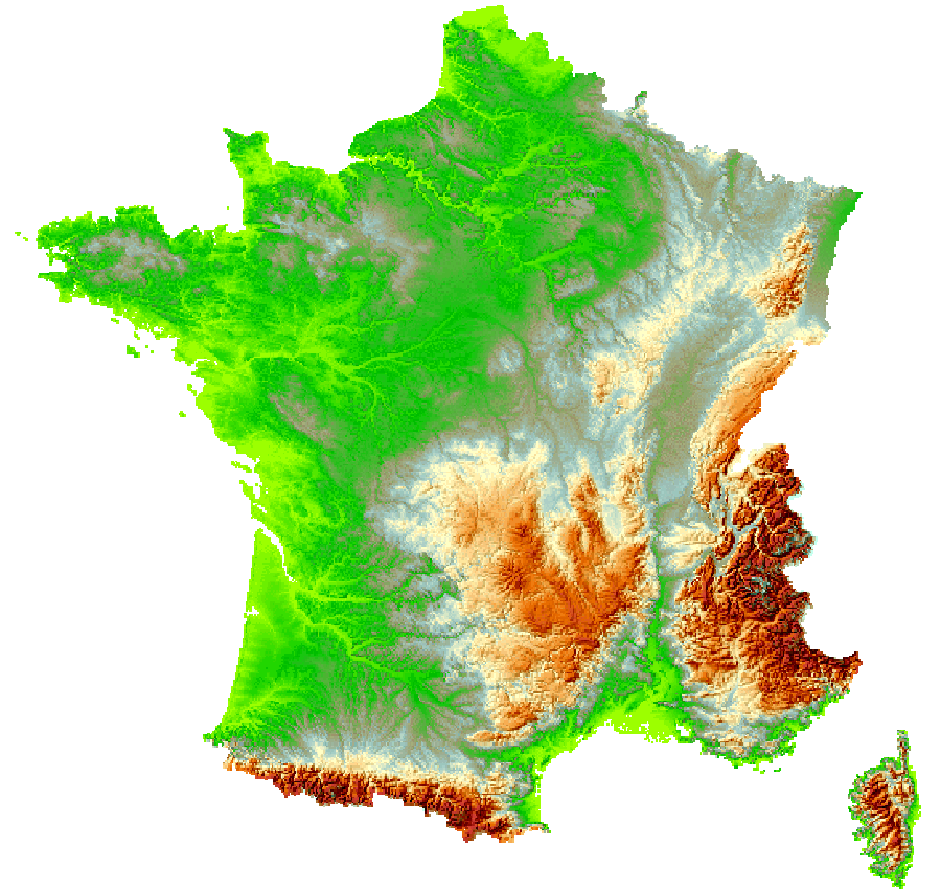
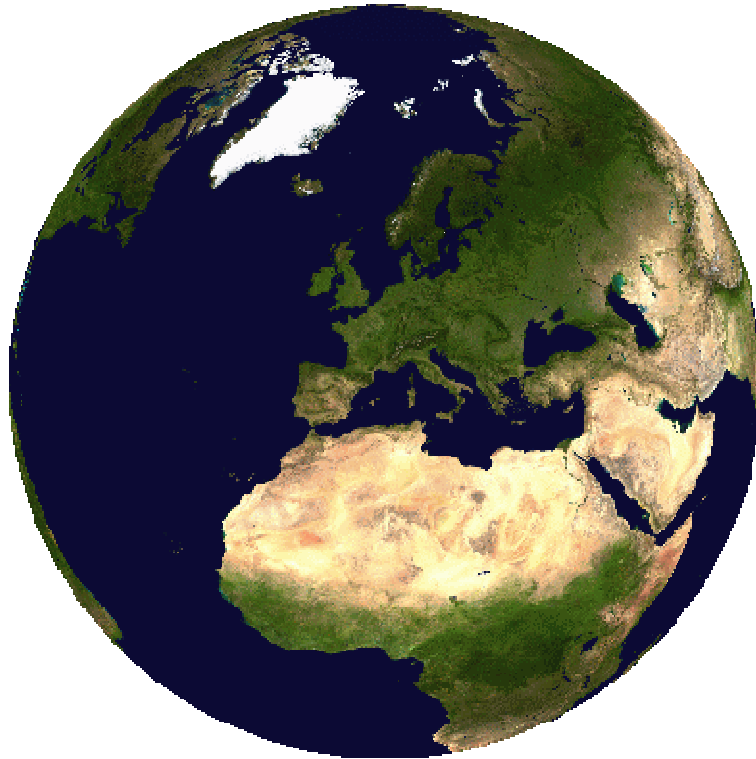
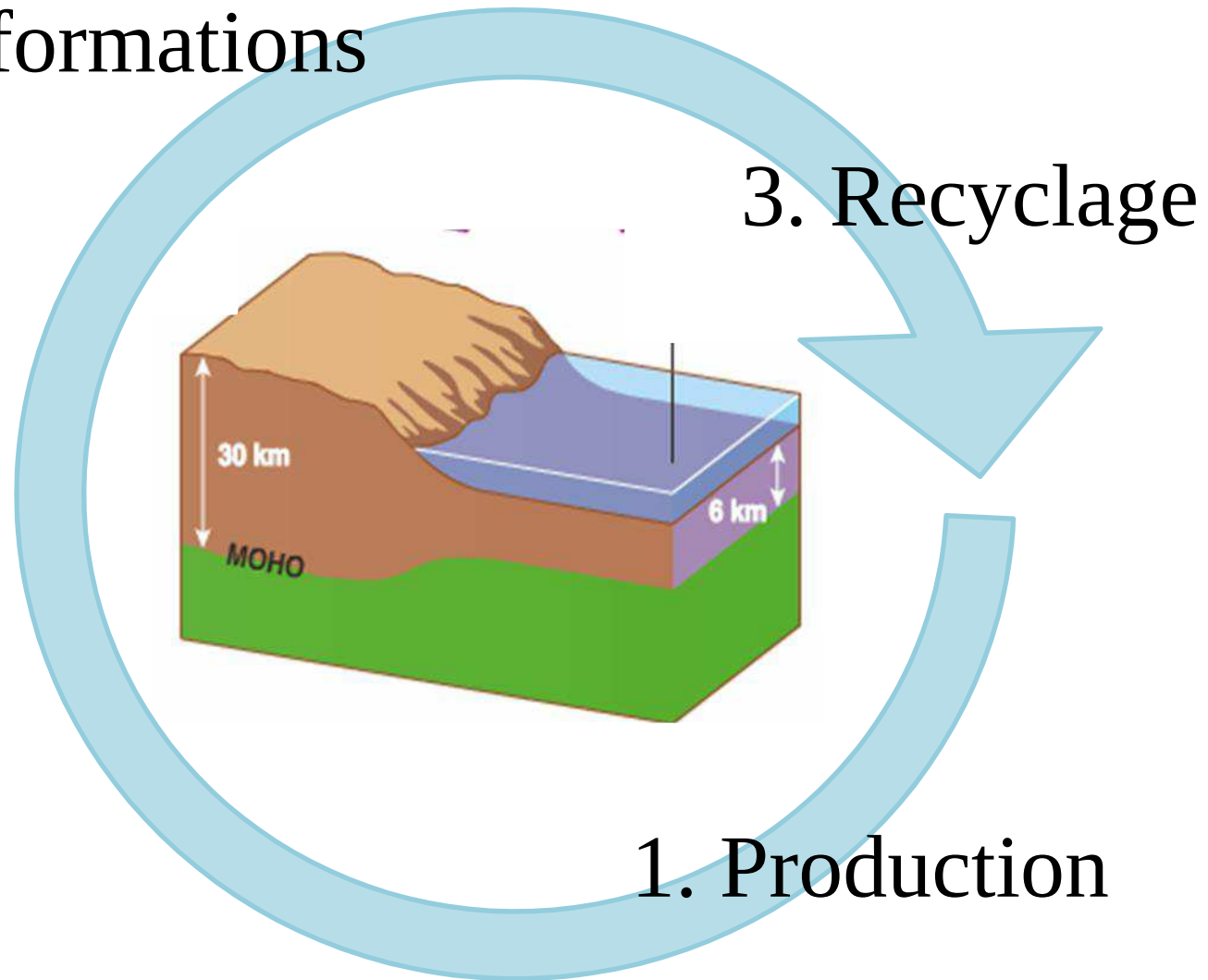


Les continents et leur dynamique



2. Transformations

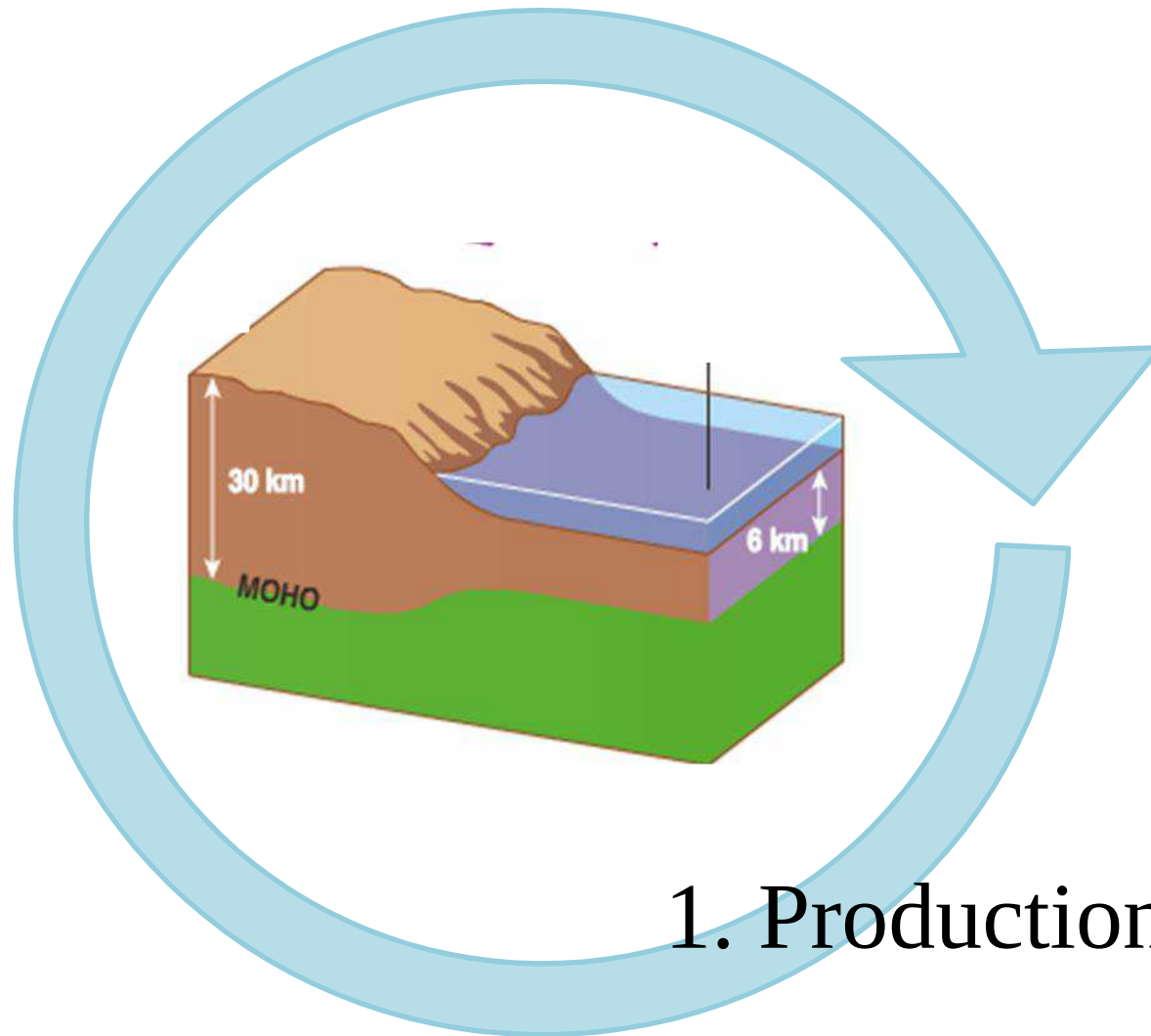


TS

Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale.

**Comment la croûte continentale est-elle
produite, transformée puis recyclée?**

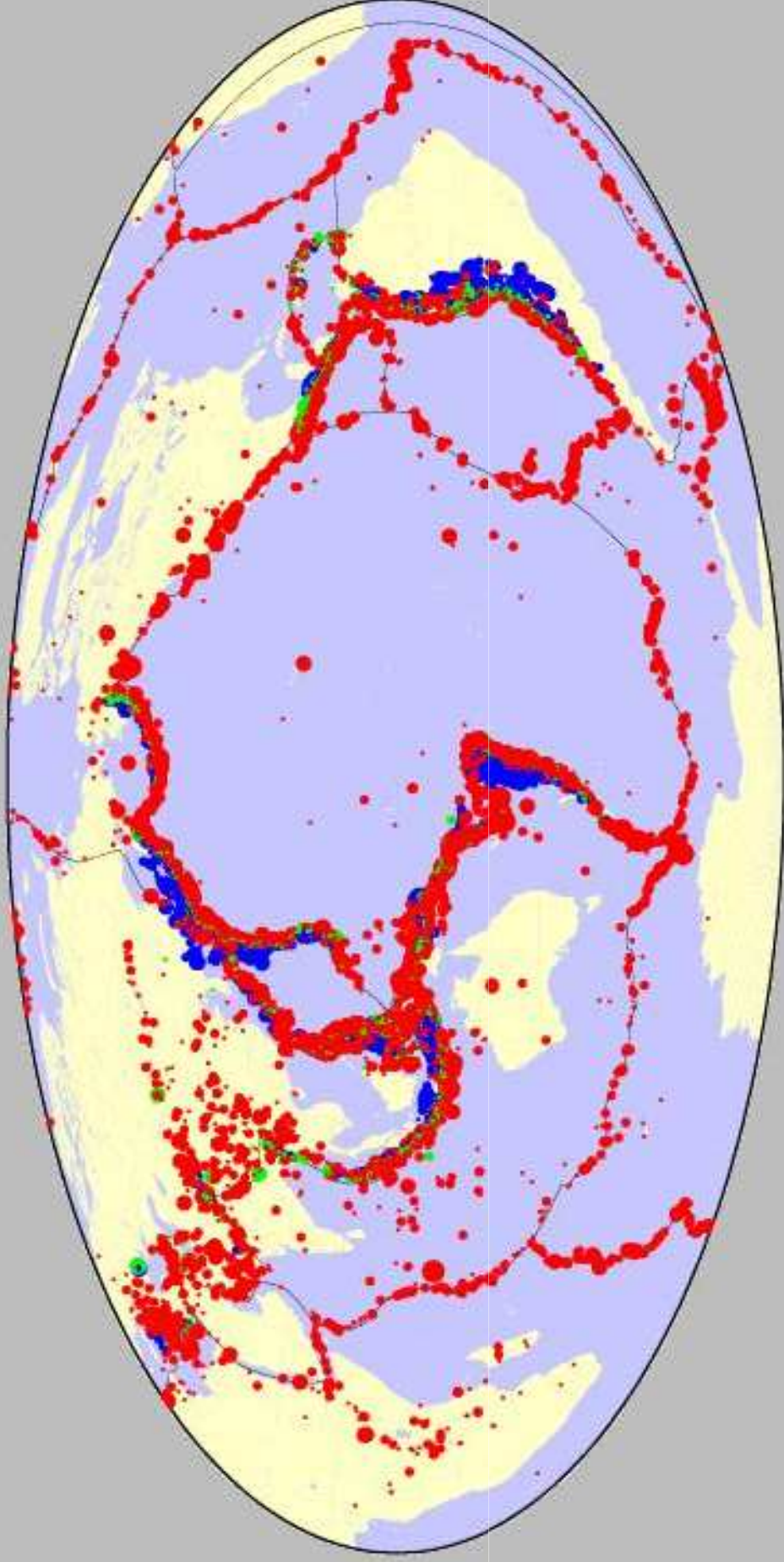
Dynamique de la croûte continentale



Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
 - A. Une activité magmatique dans les zones de subduction

WORLD SEISMICITY



- Magnitude 7.5 - 8.5
- Magnitude 6.5 - 7.5
- Magnitude 5.5 - 6.5
- Magnitude 4.5 - 5.5

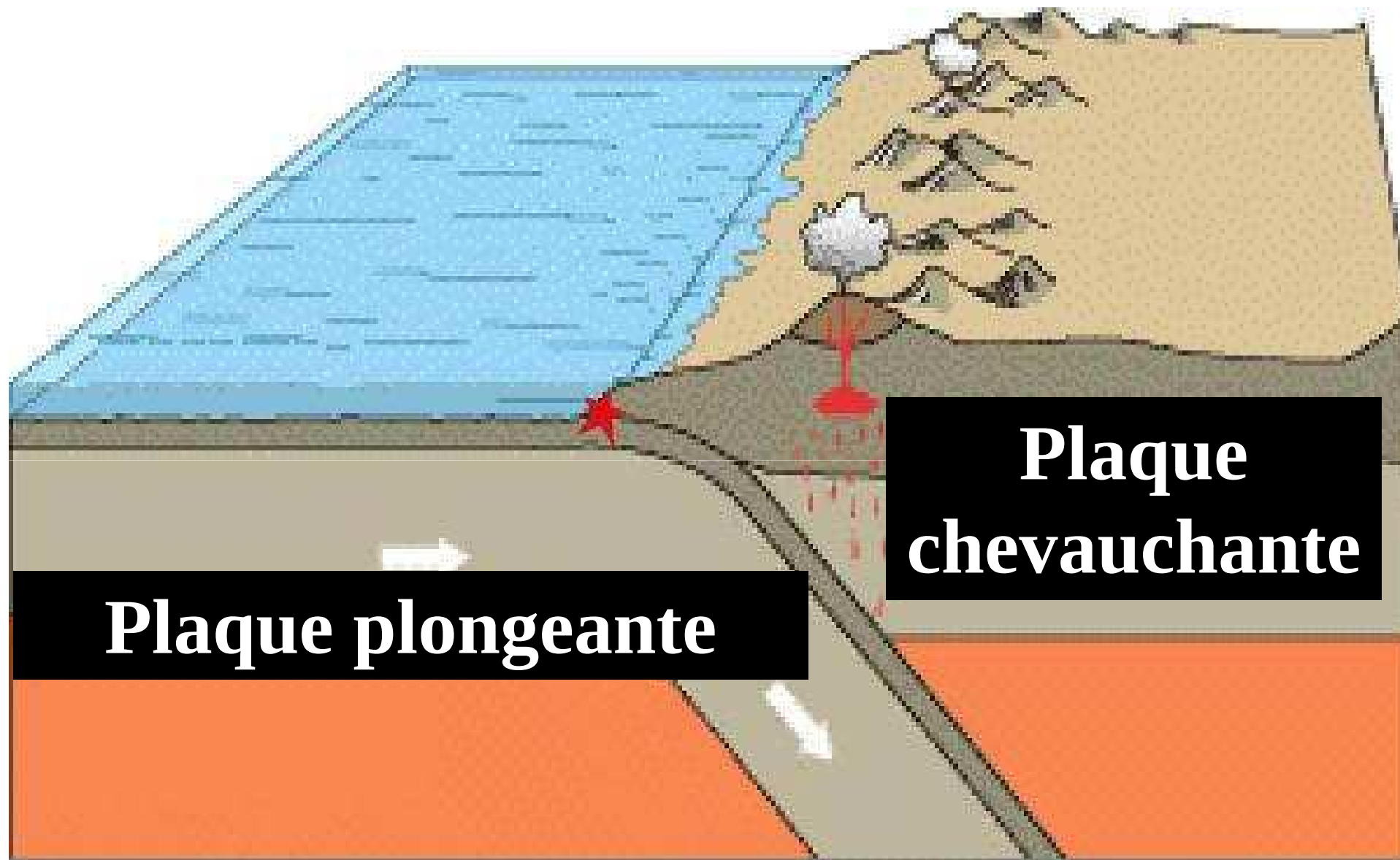
- Depth < 50 km
- Depth 50 km - 100 km
- Depth > 100 km

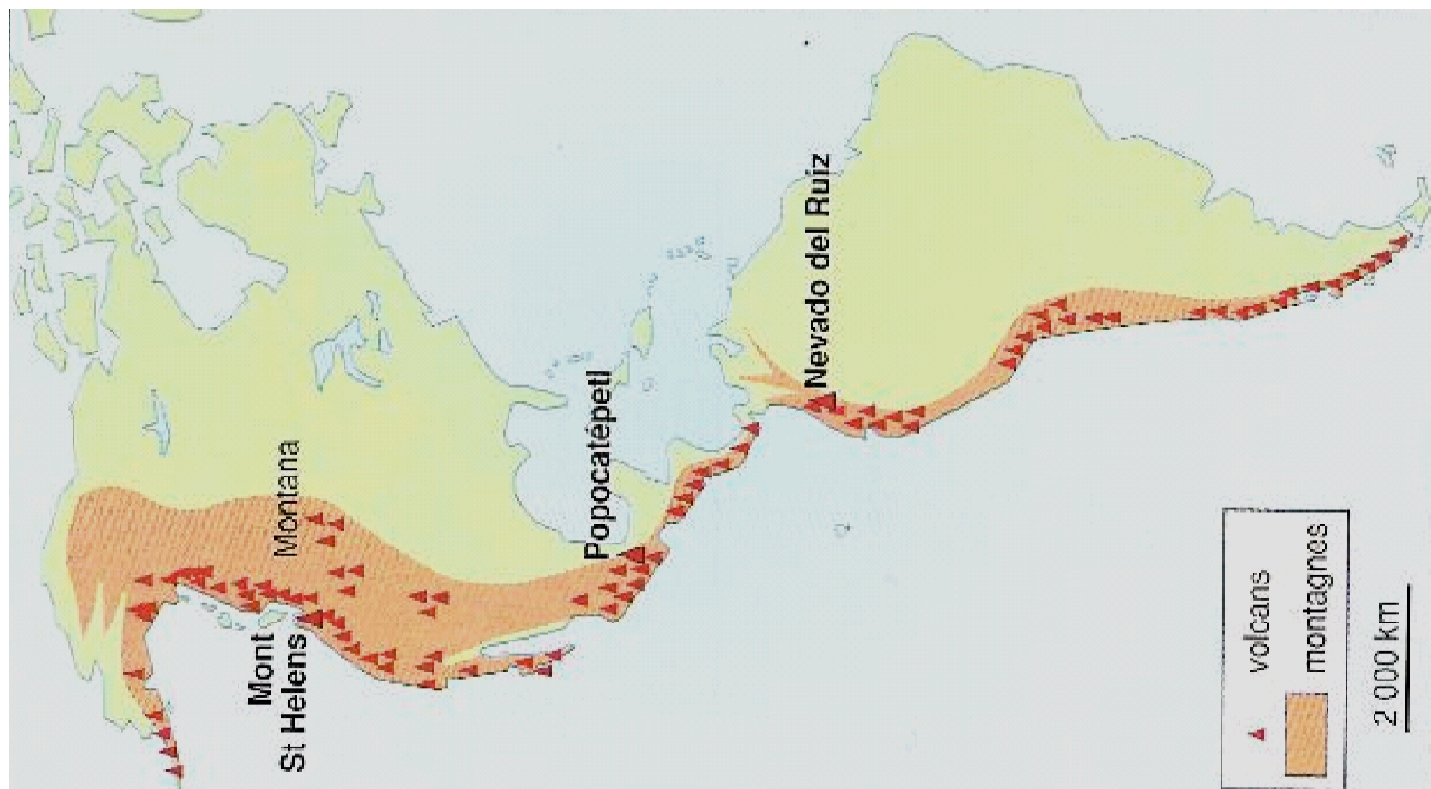
Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction

A. Une activité magmatique dans les zones de subduction

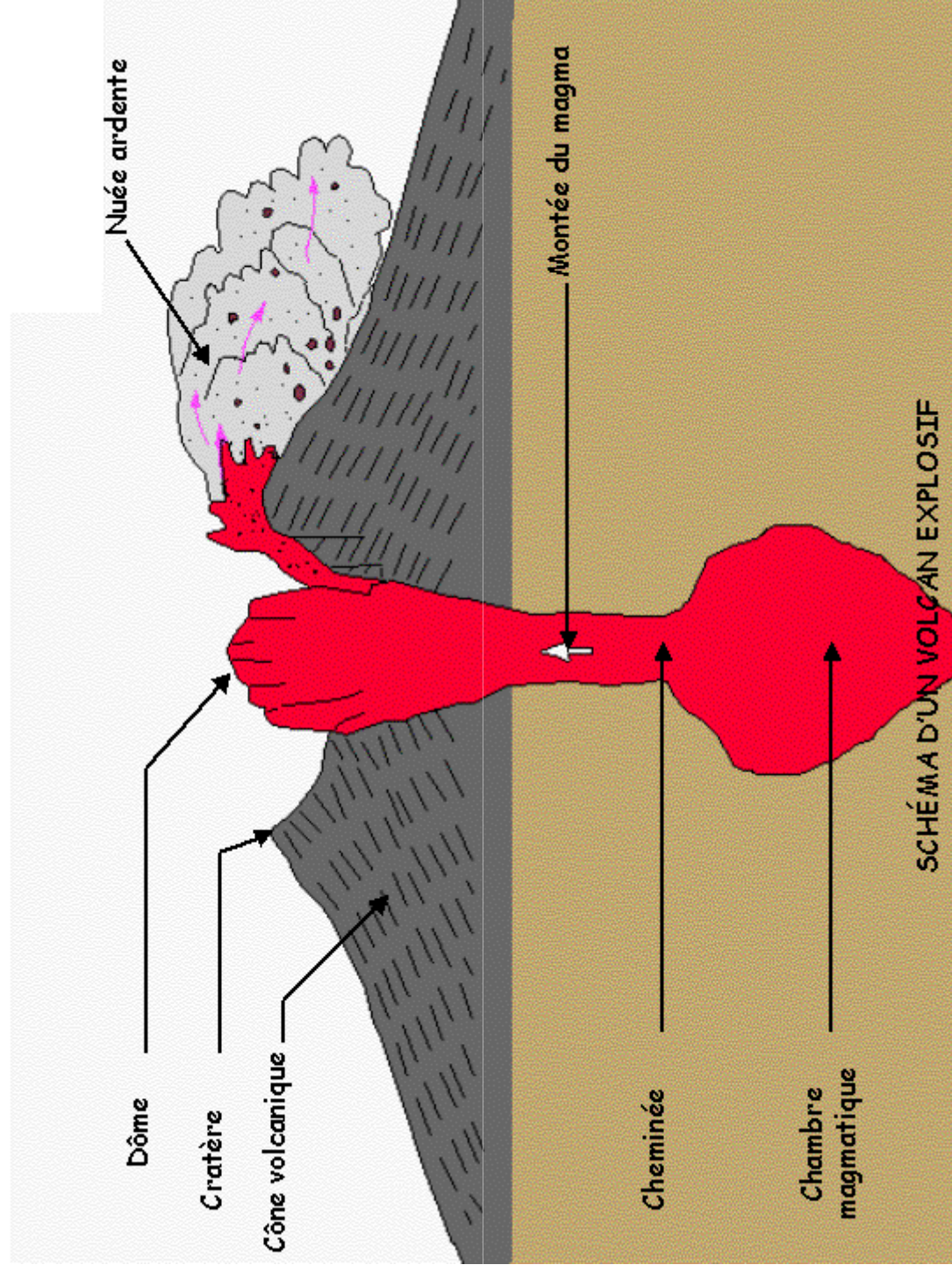
1. Un témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction : le volcanisme de type explosif







Pinatubo, Philippines.





Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

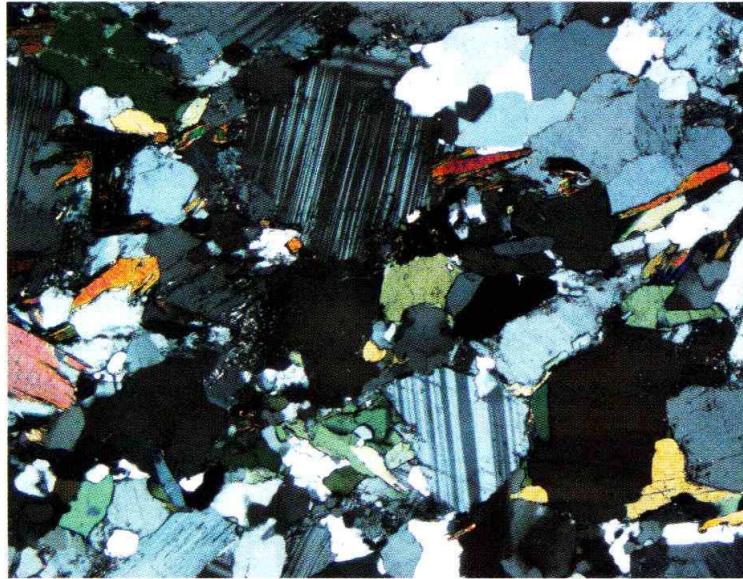
- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
 - A. Une activité magmatique dans les zones de subduction
 - 1. Un témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction : le volcanisme de type explosif
 - 2. Les principales roches magmatiques qui se forment dans les zones de subduction

Des roches plutoniques et des roches volcaniques

• LA DIORITE



a Un échantillon de diorite



b lame min

Texture grenue

Texture
microlithique

• L'ANDÉSITE



a Un échantillon d'andésite



b lame mince d'andésite observée en lumière polarisée analysée

Texture microlitique



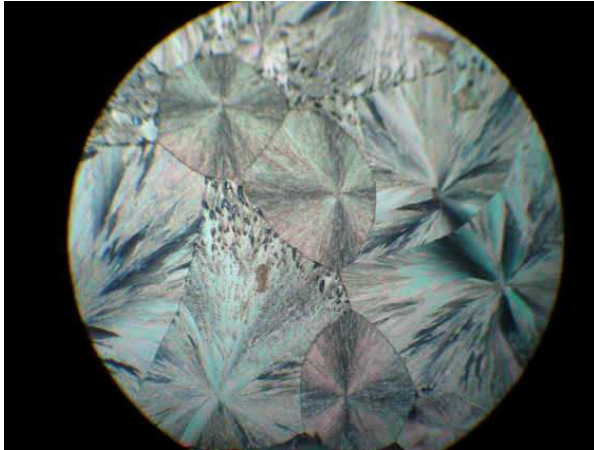
Verre
volcanique

microlites

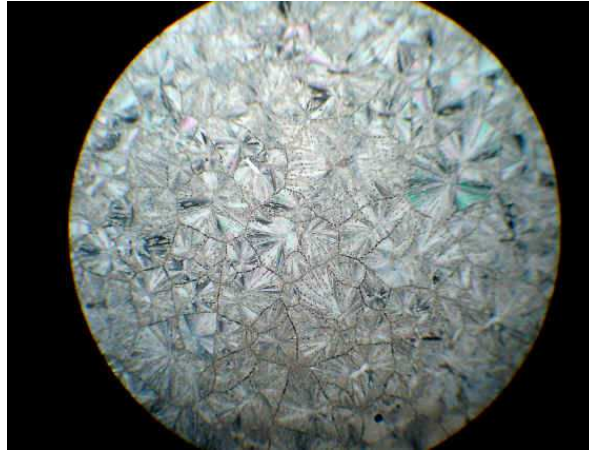
phénocristaux

b Lamé mince d'andésite observée en lumière polarisée analysée

Modélisation vanilline



A température ambiante



Au frigo, 10°C

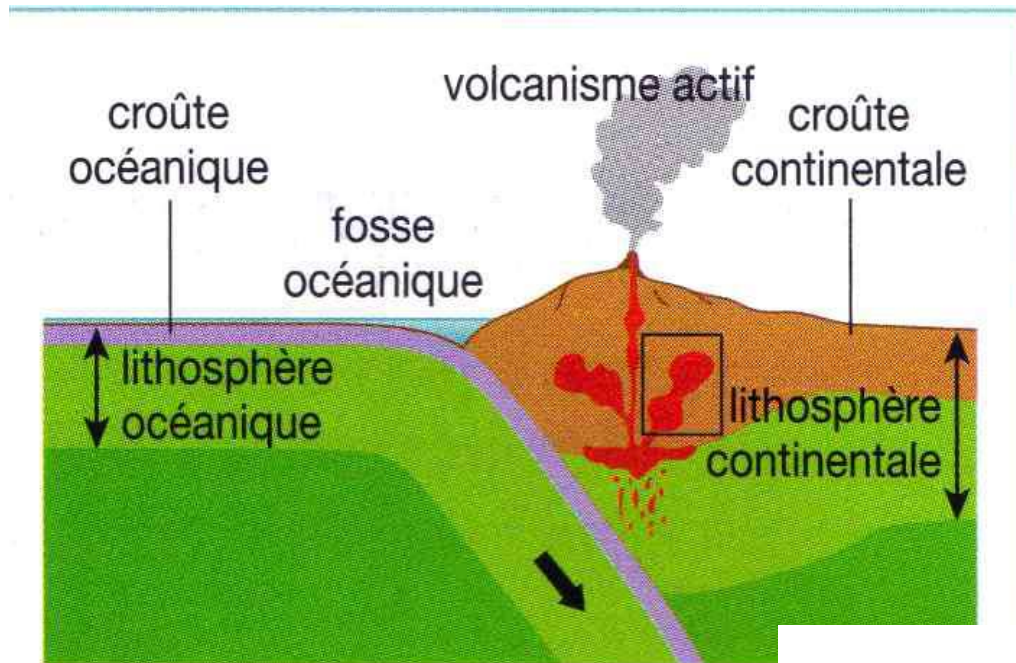


Au frigo, 5°C



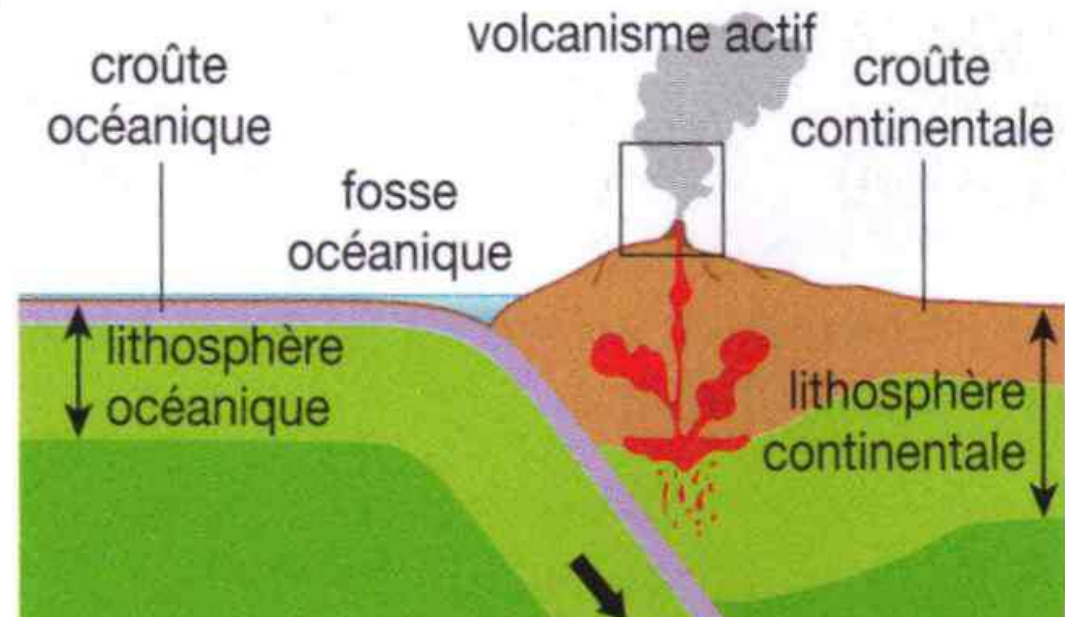
Sur un bloc de glace

Des roches plutoniques et des roches volcaniques

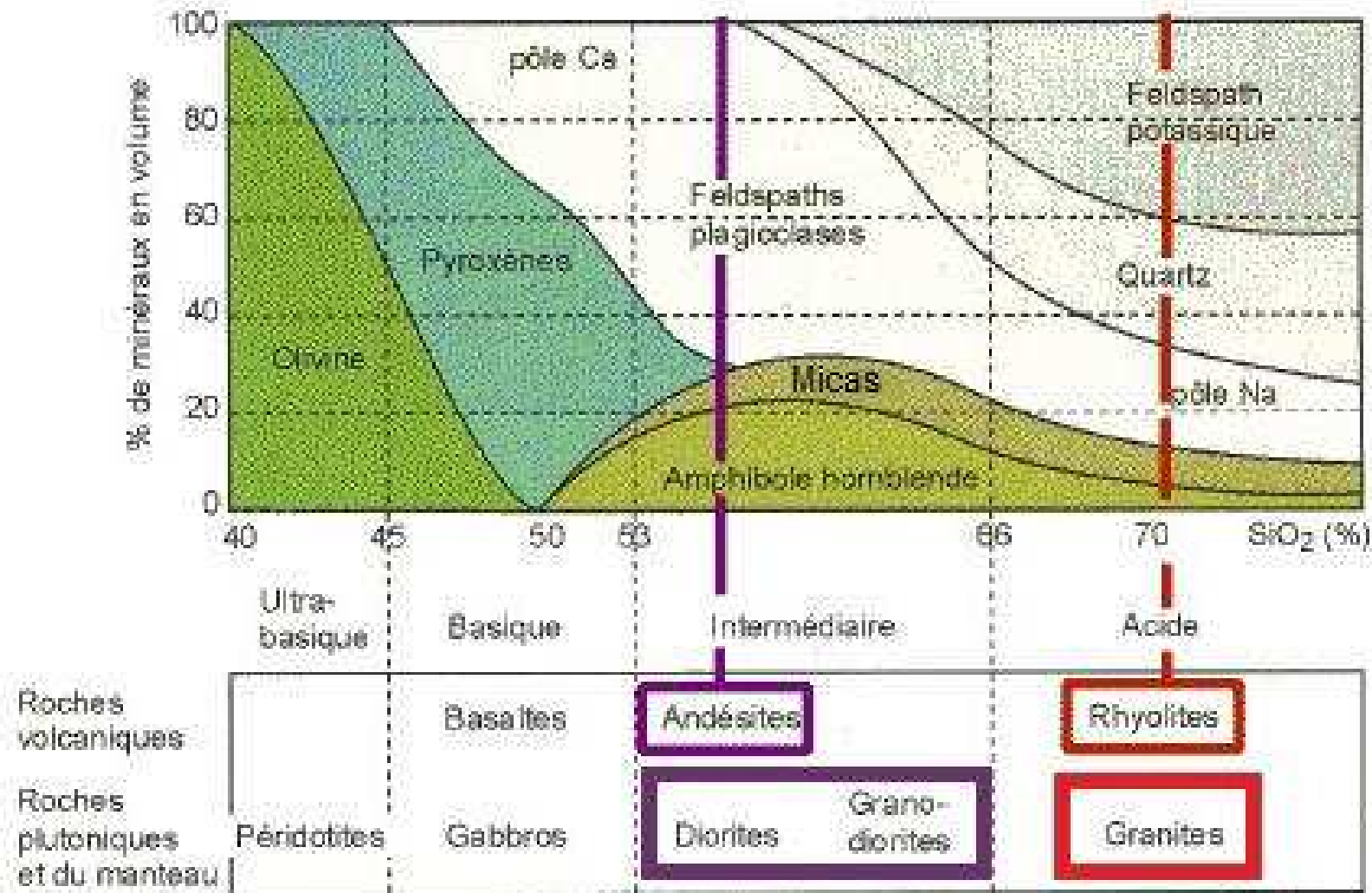


Refroidissement lent,
en profondeur
Roches plutoniques
Texture grenue

Refroidissement
brutal, en surface
Roches volcaniques
Texture microlitique



Les roches magmatiques volcaniques

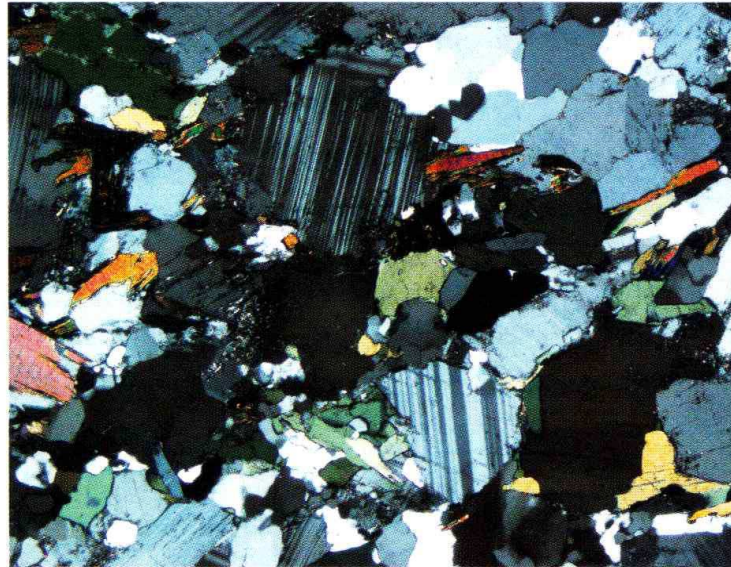


Diorite et andésite : deux roches de même composition

• LA DIORITE



a Un échantillon de diorite



La diorite

- Roche magmatique plutonique
- Structure grenue
- Composition minéralogique : plagioclases, amphiboles, biotite et muscovite, pyroxènes.

• L'ANDÉSITE



a Un échantillon d'andésite



L'andésite

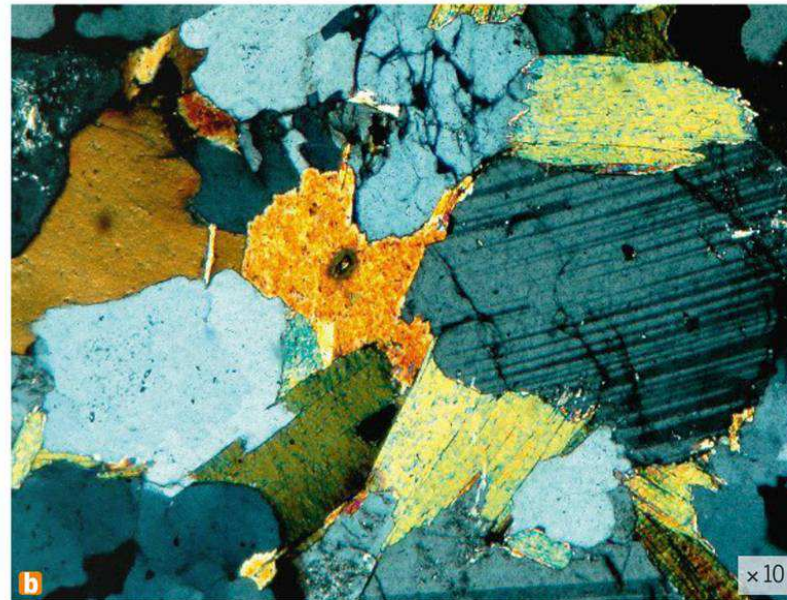
- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de plagioclases, d'amphiboles, de pyroxènes, de biotite ;
 - microlites d'amphiboles et de plagioclases ;
 - verre (partie non cristallisée).

Granite et rhyolite : deux roches de même composition



a Échantillon de granite

- Roche **magmatique plutonique**
- **Composition minéralogique** : quartz et feldspaths (80 %), micas, éventuellement amphiboles.

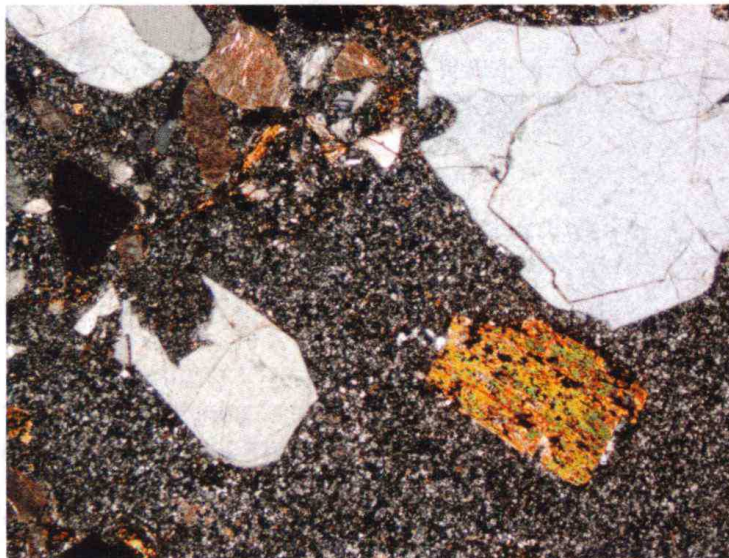


Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

• LA RHYOLITE



a Un échantillon de rhyolite

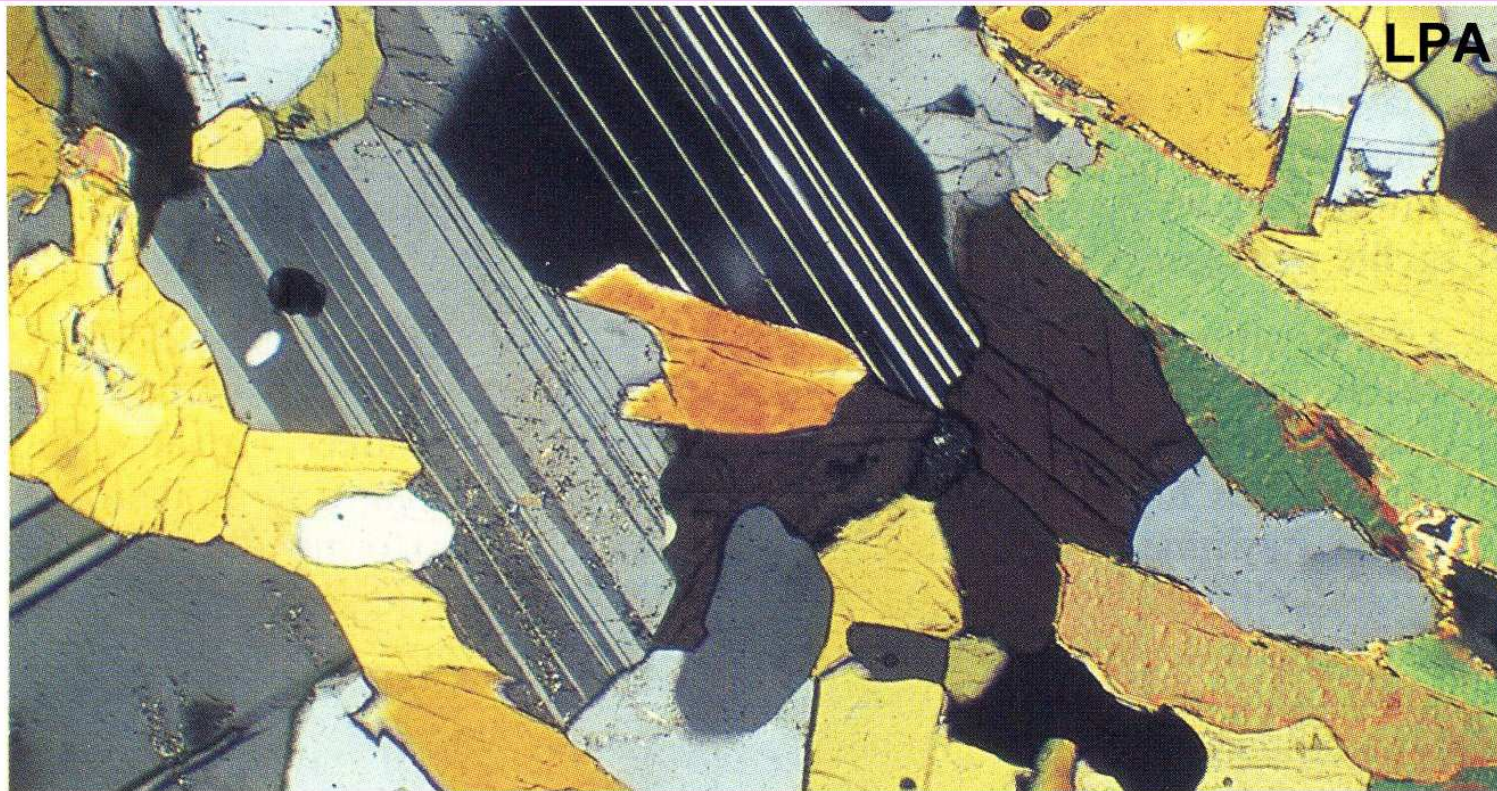


La rhyolite

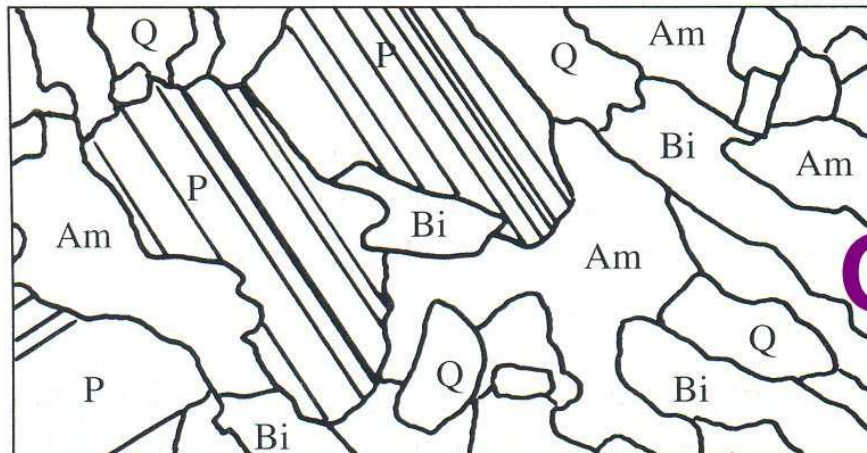
- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de quartz, d'amphiboles, de feldspath potassique et plagioclases, de biotite ;
 - microlites de quartz et de feldspaths ;
 - verre (partie non cristallisée).

Granodiorite

échant



× 15



Q = quartz
P = feldspar plagioclase
Bi = biotite
Am = amphibole

Granodiorite

Granitoïdes

• LA DIORITE

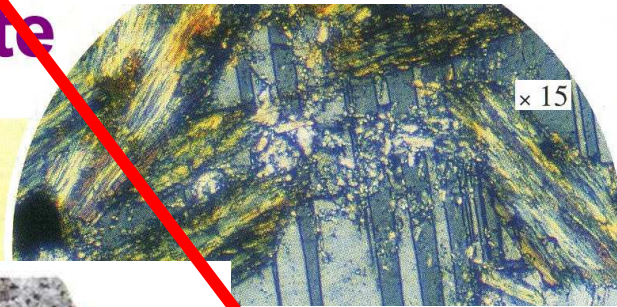
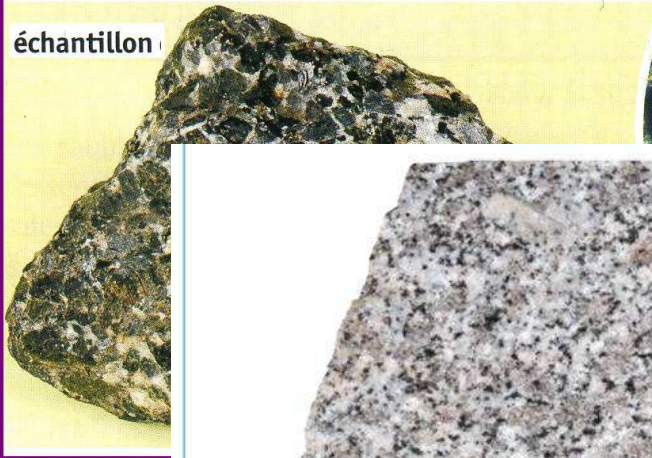


a Un échantillon de diorite



Granodiorite

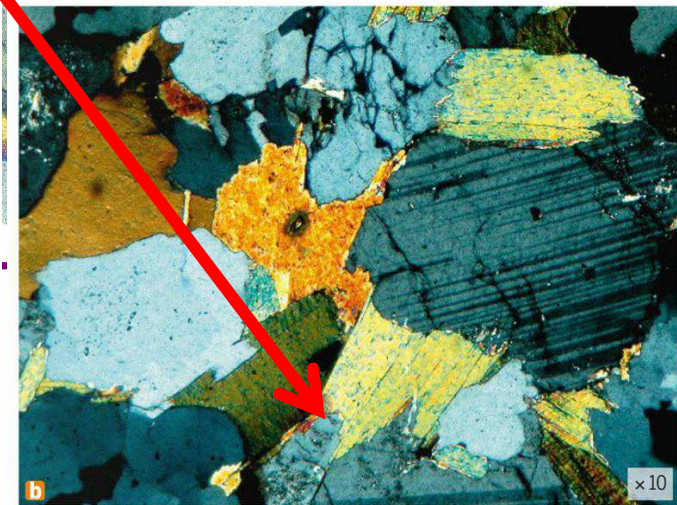
échantillon



a Échantillon de granite

- Roche **magmatique plutonique**
- **Composition minéralogique** : quartz et feldspaths (80 %), micas, éventuellement amphiboles.

