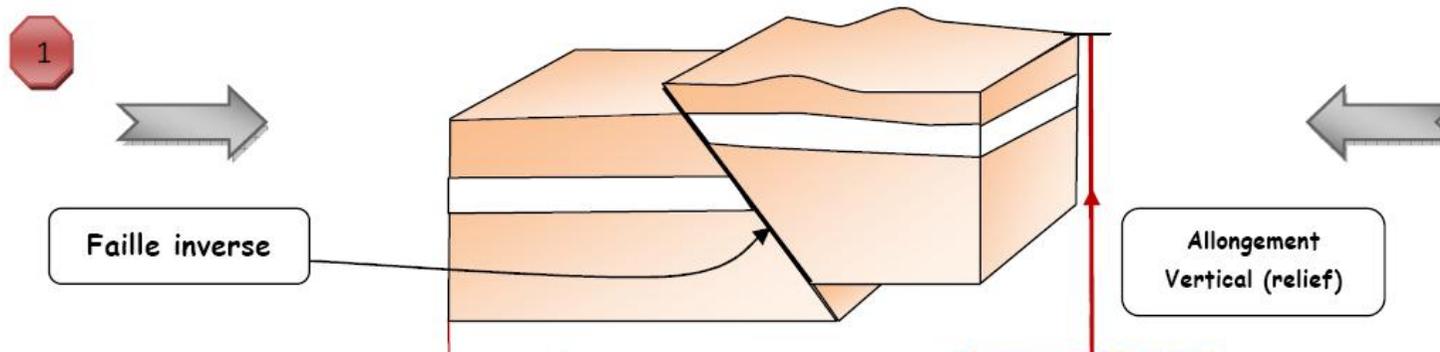
C. Les témoins d'une subduction retrouvés dans les Alpes.

IV. 4^{ème} étape : Collision et subduction continentale.

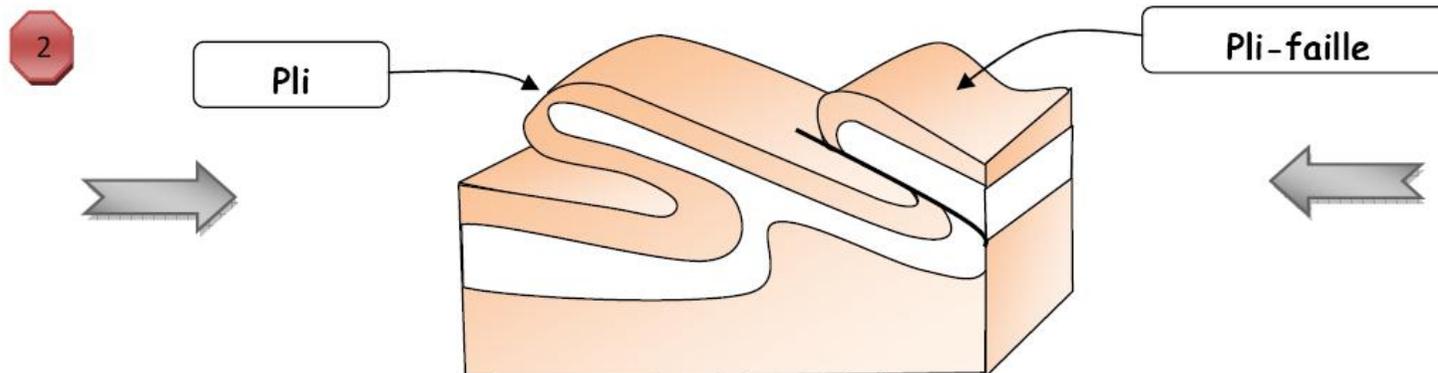
A. Les conséquences de l'affrontement des 2 lithosphères continentales.

1. Les conséquences tectoniques de l'affrontement.

Les déformations subies par les roches suite à des contraintes compressives



Déformations cassantes => failles inverses



Déformations plastiques => plis

Modélisation des déformations subies par les roches

■ PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL : modéliser la déformation des roches

Dans deux mini-aquariums faits de lames pour observations au microscope, et assemblées à l'aide de papier adhésif :

- placer une lame verticalement à une extrémité ;
- saupoudrer alternativement de la farine et du chocolat en poudre pour former des strates (tasser chaque strate dans un mini-aquarium, ne pas tasser dans l'autre) ;
- déplacer latéralement la lame verticale et observer.



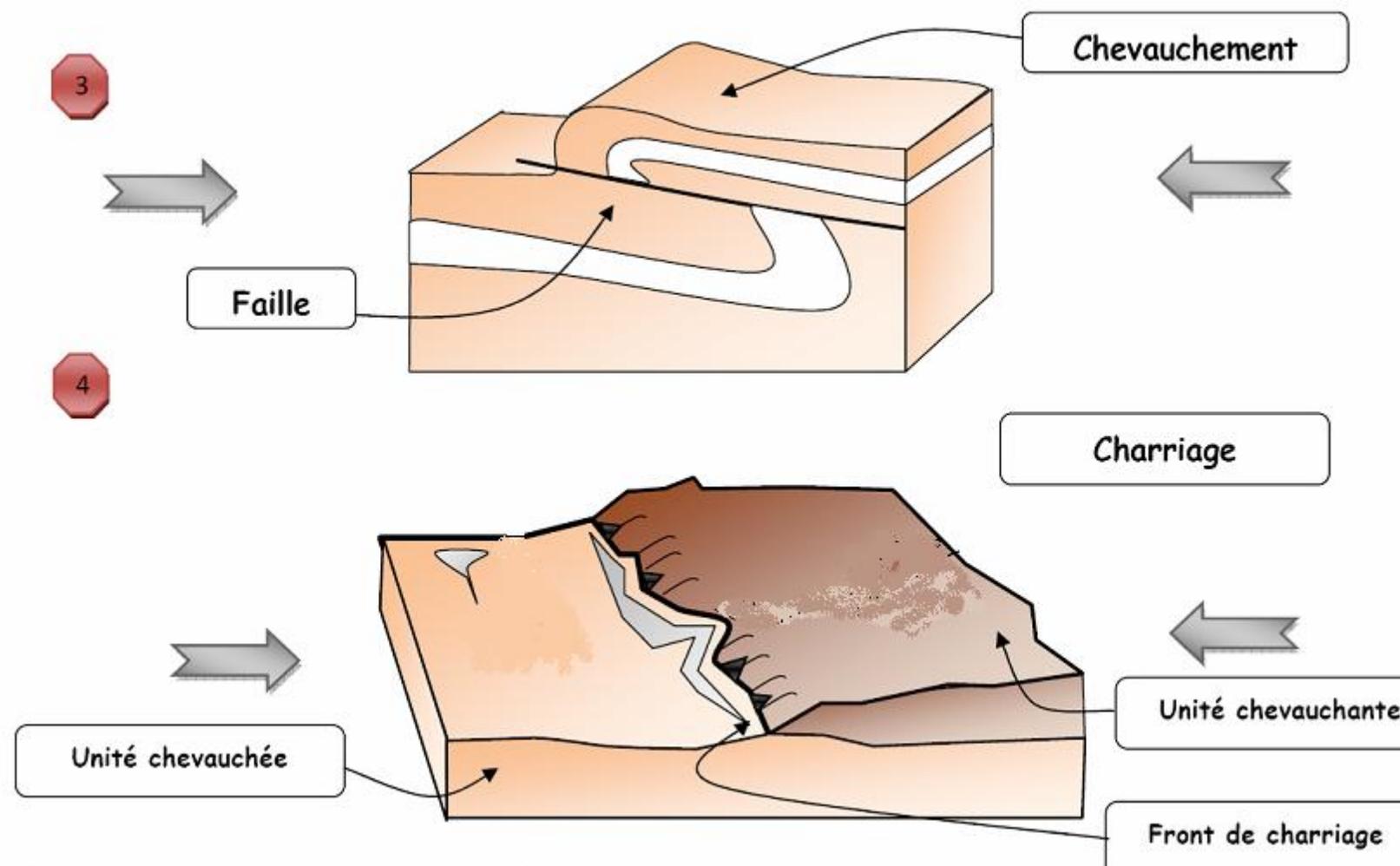
Couches non tassées (souples)



Couches bien tassées (cassantes)

Doc. 4 Une modélisation pour comprendre l'épaississement de la croûte continentale.

Les déformations subies par les roches suite à des contraintes compressives

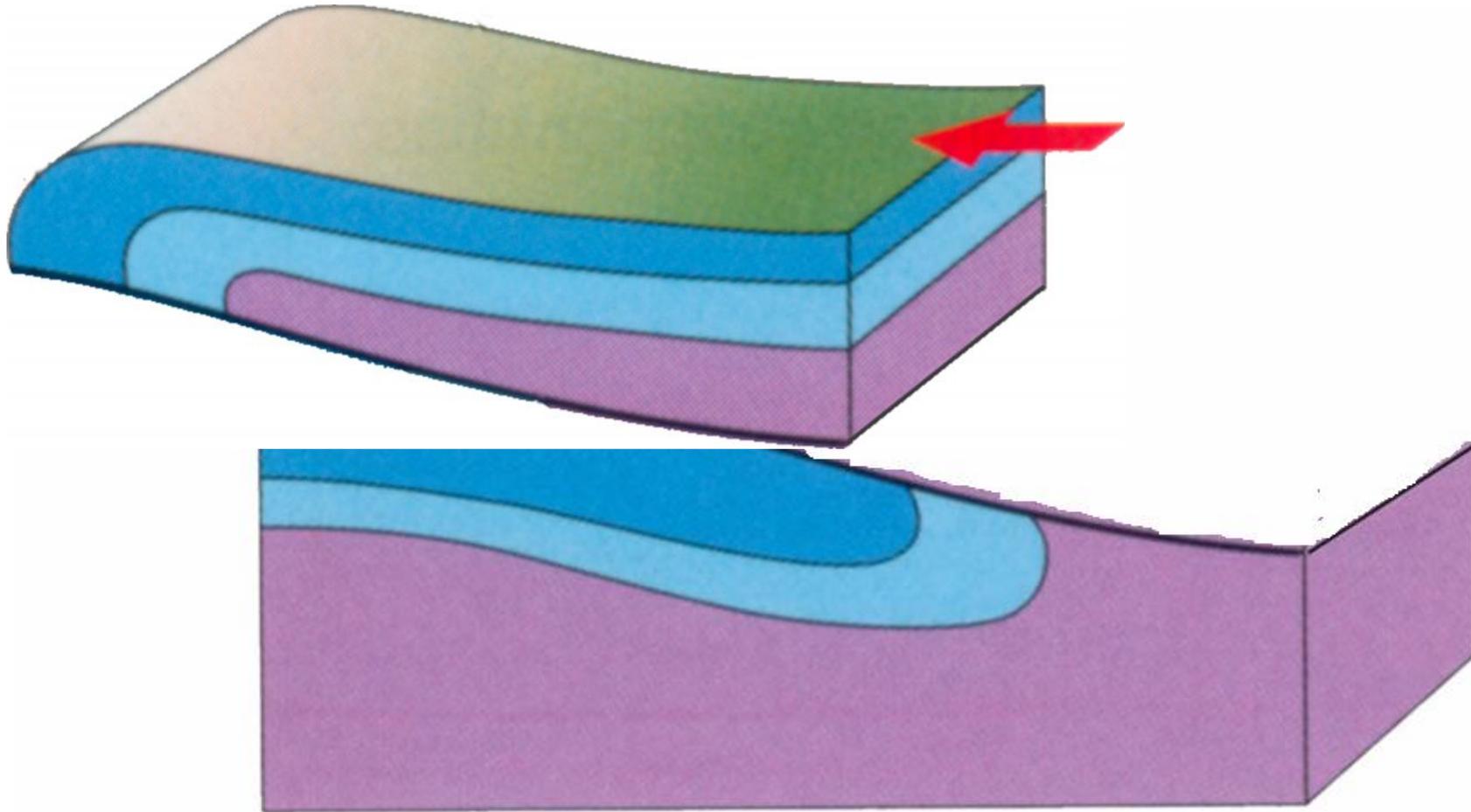


formations géologiques de taille importante pouvant:

⇒ **glisser** sur de grandes distance

⇒ **s'empiler** les unes sur les autres ⇒ **nappes de charriage.**

Mise en place d'une nappe de charriage



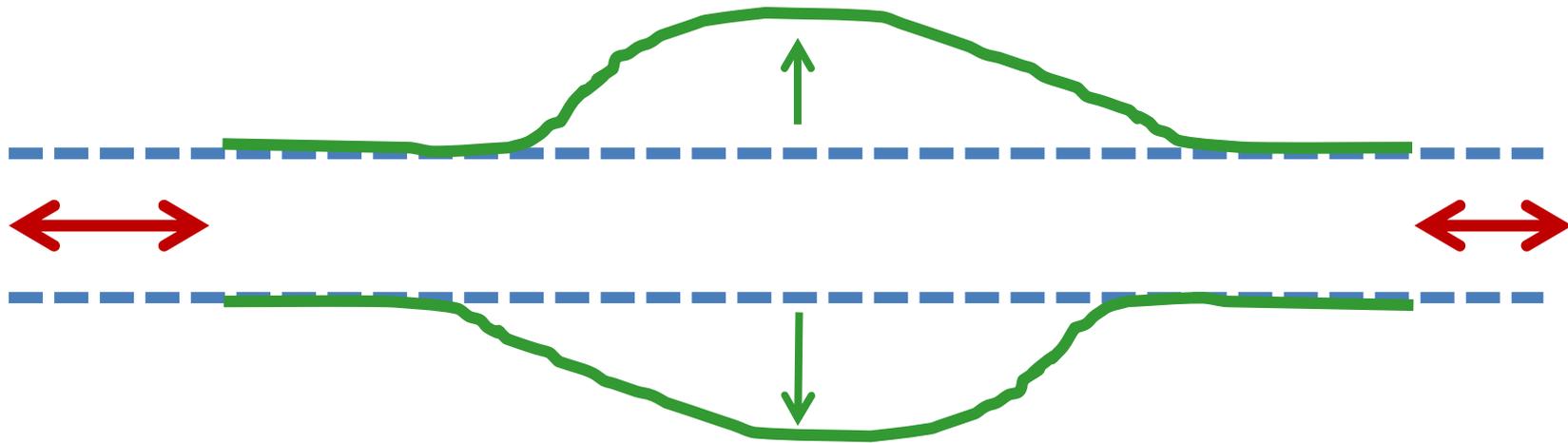
Conséquence visible des nappes de charriage : des **terrains anciens** se retrouvent **au-dessus** de **terrains plus récents**.

ETAT INITIAL

CONTRAINTES COMPRESSIVES



EPAISSISSEMENT



RACCOURCISSEMENT

Thème : Les continents et leur dynamique.

Chapitre 2. La formation d'une chaîne de montagnes.

