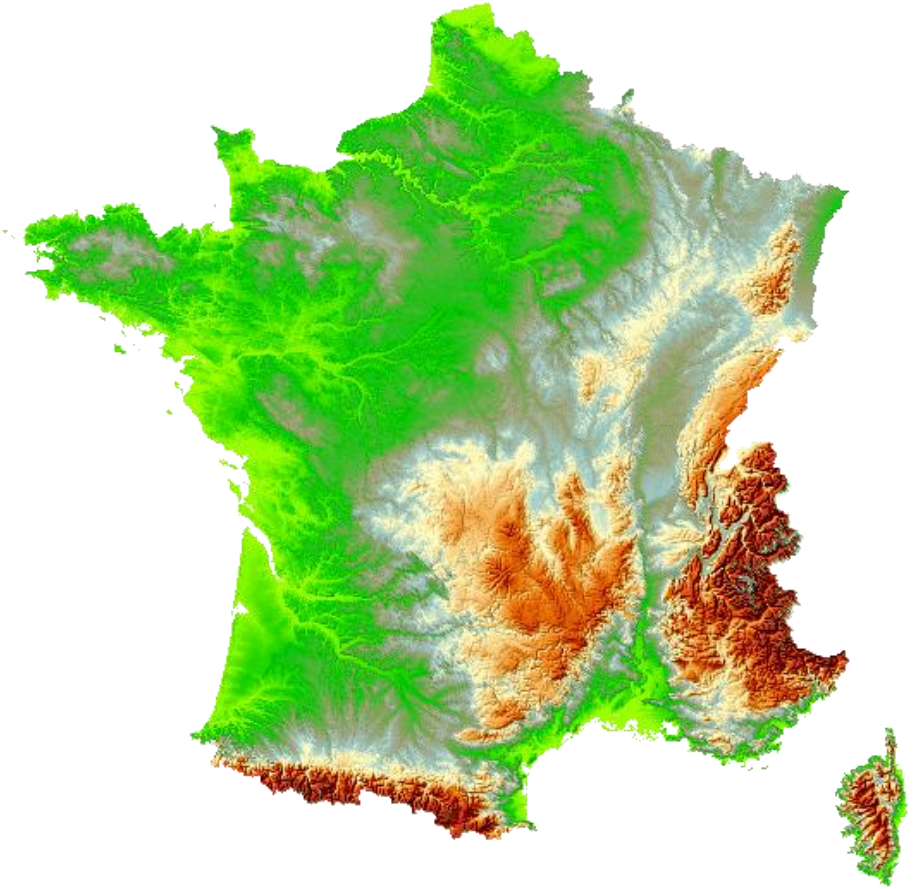
Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

Les continents

30 % de la surface de la Terre

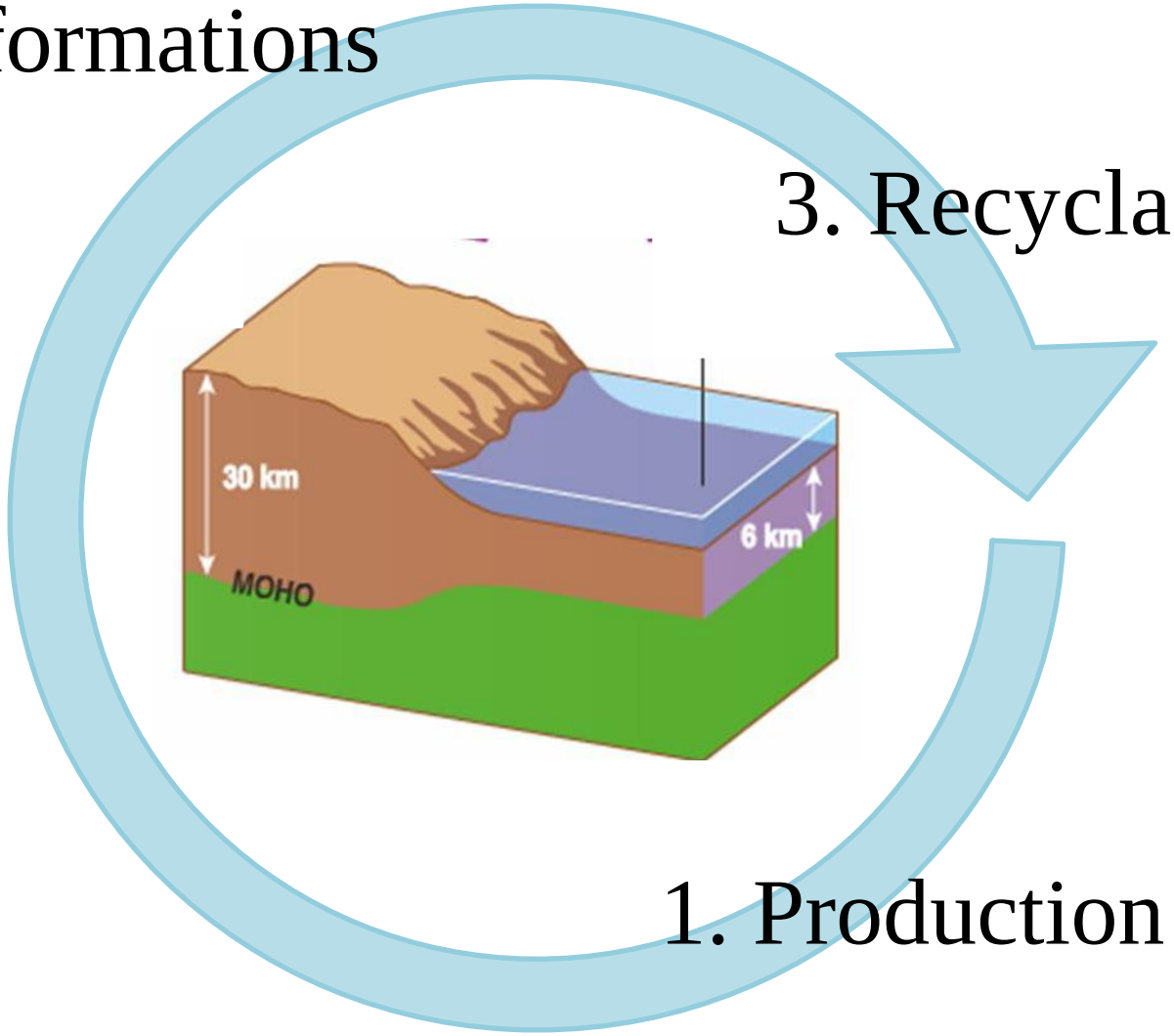


Reliefs variés

Dynamique de la croûte continentale

2. Transformations

3. Recyclage



1. Production

TS

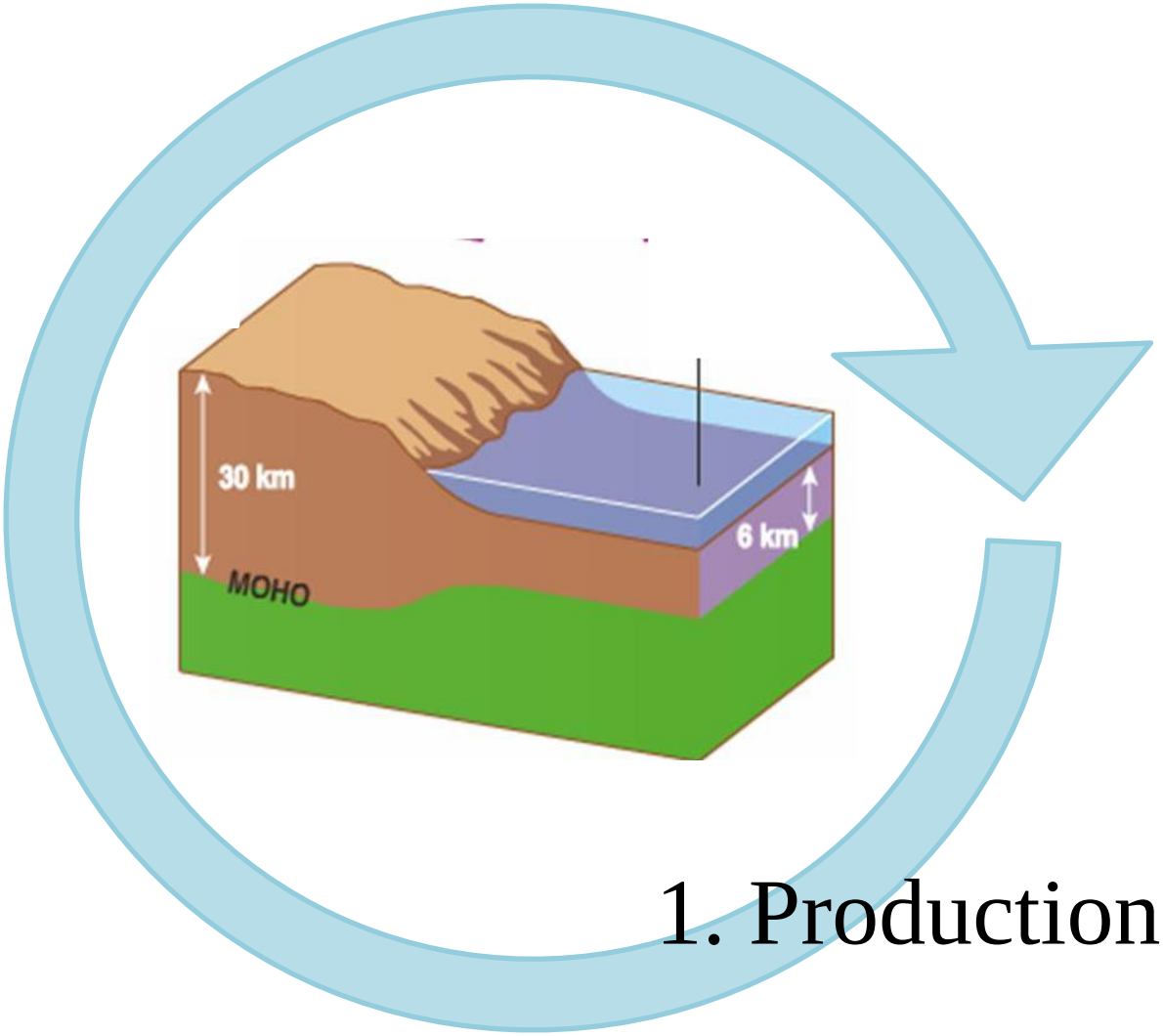
Thème II: Les continents et leur dynamique