Richesse en silice



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

Granitoïdes riches en minéraux hydroxylés

Composition chimique en oxydes (en %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO MgO	Na ₂ O K ₂ O	CaO	H ₂ O
Quartz	100	0	0	0	0	0
Orthose	66,67	11,11	0	22,22	0	0
Plagioclases	50,35	33,23	0	4,12	11,67	0
Biotite	35,3	5,88	35,3	11,76	0	11,76
Muscovite	46,1	23,1	0	15,4	0	15,4
Pyroxènes	50	0	50	0	0	0
Amphiboles	50	0	43,75	0	0	1,25

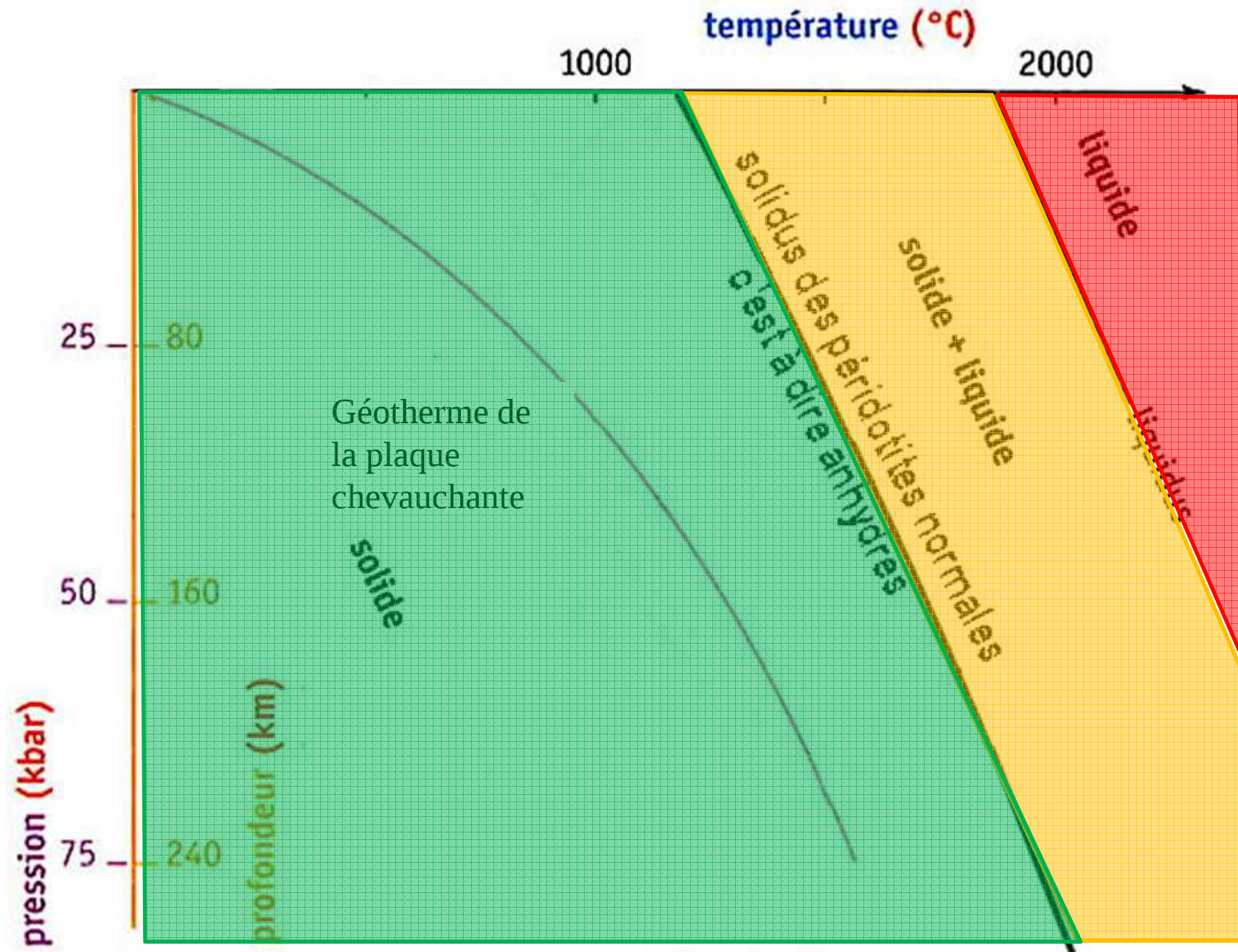
Formules chimiques des principaux minéraux

- Quartz : SiO₂
- Feldspath, orthose : KAlSi₃O₈
- Plagioclases : CaAl₂Si₂O₈ ; NaAlSi₃O₈
- Biotite (mica noir) : K(Fe,Mg)₃AlSi₃O₁₀(OH)₂
- Muscovite (mica blanc) : KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂
- Pyroxènes : Ca(Fe,Mg)Si₂O₆
- Amphiboles : NaCa₂(Mg,Fe,Al)₅[(Si,Al)₈O₂₂](OH)₂

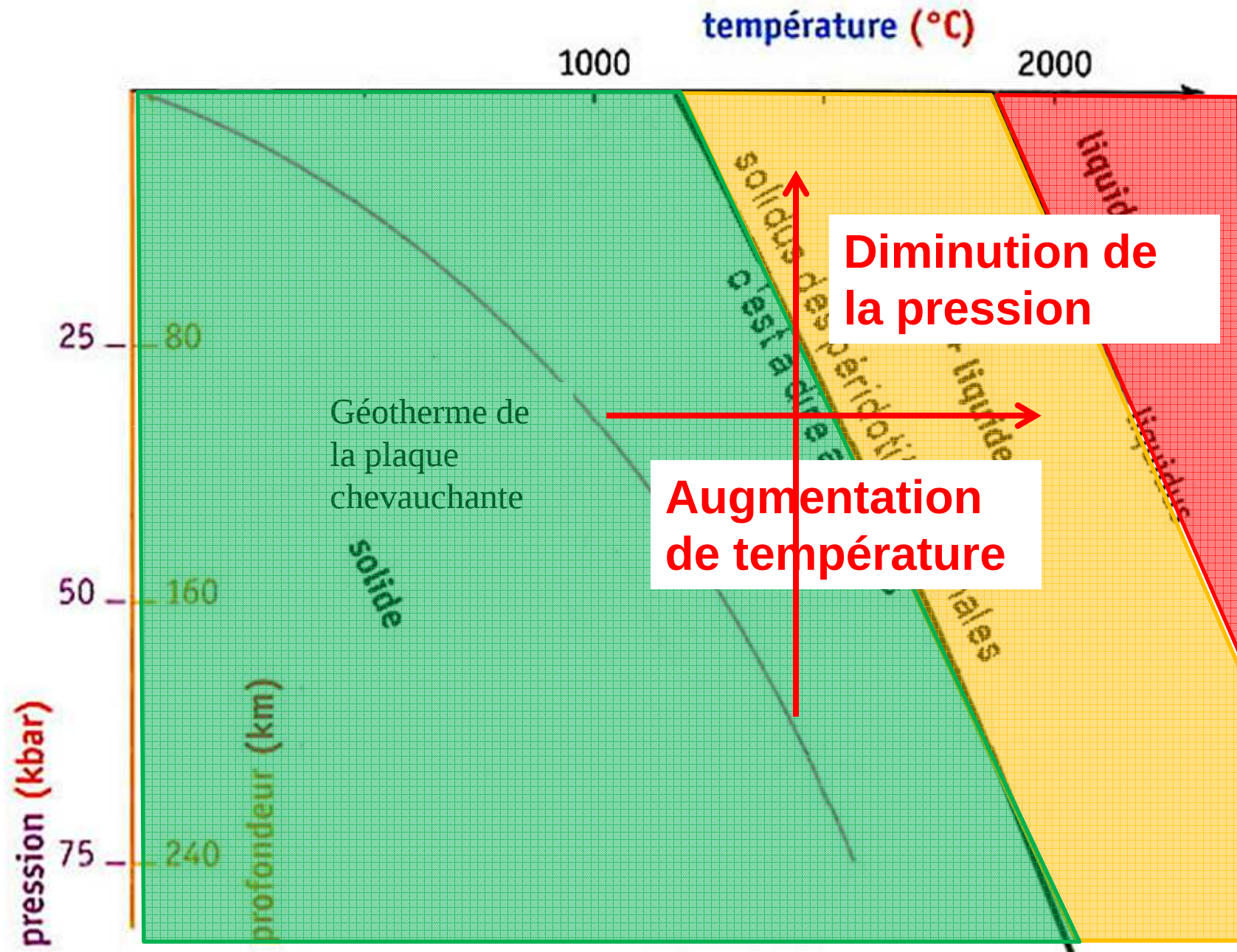
Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
 - A. Une activité magmatique dans les zones de subduction
 - B. Origine du magma des zones de subduction
 - 1. Les conditions de la fusion partielle des péridotites mantelliques

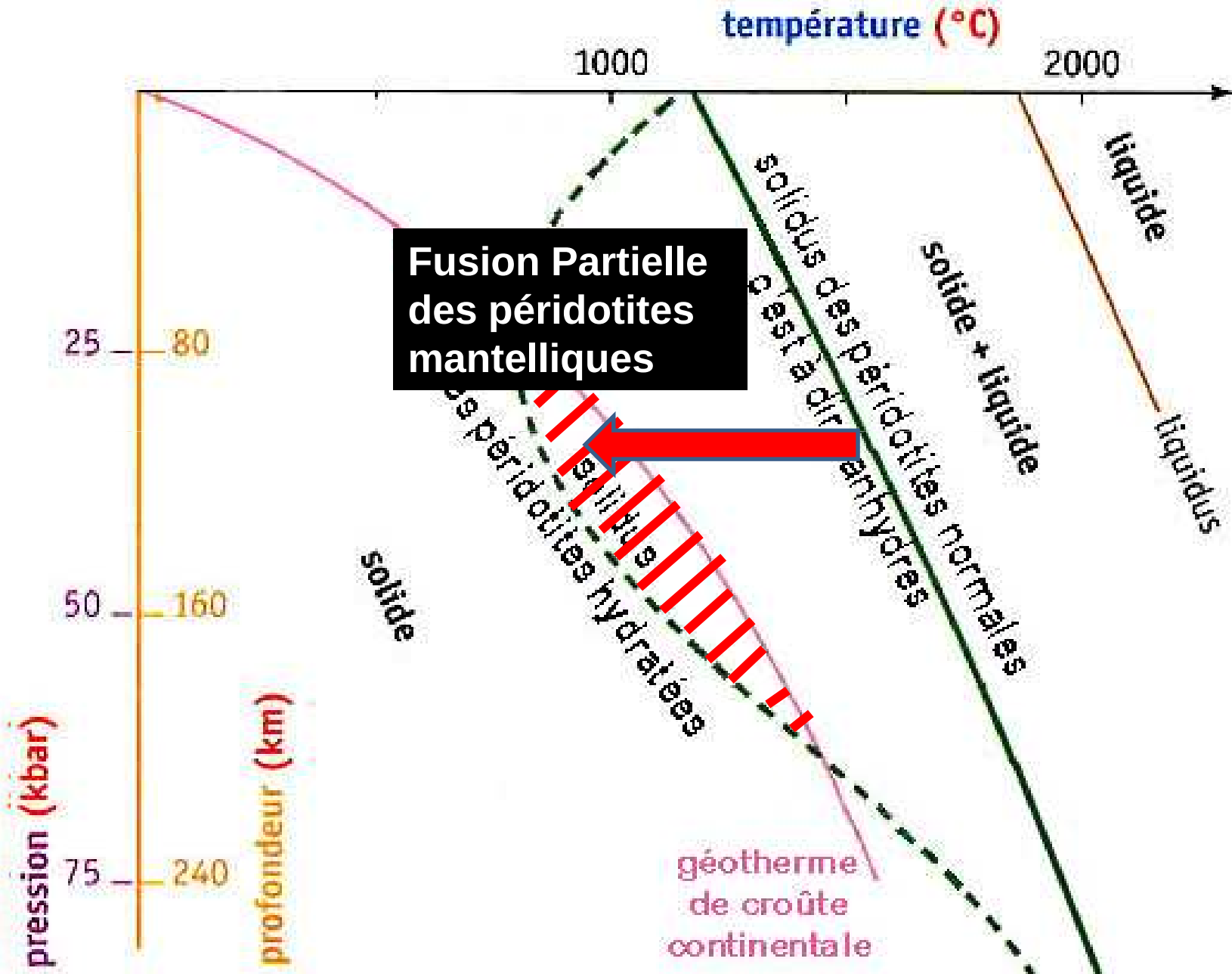
Le diagramme de phase des péridotites mantelliques anhydres



Le diagramme de phase des péridotites mantelliques anhydres



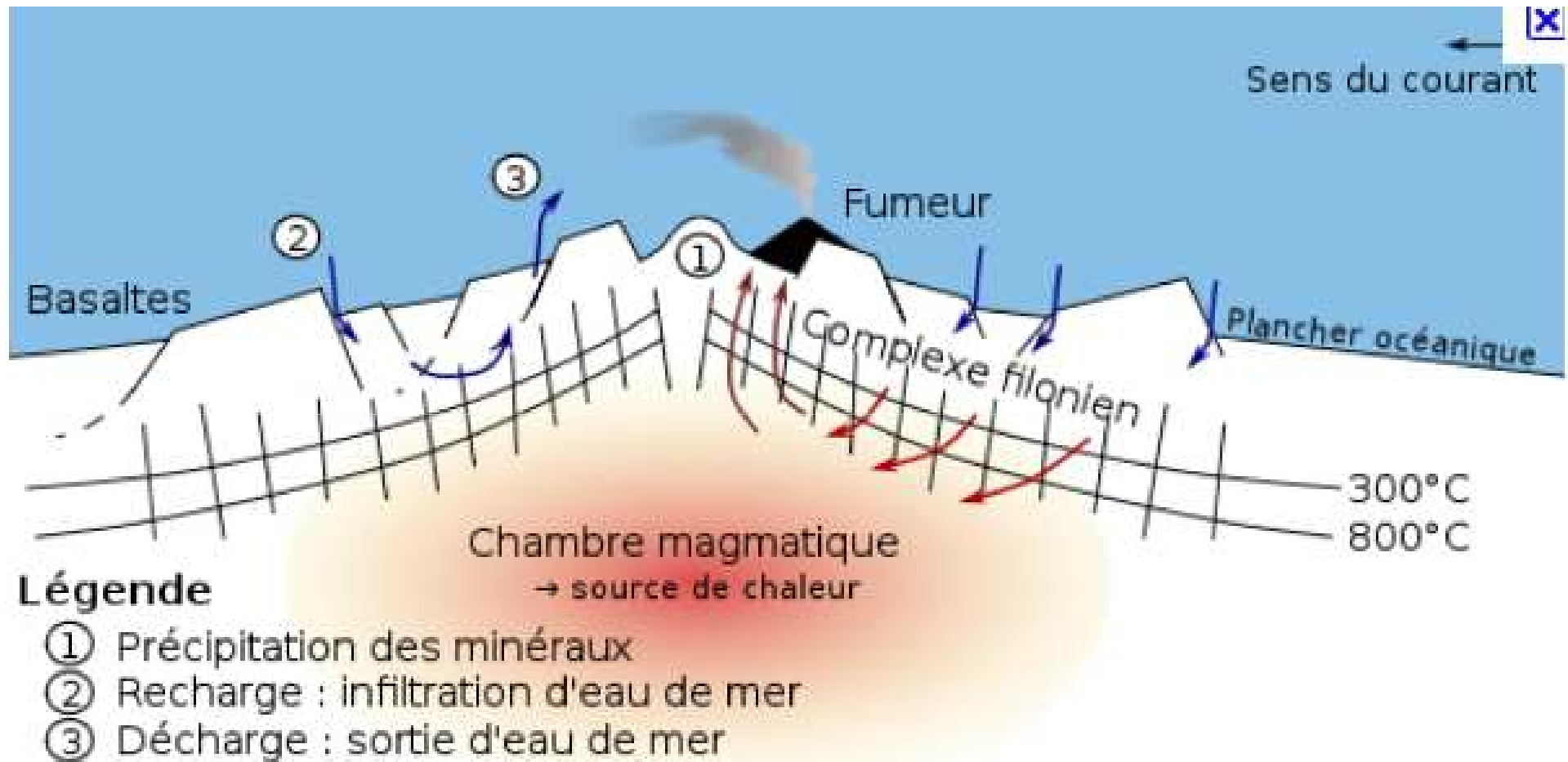
Le diagramme de phase des péridotites mantelliques hydratées



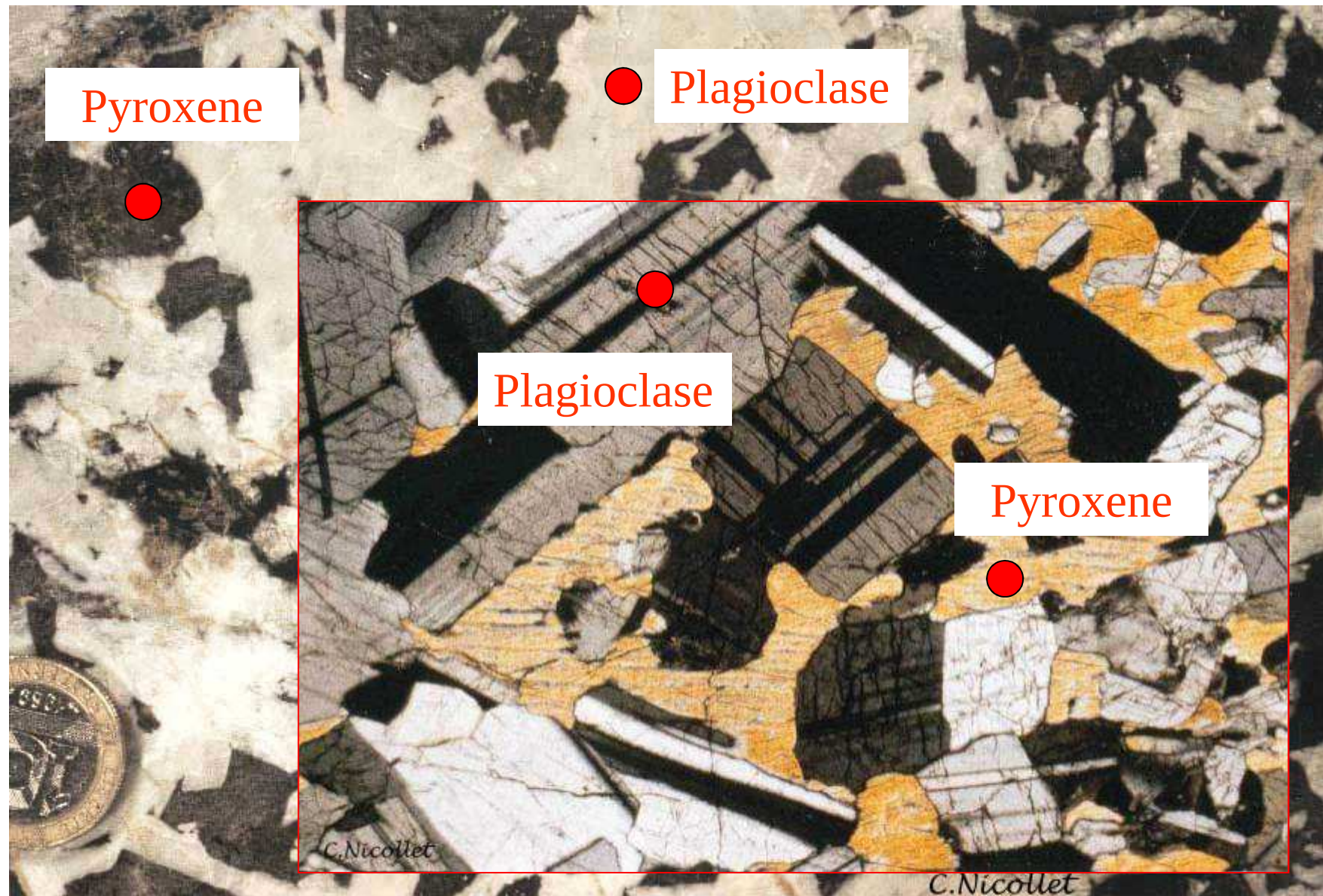
Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

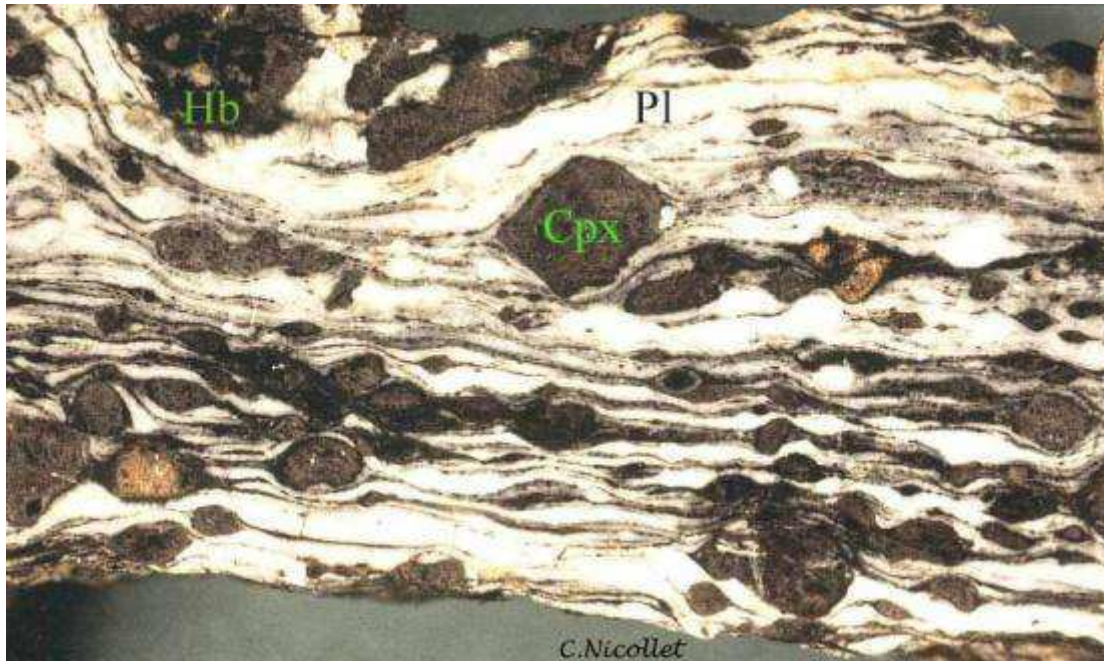
- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
 - A. Une activité magmatique dans les zones de subduction
 - B. Origine du magma des zones de subduction
 - 1. Les conditions de la fusion partielle des péridotites mantelliques
 - 2. Origine de l'eau nécessaire à la fusion partielle des péridotites

Hydratation de la lithosphère océanique lors de son vieillissement



La roche de départ : le gabbro océanique





Gabbro à hornblende

= métagabbro

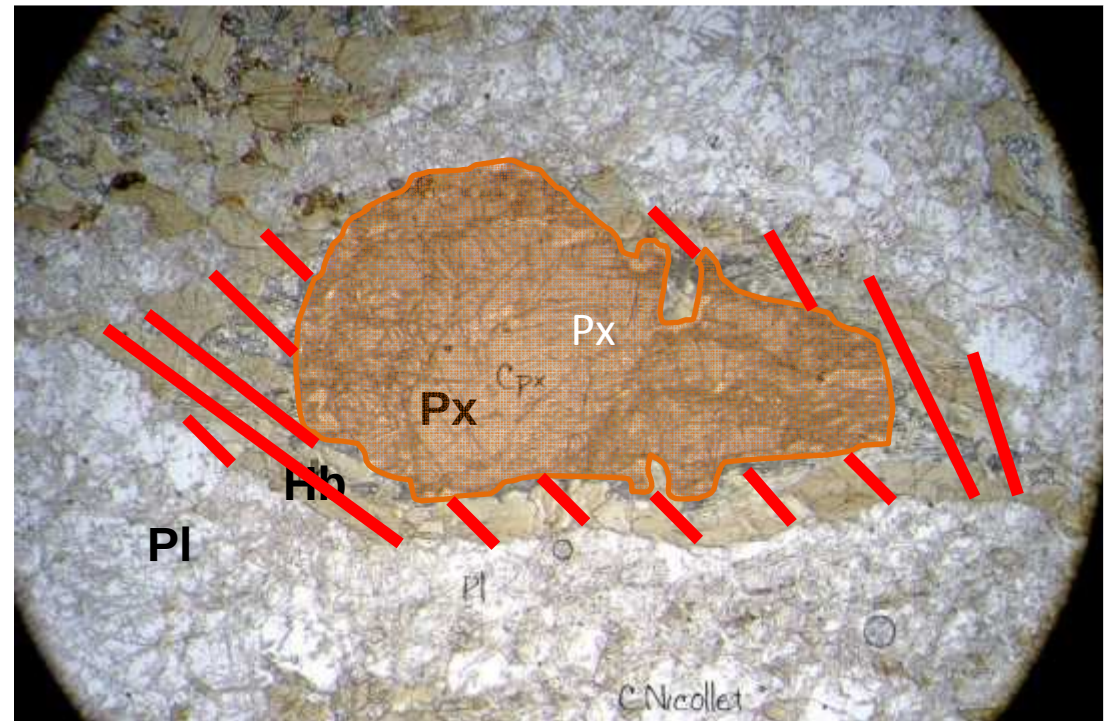
= gabbro métamorphisé dans le faciès des schistes verts

Aspect macro et microscopique

Plagioclase + Pyroxène + eau →
Amphibole brune de type Hornblende

Plagioclase + Hornblende + eau →
Chlorite + Actinote (Amphibole verte)