I. 1^{ère} étape : la déchirure continentale.

II. 2^{ème} étape : l'expansion océanique.

III. 3^{ème} étape : La subduction.

IV. 4^{ème} étape : Collision et subduction continentale.

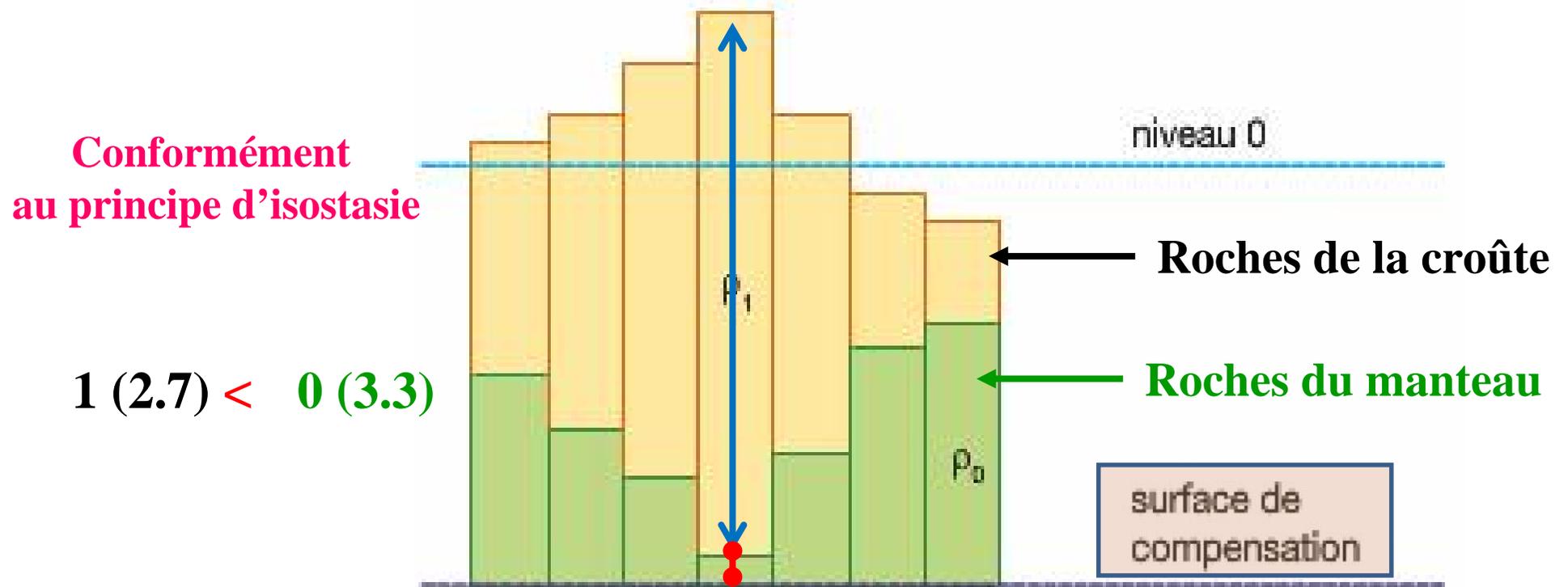
A. Les conséquences de l'affrontement des 2 lithosphères continentales.

1. Les conséquences tectoniques de l'affrontement.

2. Les conséquences pétrographiques de l'épaississement.

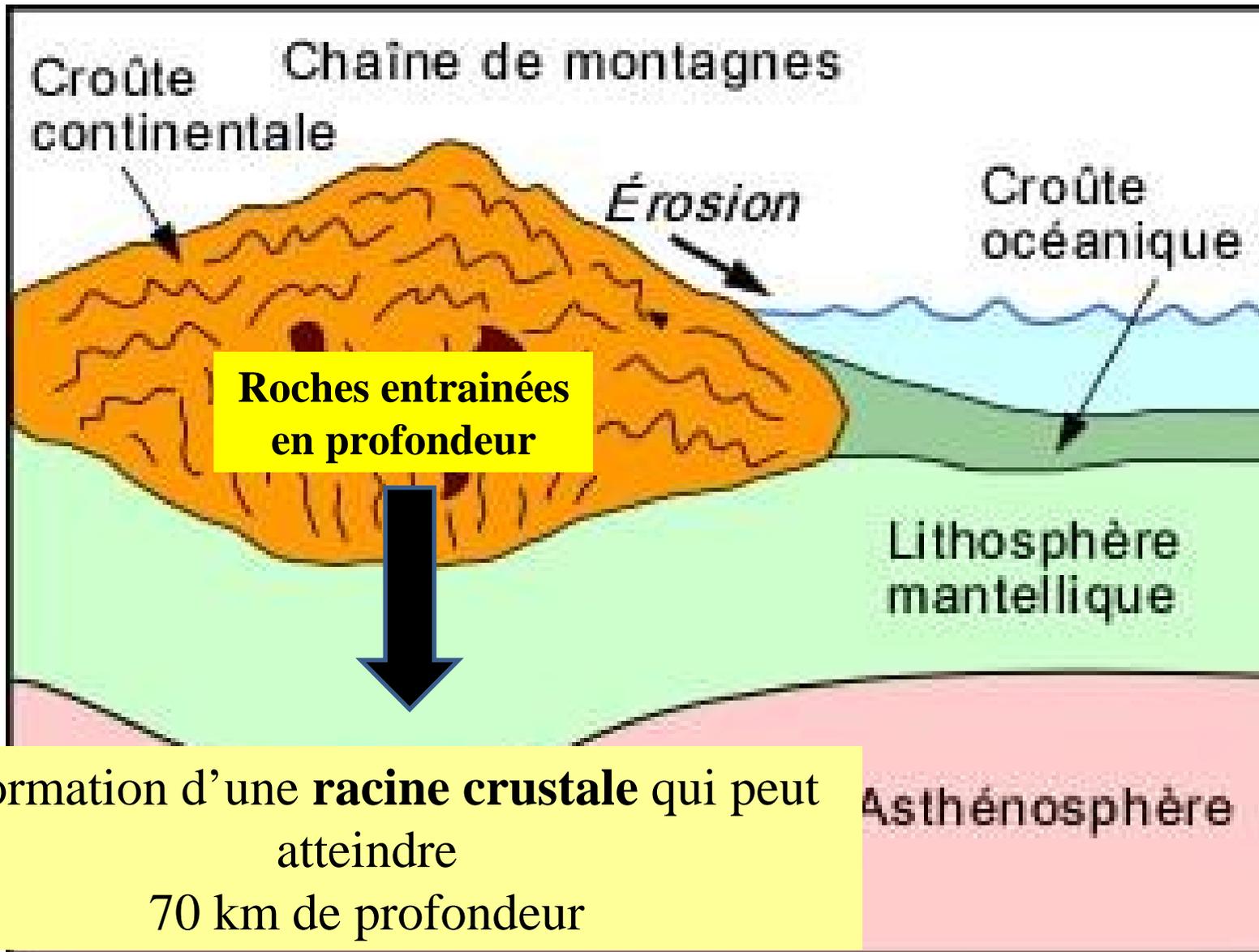
Mise en place d'une racine crustale dans les chaînes de montagnes

L'épaississement de la croûte continentale \varnothing excès de roches peu denses en surface.



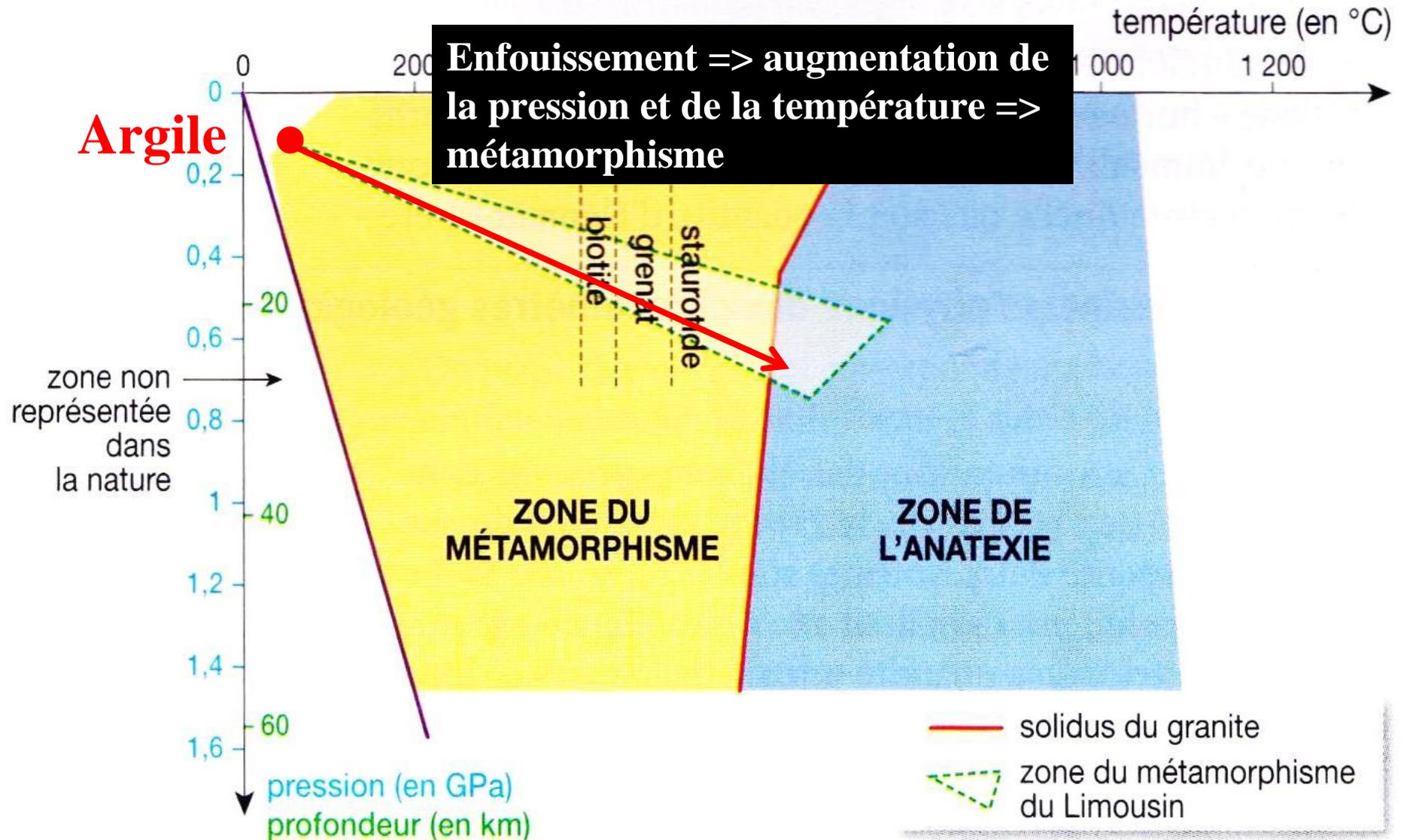
Cet excès de roches légères \varnothing compensé en profondeur par un déficit de roches plus denses

Mise en place d'une racine crustale



Métamorphisme des roches de la croûte continentale

Diagramme P-T : zones du métamorphisme et de l'anatexie





des roches formée à la surface du globe par l'accumulation de sédiments

continentale

l'impactisme et de l'anatexie

P-T

température (en °C)

400

600

800

1 000

1 200

Argile

0
0,2



de
la nat



1,4

1,6

pi

profondeur (en km)

biotite

grenat

staurolite

ZONE DE L'ANATEXIE

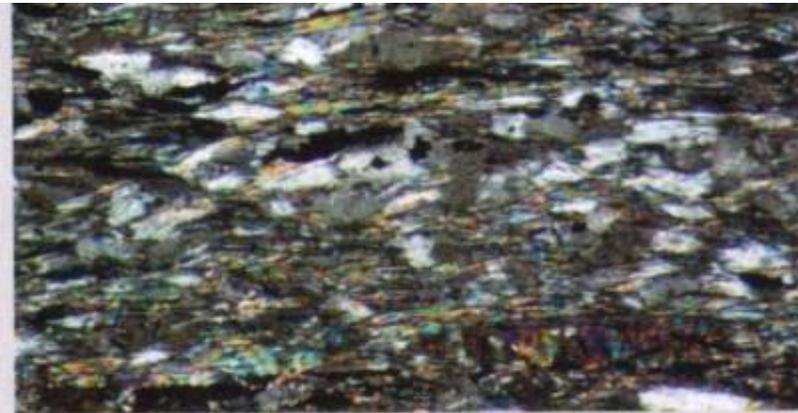
— solidus du granite

— zone du métamorphisme du Limousin

Le schiste, une roche métamorphique



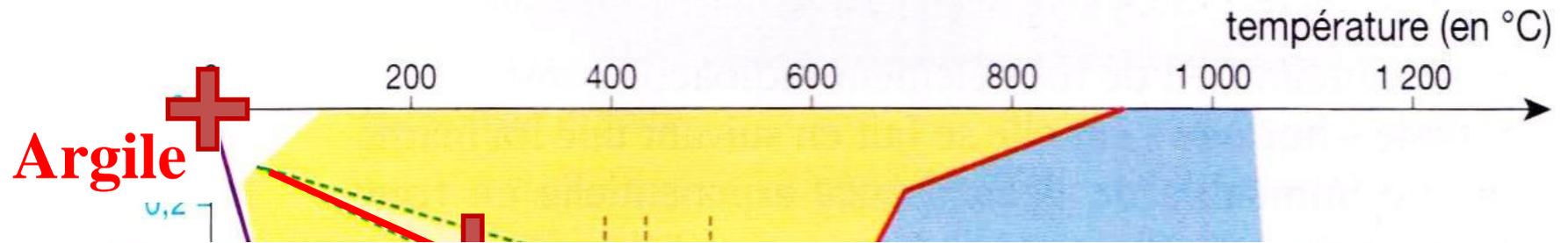
-se débitent en feuillets de même composition minéralogiques



L'observation au microscope montre un alignement de petites paillettes de séricite et de chlorite (minéraux voisins des micas) qui détermine une **schistosité**. L'aspect satiné de l'échantillon est dû à la séricite, sa couleur verdâtre à la chlorite.