Objectif: Retracer le cycle de la croûte continentale dans le modèle global de la tectonique des plaques.

Chapitre 3 : Dynamique de la croûte continentale.

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

Dynamique de la croûte continentale



1. Production

Thème : Les continents et leur dynamique.

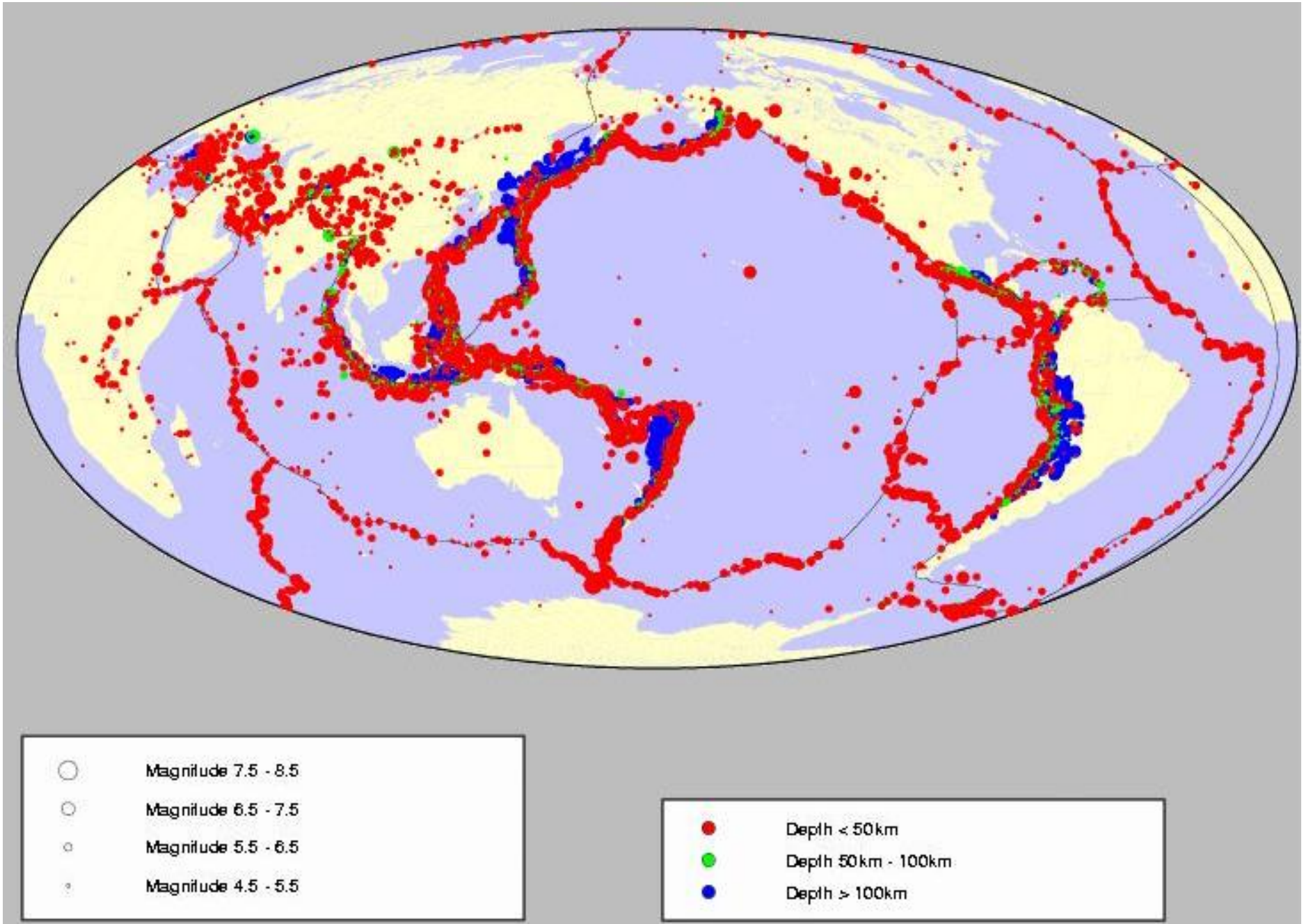
Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

Répartition de la sismicité du globe



Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

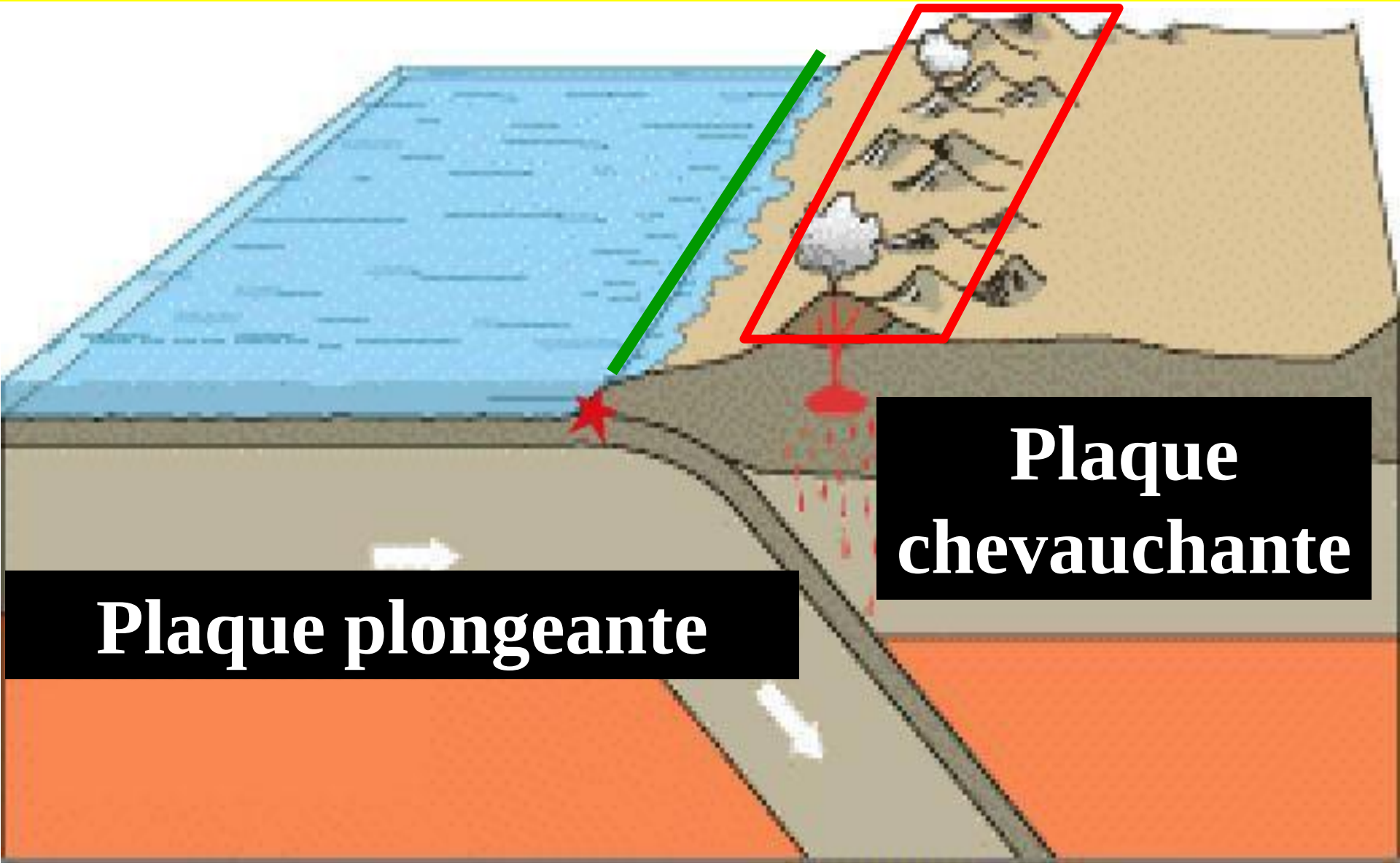
Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