Minéraux principaux : Feldspaths plagioclases
et hornblende

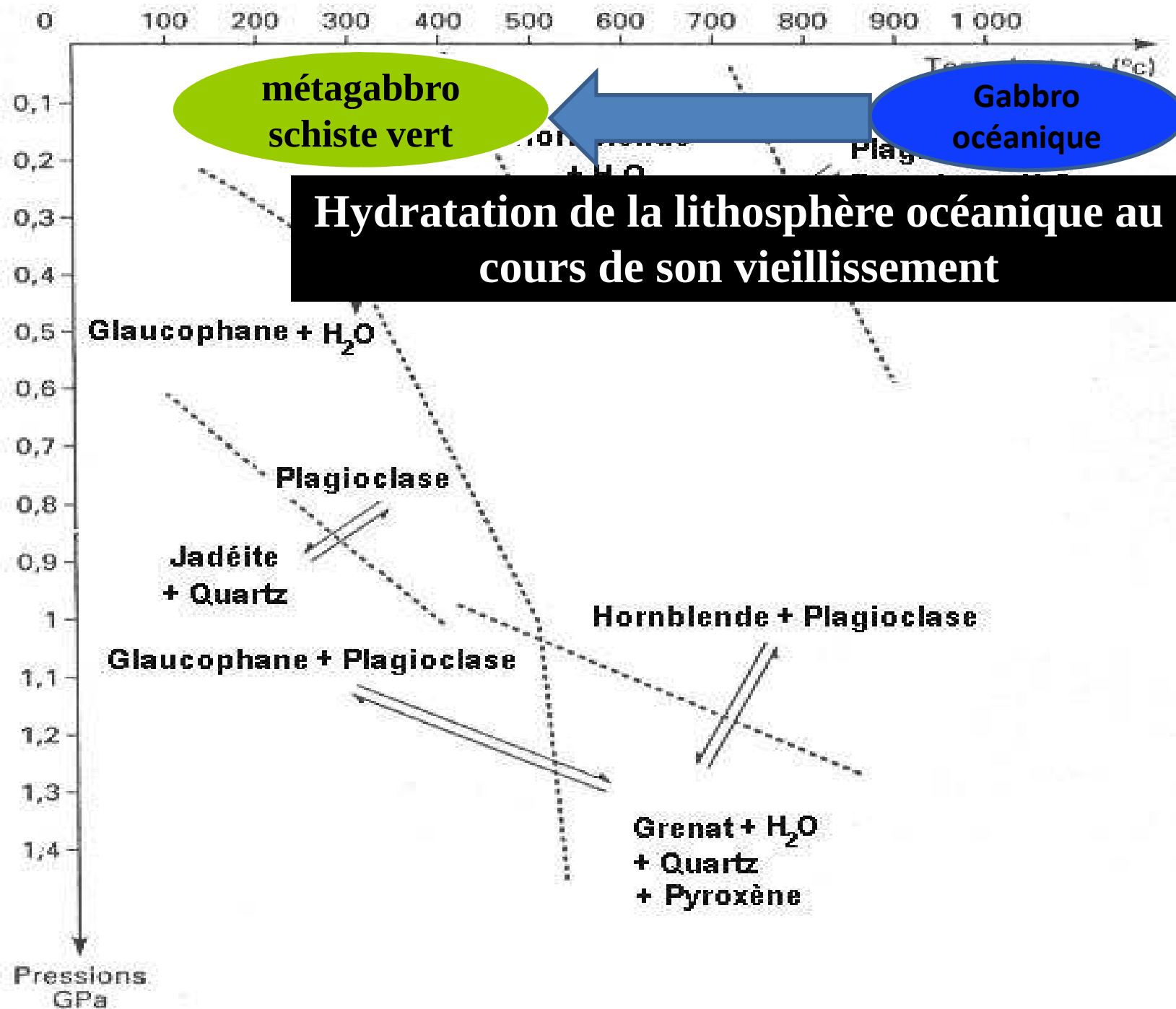


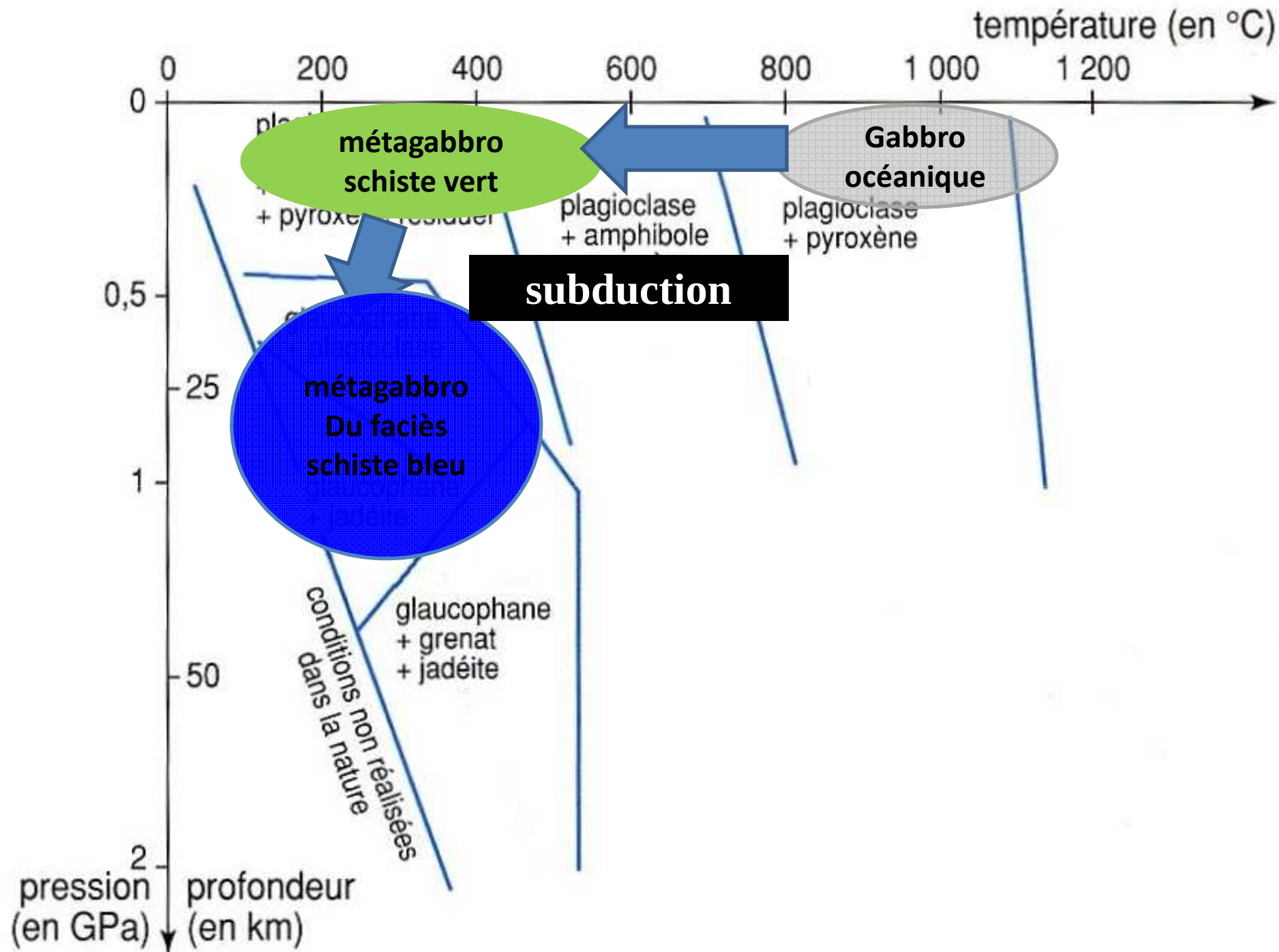


GABRRO FRAIS

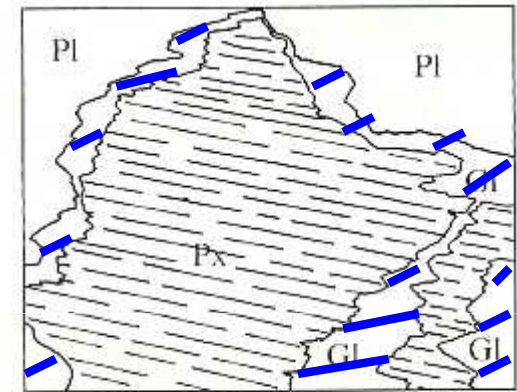
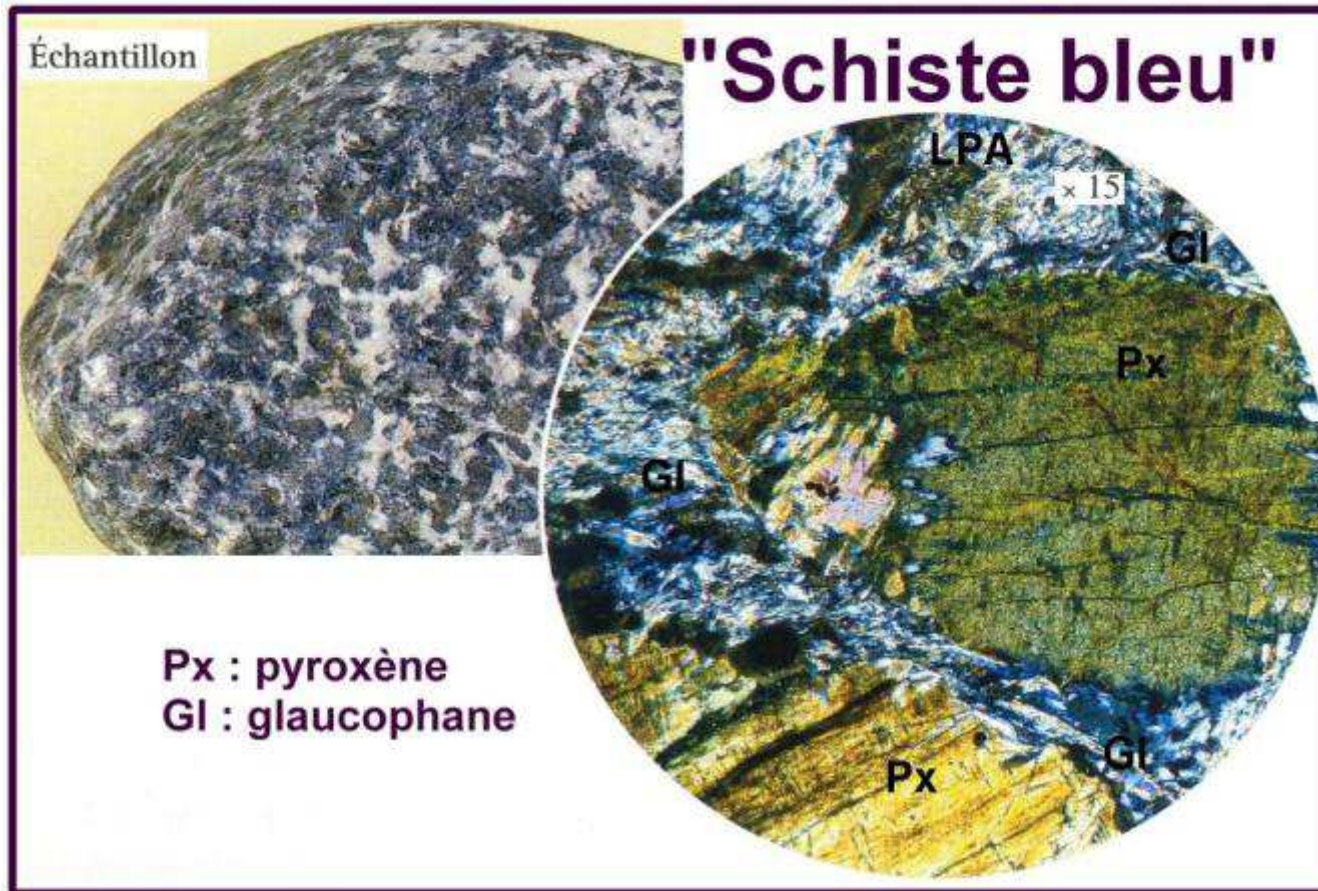


METAGABRRO
(à hornblende, chlorite et
actinote) = Schiste vert





Formation des métagabbros à glaucophane lors de la subduction



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

déshydratation de la lithosphère océanique au cours de la subduction

température (en °C)

0 200 400 600 800 1 000 1 200

métagabbro
schiste vert

Gabbro
océanique

plagioclase
+ amphibole
+ pyroxène
résiduel

plagioclase
+ pyroxène

+ pyroxène
résiduel

0,5

métagabbro
schiste bleu

1

Poursuite de la subduction

glaucophane
jadite

50

métagabbro
éclogite

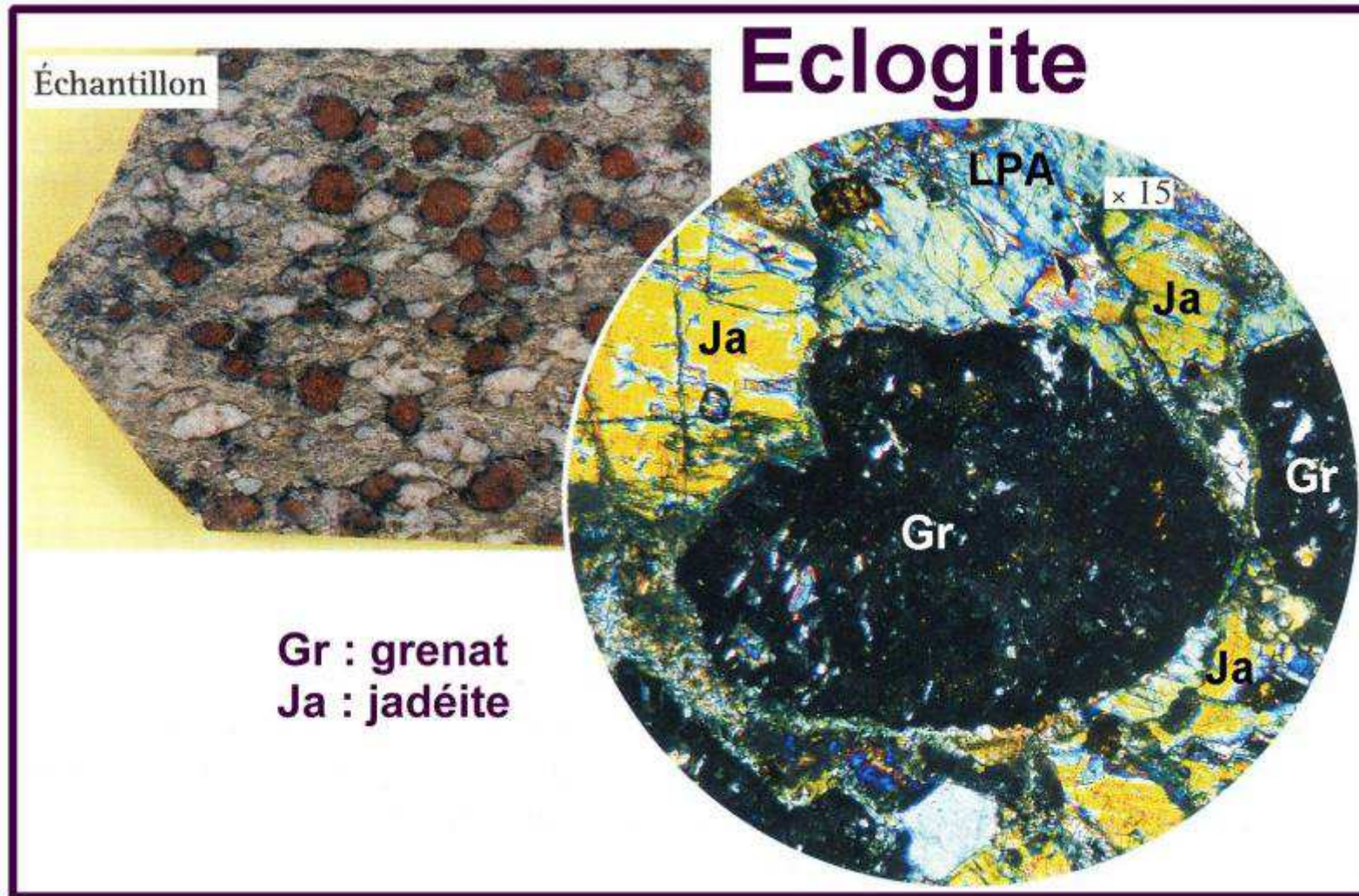
glaucophane

condensation
dans la nature
on réalisées

pression
(en GPa)
profondeur
(en km)

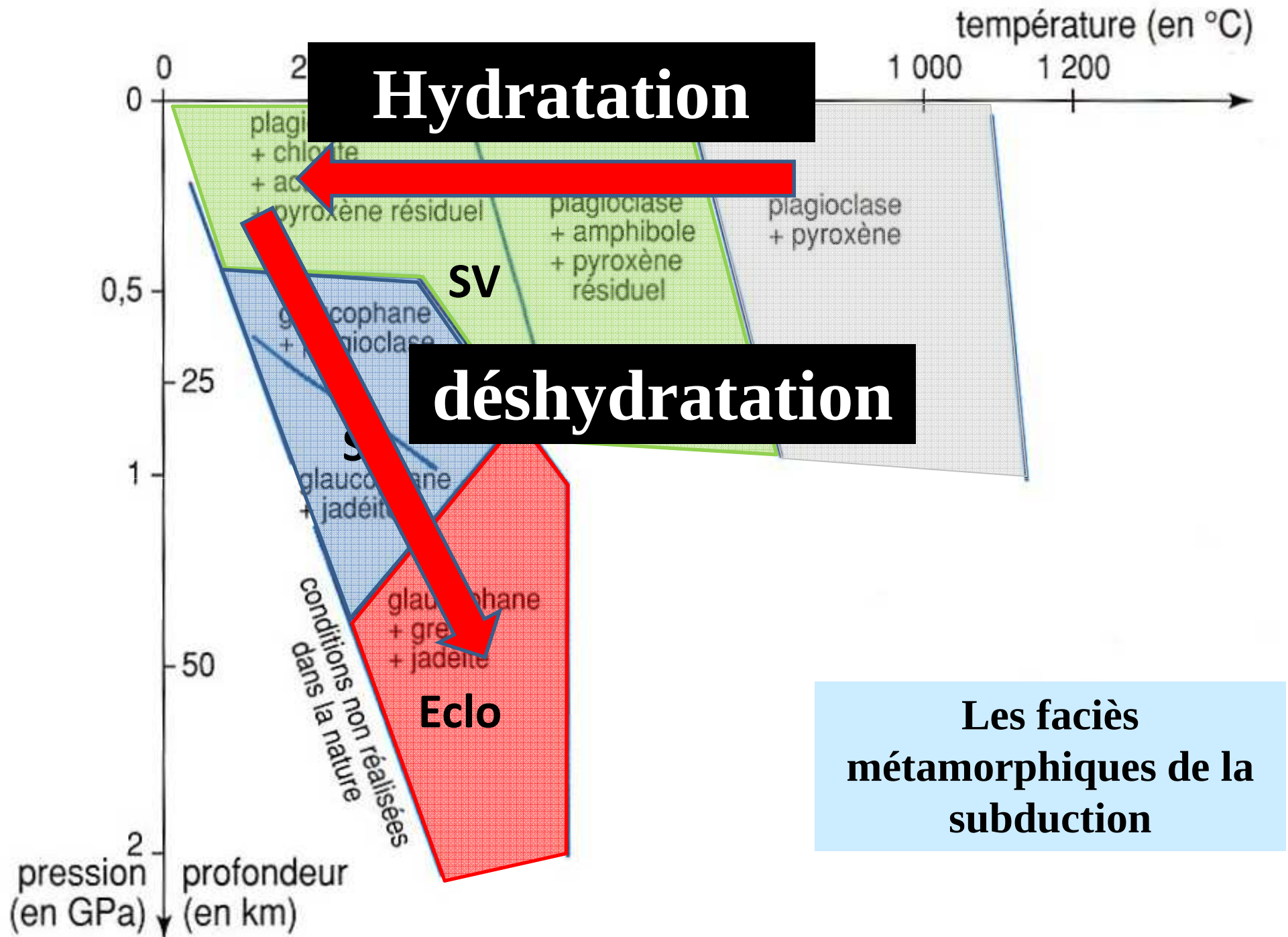
2

Formation des éclogites lors de la subduction



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

=> Déshydratation de la lithosphère océanique

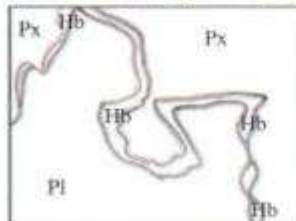
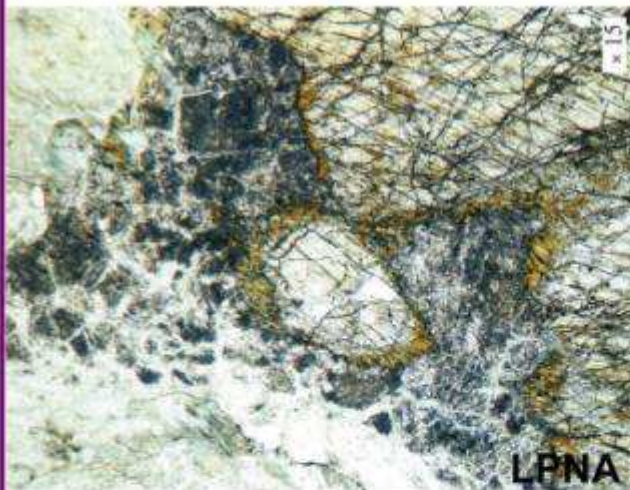


**Les faciès
métamorphiques de la
subduction**

Libération d'eau

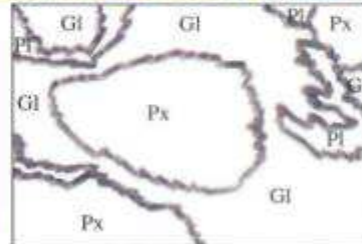
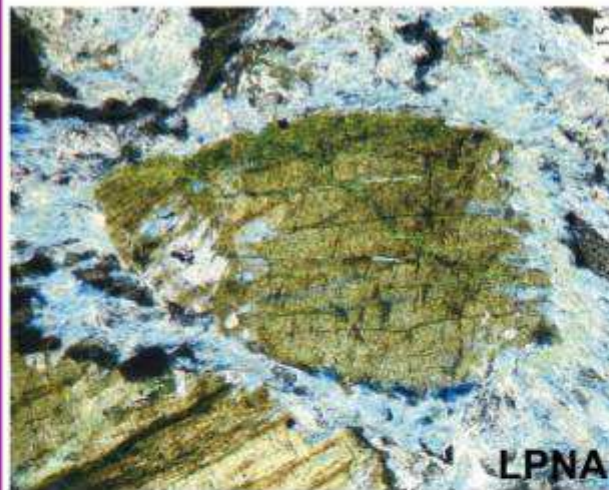
Pression

"Schiste vert"



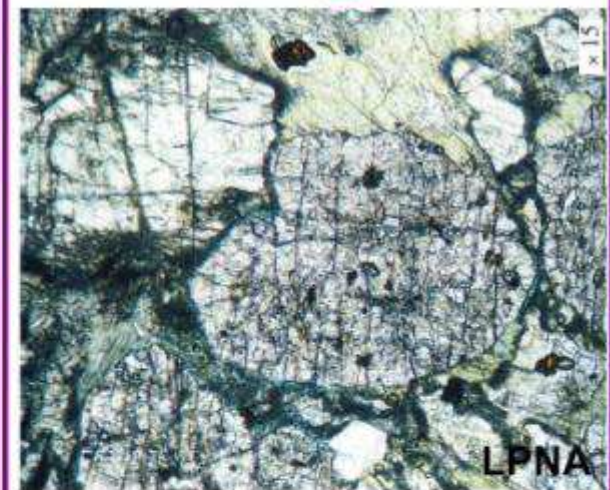
**Métagabbro
à Hornblende**

"Schiste bleu"



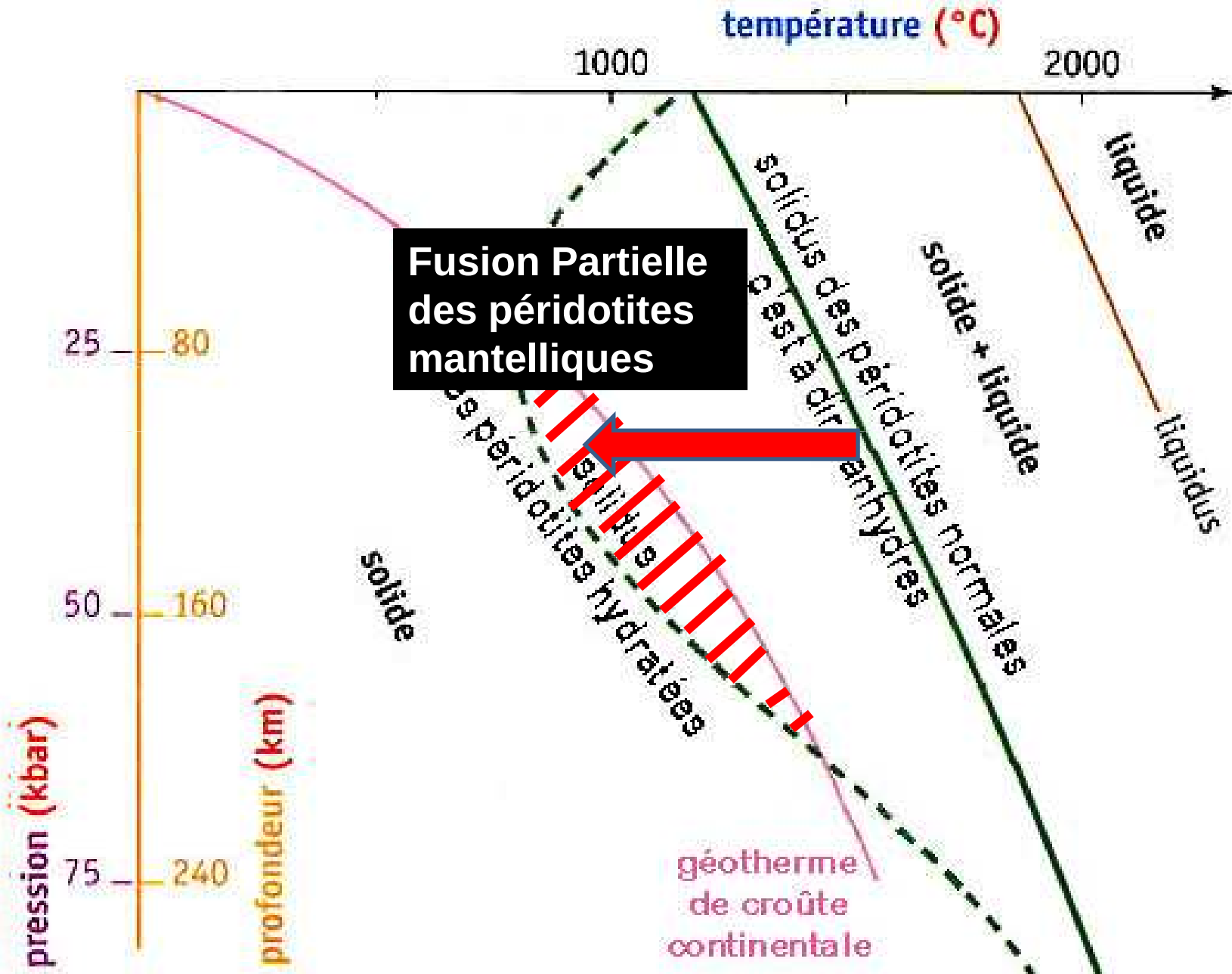
**Métagabbro
à Glaucophane**

"Eclogite"