Le schiste, une roche métamorphique

Diagramme P-T : zones du métamorphisme et de l'anatexie



Particularités des roches du doc. 1

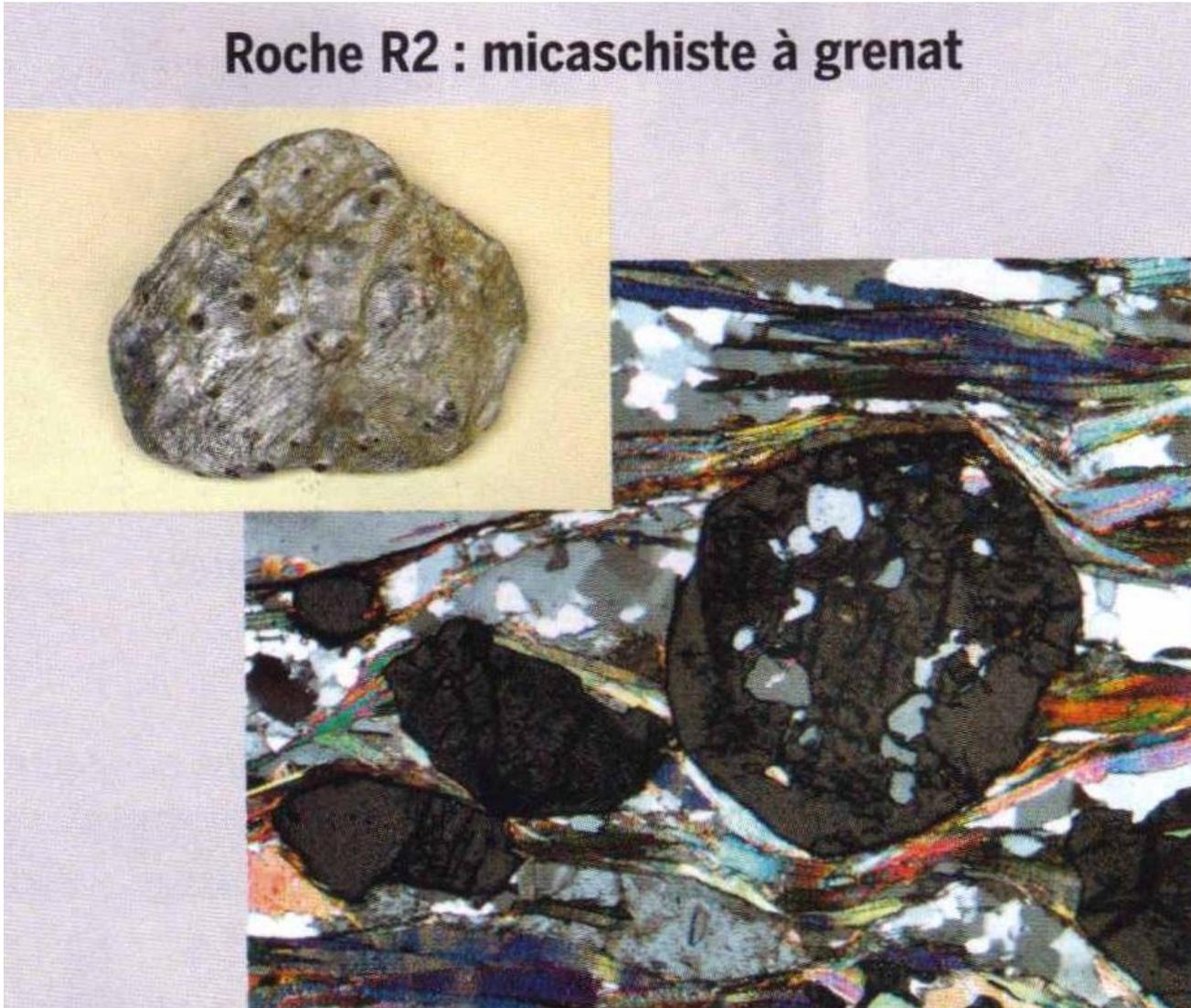
- La roche **R1** ne contient pas de biotite.
- La roche **R2** contient de la biotite et du grenat.
- La roche **R3** contient du grenat et de la staurotite.

zone
repré
c
la na



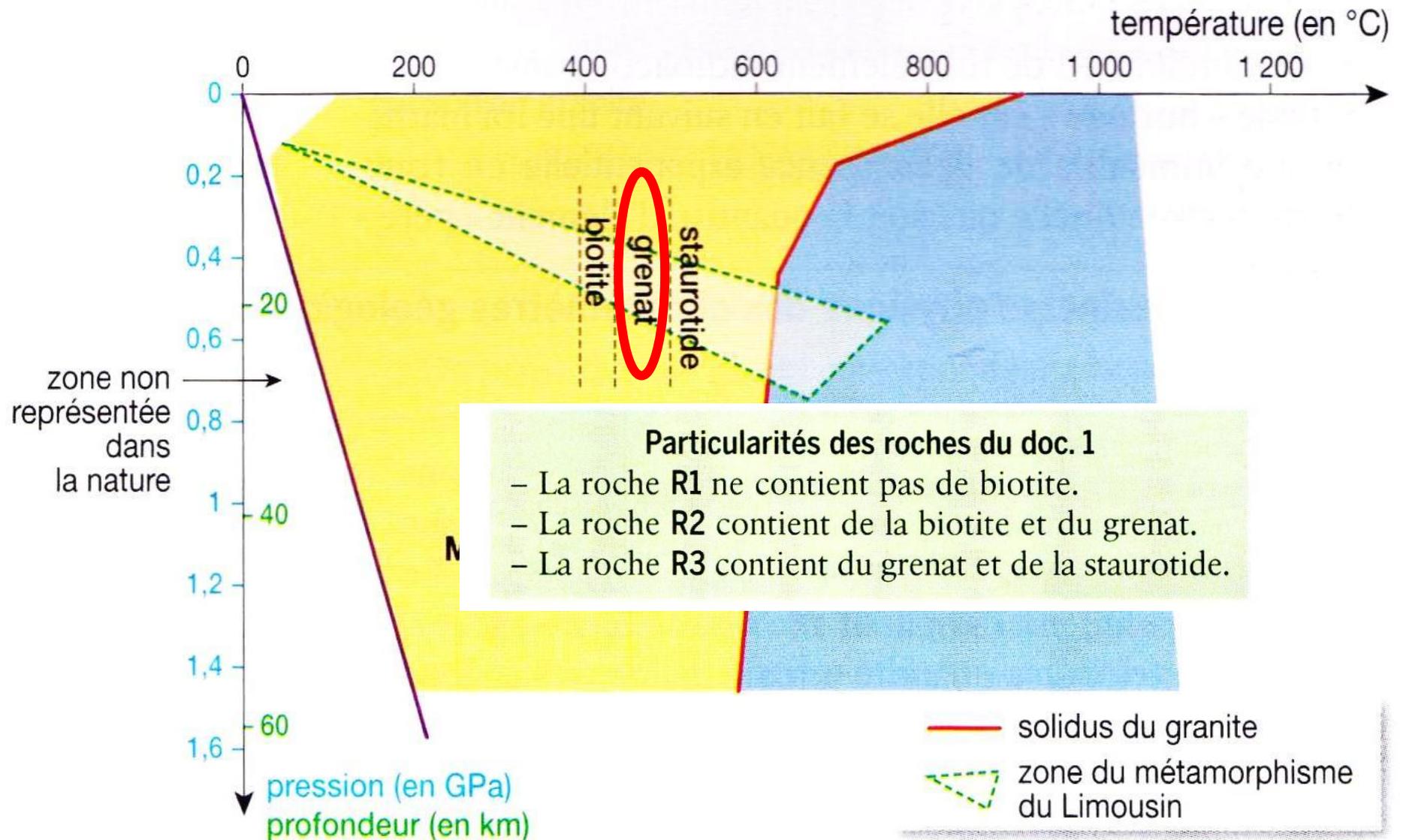
Le micaschiste à grenat, une roche métamorphique

Roche R2 : micaschiste à grenat



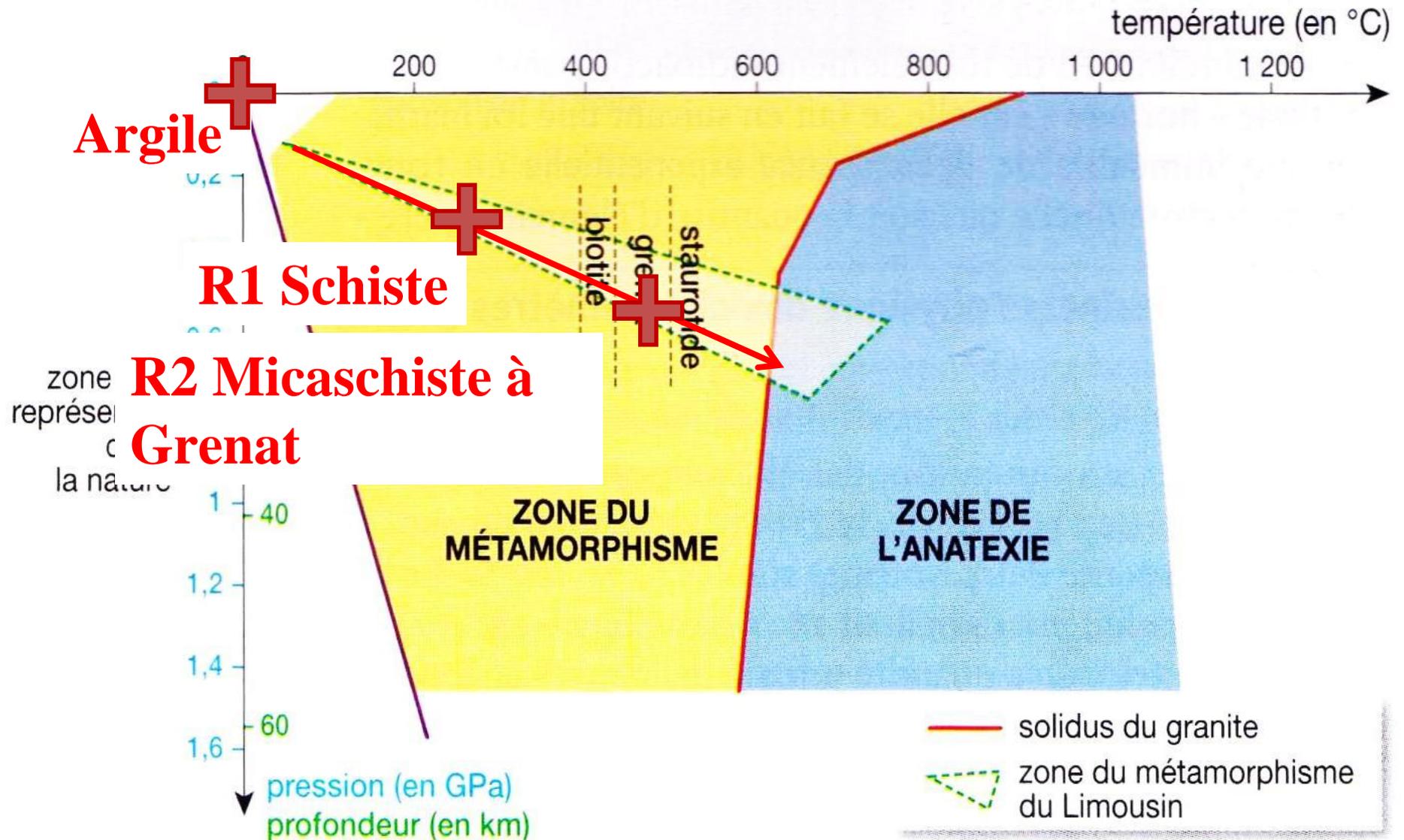
Le micaschiste à grenat, une roche métamorphique

Diagramme P-T : zones du métamorphisme et de l'anatexie



Le gneiss, une roche métamorphique

Diagramme P-T : zones du métamorphisme et de l'anatexie



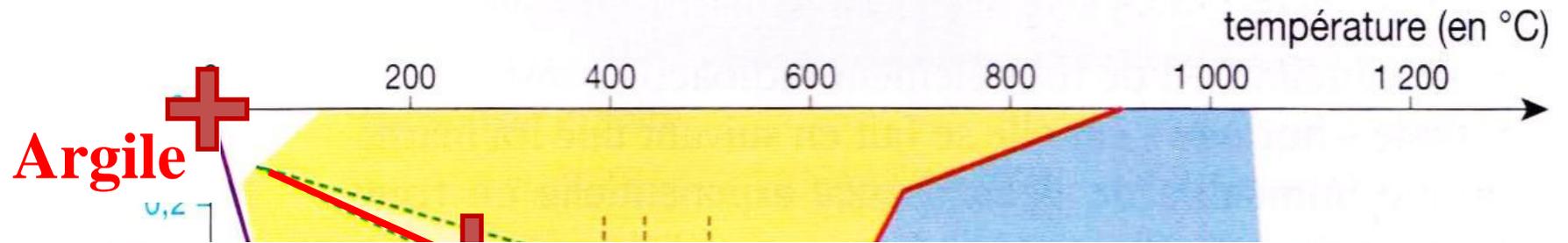
Le gneiss,, une roche métamorphique



- foliation** \Rightarrow la roche est formée de « lit » de composition minéralogique différente
- lits sombres de micas
 - lits clairs constitués de quartz et feldspath

Le gneiss, une roche métamorphique

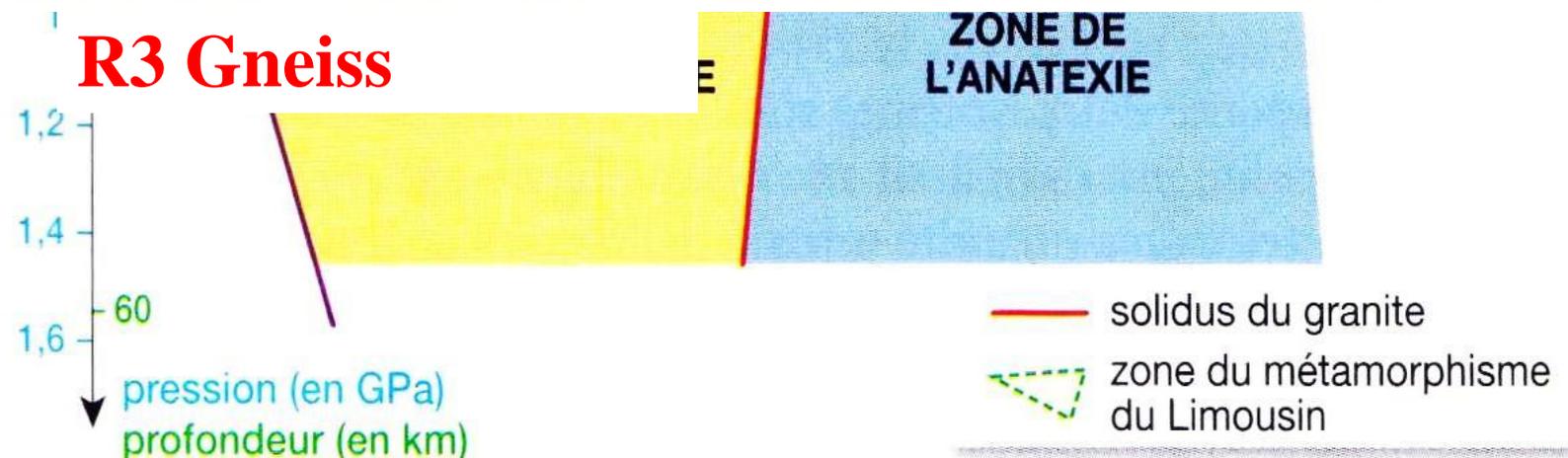
Diagramme P-T : zones du métamorphisme et de l'anatexie