Marge active de subduction

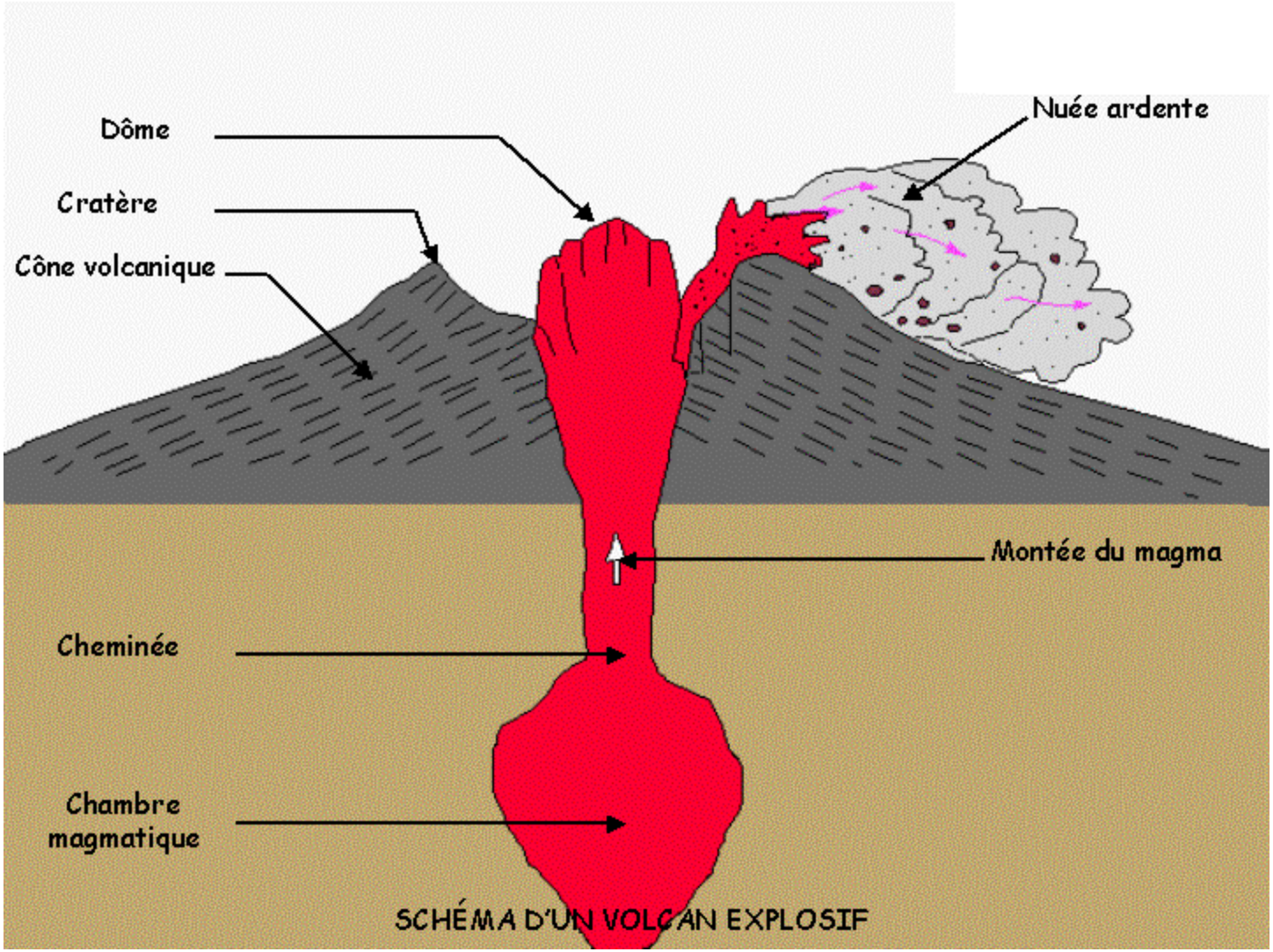


Alignement séismes-volcanisme-fosse

Un volcanisme explosif : les nuées ardentes

Pinatubo, Philippines.

Un volcanisme explosif : les nuées ardentes



Un volcanisme explosif : les nuées ardentes

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

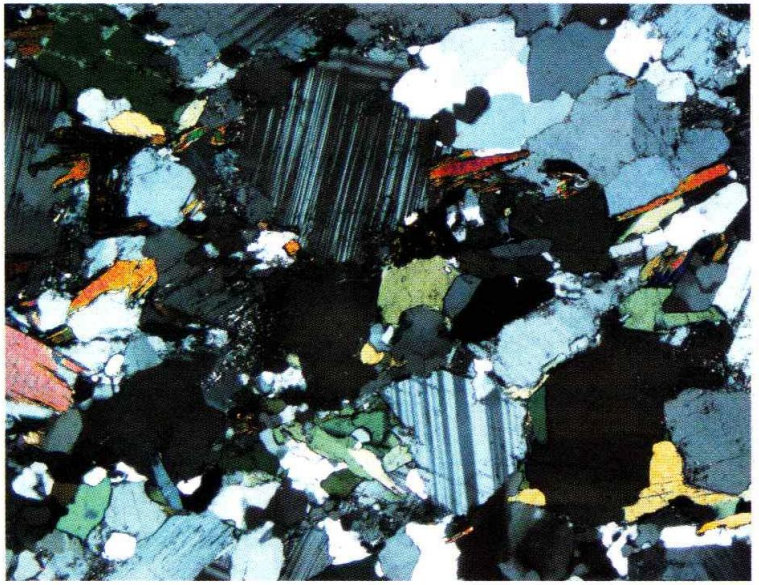
2°) Les principales roches magmatiques des zones de subduction.

Des roches plutoniques et des roches volcaniques

Texture grenue

• LA DIORITE

a Un échantillon de diorite



b Lame mince de diorite observée en lumière polarisée analysée

Texture microlithique

• L'ANDÉSITE

a Un échantillon d'andésite

b Lame mince d'andésite observée en lumière polarisée analysée

Texture microlitique

Verre volcanique

microlites

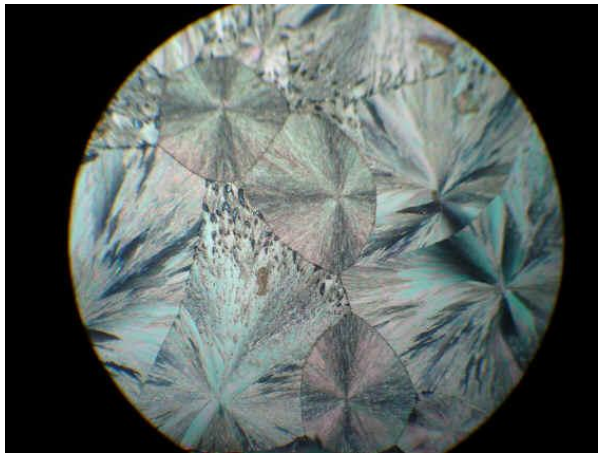
• L'ANDÉSITE

a Un échantillon d'andésite

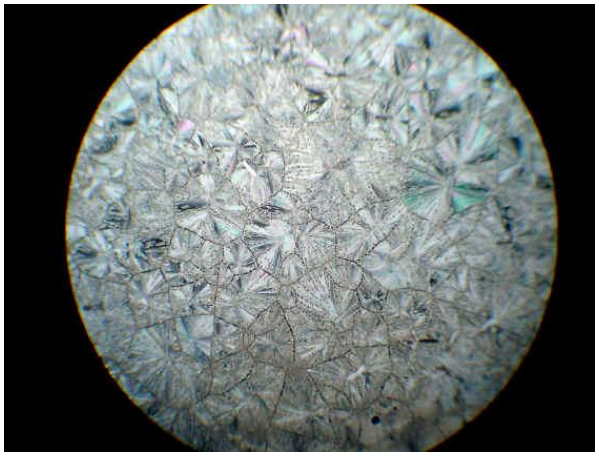
b Lame mince d'andésite observée en lumière polarisée analysée

phénocristaux

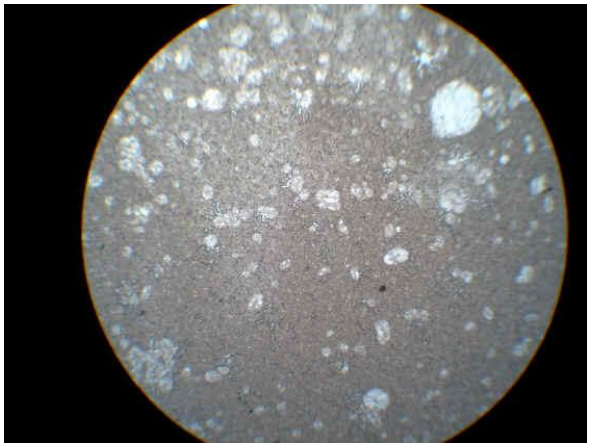
Modélisation : cristallisation de la vanilline