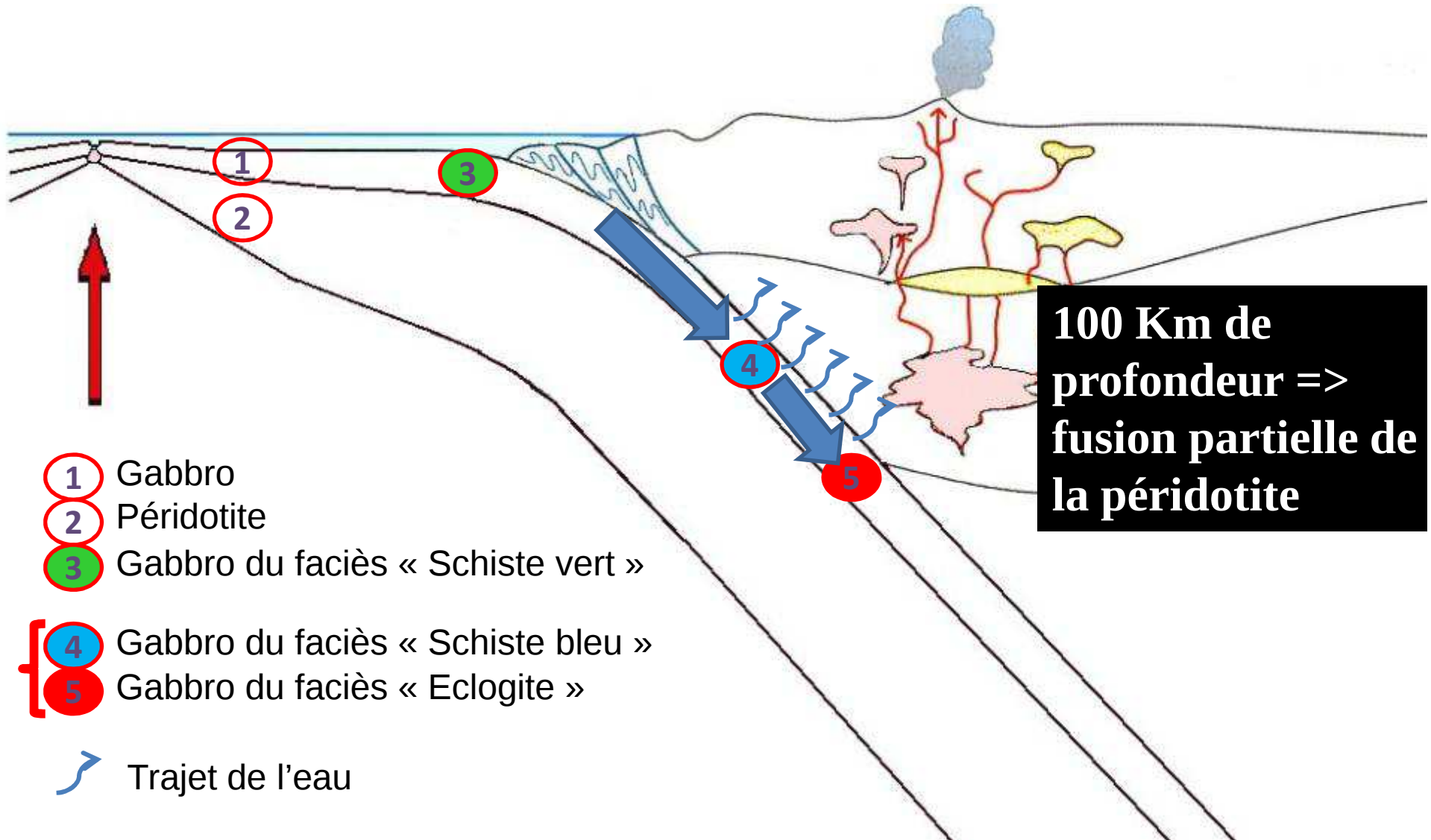


**Métagabbro
à Jadéite et Grenat**

Le diagramme de phase des péridotites mantelliques hydratées



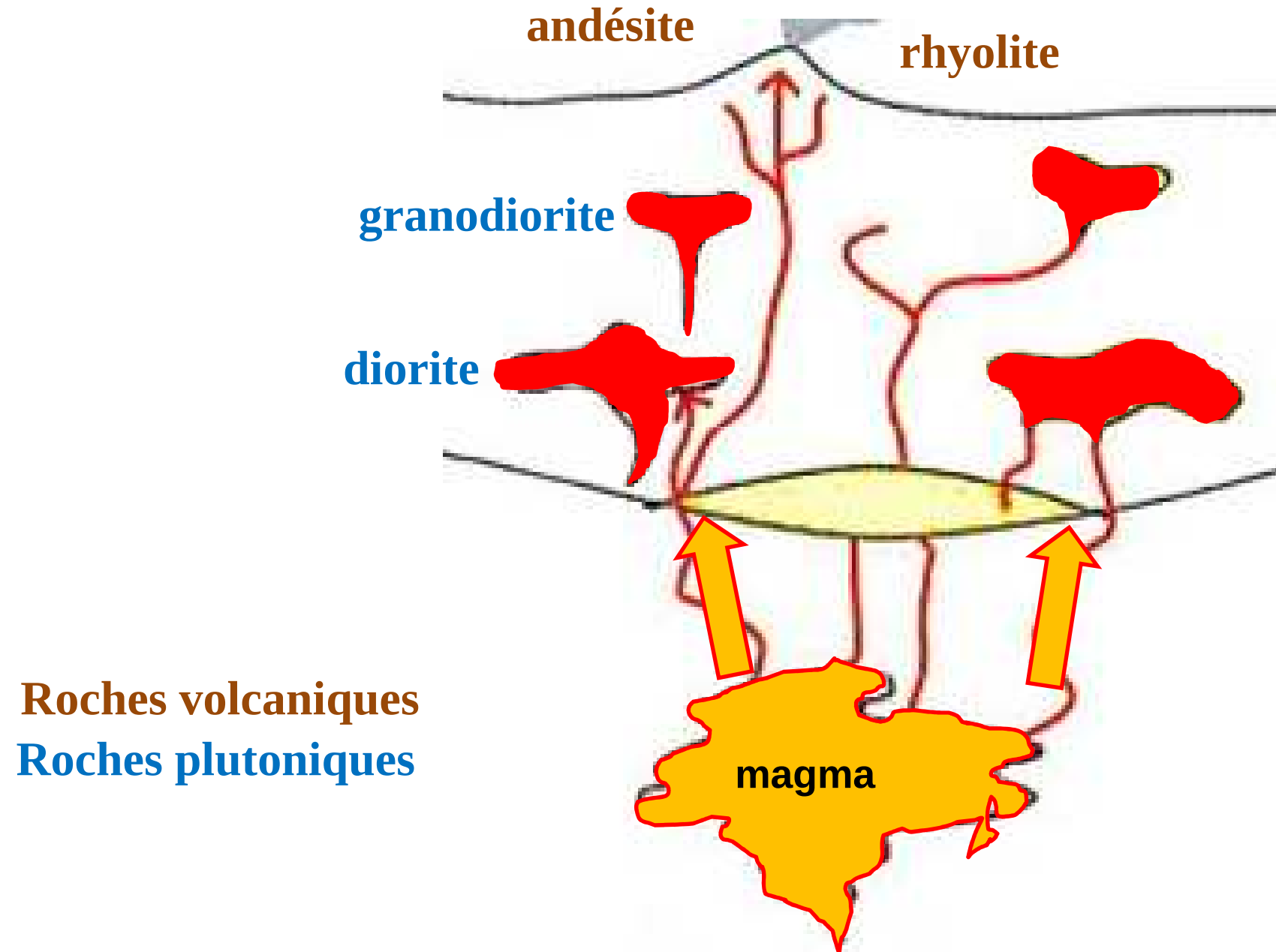
Déshydratation de la lithosphère océanique lors de la subduction



Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

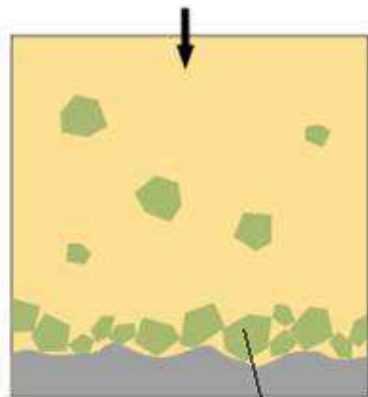
- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
 - A. Une activité magmatique dans les zones de subduction
 - B. Origine du magma des zones de subduction
 - 1. Les conditions de la fusion partielle des péridotites mantelliques
 - 2. Origine de l'eau nécessaire à la fusion partielle des péridotites
 - 3. Mise en place des roches de la croûte continentale à partir du magma

Les roches magmatiques formées lors de la subduction



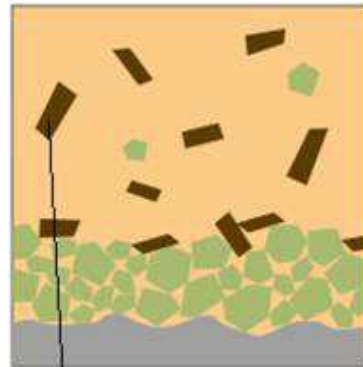
Cristallisation fractionnée

Magma résultant de la fusion partielle des péridotites mantelliques



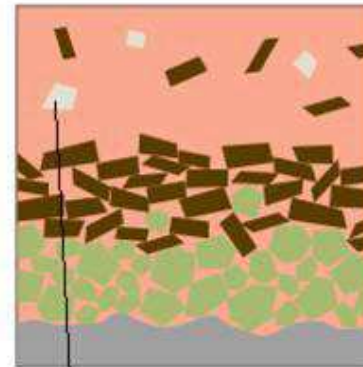
1

olivine



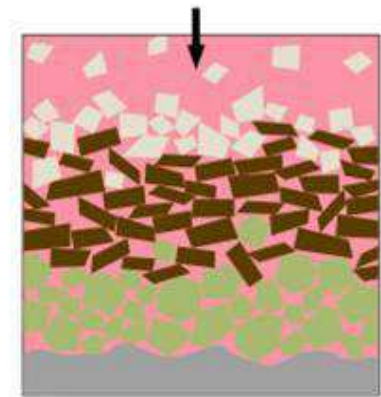
2

pyroxène



3

plagioclase calcique



4

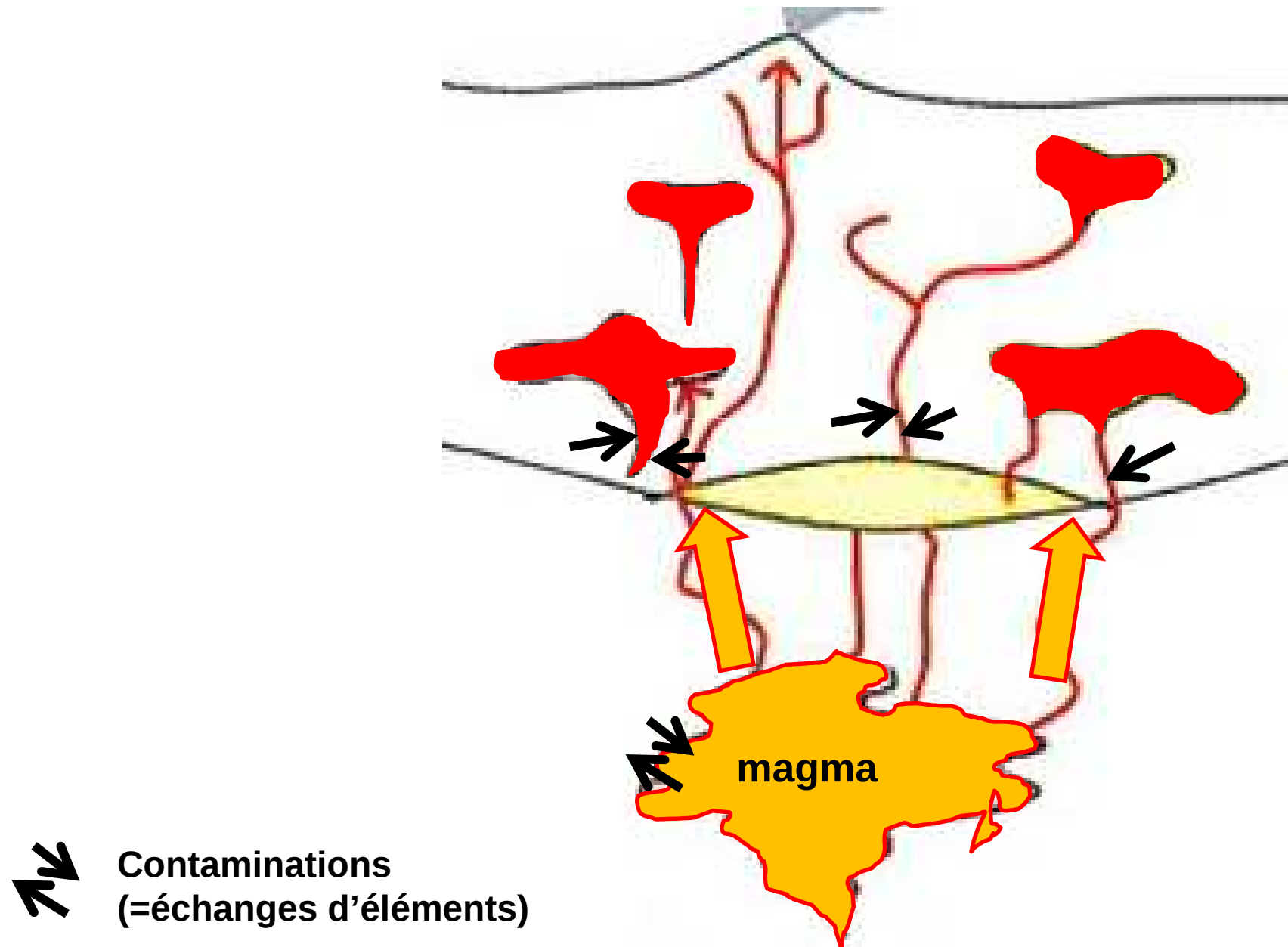
Liquide résiduel de plus en plus riche en silice

1200°C

600°C

Refroidissement

Contamination

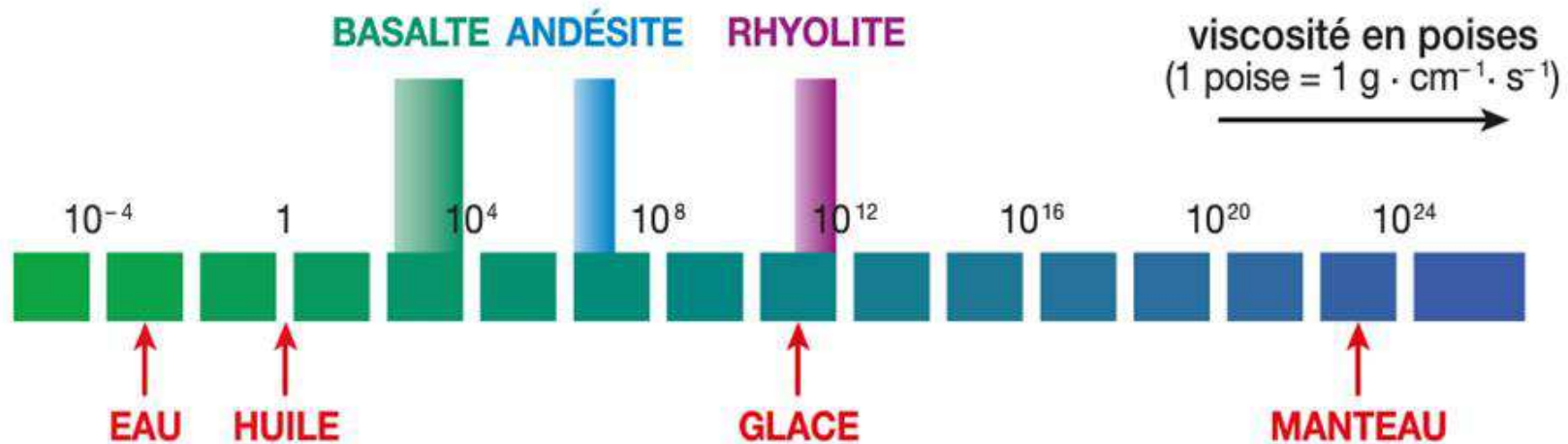


Magma visqueux, riche en silice

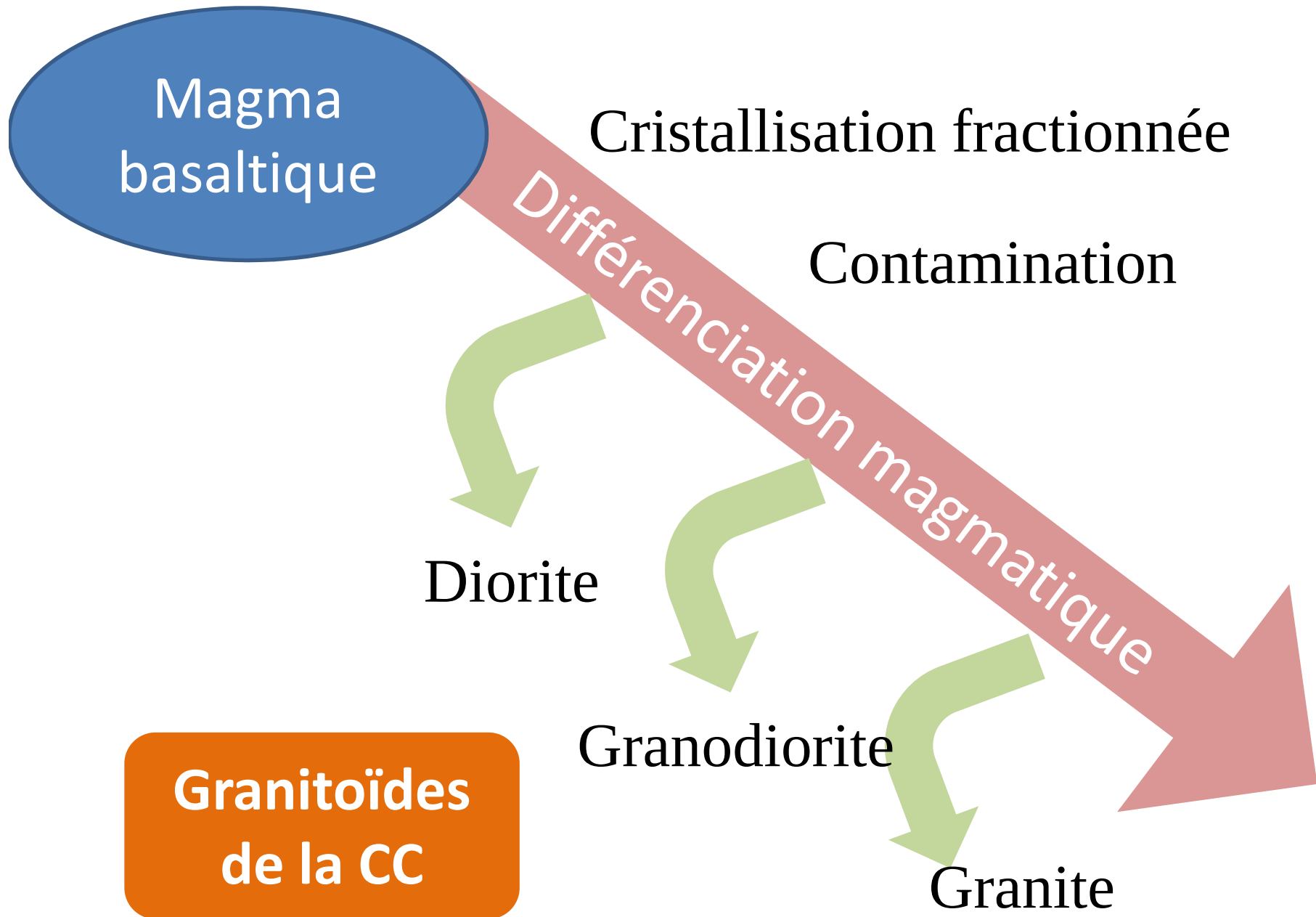
Teneur en silice (SiO ₂)	Nature chimique du magma
44 à 50 %	basaltique
54 à 63 %	andésitique
68 à 77 %	rhyolitique



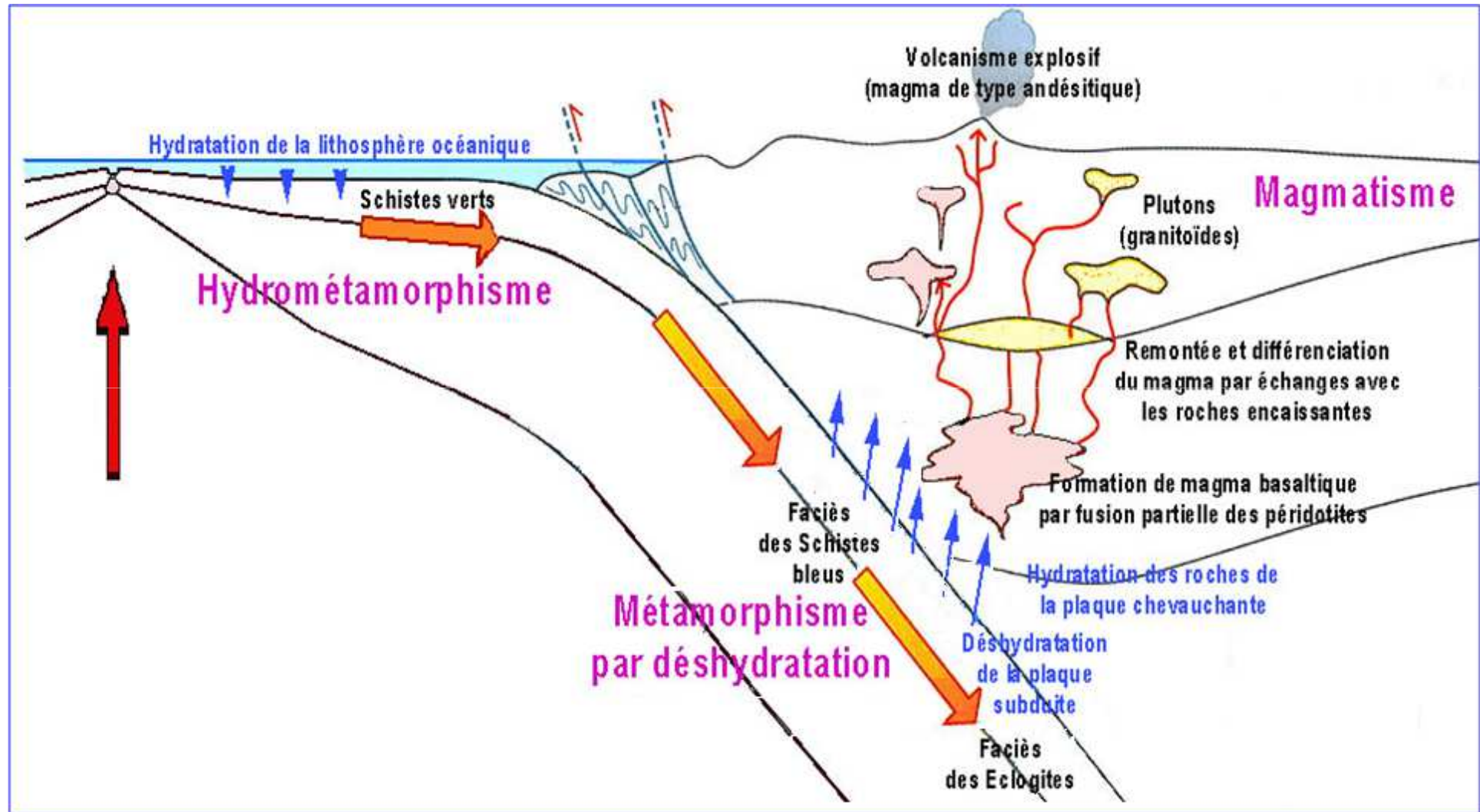
Ordre de grandeur de la viscosité (en poises) de plusieurs types de lave



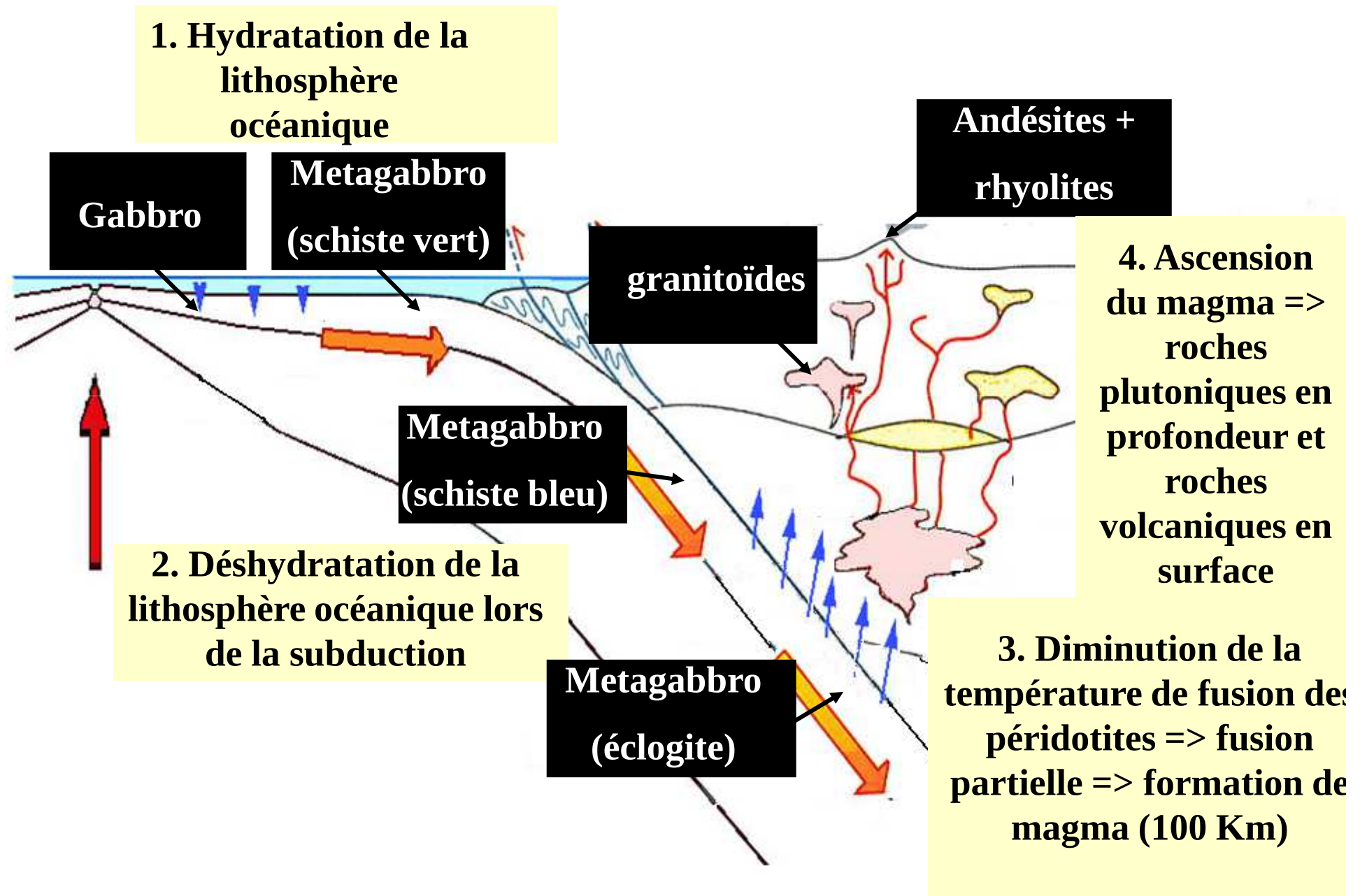
Accrétion continentale



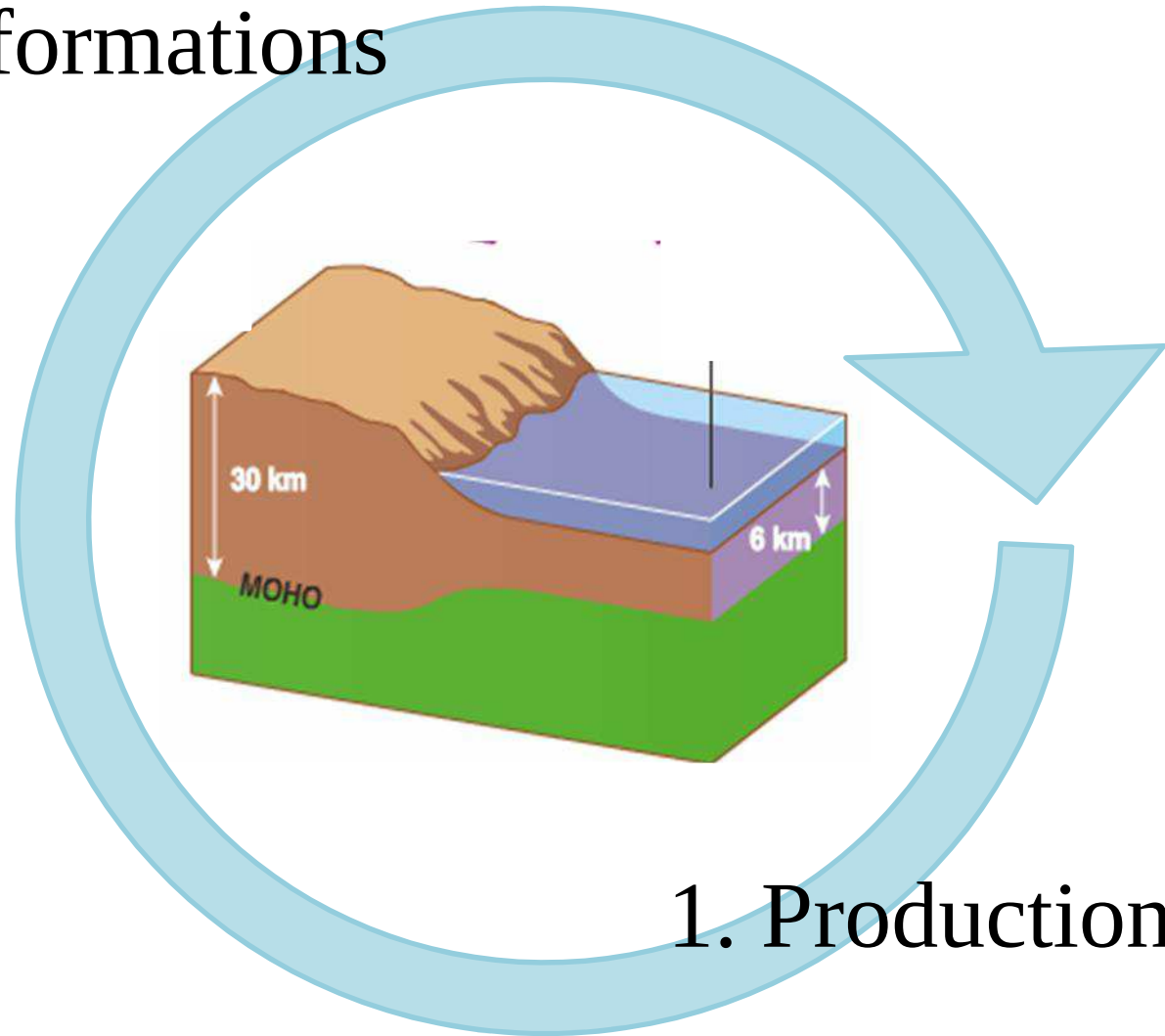
La subduction : zone de production de roches de la croûte continentale.