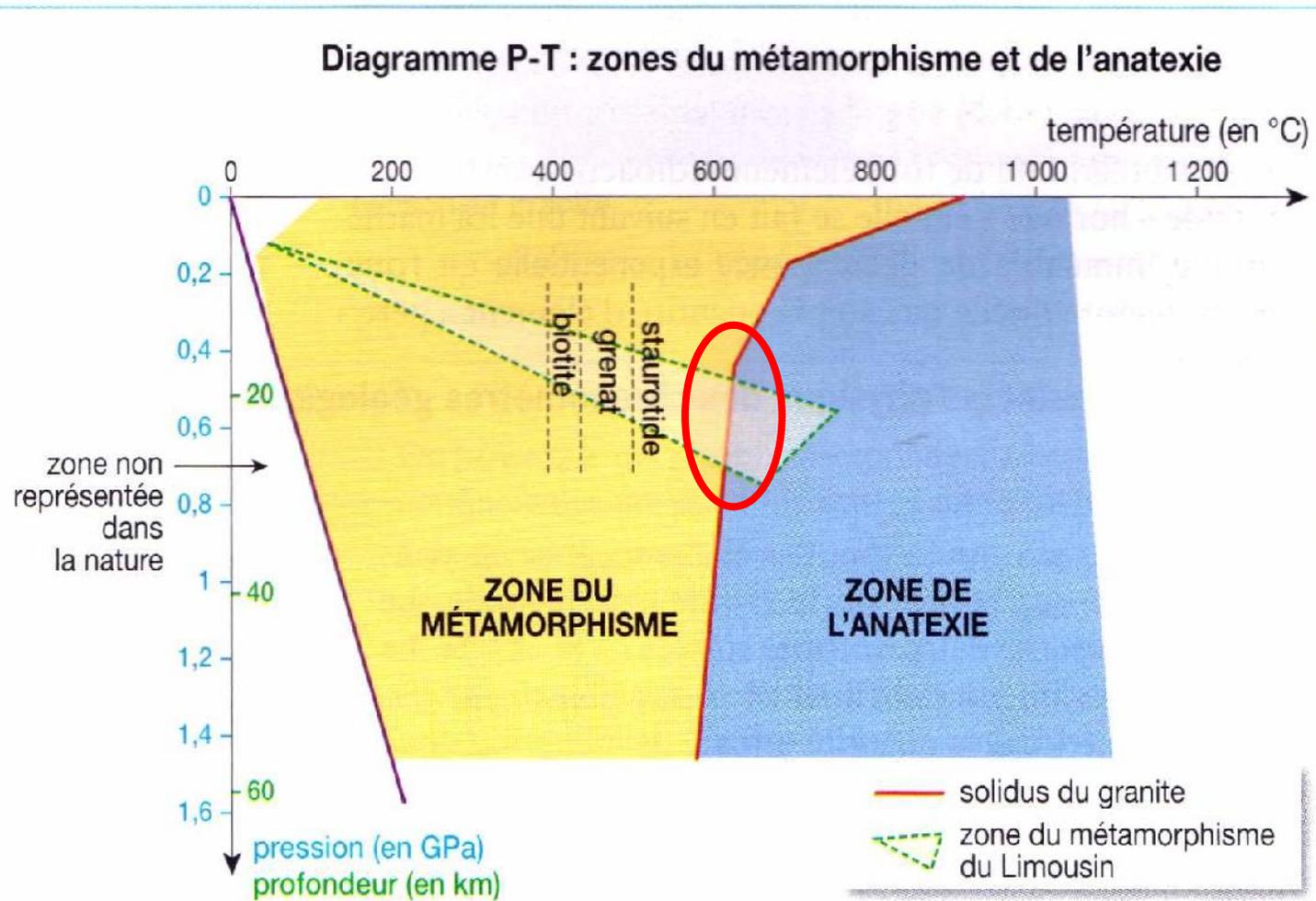
Particularités des roches du doc. 1

- La roche **R1** ne contient pas de biotite.
- La roche **R2** contient de la biotite et du grenat.
- La roche **R3** contient du grenat et de la staurotide.

zone
repré
c
la na



Franchissement du solidus et début de la fusion partielle



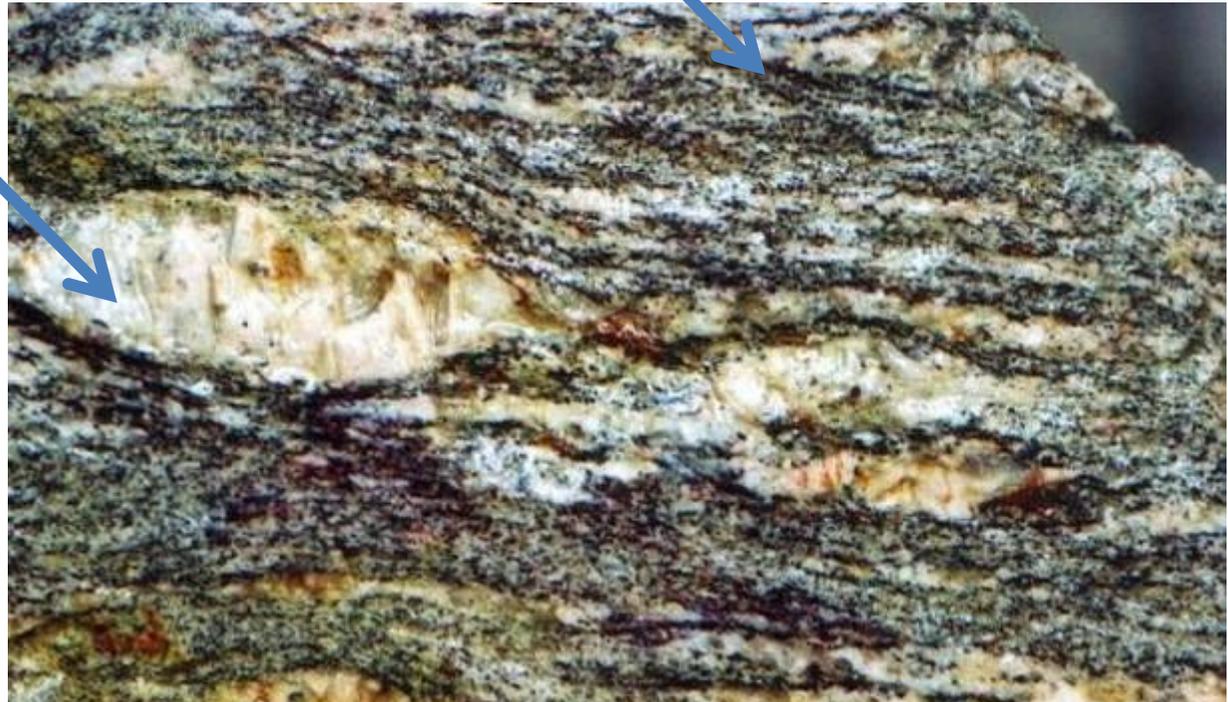
Particularités des roches du doc. 1

- La roche **R1** ne contient pas de biotite.
- La roche **R2** contient de la biotite et du grenat.
- La roche **R3** contient du grenat et de la staurotite.

Les migmatites, des roches résultant de l'anatexie

Bordure sombre È minéraux réfractaire à la fusion È température insuffisante.

Lentille claire proviennent
D'un liquide granitique résultant
De la fusion partielle du gneiss

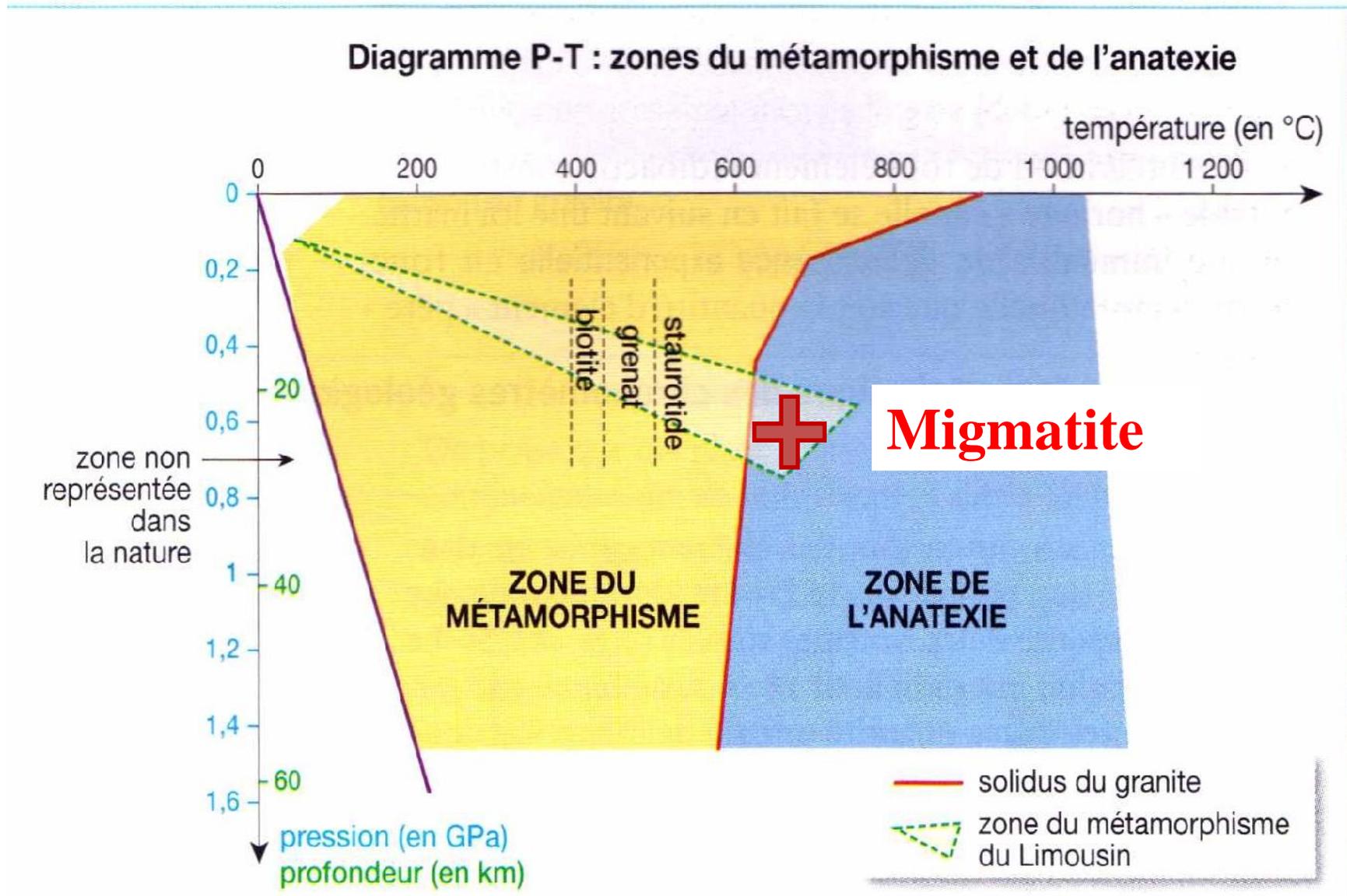


résultent de la **fusion partielle des gneiss**

⇒ **feuilletés sombres** (mica noir ou biotite) qui n'ont pas fondus

⇒ **lentilles claires** (quartz et feldspath) qui se sont formés par solidification de la partie qui a fondu.

Franchissement du solidus et début de la fusion partielle



Thème : Les continents et leur dynamique.

Chapitre 2. La formation d'une chaîne de montagnes.

I. 1^{ère} étape : la déchirure continentale.

II. 2^{ème} étape : l'expansion océanique.

III. 3^{ème} étape : La subduction.

IV. 4^{ème} étape : Collision et subduction continentale.

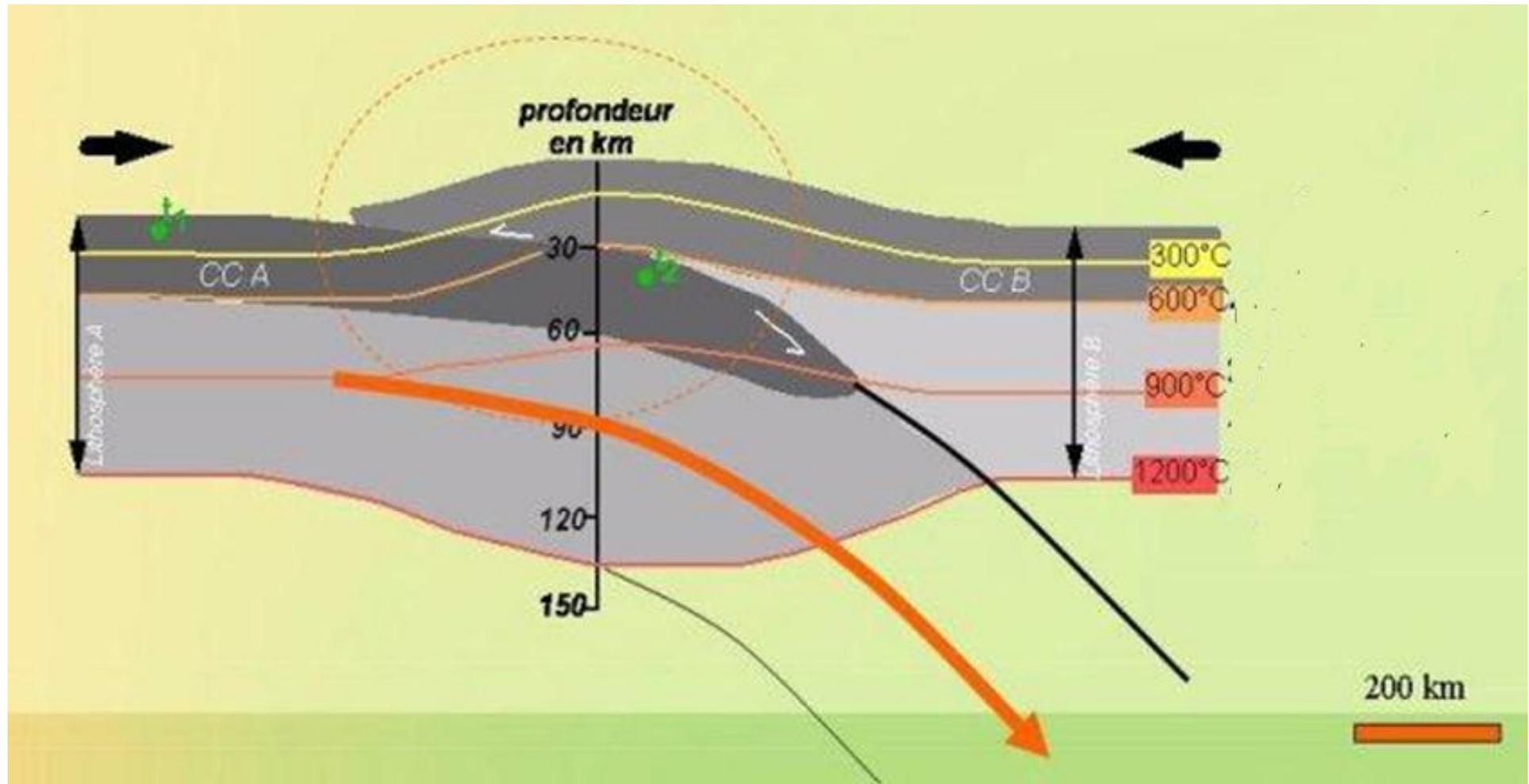
A. Les conséquences de l'affrontement des 2 lithosphères continentales.

1. Les conséquences tectoniques de l'affrontement.

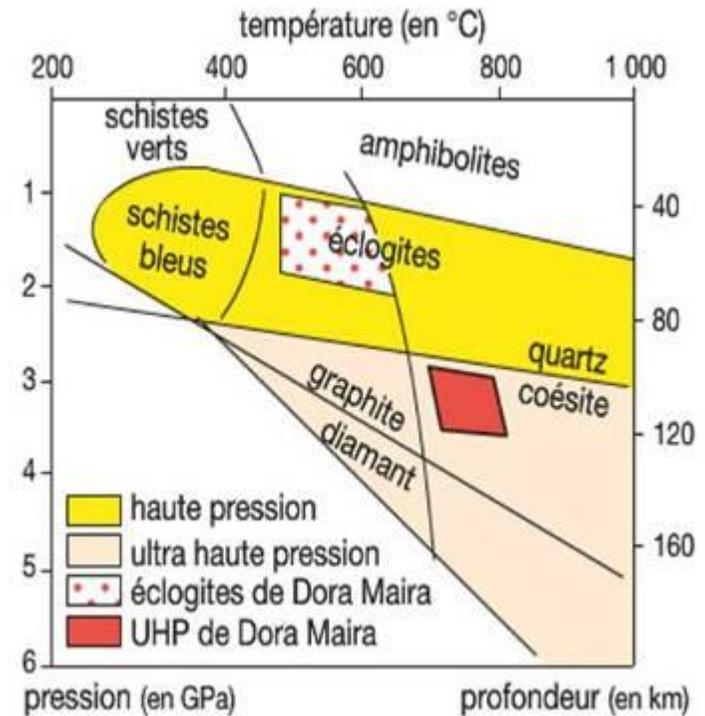
2. Les conséquences pétrographiques de l'épaississement.