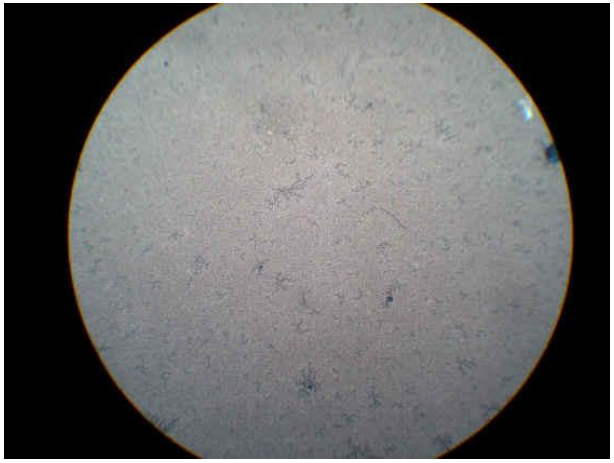
A température ambiante



Au frigo, 10°C



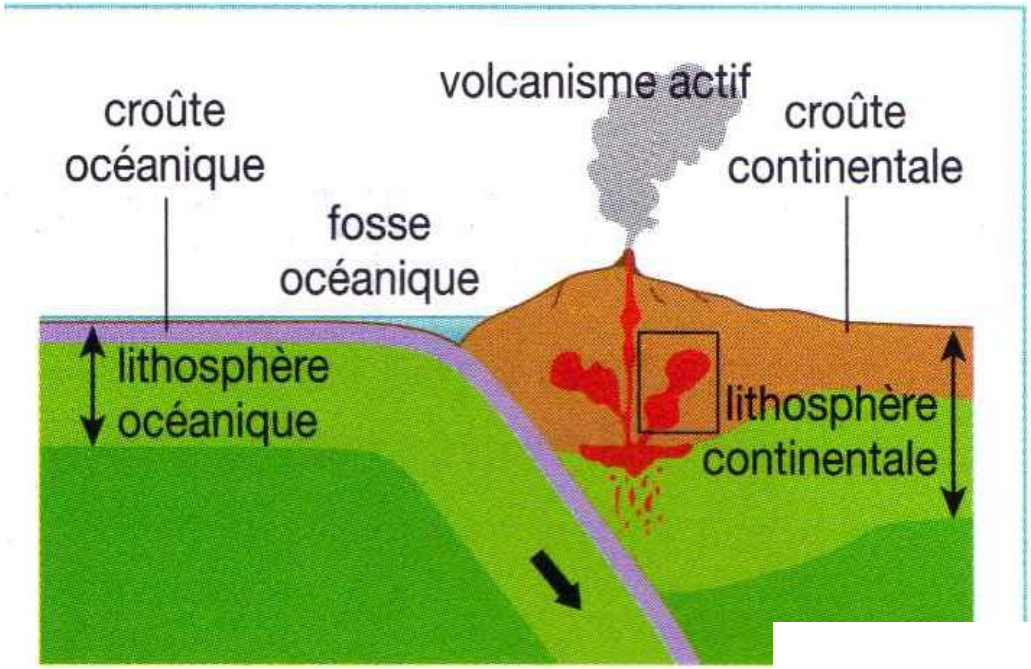
Au frigo, 5°C



Sur un bloc de glace

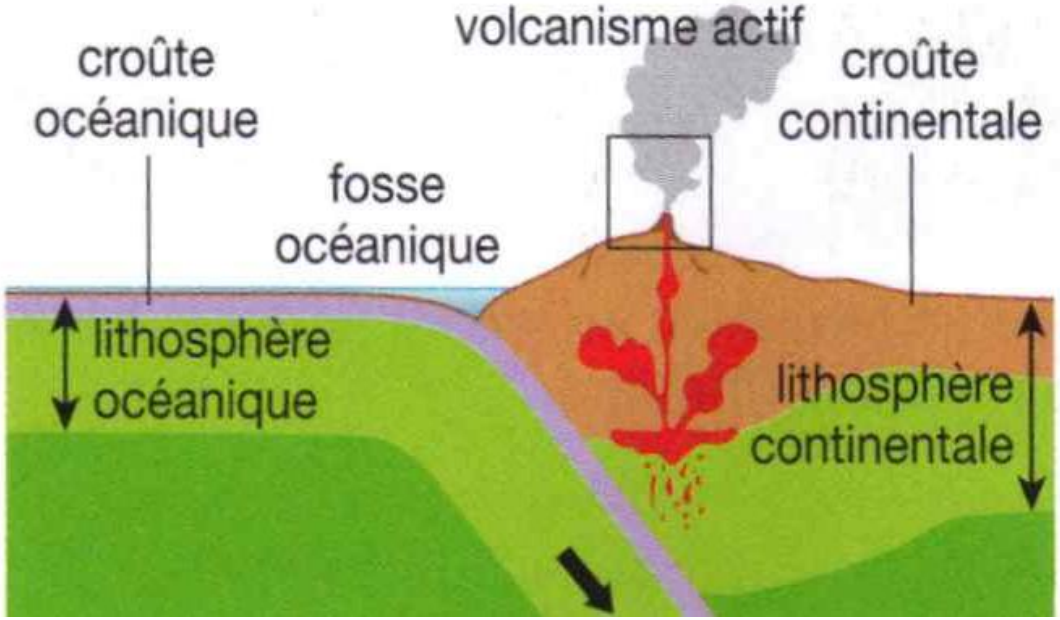
Taille des cristaux = f (ΔT)