La subduction : zone de production de roches de la croûte continentale.



2. Transformations



Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaînes de montagnes

Déformations de la croûte continentale

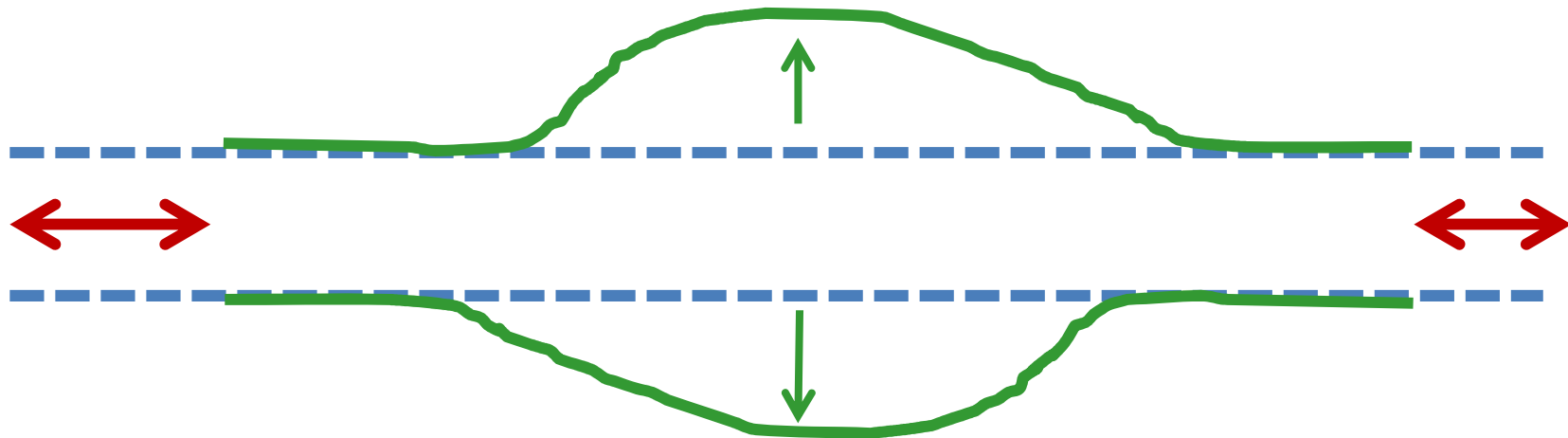


ETAT INITIAL

CONTRAINTES COMPRESSIVES



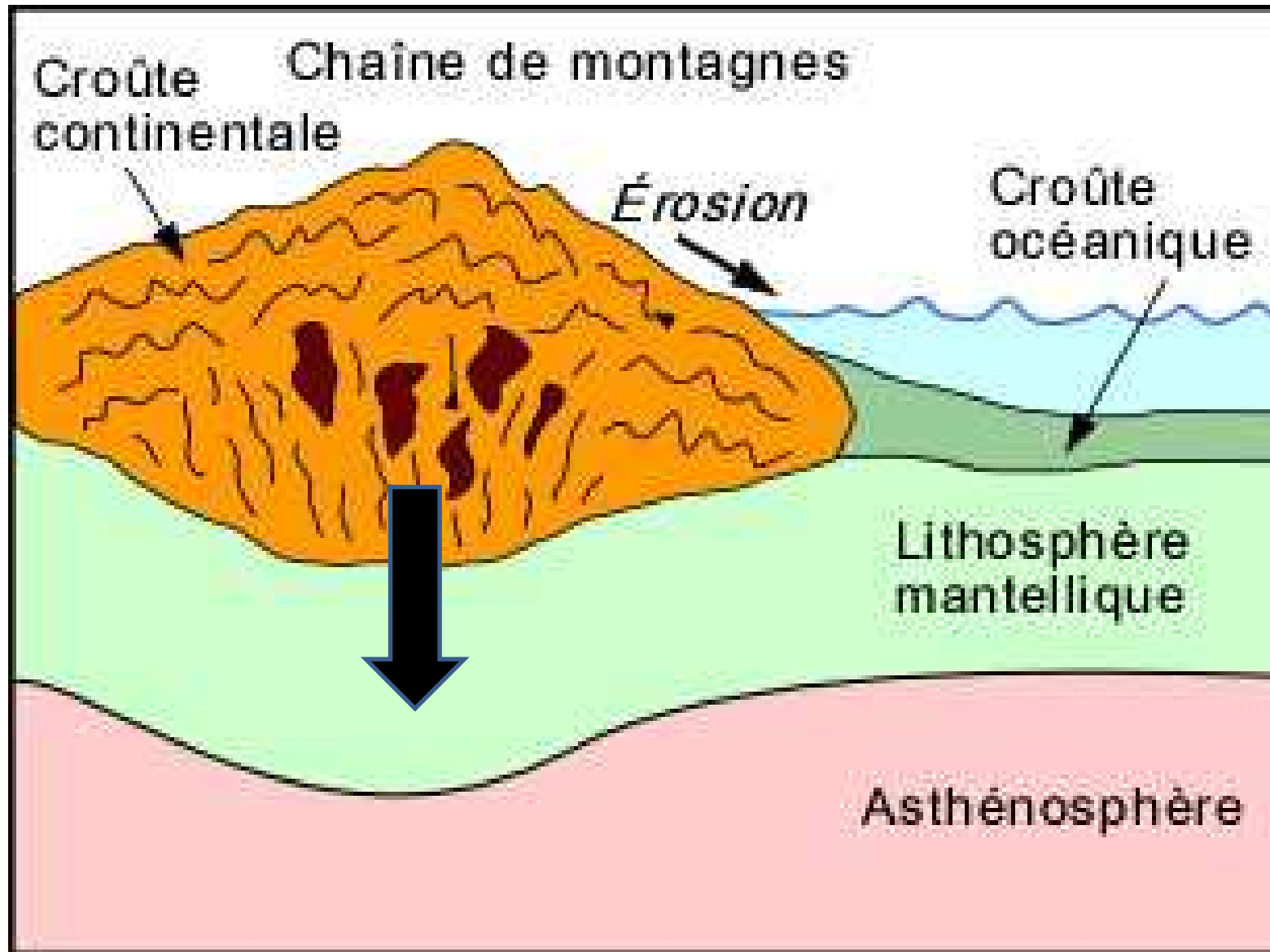
EPAISSISSEMENT



RACCOURCISSEMENT

Epaississement de la croûte continentale

Mise en place d'une racine crustale



Transformations pétrographiques

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

température (en °C)

400

600

800

1 000

1 200

Argile

0
0,2

biotite

grenat

staurolite



la nat



6 mm

1,4
1,6

60

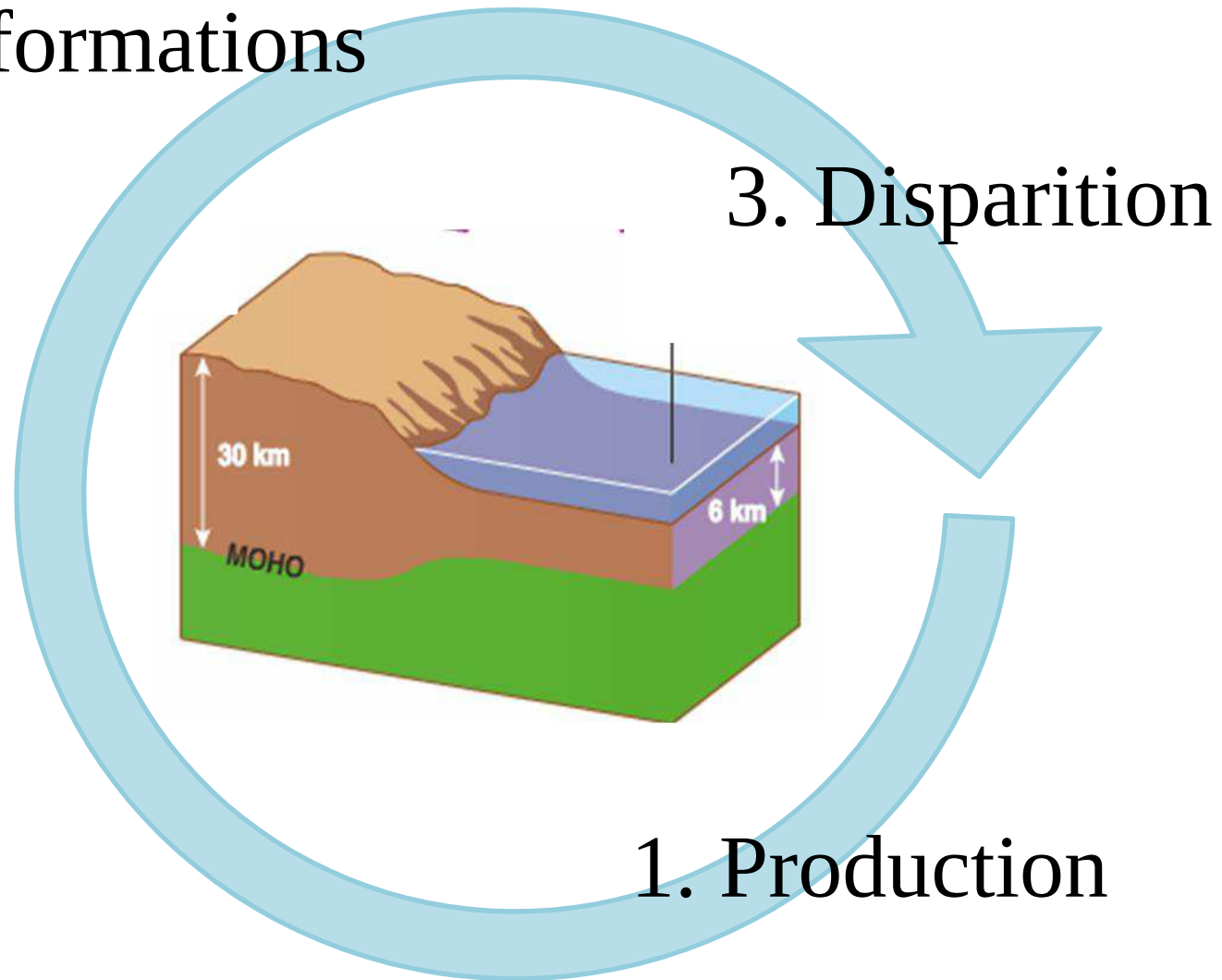
pi

profondeur (en km)

— solidus du granite

- - - zone du métamorphisme du Limousin

2. Transformations



Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

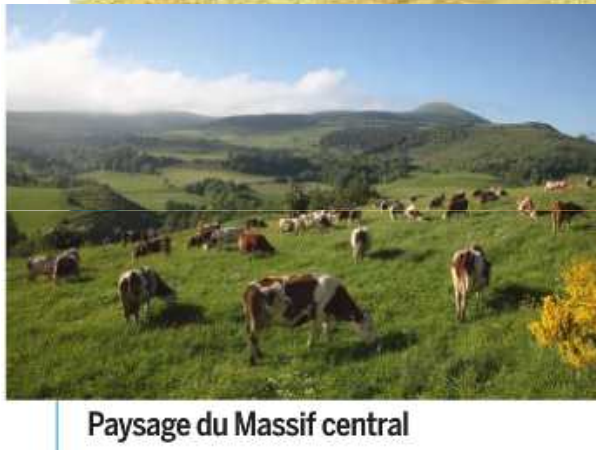
- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaines de montagnes
- III. La disparition des reliefs de la croûte continentale
 - A. Deux grands types de chaines de montagnes

2 types de chaines de montagnes



Paysage du Massif armoricain

Des chaines anciennes



Paysage du Massif central

Des chaines récentes



Paysage des Pyrénées

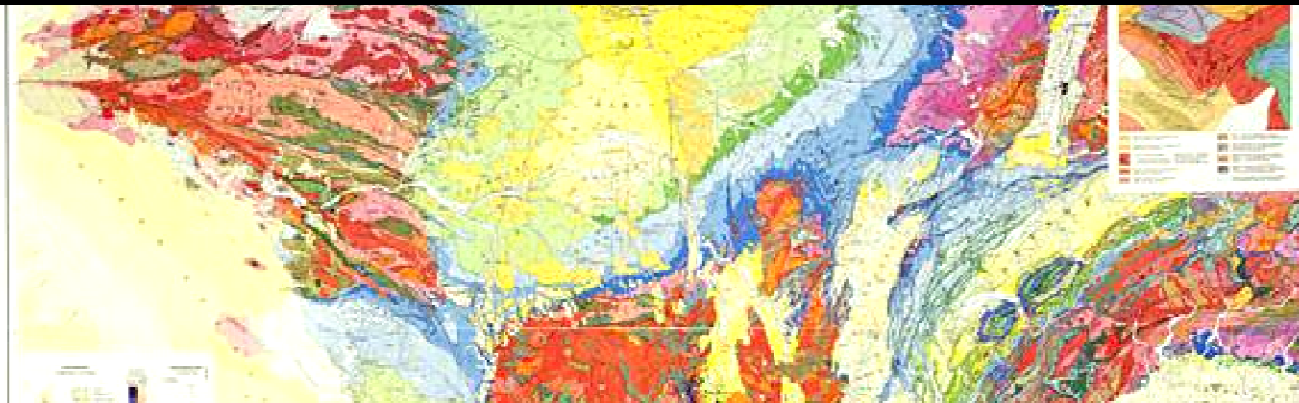


Paysage des Alpes

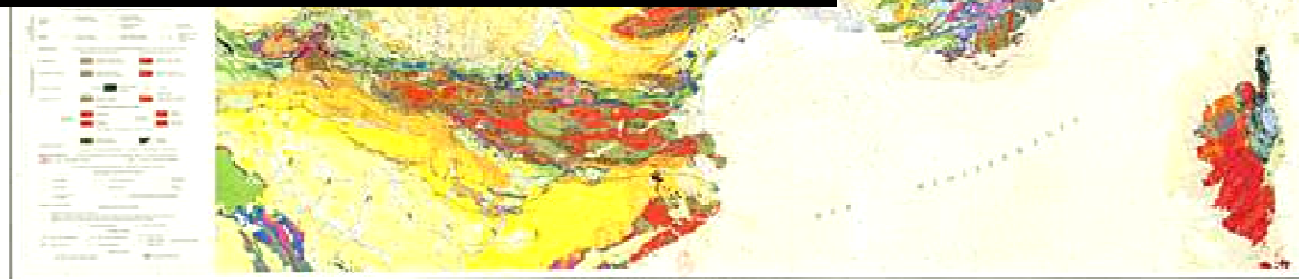
Les roches à l'affleurement



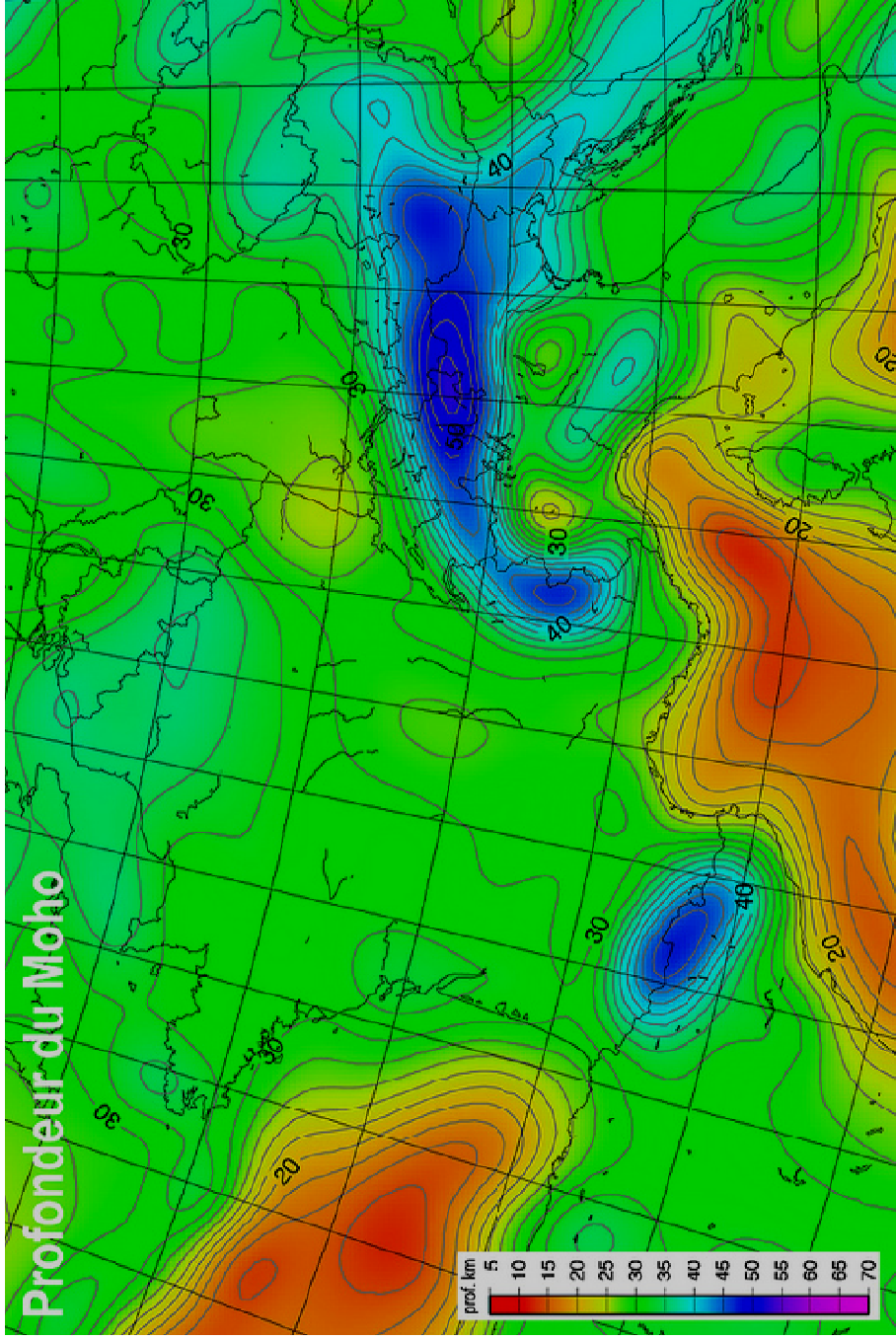
Roches plutoniques et métamorphiques dans les chaines anciennes



Roches sédimentaires, plutoniques et métamorphiques dans les chaines récentes



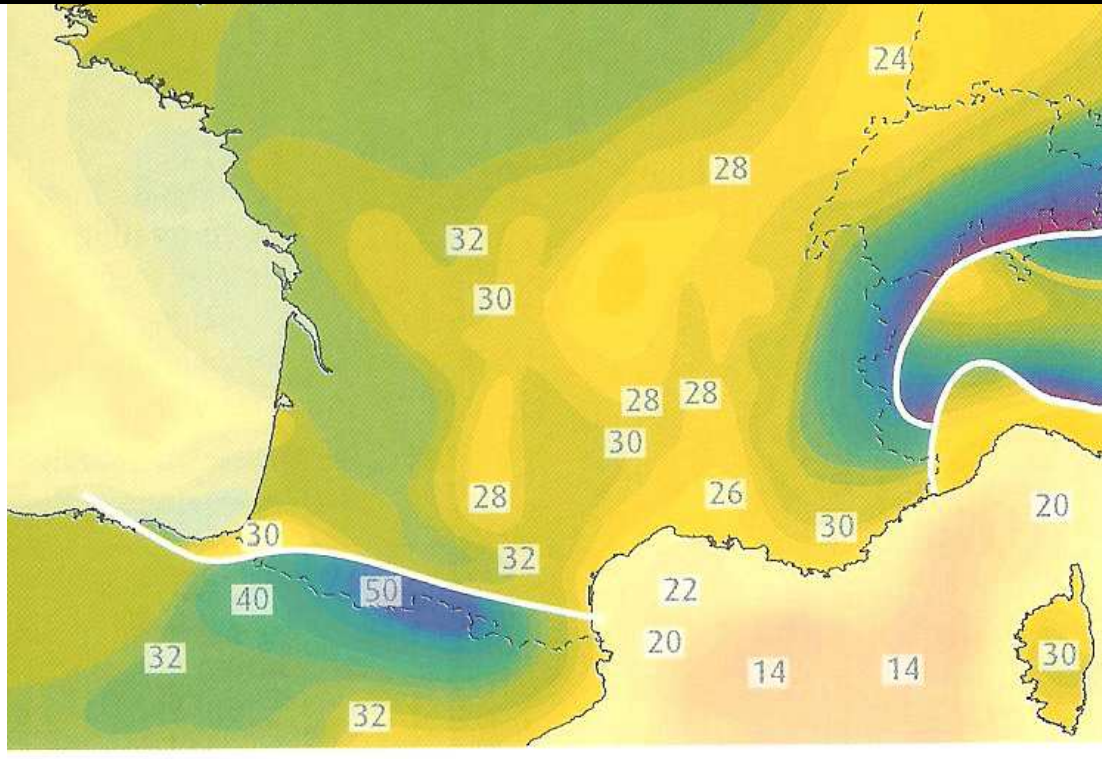
Profondeur du Moho



Profondeur du Moho sous les reliefs récents et anciens



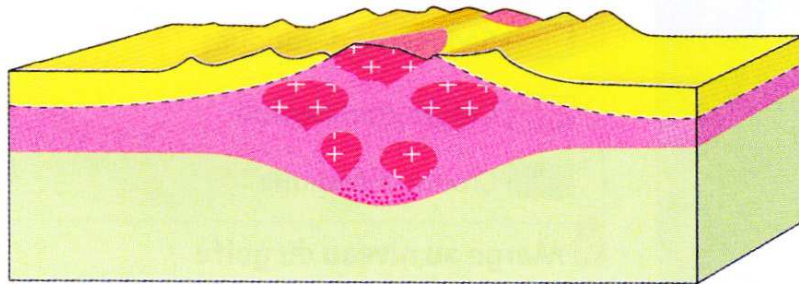
Pas de racine crustale dans les chaines anciennes



Existence d'une racine crustale dans les chaines récentes

Comparaison chaîne récente et chaîne ancienne

Chaîne récente

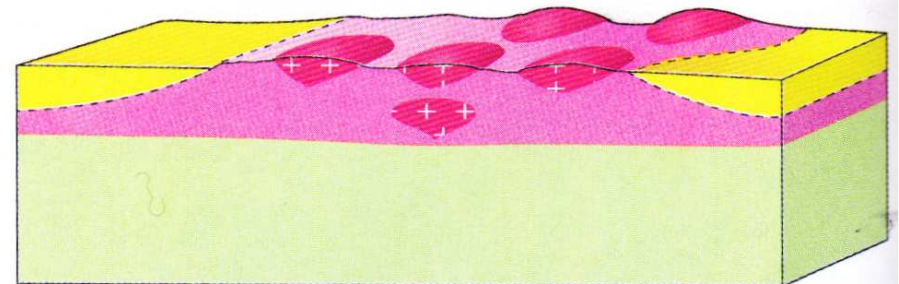


Chaîne récente : les roches sédimentaires sont importantes, les roches formées en profondeur commencent à affleurer. La racine crustale est profonde.

■ Roches sédimentaires

■ Roches métamorphiques

Chaîne ancienne



Chaîne ancienne : les roches sédimentaires sont érodées, les roches formées en profondeur, granite et gneiss, affleurent.