3. Un début de subduction continentale.

La subduction continentale



Formation de minéraux d'ultra haute pression



- métamorphisme du quartz en **coésite**
- formation de **diamants**.

Thème : Les continents et leur dynamique.

Chapitre 2. La formation d'une chaîne de montagnes.

I. 1^{ère} étape : la déchirure continentale.

II. 2^{ème} étape : l'expansion océanique.

III. 3^{ème} étape : La subduction.

IV. 4^{ème} étape : Collision et subduction continentale.

A. Les conséquences de l'affrontement des 2 lithosphères continentales.

1. Les conséquences tectoniques de l'affrontement.

2. Les conséquences pétrographiques de l'épaississement.

3. Un début de subduction continentale.

B. Les témoins de la collision et de la subduction continentale retrouvés dans les Alpes.

Dans les Alpes, on retrouve : des failles inverses ...

Pli-faille à saint Rambert en Bugey



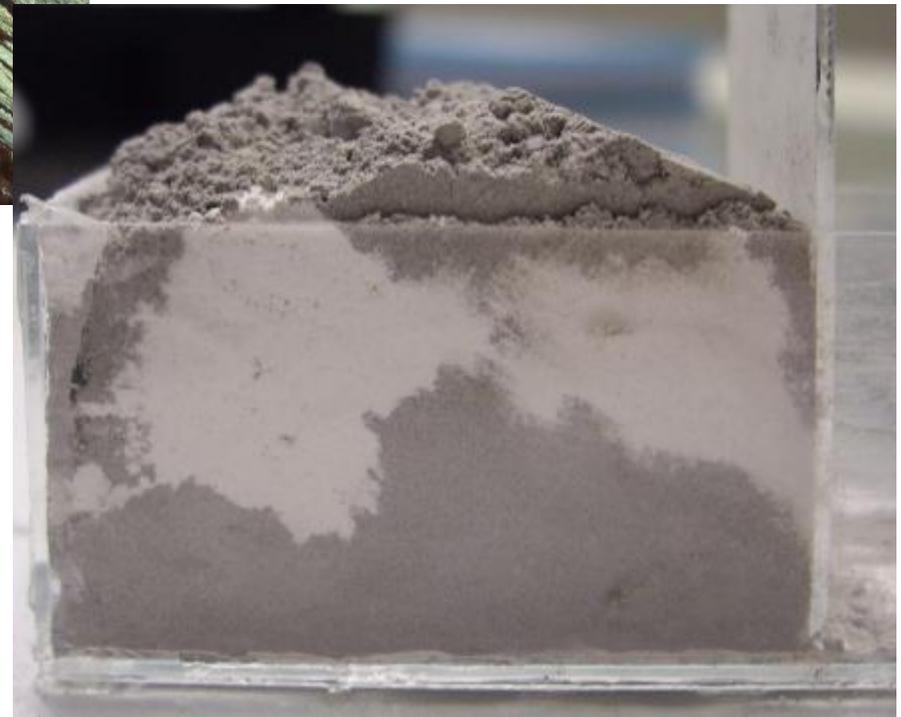
Photographie Pierre Thomas

Dans les Alpes, on retrouve : des plis ...



Zones plus ductiles...

...déformations plus souples : plis

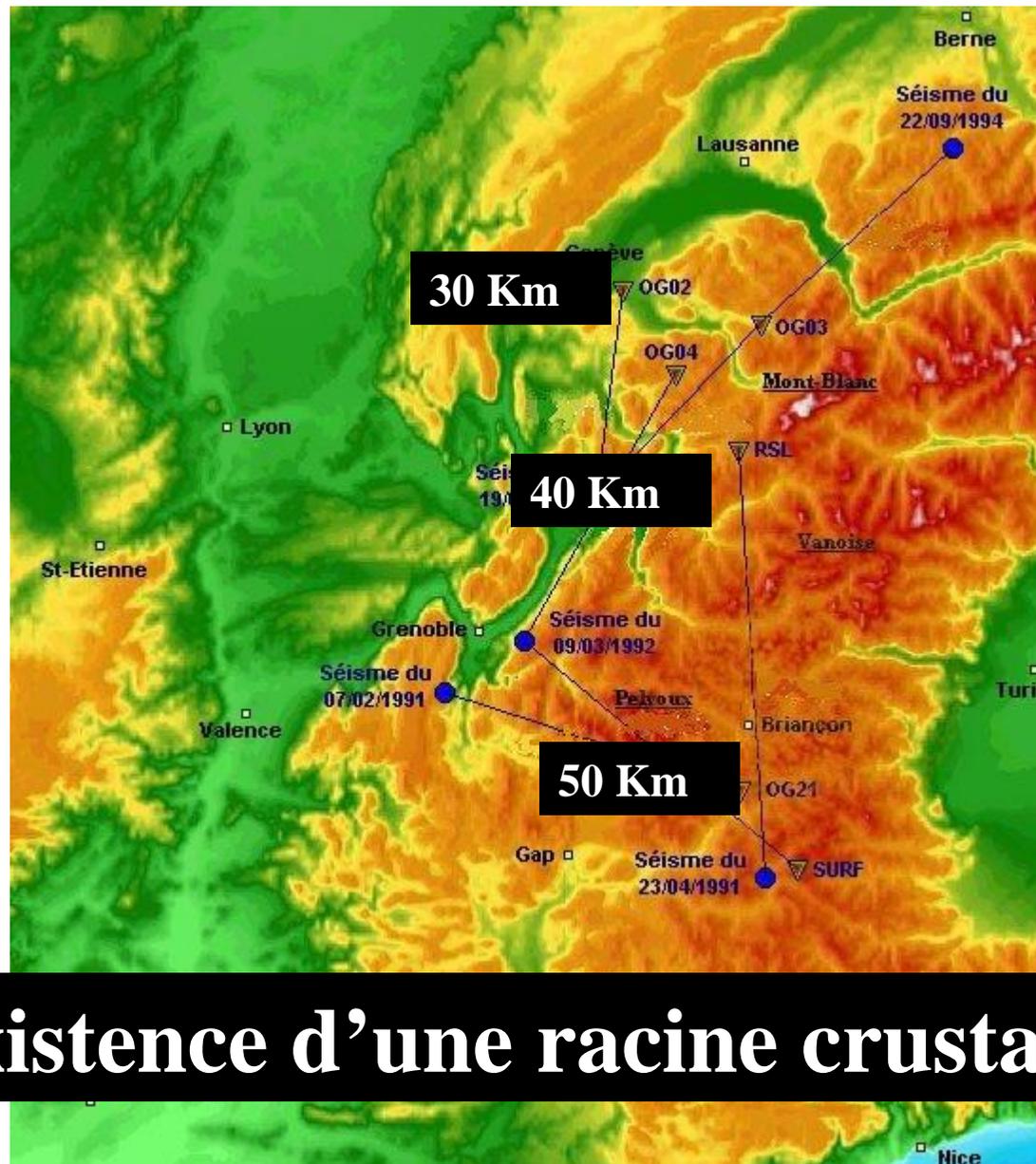


Dans les Alpes, on retrouve : des nappes de charriage ...

Nappe de Glaris dans les Alpes suisses



Dans les Alpes, on retrouve : une racine crustale témoin d'un épaississement ...



Existence d'une racine crustale

Dans les Alpes, on retrouve : des roches métamorphiques qui témoignent d'un enfouissement ...



**Micaschiste
(Belledonne)**

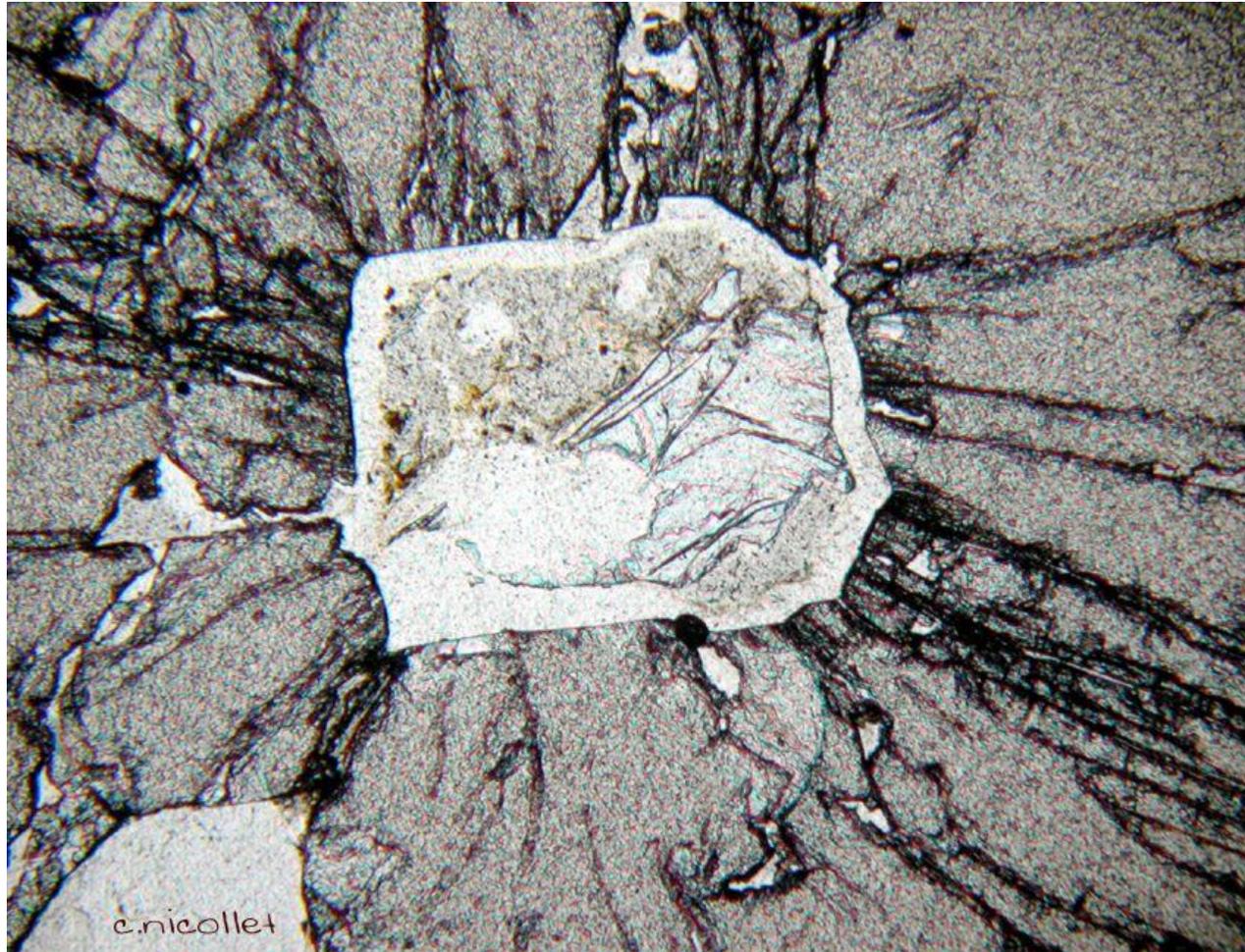


Micaschiste à grenat (Mont Blanc)



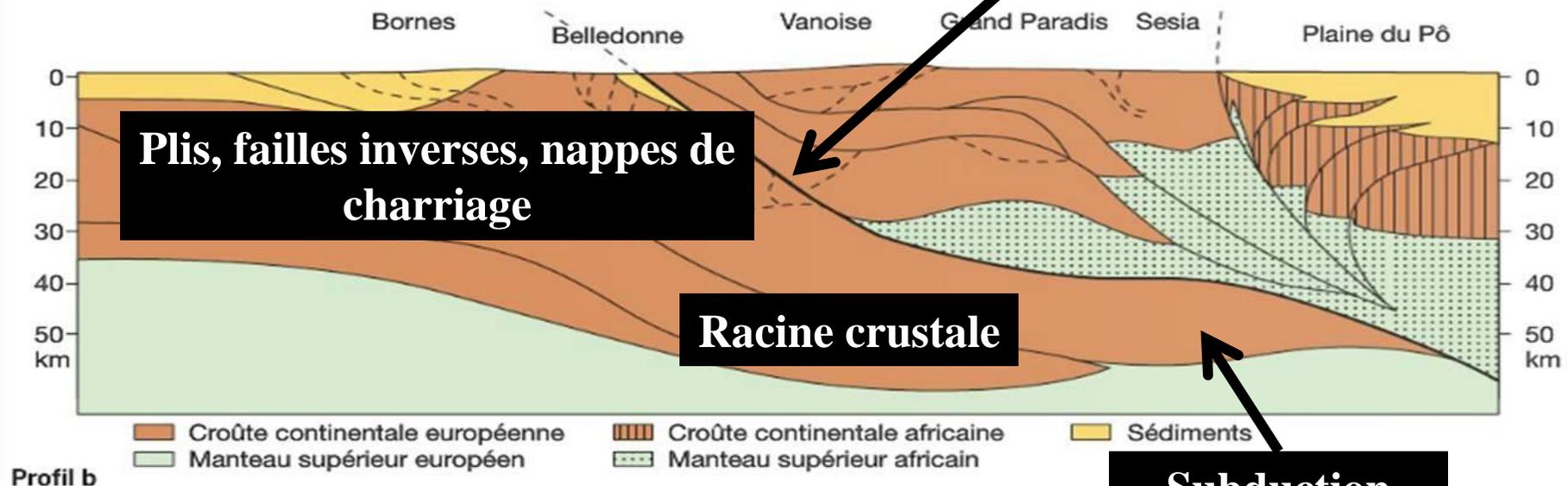
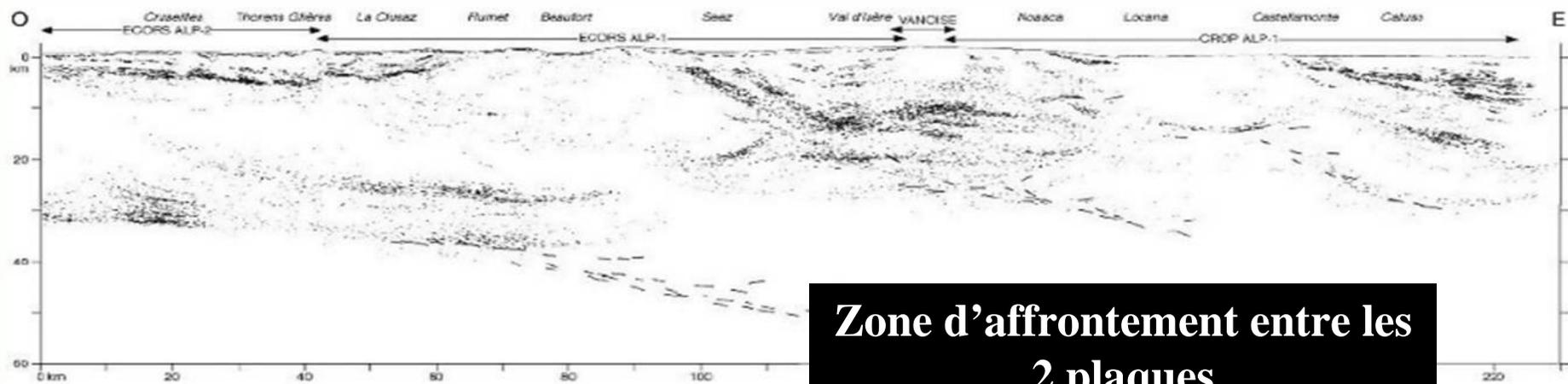
Gneiss (Mercantour)