Des roches plutoniques et des roches volcaniques

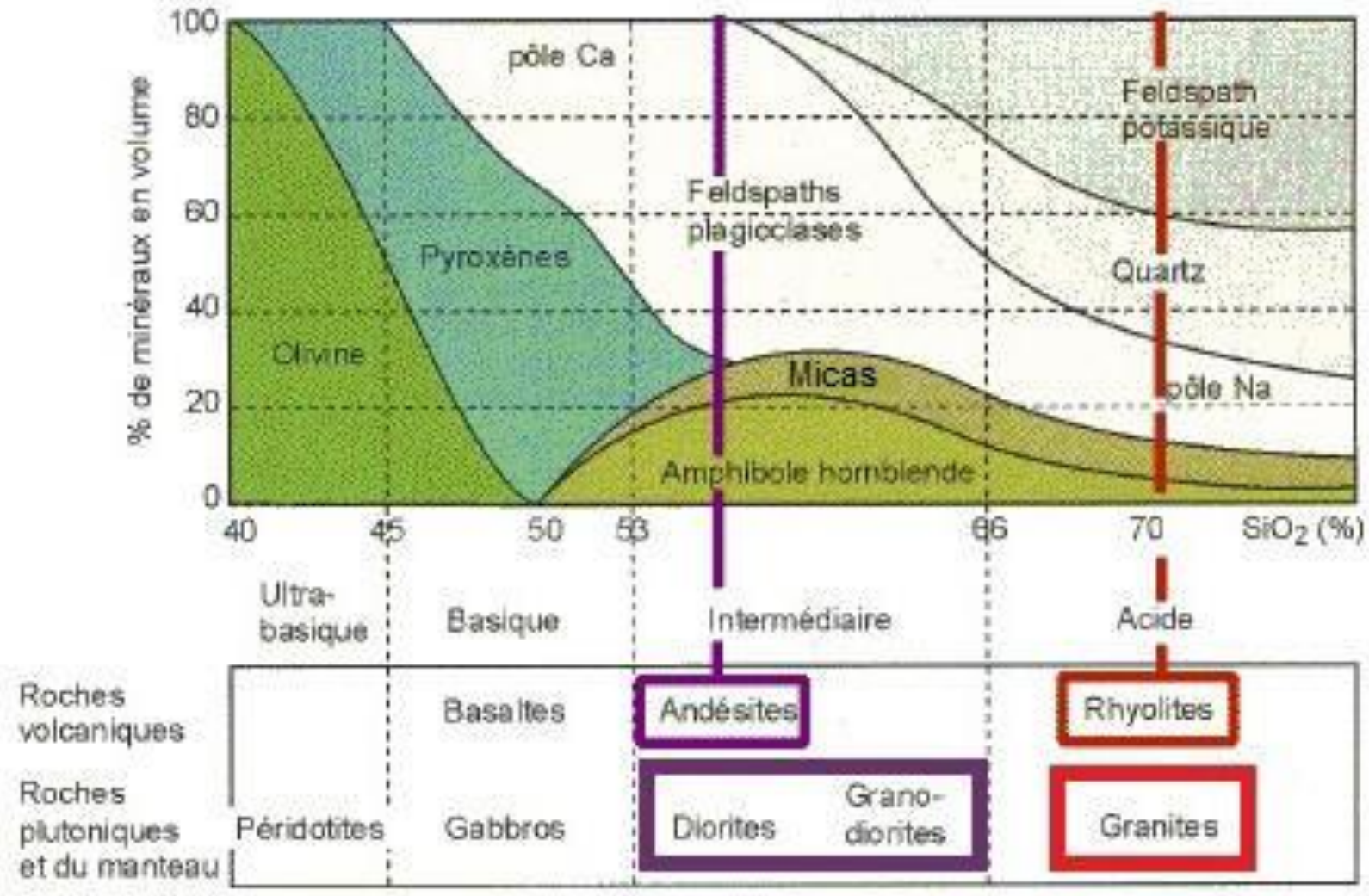


Refroidissement lent, en profondeur
Roches plutoniques
Texture grenue

Refroidissement brutal, en surface
Roches volcaniques
Texture microlitique



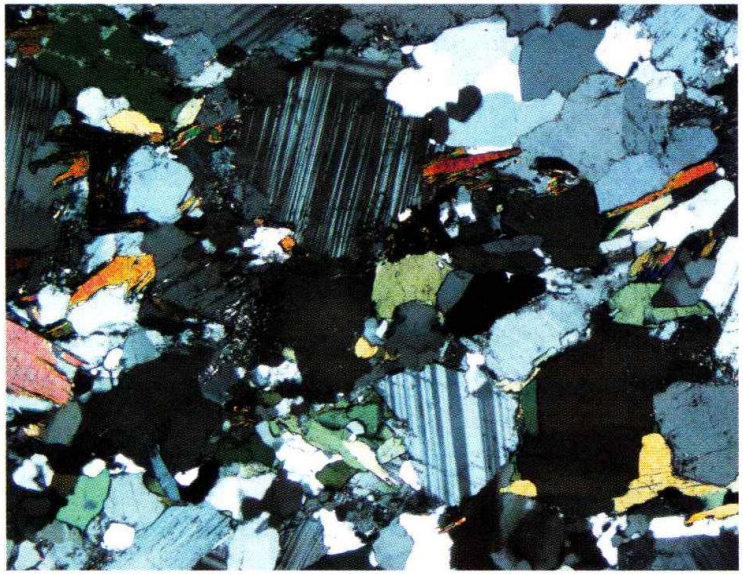
Les roches magmatiques volcaniques



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

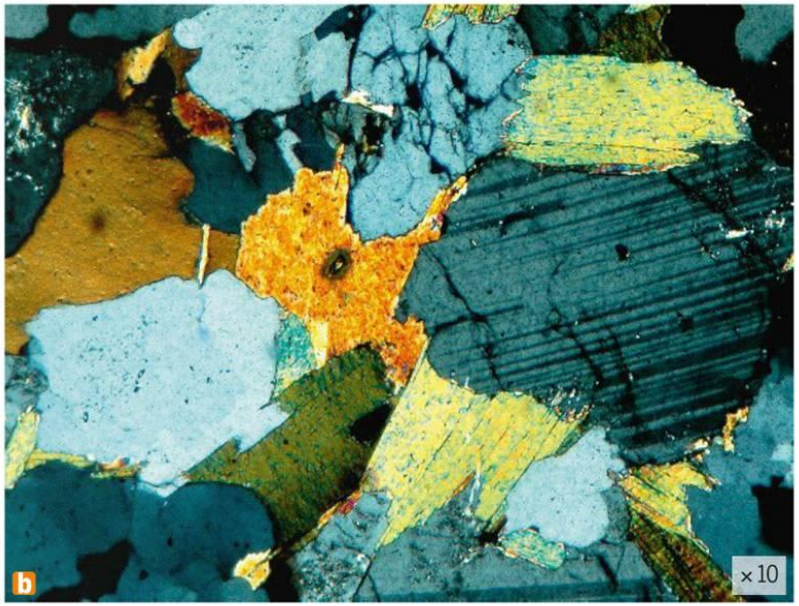
L'andésite

- 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

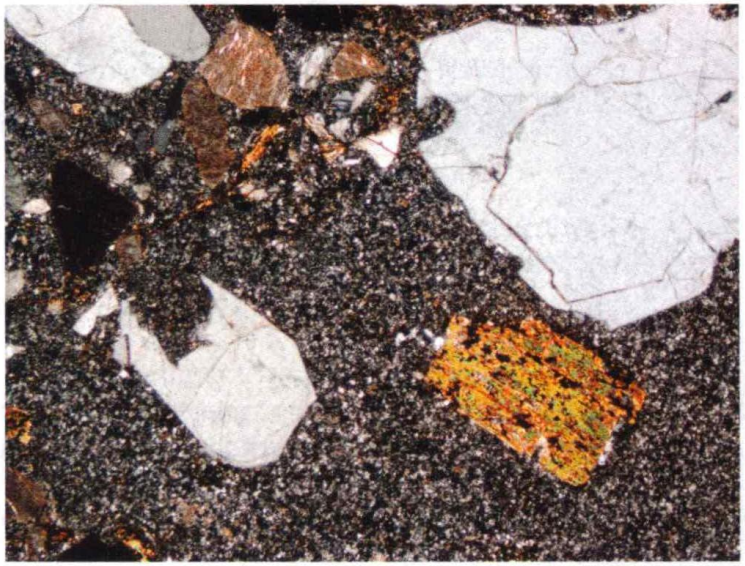
- Roche **magmatique plutonique**
- **Composition minéralogique :** quartz et feldspaths (80 %), micas, éventuellement amphiboles.



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

- LA RHYOLITE

a Un échantillon de rhyolite



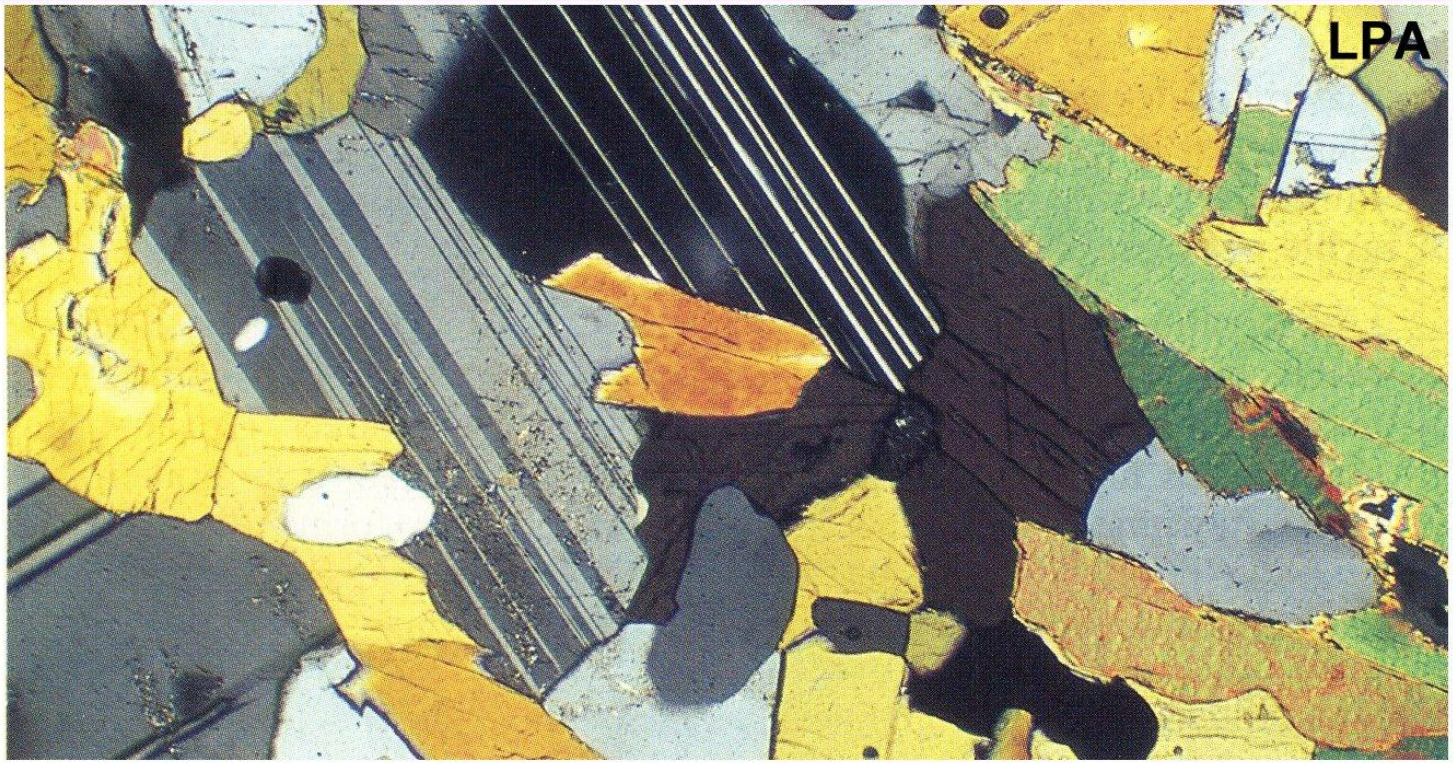
La rhyolite

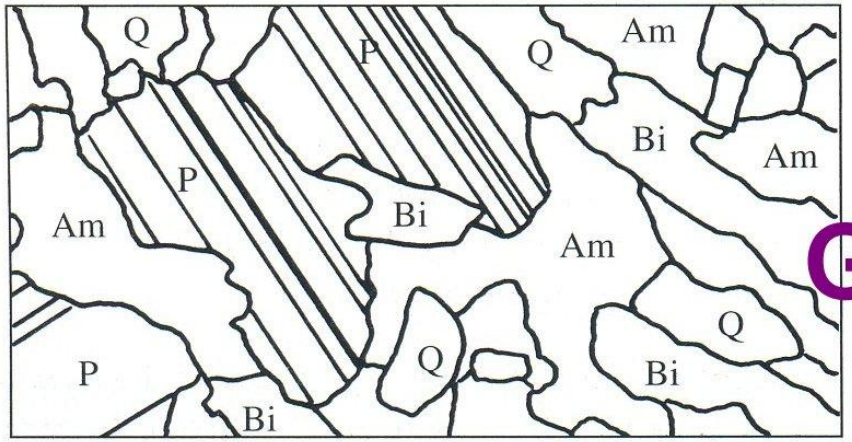
- Roche magmatique volcanique
- Structure microlitique
- Composition minéralogique :

– phénocristaux de quartz, d'amphiboles, de feldspath potassique et plagioclases, de biotite ;
– microlites de quartz et de feldspaths ;
– verre (partie non cristallisée).