■+ Roches granitiques

■ Manteau supérieur

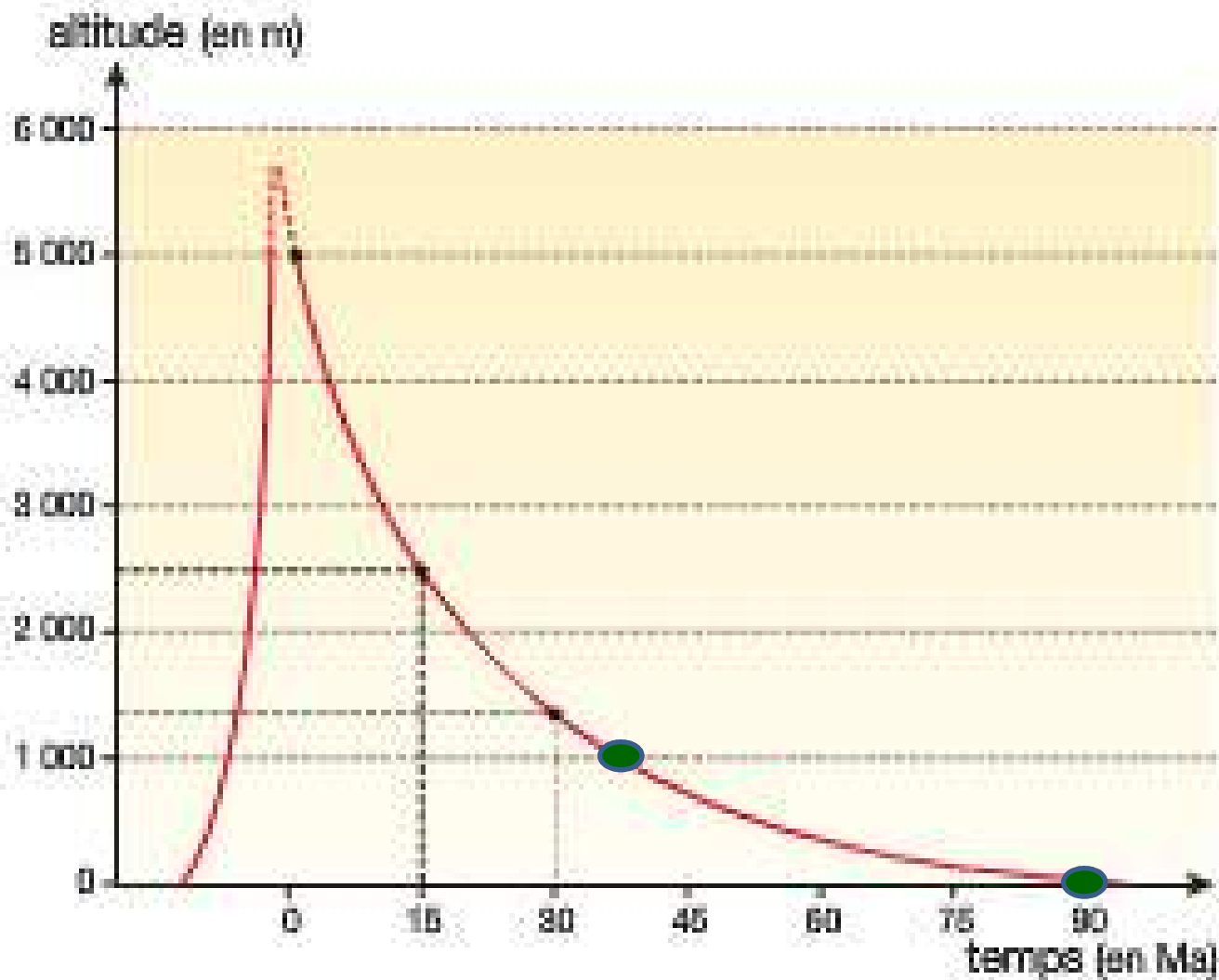
- Reliefs élevés
- Affleurement de roches sédimentaires, plutoniques et métamorphiques
- Présence d'une racine crustale

- Reliefs peu importants
- Affleurement de roches plutoniques et métamorphiques
- Pas de racine crustale

Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaînes de montagnes
- III. La disparition des reliefs de la croûte continentale
 - A. Deux grands types de chaînes de montagnes
 - B. Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs
 - 1. Altération des roches
 - 2. Transport et sédimentation
 - 3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

Temps nécessaire pour aplanir un relief



Évolution de l'altitude d'une chaîne de montagnes en fonction du temps

Erosion



Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaînes de montagnes
- III. La disparition des reliefs de la croûte continentale
 - A. Deux grands types de chaînes de montagnes
 - B. Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs
 - 1. Altération des roches
 - 2. Transport et sédimentation
 - 3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

2. Altération des roches

a) altération physique

b) altération chimique

Altération physique



Alternance gel/dégel

Altération physique



Les variations brutales de température

Altération physique



L'action des glaciers

Altération physique



Action du vent

Altération physique



Racines des végétaux

2. Altération des roches

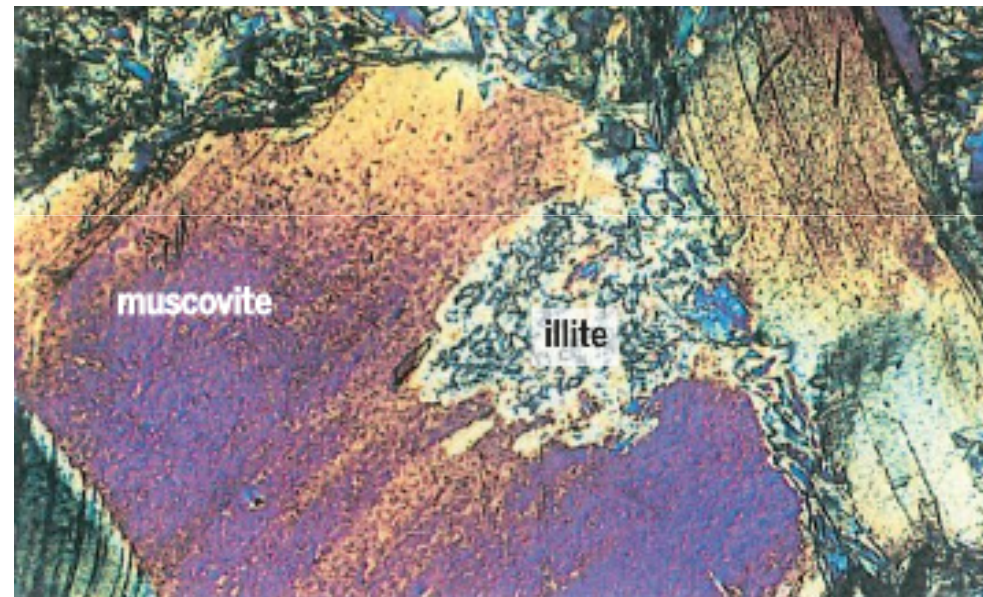
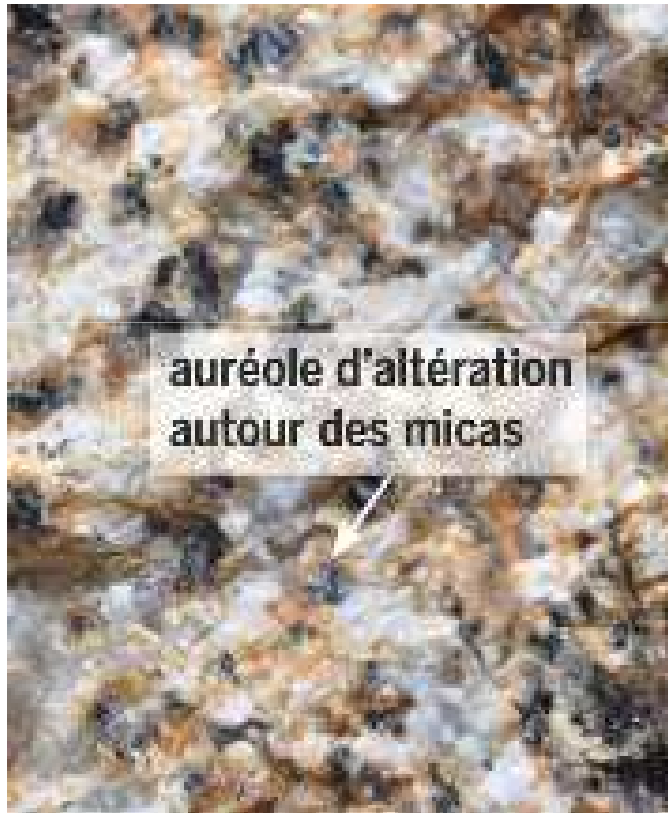
a) altération physique

b) altération chimique

Altération chimique

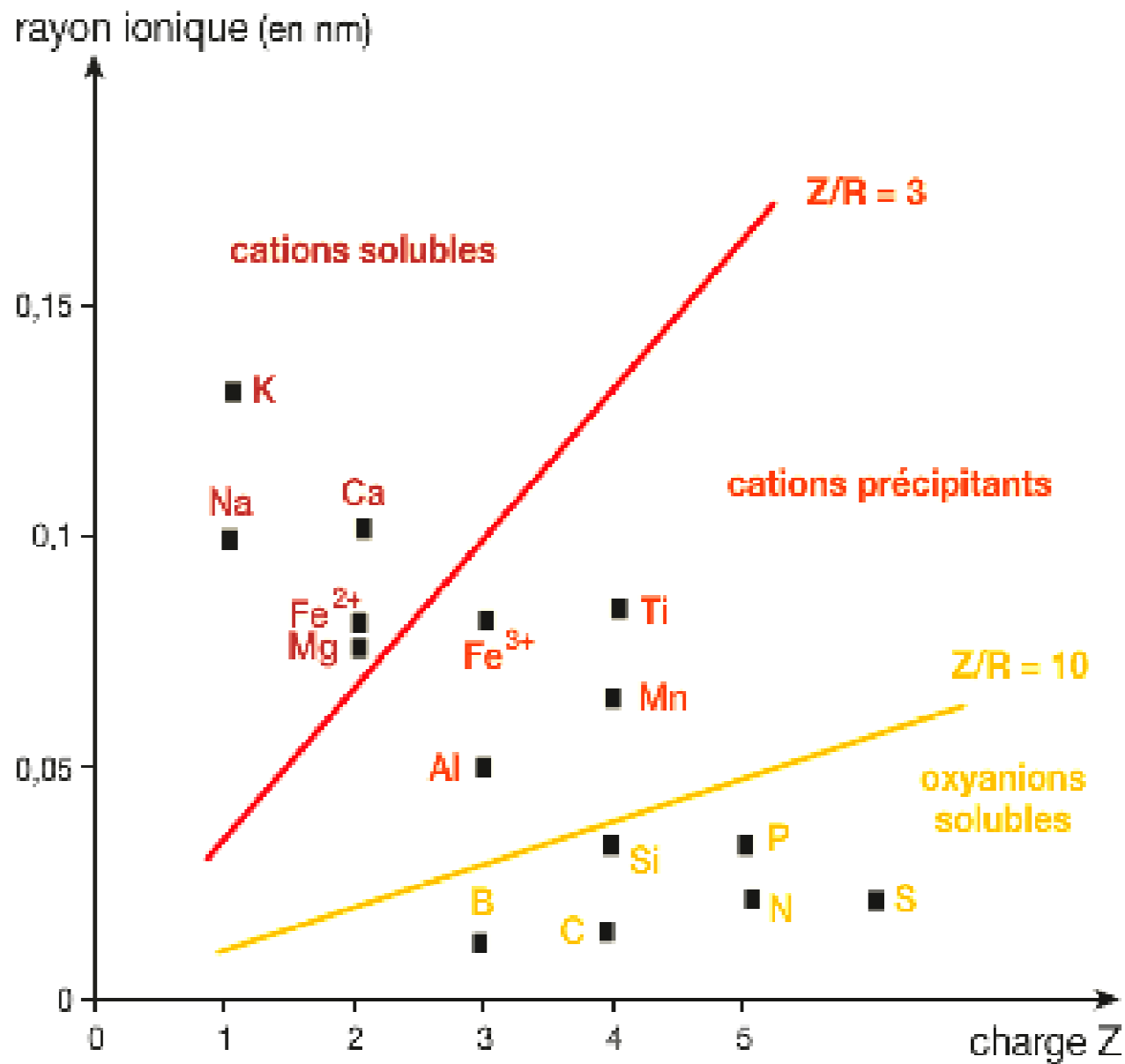
Hydrolyse

Minéral d'origine + eau $\rightarrow$ nouveau minéral + ions en solution



Muscovite (mica) + eau $\rightarrow$ illite + K^+

Solubilité des ions en fonction de leur charge et de leur rayon ionique



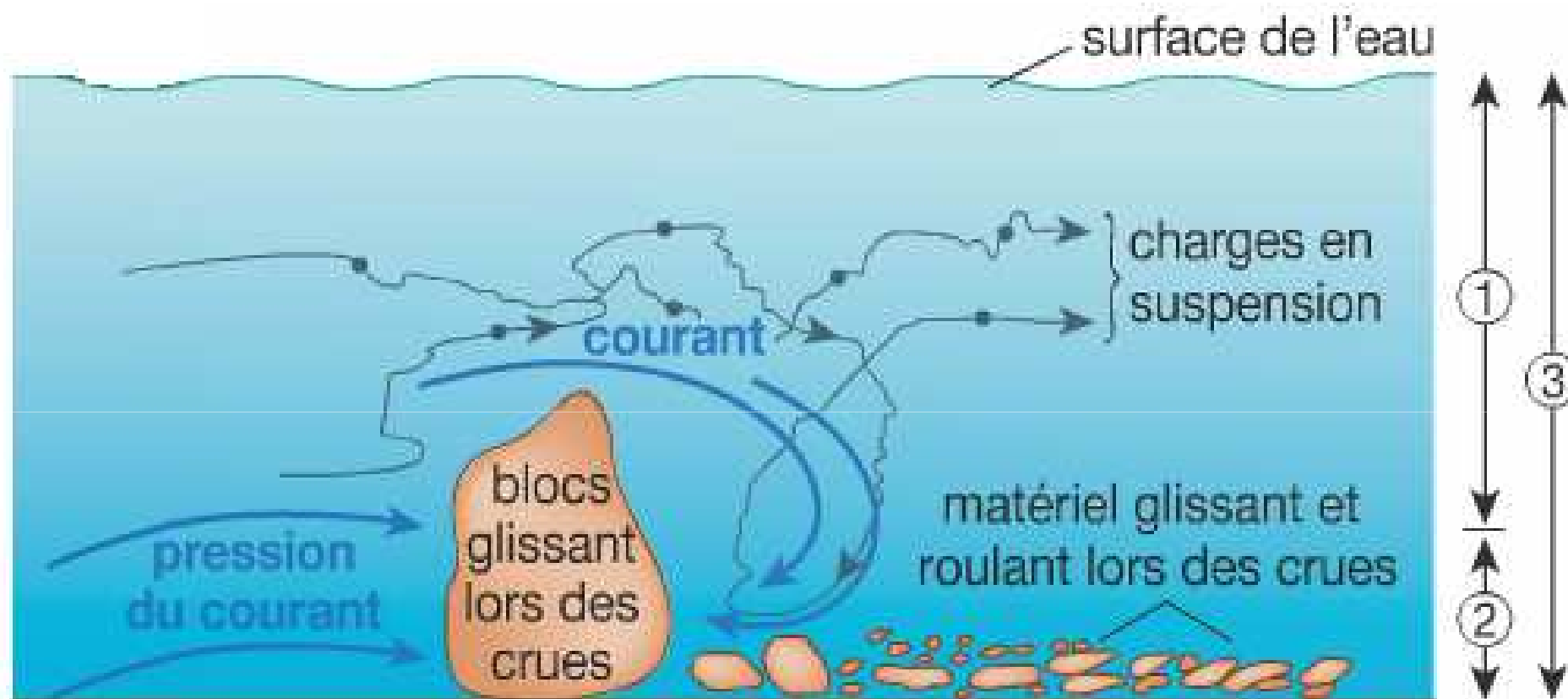
Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaînes de montagnes
- III. La disparition des reliefs de la croûte continentale
 - A. Deux grands types de chaînes de montagnes
 - B. Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs
 - 1. Altération des roches
 - 2. Transport et sédimentation
 - 3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

Transport des éléments issus de l'altération



Transport des particules solides dans l'eau

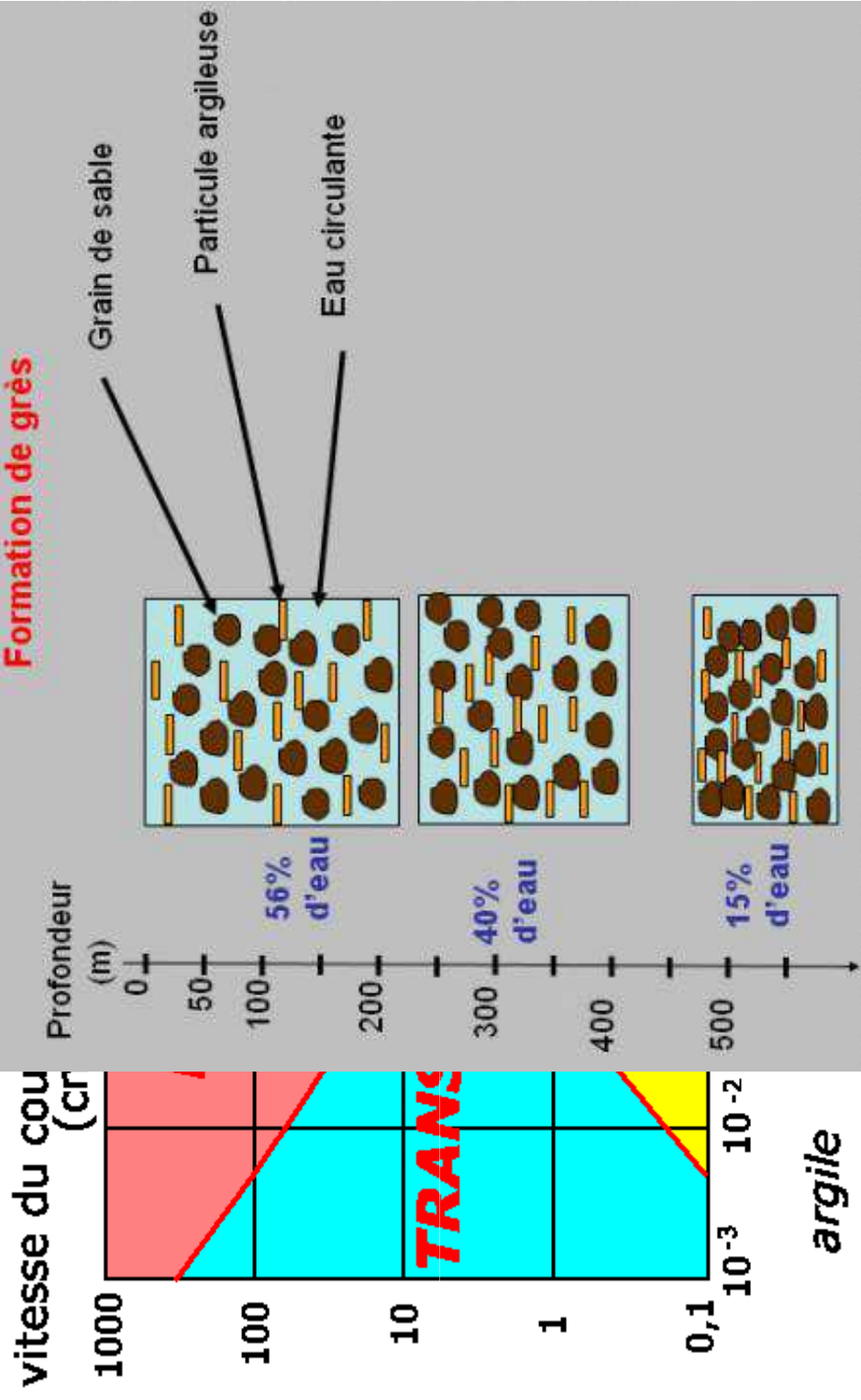


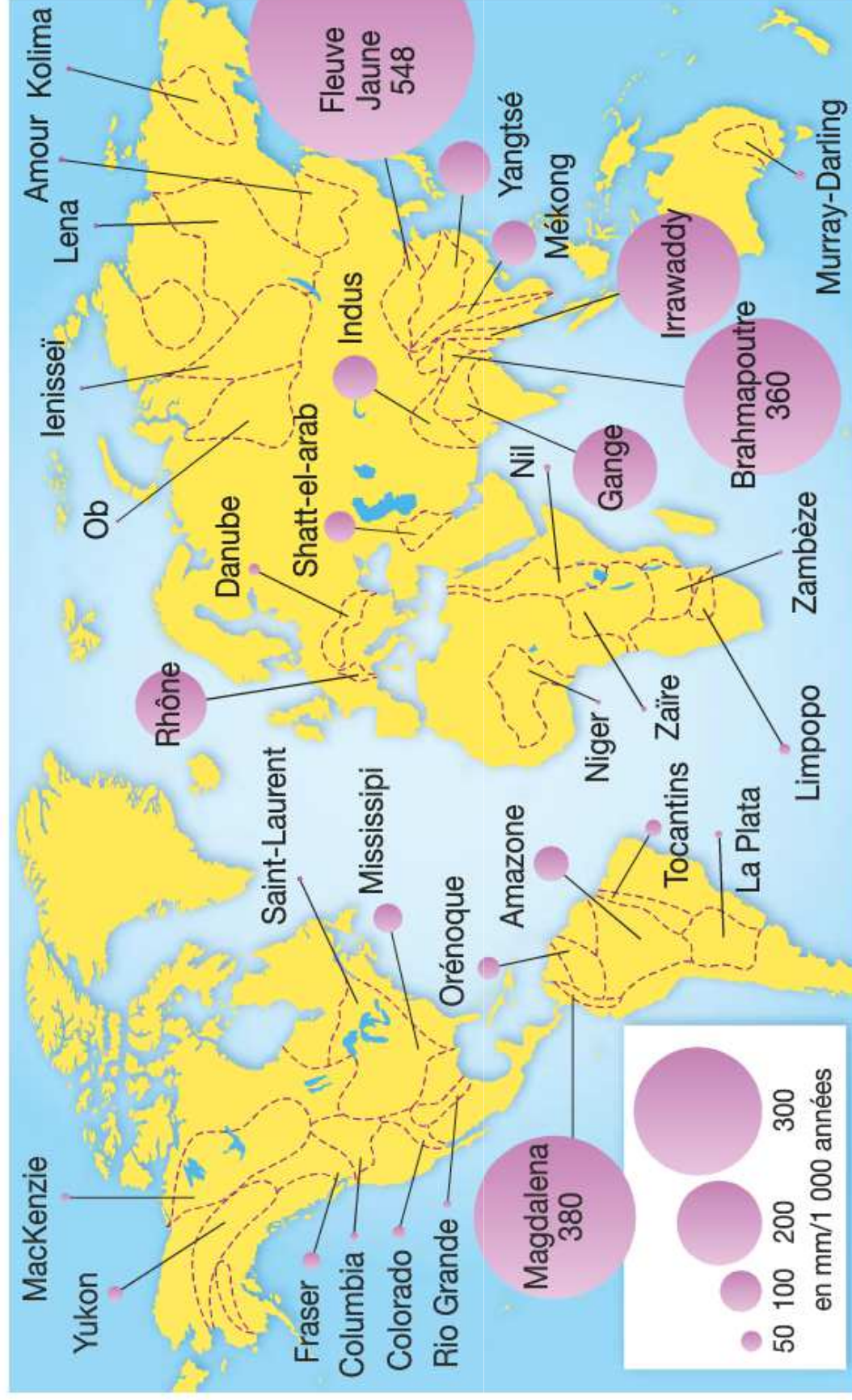
- ① charge déplacée principalement en suspension
- ② charge déplacée par glissement et roulement
- ③ charge chimique en solution

Charge sédimentaire de l'isère



L'Isère en crue en mai 2008





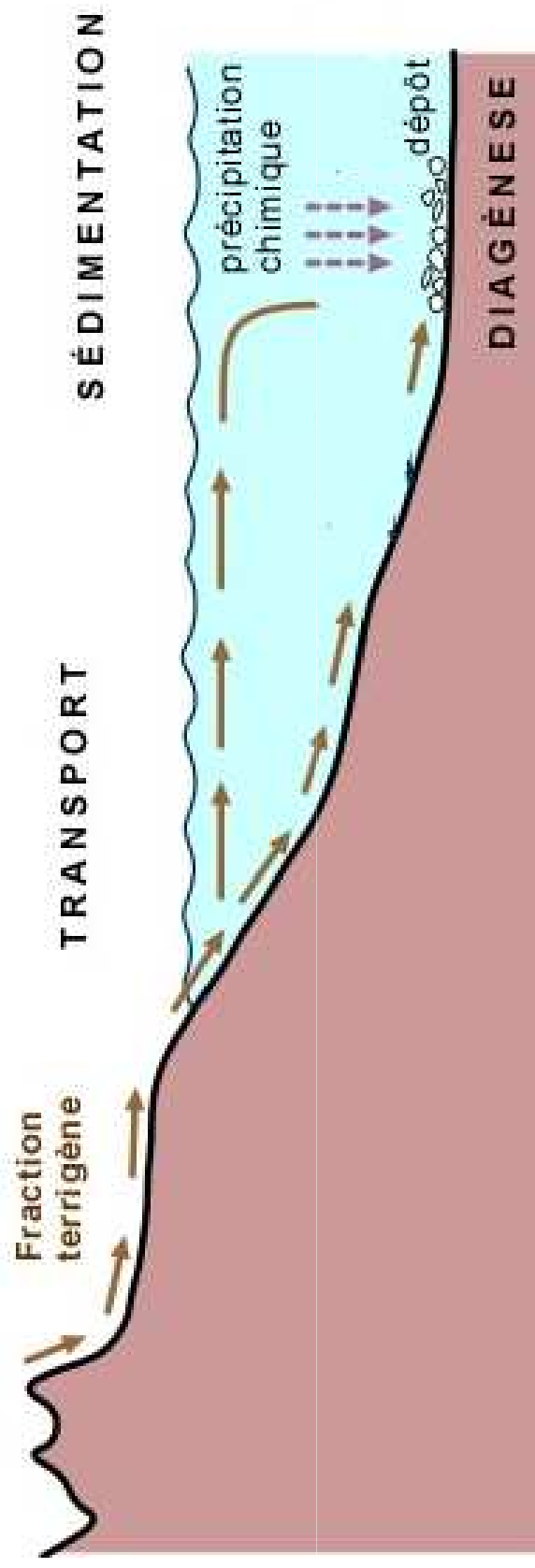
Vitesse de dénudation totale (physique et chimique) des continents calculée pour les grands bassins fluviaux

Dépôt des produits d'érosion



Image satellitale du delta du Gange

ALTERATION DES MATÉRIAUX & ÉROSION



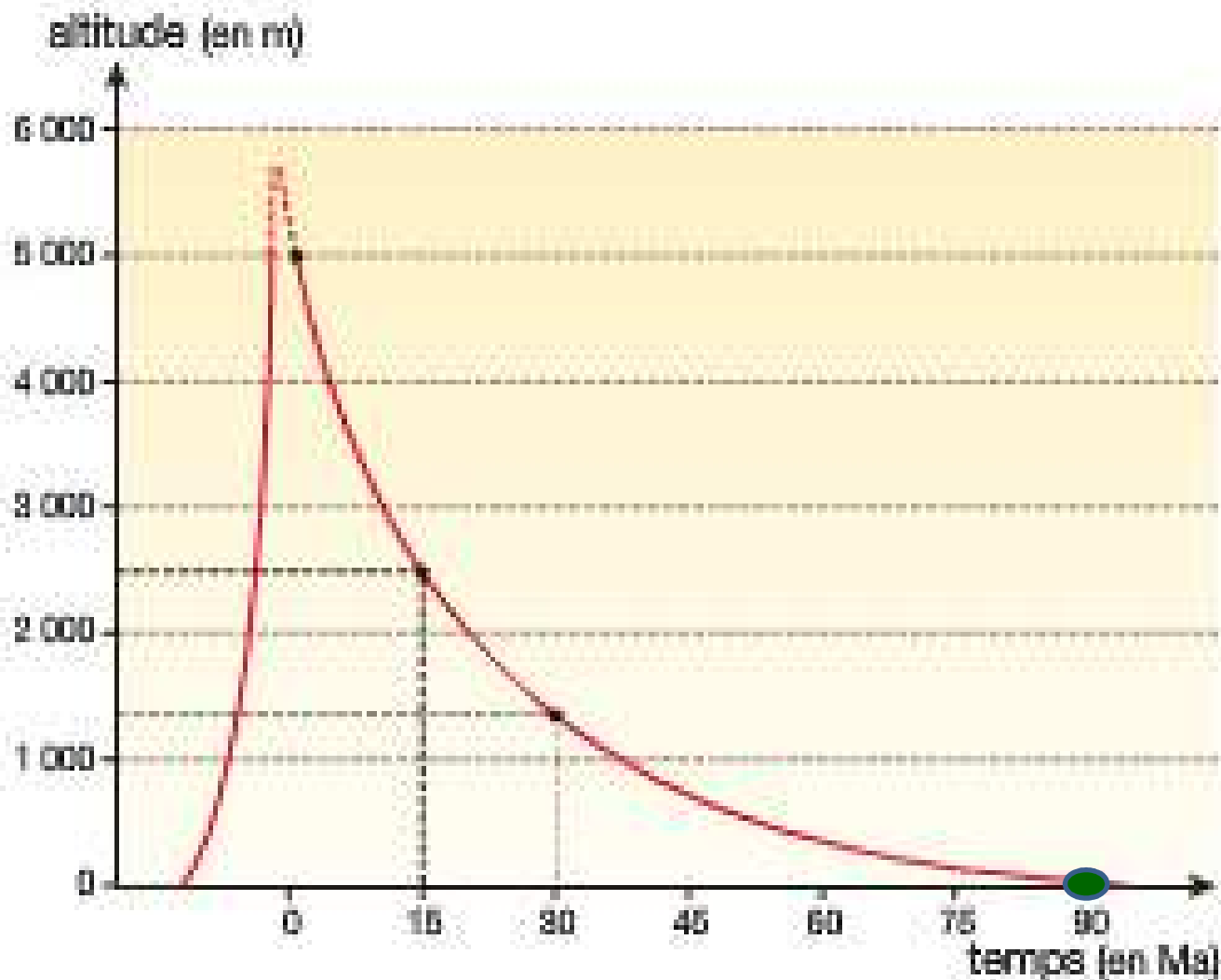
Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale

- I. La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction
- II. Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaînes de montagnes
- III. La disparition des reliefs de la croûte continentale
 - A. Deux grands types de chaînes de montagnes
 - B. Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs
 - 1. Altération des roches
 - 2. Transport et sédimentation
 - 3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

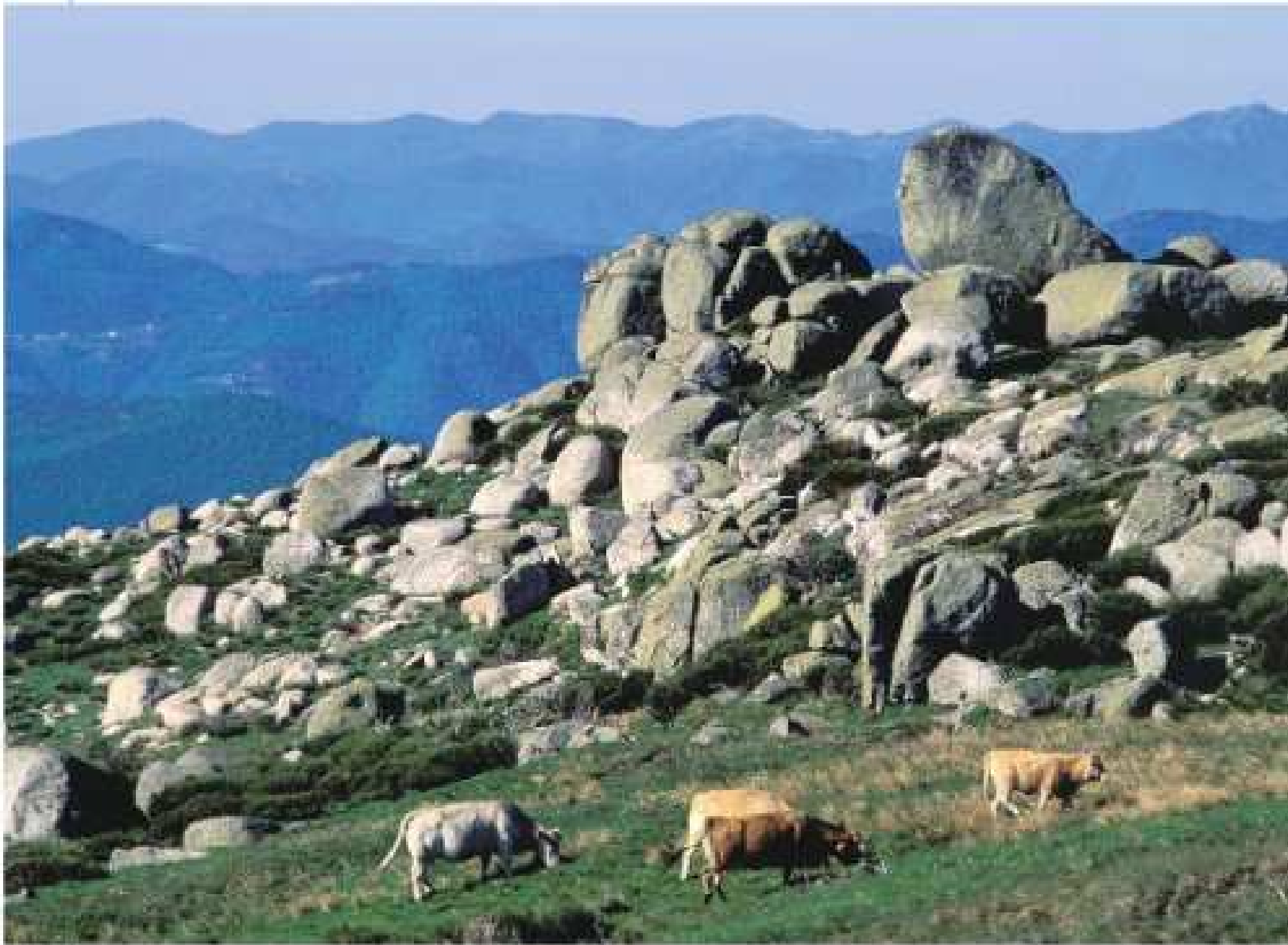
- a) Un réajustement (rebond) isostatique.
- b) Une tectonique en extension qui favorise l'aplanissement.