**Dans les Alpes, on retrouve : de la coésite témoin de la subduction
continentale**

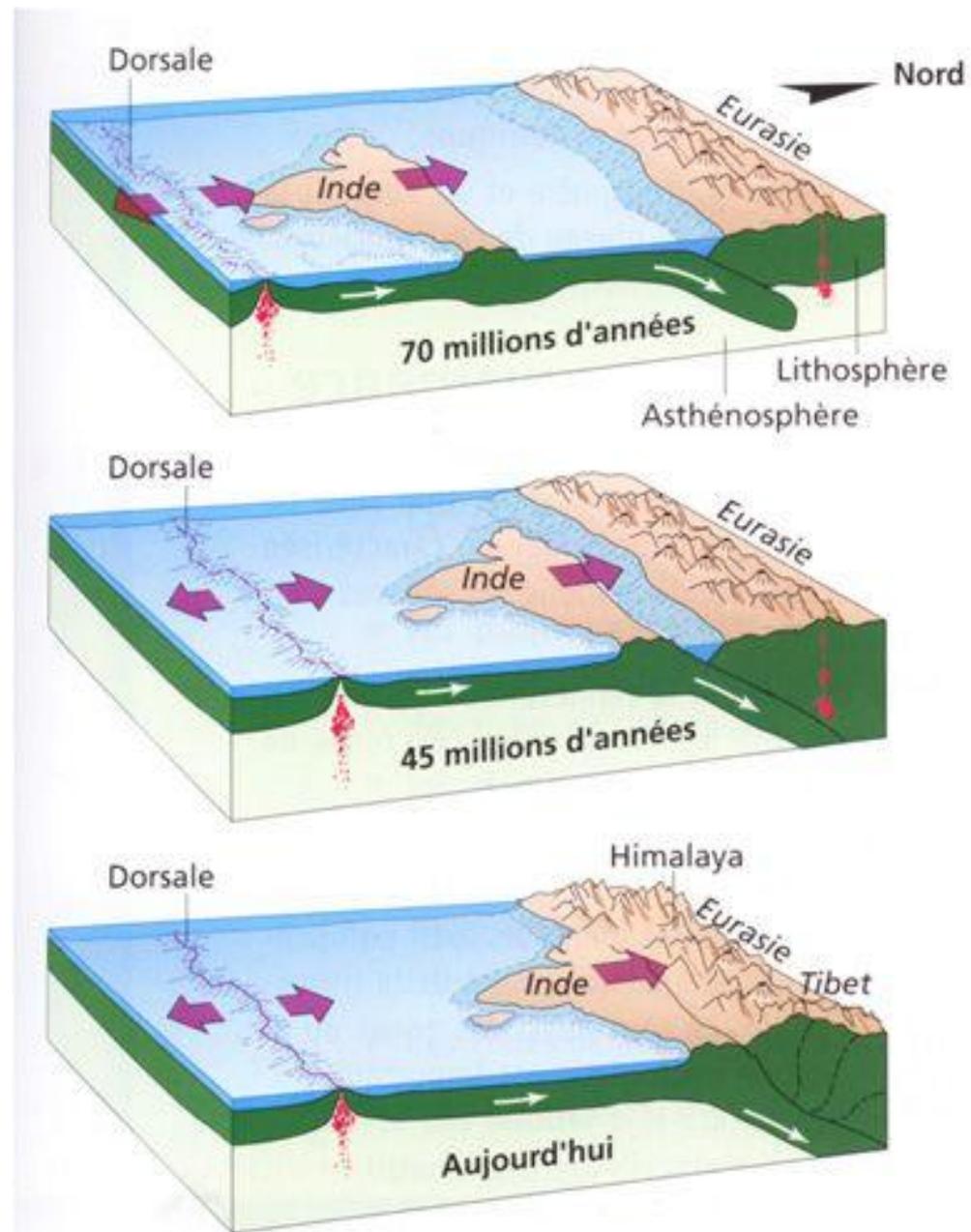


Coésite (Dora Maira)

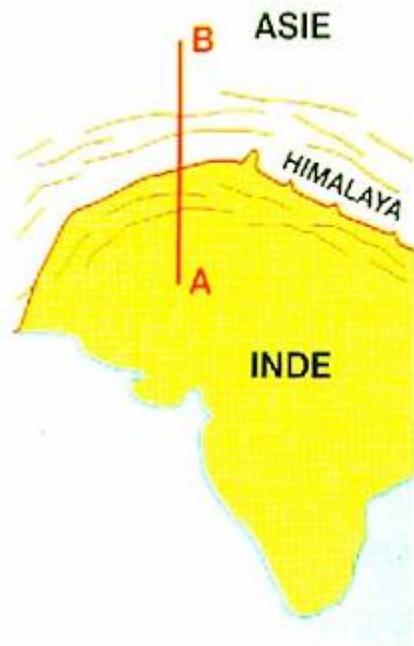
Collision et subduction continentale confirmées par des données sismiques



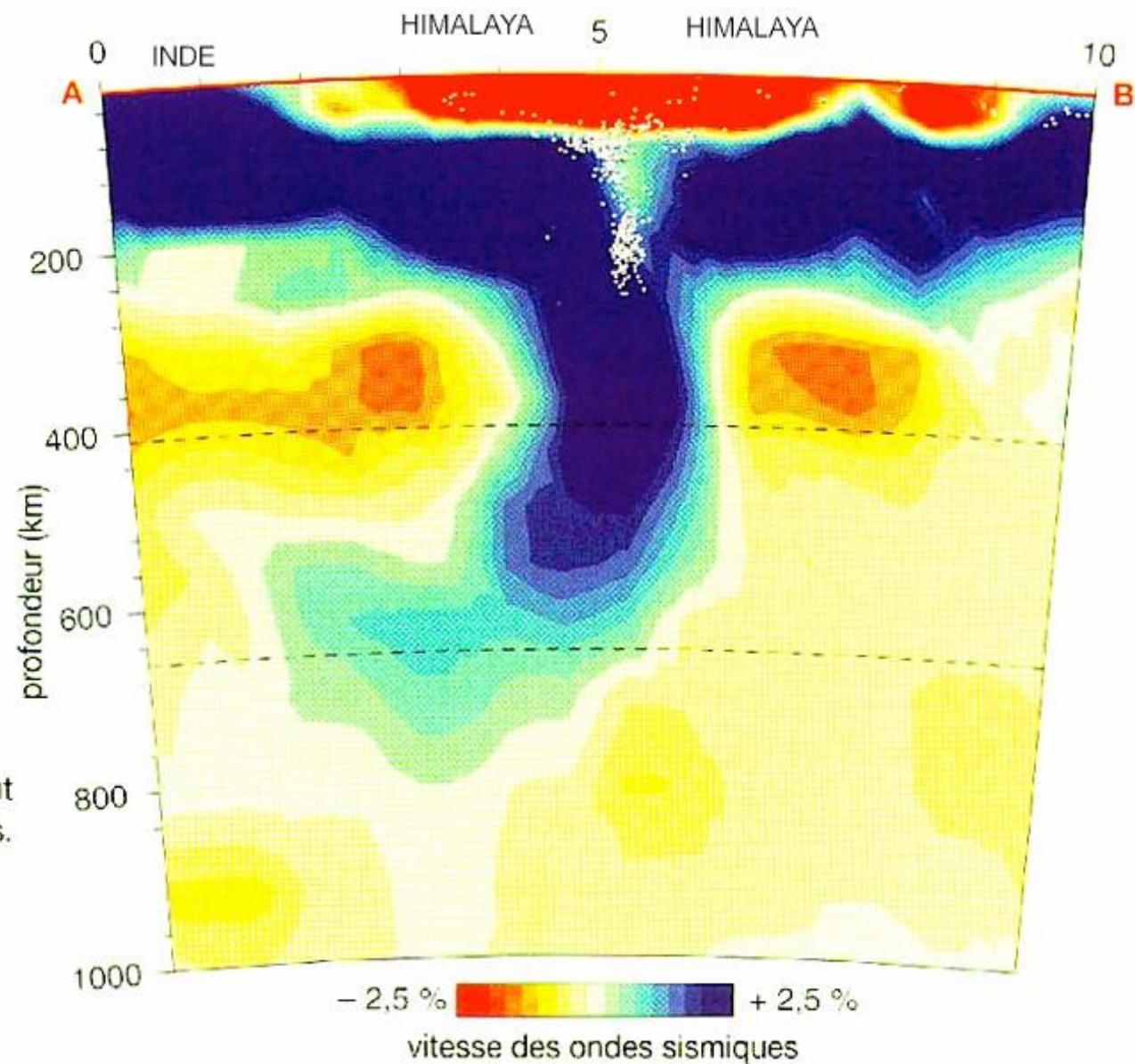
La collision entre l'Inde et l'Asie



Une subduction continentale sur une grande profondeur

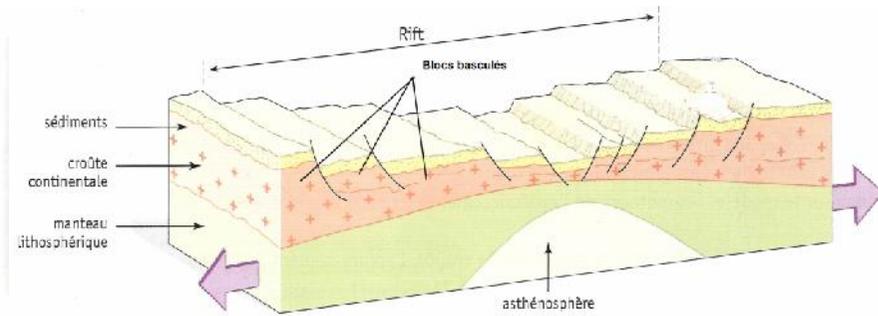
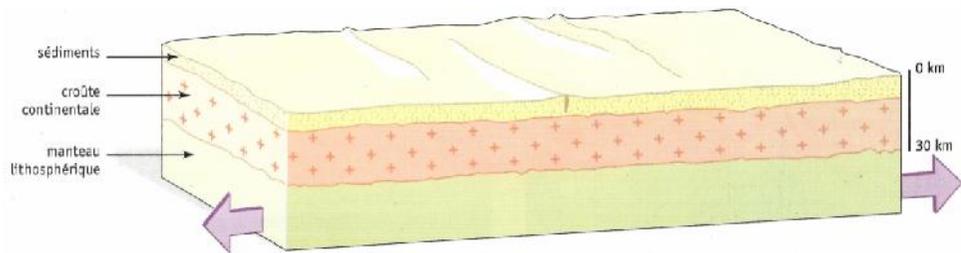


Les points blancs correspondent aux foyers des principaux séismes.

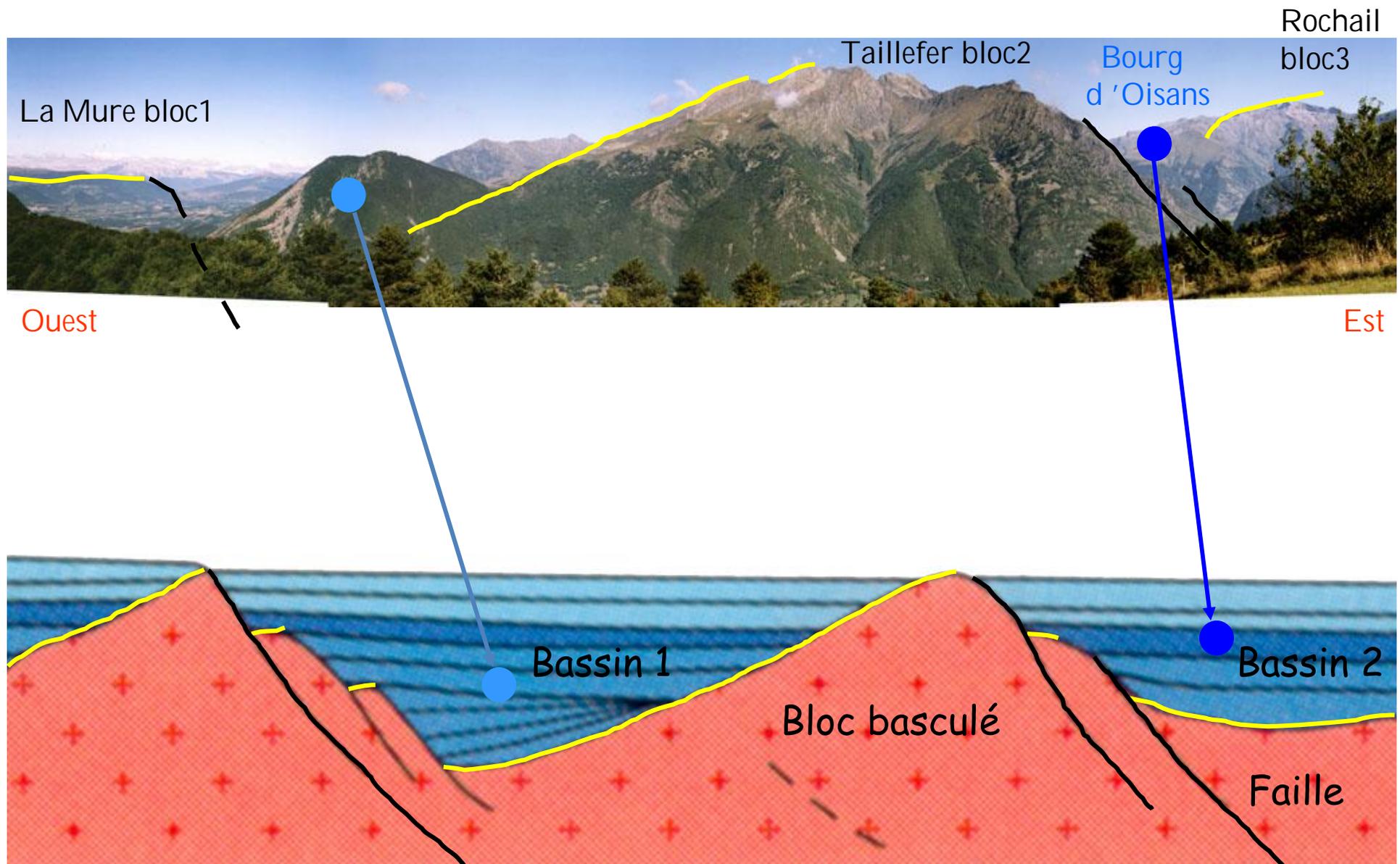


Conclusion

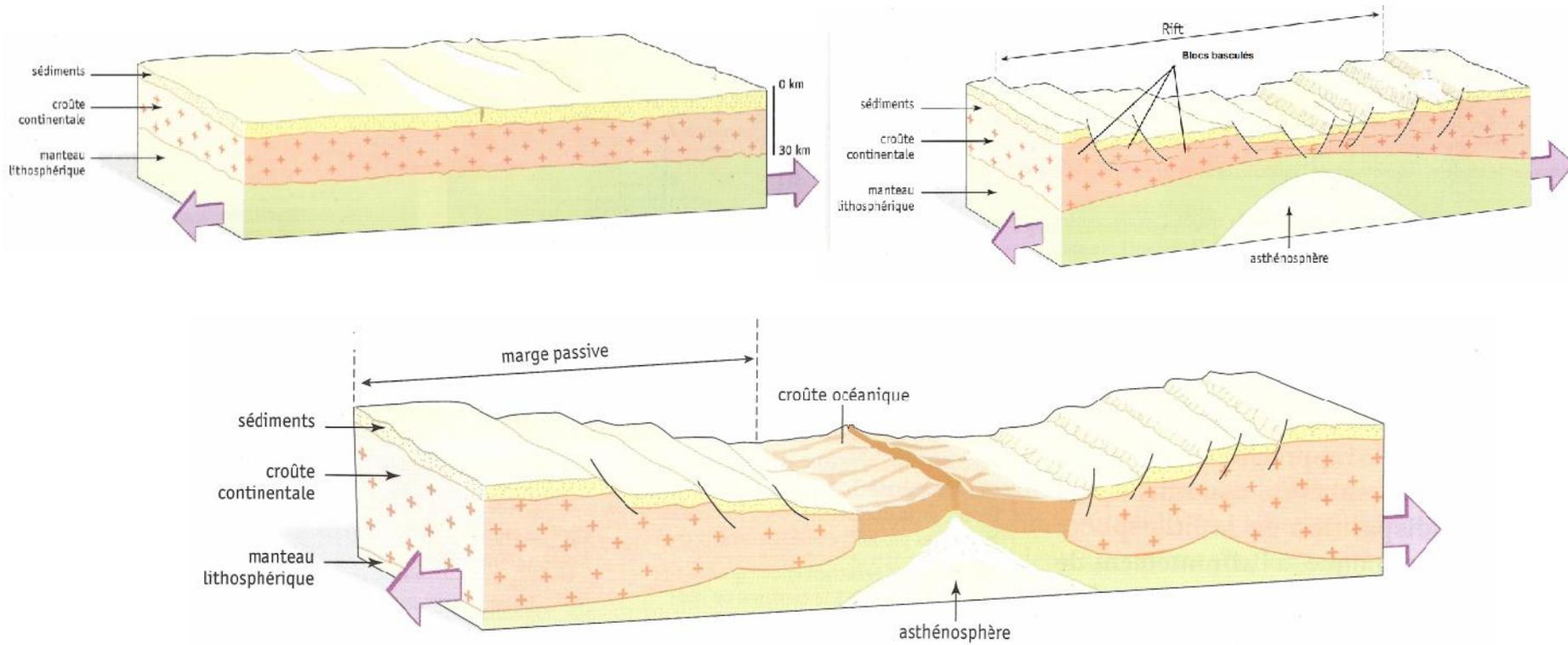
Scenário type de la formation d'une chaîne de montagnes