Granodiorite

échantillo





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

Granodiorite

Granitoïdes

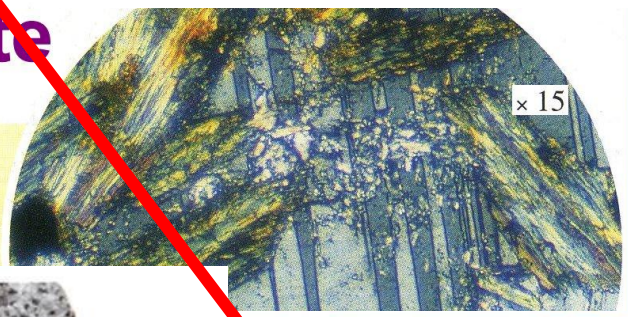
• LA DIORITE

a Un éch
de diorite

Richesse en silice

Granodiorite

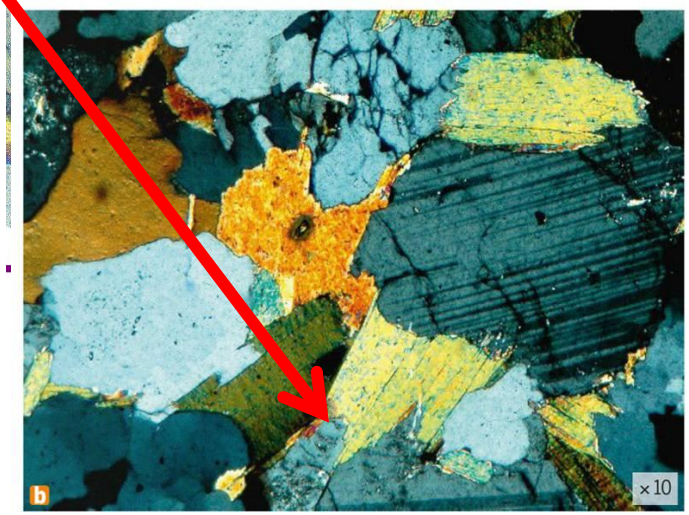
échantillon



a Échantillon de granite

• Roche **magmatique plutonique**

• **Composition minéralogique :** quartz et felds-paths (80 %), micas, éventuellement amphiboles.



Lame mince de granite observée en lumière polarisée analysée

Granitoïdes riches en minéraux hydroxylés

Composition chimique en oxydes (en %)

	SiO_2	Al_2O_3	FeO MgO	Na_2O K_2O	CaO	H_2O
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 : SiO_2
- Feldspath, orthose : $KAlSi_3O_8$
- Plagioclases : $CaAl_2Si_2O_8$; $NaAlSi_3O_8$
- Biotite (mica noir) : $K(Fe,Mg)_3AlSi_3O_{10}(OH)_2$
- Muscovite (mica blanc) : $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
- Pyroxènes : $Ca(Fe,Mg)Si_2O_6$
- Amphiboles : $NaCa_2(Mg,Fe,Al)_5[(Si,Al)_8O_{22}](OH)_2$

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

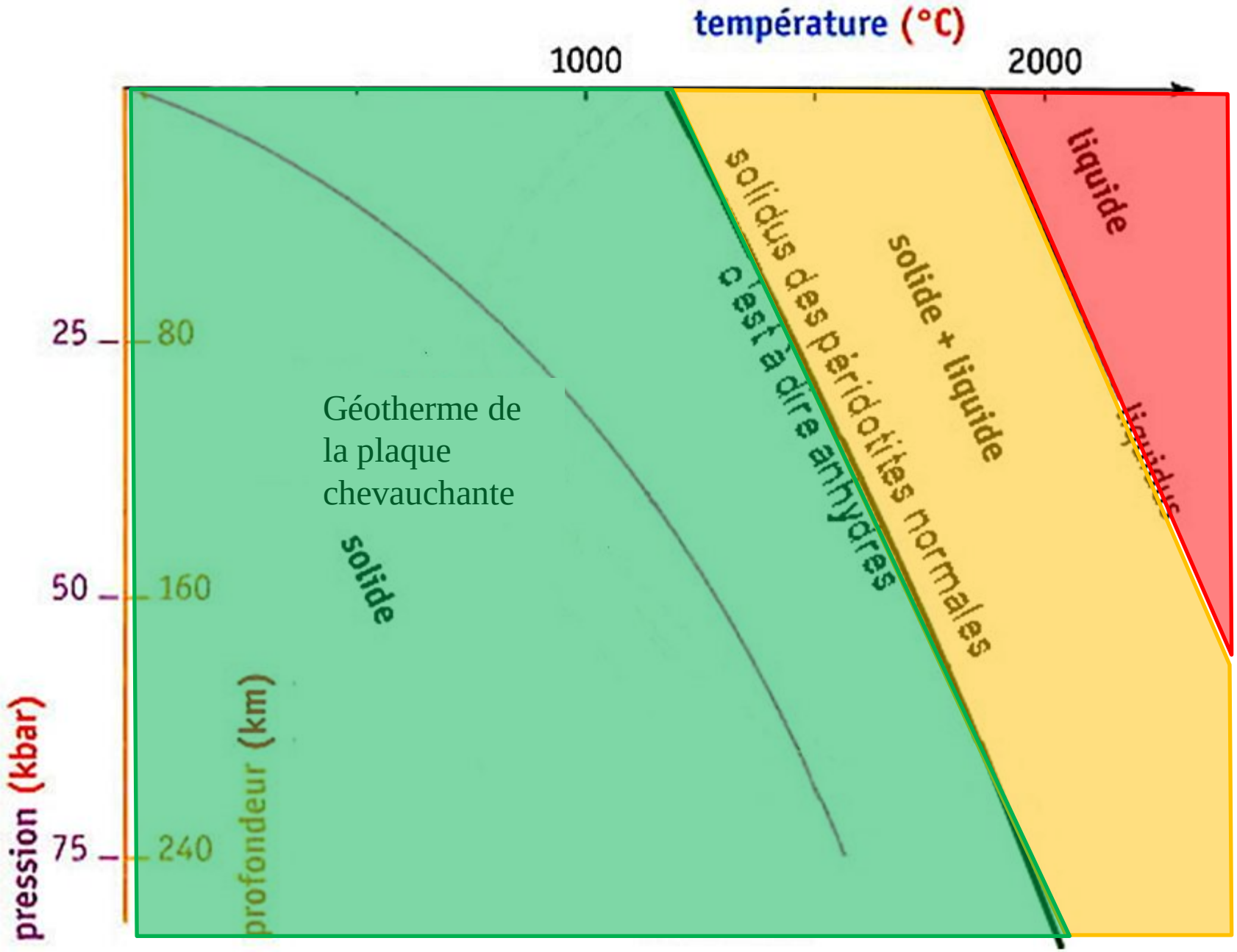
1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

2°) Les principales roches magmatiques des zones de subduction.