Temps nécessaire pour aplanir un relief



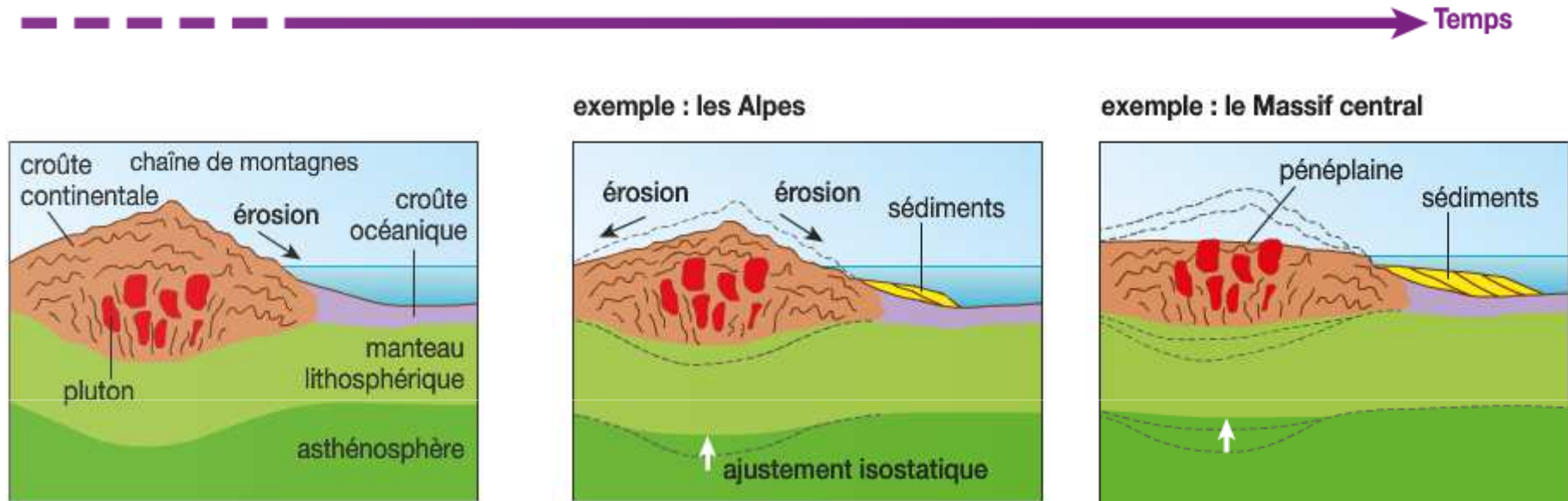
Évolution de l'altitude d'une chaîne de montagnes en fonction du temps

Affleurement en surface de granites formés à 15 Km de profondeur



Paysage granitique du mont Lozère

Modèle permettant d'expliquer la remontée des roches plutoniques

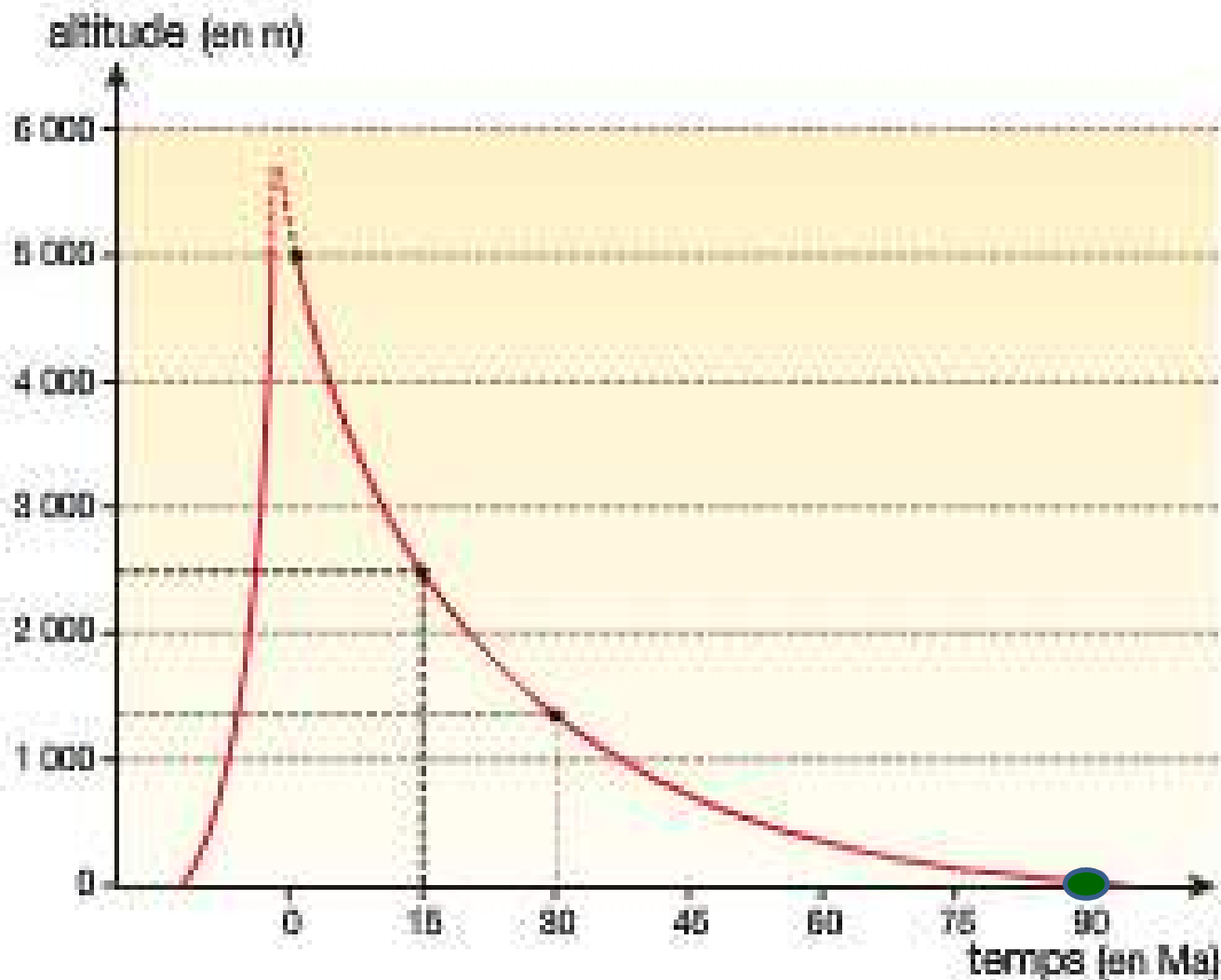


**Formation de roches
plutoniques en
profondeur lors de
l'orogénèse**

**Erosion en surface =>
allègement de la croûte
continentale => remontée
de roches mantelliques
denses pour compenser ce
déficit de masse
(réajustement isostatique)**

**Poursuite de l'érosion et
du réajustement
isostatique =>
affleurement en surface
de roches qui se sont
formées en profondeur**

Temps nécessaire pour aplanir un relief



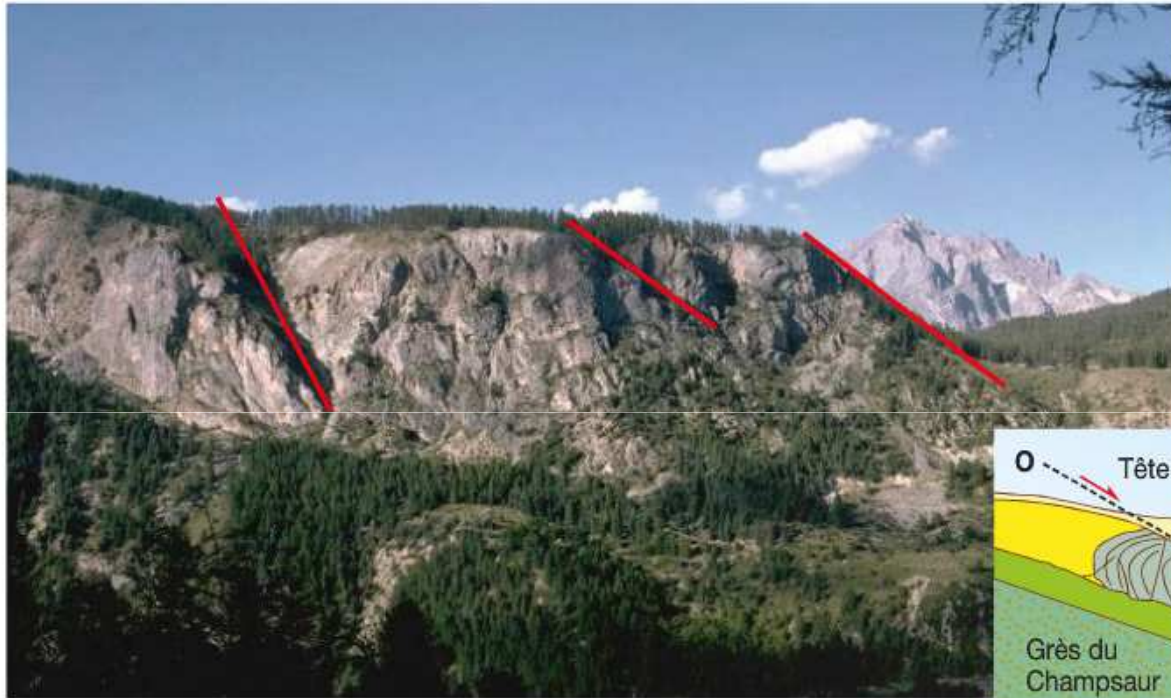
Évolution de l'altitude d'une chaîne de montagnes en fonction du temps

3. Les phénomènes tectoniques qui accompagnent l'aplanissement des reliefs

- a) Un réajustement (rebond) isostatique.
- b) Une tectonique en extension qui favorise l'aplanissement.

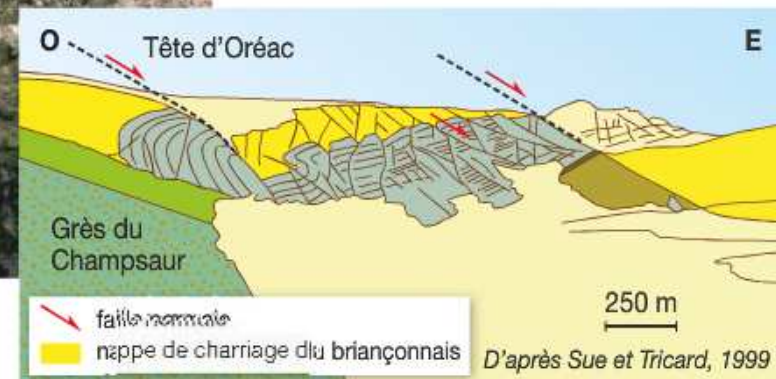
Des failles normales dans les Alpes

- Des observations de terrain



Des failles normales découpent les roches dans les Alpes internes

Dans la zone interne des Alpes, il est fréquent d'observer des failles dites normales (traits rouges), comme dans le parc national des Écrins, au niveau de la Tête de La Rochaille et d'Oréac (*photographie ci-contre*). Ces failles entraînent un affaissement du bloc rocheux situé au-dessus de la faille (toit) : ce type de faille se forme lors d'une extension des terrains.

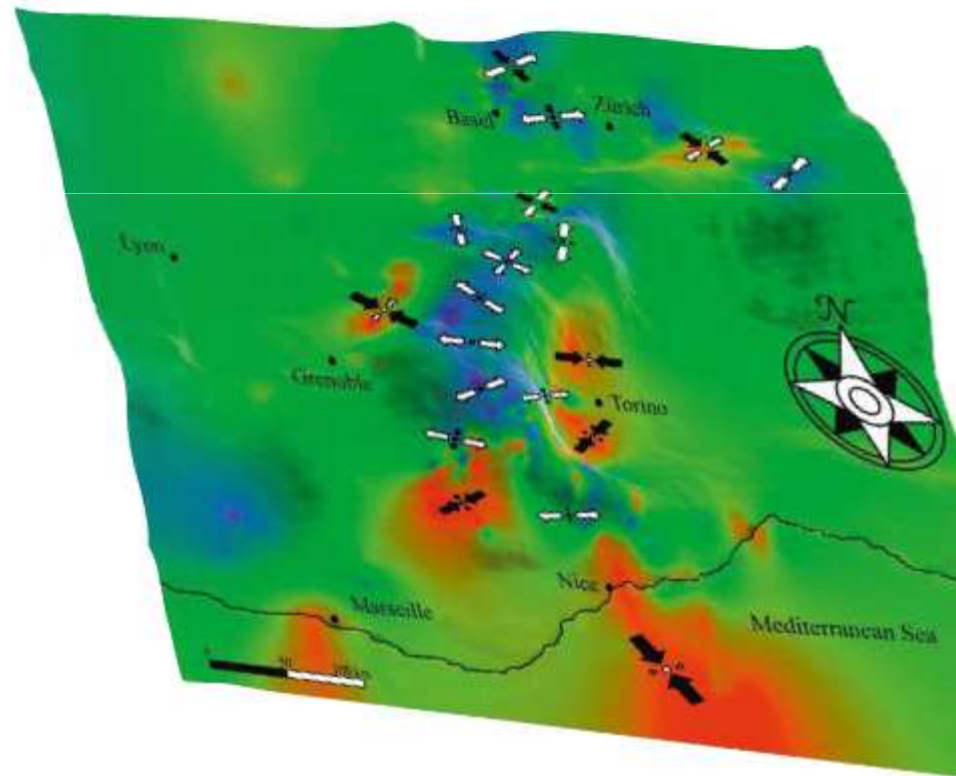


- Des données géométriques interprétées

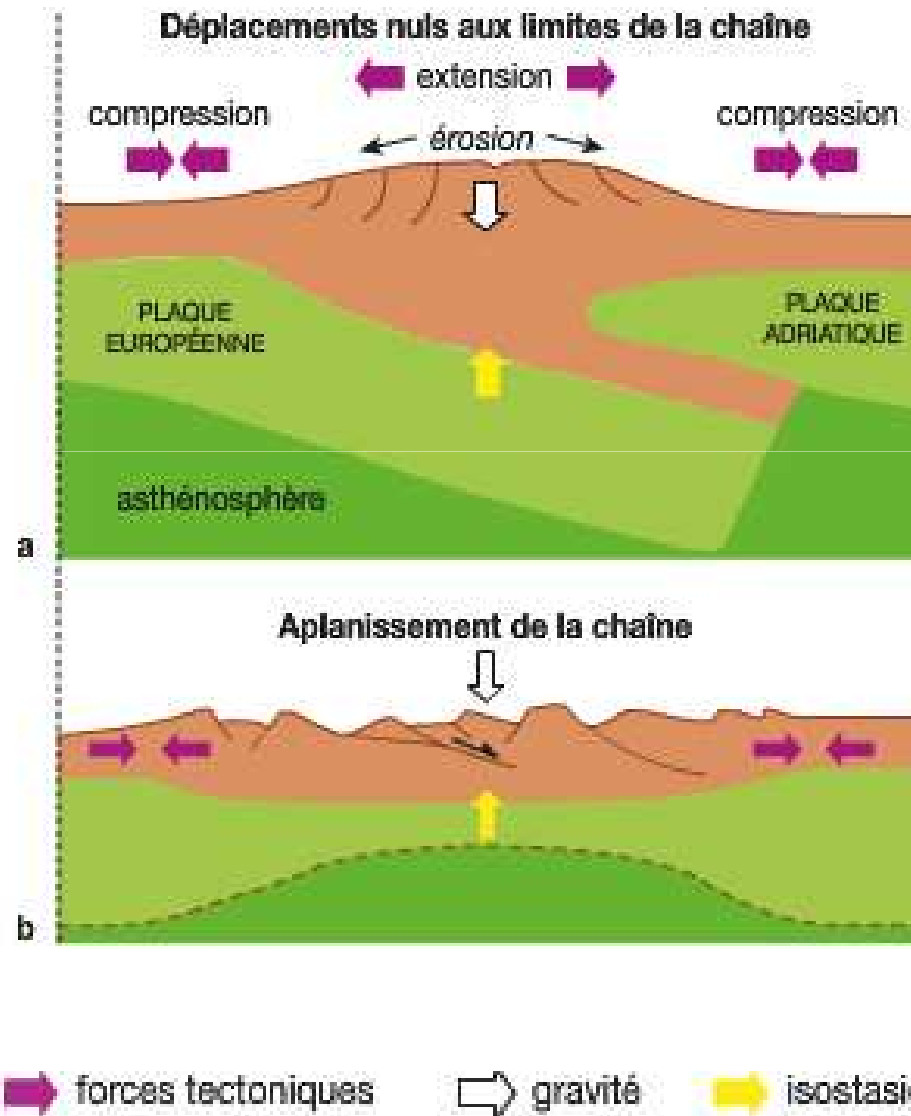
Des zones en extension dans les Alpes

- **Données sismotectoniques**

L'étude des relations entre séismes et tectonique (*voir document 1*) permet d'établir les déformations régionales dans les Alpes : les zones en extension sont en bleu, les zones en compression sont en rouge.



Phénomène extensif à la fin de la phase de compression



La disparition des reliefs

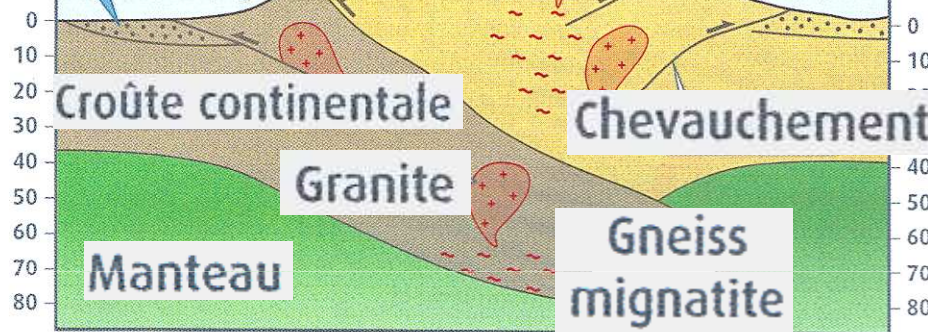
Chaîne de montagnes **récente**

Sédiments et roches sédimentaires issus de l'érosion

Érosion et transport

Effondrement de la chaîne

faille normale



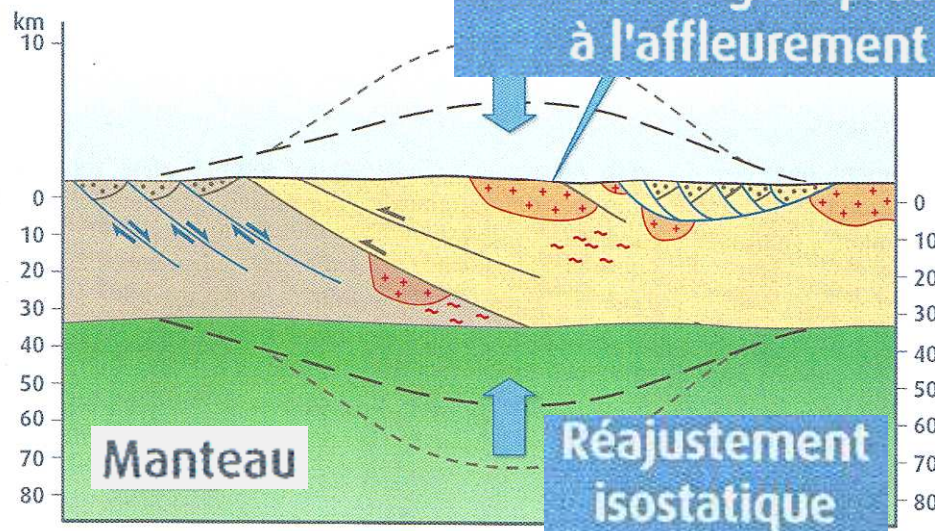
- Reliefs élevés
- Racine crustale profonde

érosion

- Réajustement isostatique
- Effondrement de la chaîne

Chaîne de montagnes **ancienne**

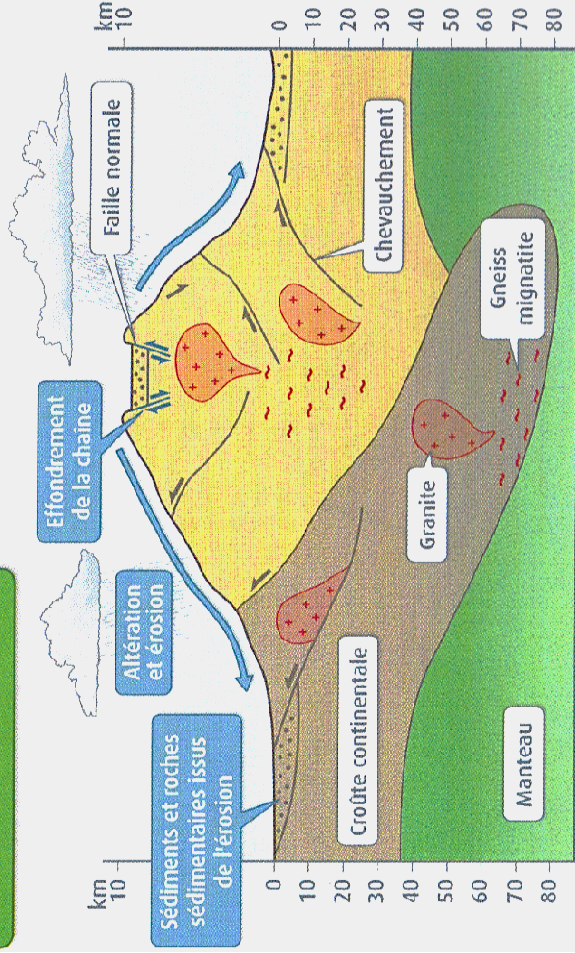
Roches d'origine profonde à l'affleurement



- Reliefs faibles
- Absence de racine crustale
- Forte proportion en surface (à l'affleurement) de roches formées et/ou transformées en profondeur

La disparition des reliefs

Chaîne de montagnes récente

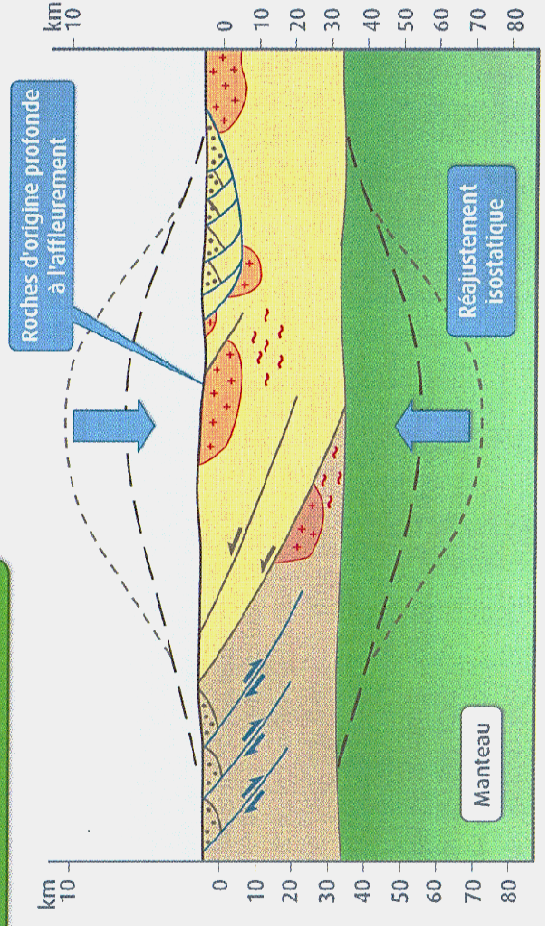


- Reliefs élevés
- Racine crustale profonde

- Altération et érosion
- Effondrement de la chaîne
- Réajustement isostatique

- Reliefs faibles
- Absence de racine crustale
- Forte proportion en surface (à l'affleurement) de roches formées et/ou transformées en profondeur

Chaîne de montagnes ancienne



Conclusion

Recyclage des matériaux de la croûte continentale