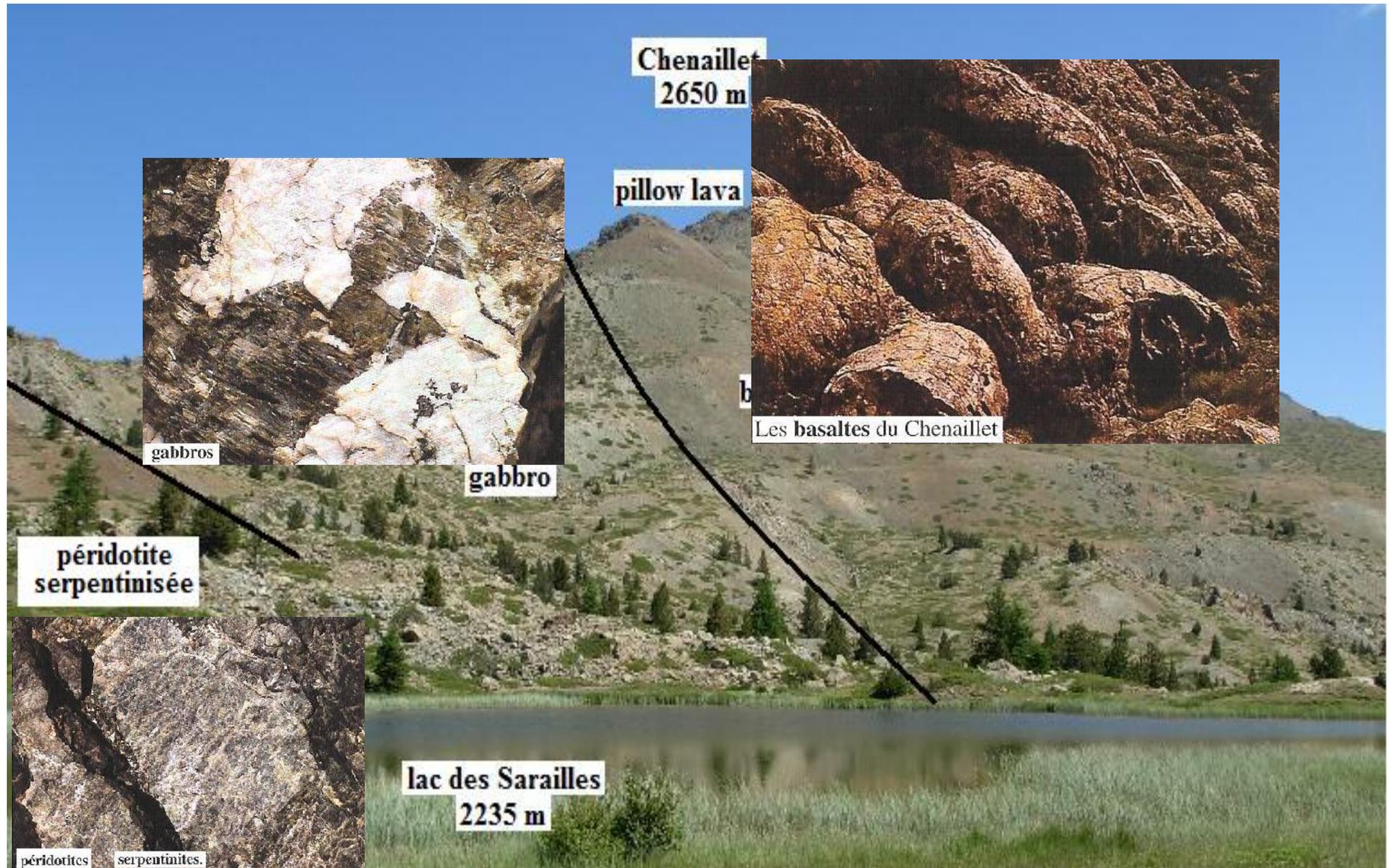
Dans les Alpes : blocs basculés et sédiments associés



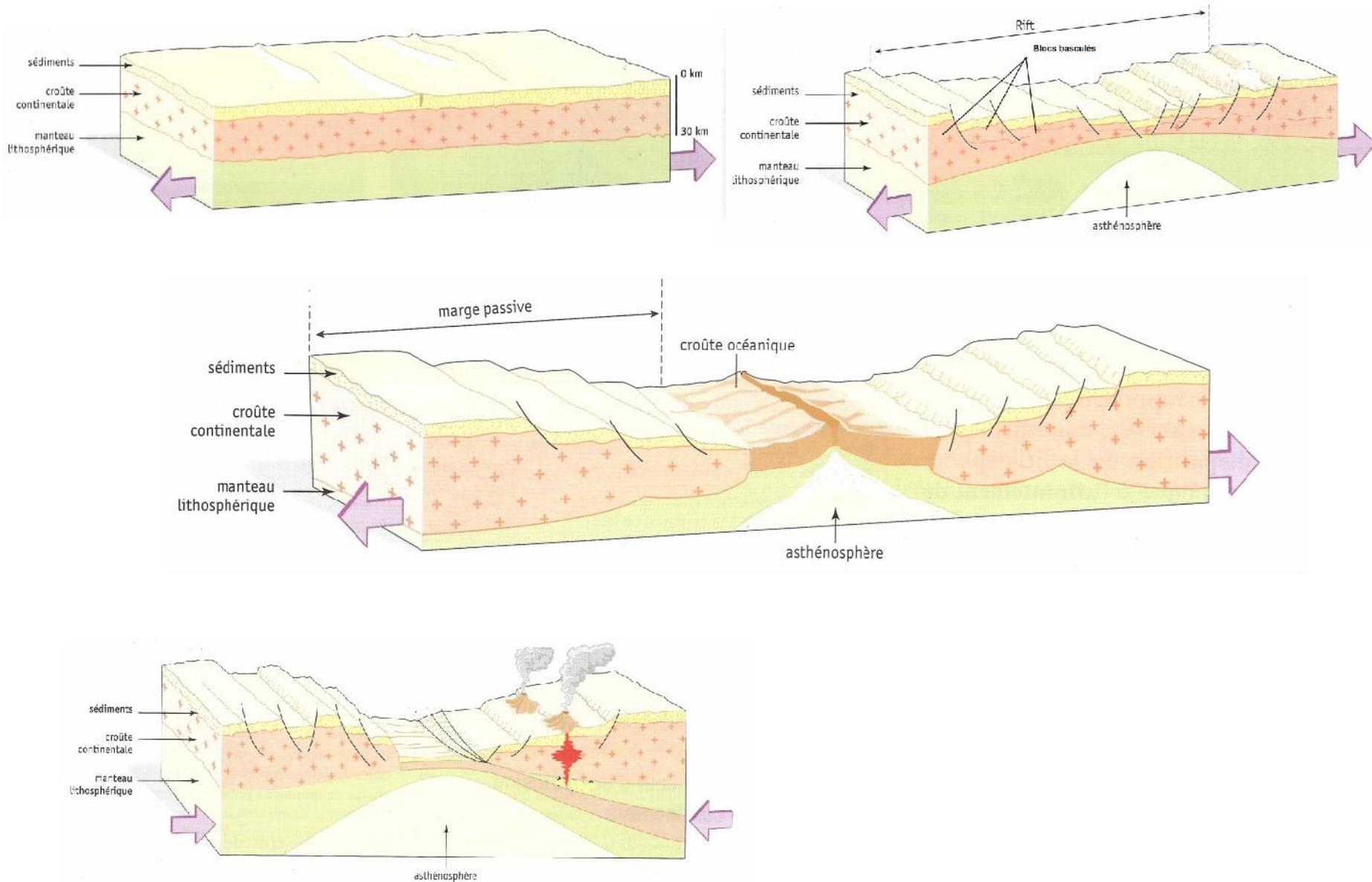
Scenarior type de la formation d'une chaîne de montagnes



Dans les Alpes : des lambeaux de lithosphère océanique : les ophiolithes

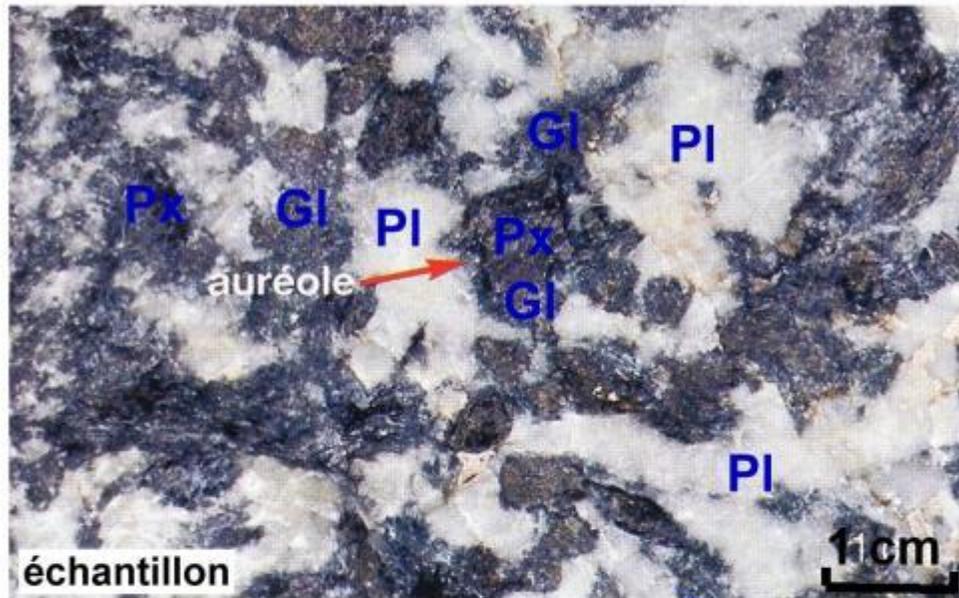


Scenarior type de la formation d'une chaîne de montagnes



Dans les Alpes, des métagabbros caractéristiques du métamorphisme de subduction

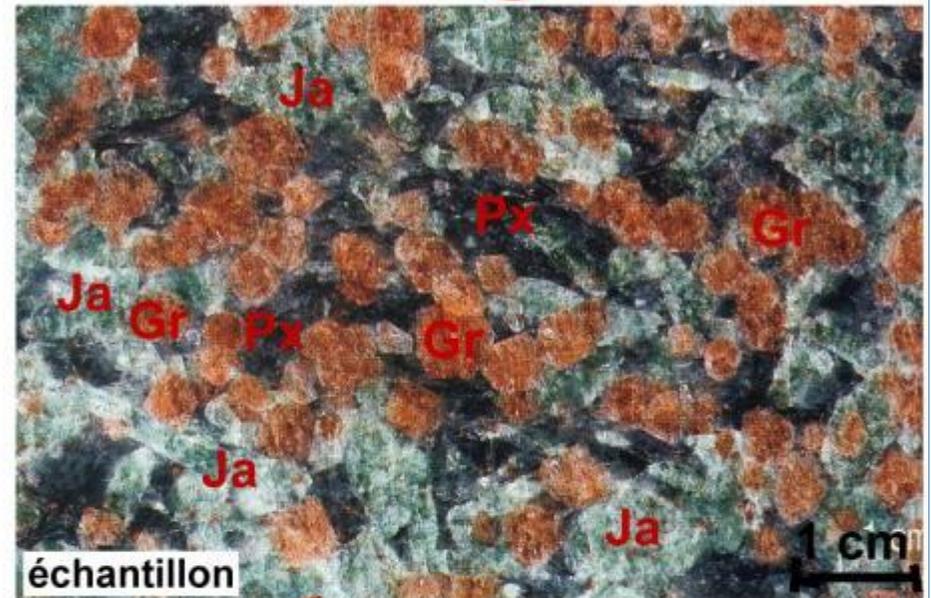
"Schiste bleu"



Métagabbro à glaucophane

Px = pyroxène
Gl = glaucophane
Pl = feldspath plagioclase

"Eclogite"