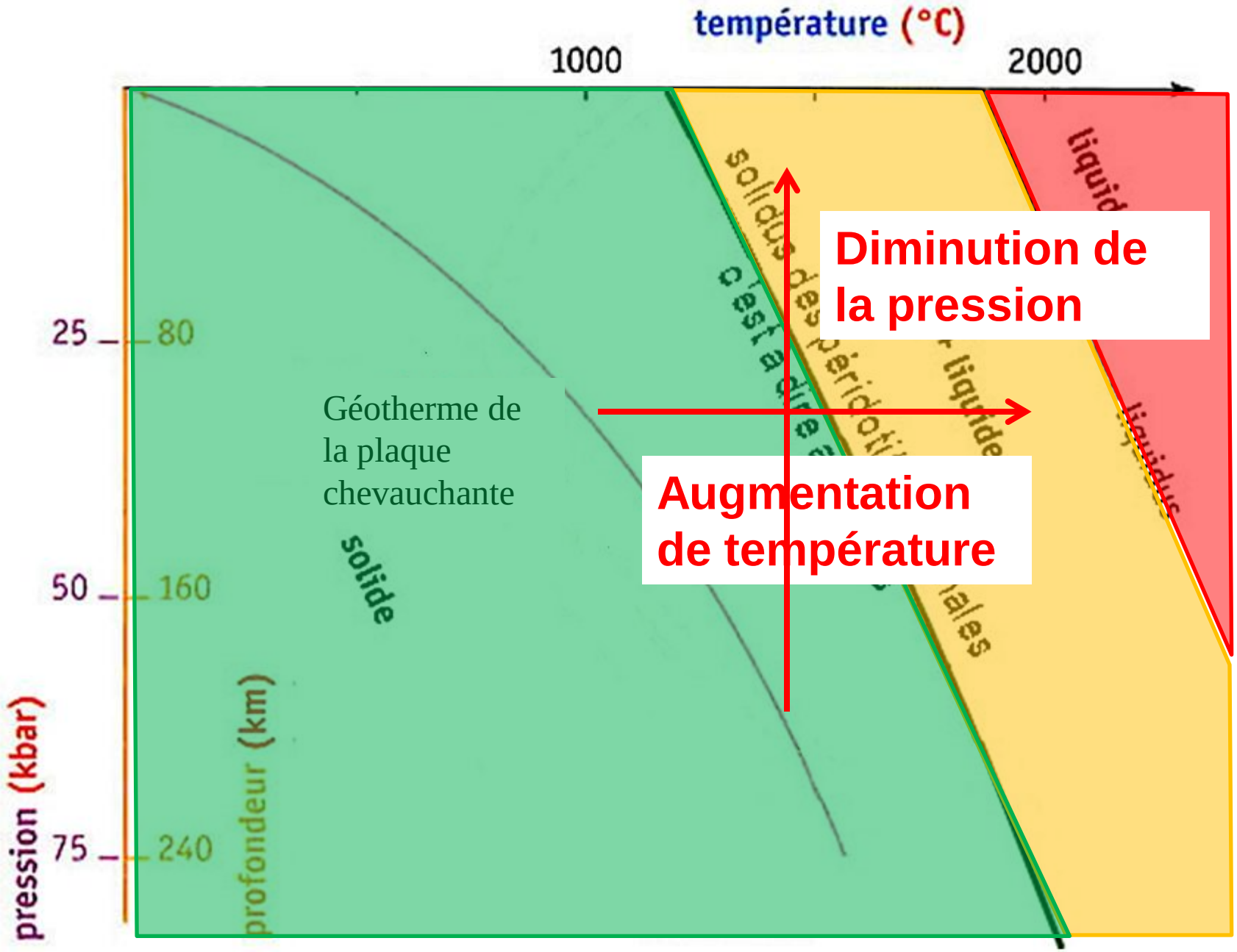
B°) Origine du magma des zones de subduction.

1°) Conditions de la FP des péridotites mantelliques.

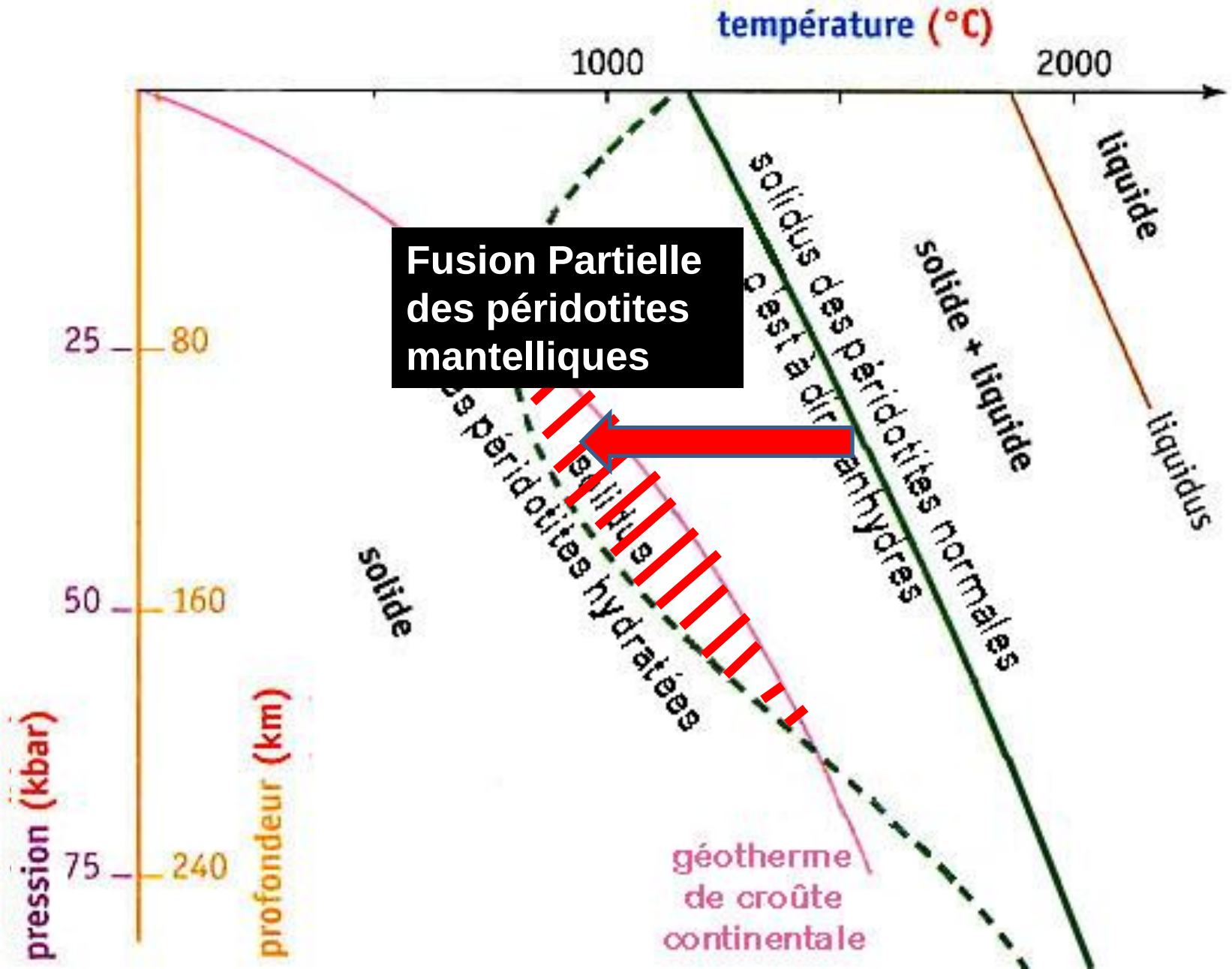
Le diagramme de phase des péridotites mantelliques anhydres



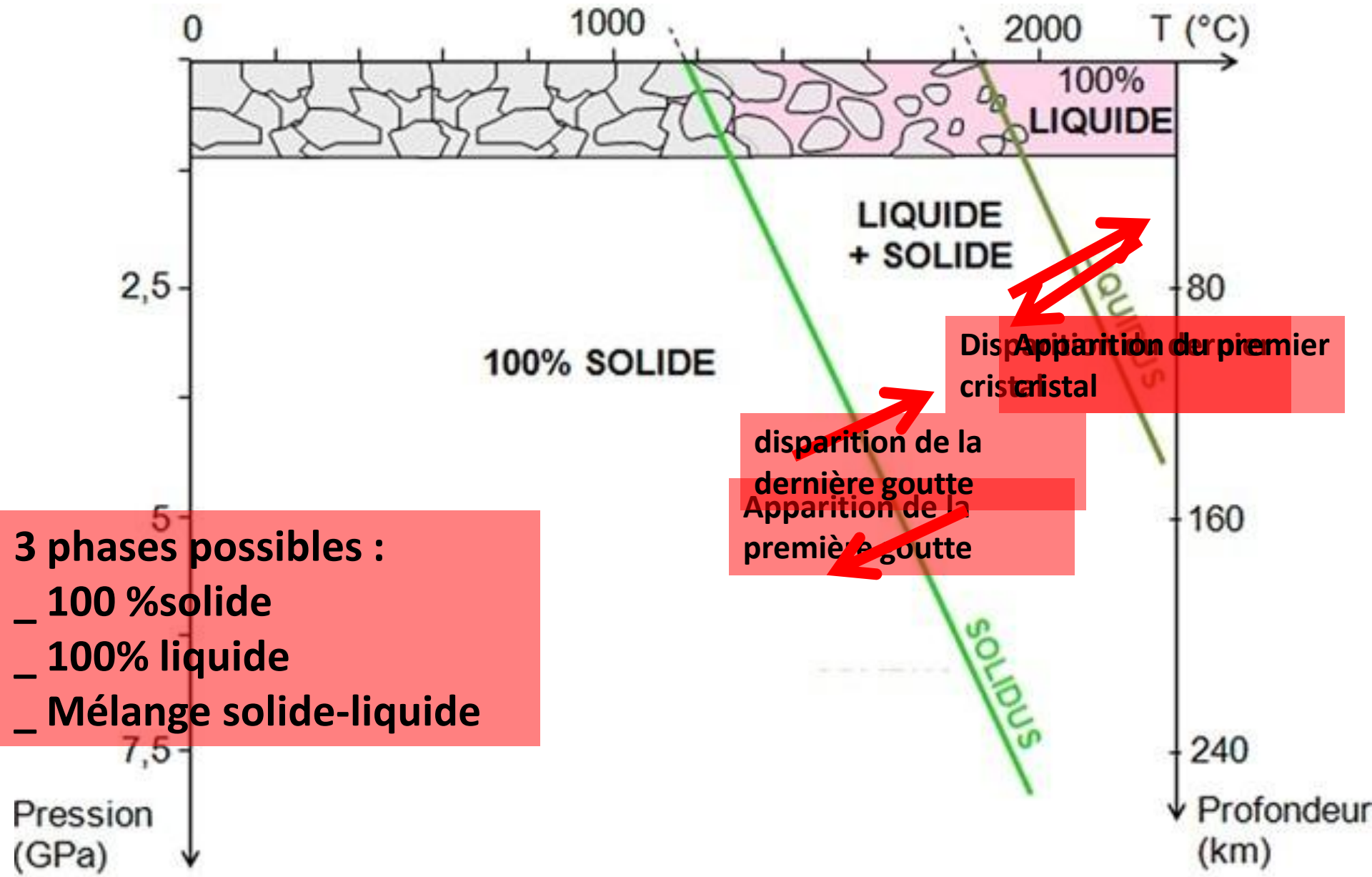
Le diagramme de phase des péridotites mantelliques anhydres