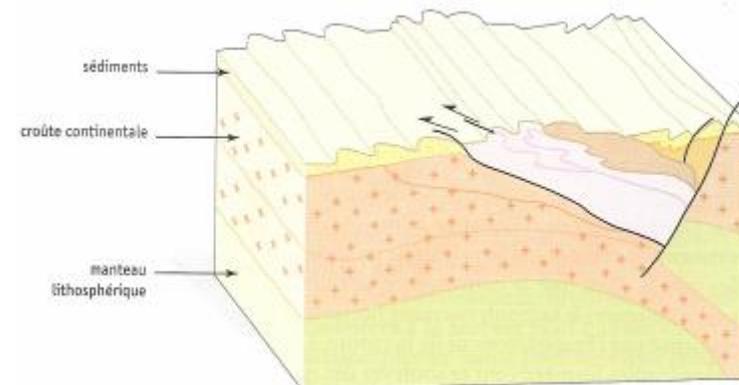
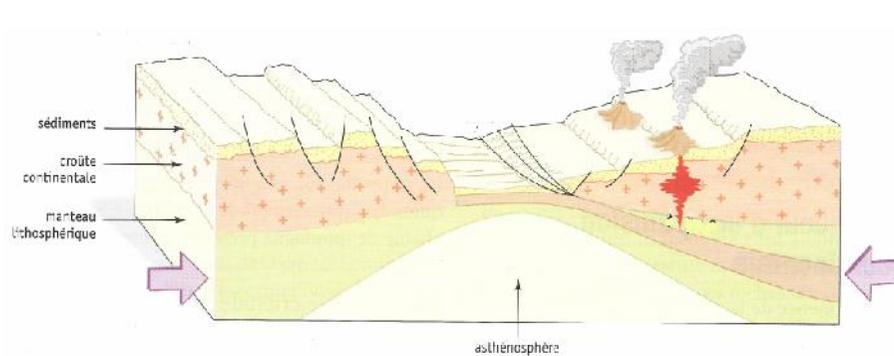
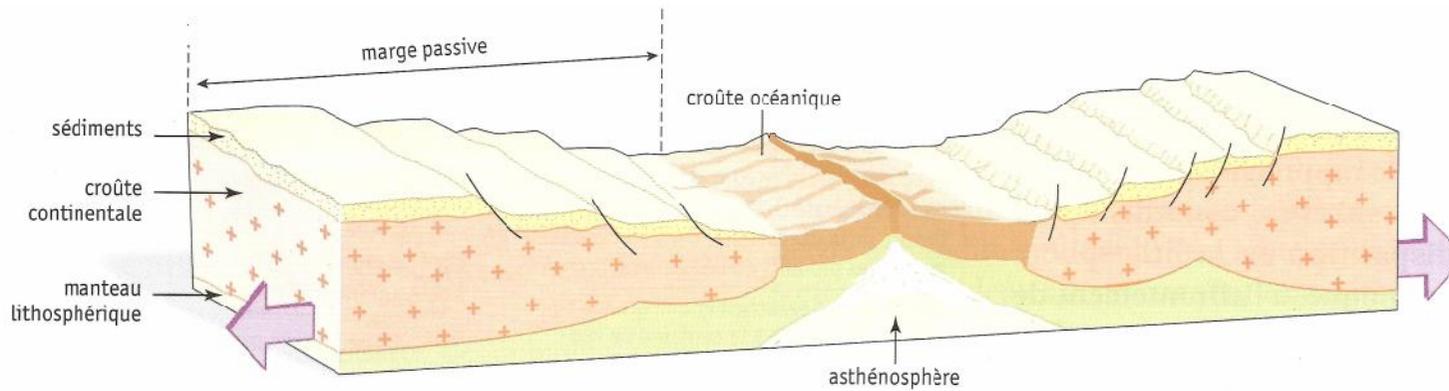
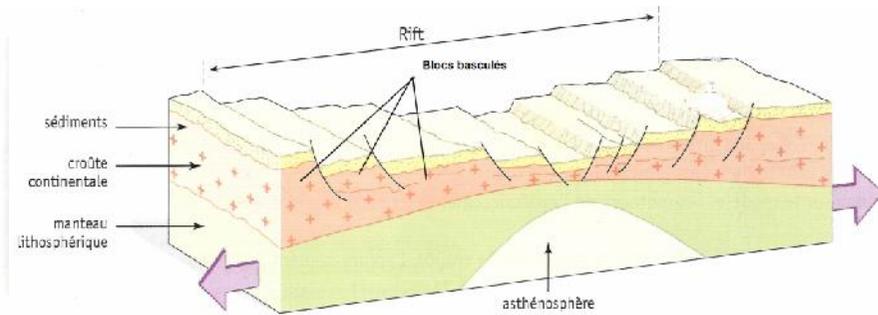
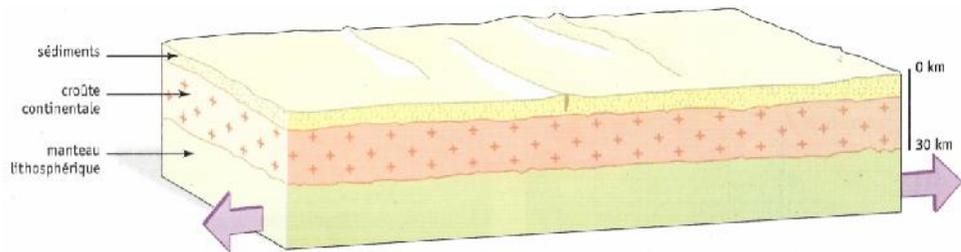


Métagabbro à jadéite et grenat

Gr = grenat
Ja = jadéite
(pyroxène vert)
Px = relique de pyroxène

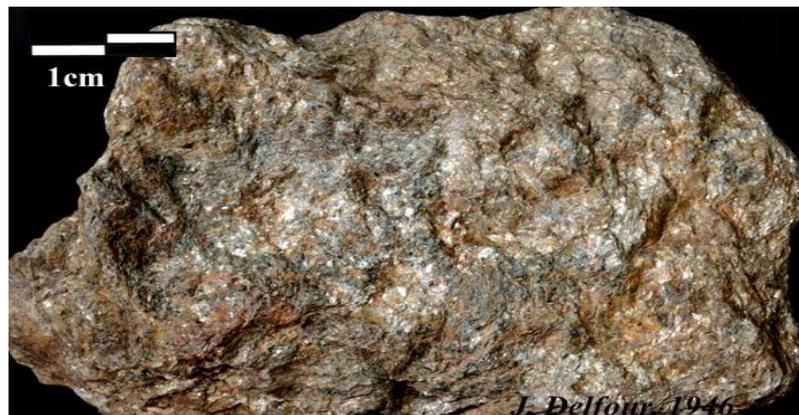
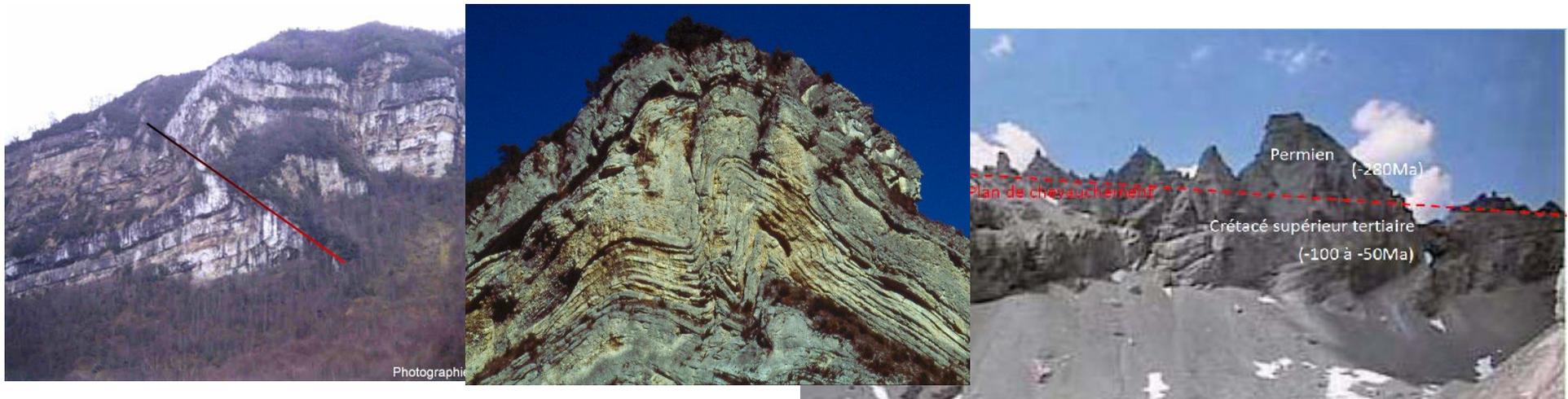


Scenarior type de la formation d'une chaîne de montagnes

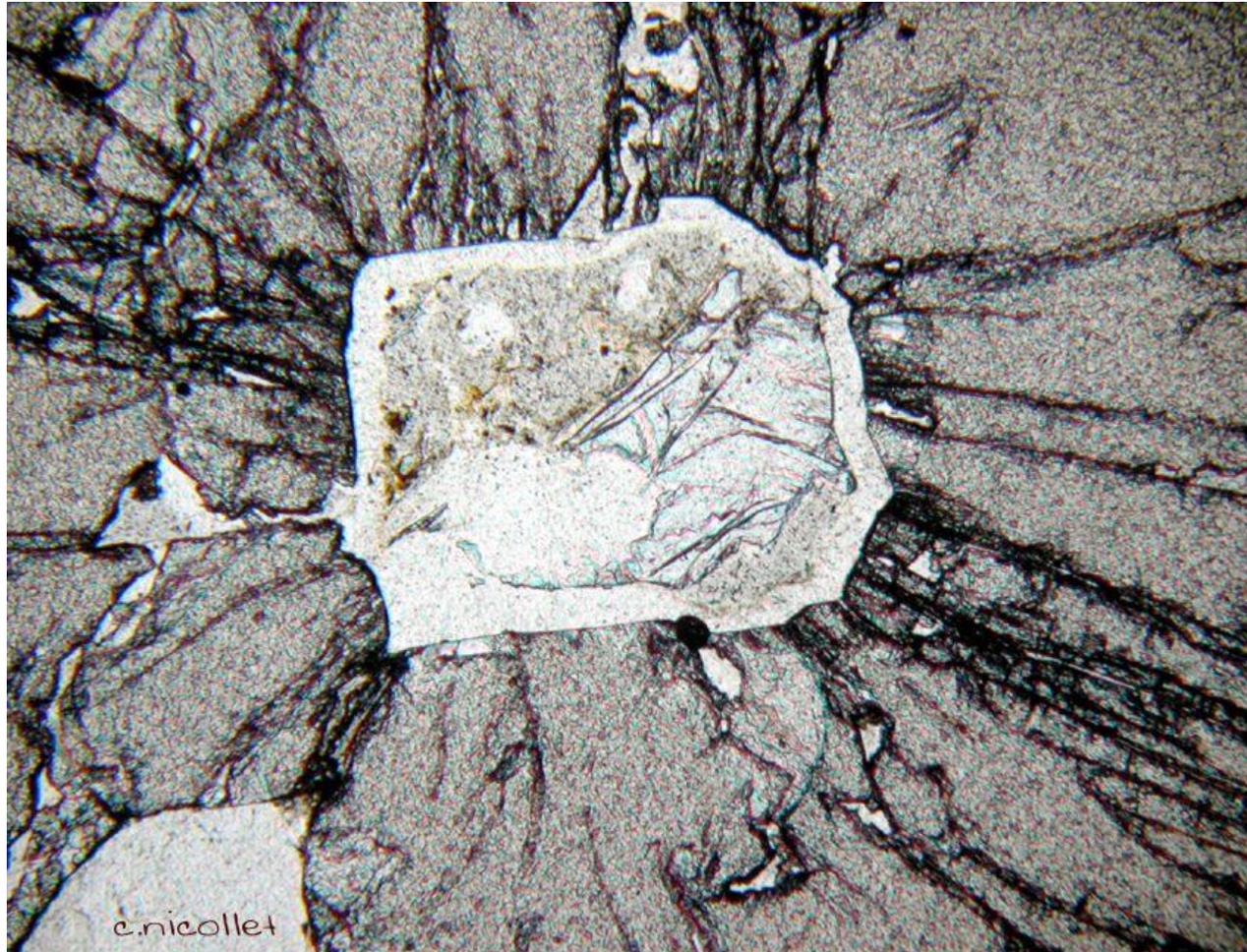


Dans les Alpes: des failles inverses, plis et nappes de charriage

Des roches métamorphiques formées pendant l'épaississement

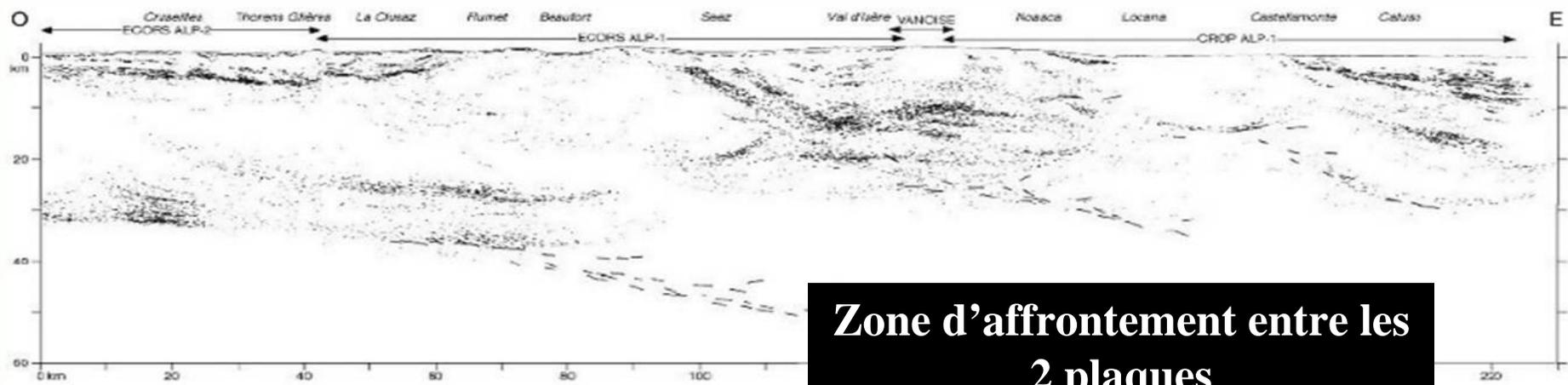


Dans les Alpes, : de la coésite témoin de la subduction continentale



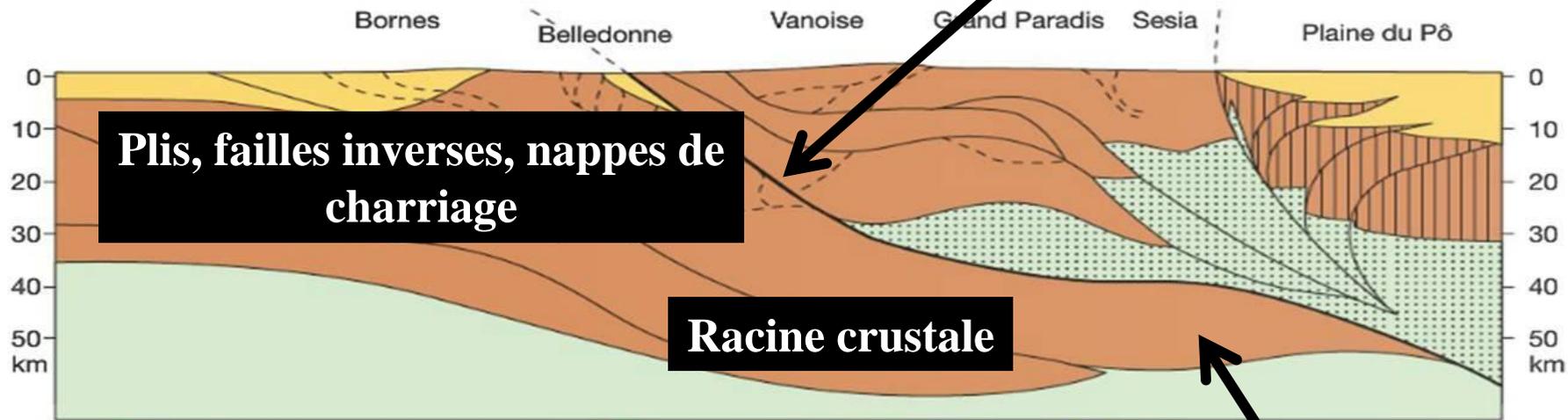
Coésite (Dora Maira)

Sous les Alpes : une structure profonde en accord avec le modèle



Profil a

Zone d'affrontement entre les 2 plaques



Profil b

Plis, failles inverses, nappes de charriage

Racine crustale

Subduction continentale