Le diagramme de phase des péridotites mantelliques hydratées



L'état du matériaux est contrôlé par trois variables : P, T et % eau



3 phases possibles :

_ 100 %solide

_ 100% liquide

_ Mélange solide-liquide

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

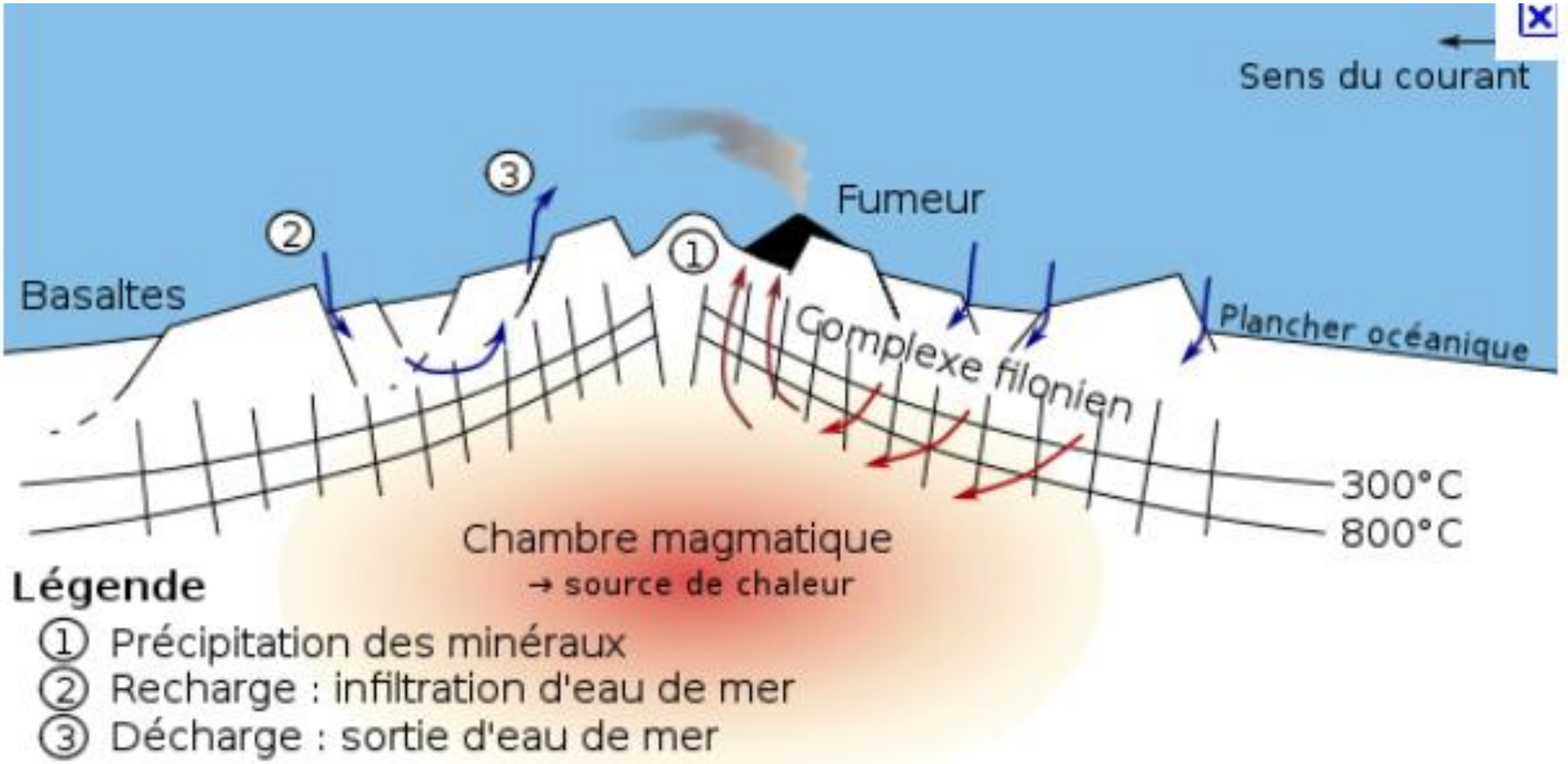
2°) Les principales roches magmatiques des zones de subduction.

B°) Origine du magma des zones de subduction.

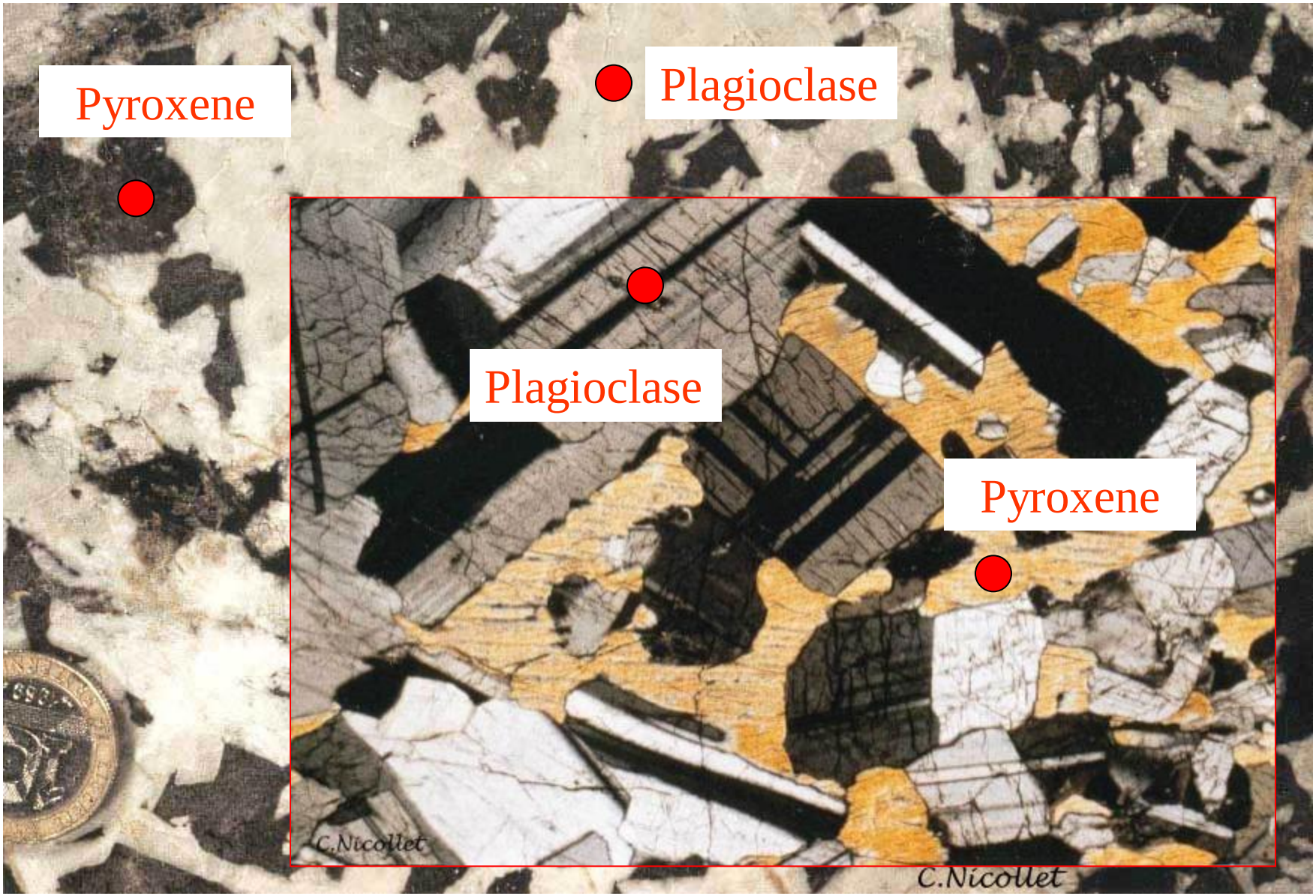
1°) Conditions de la FP des péridotites mantelliques.

2°) Origine de l'eau nécessaire à la FP des péridotites.

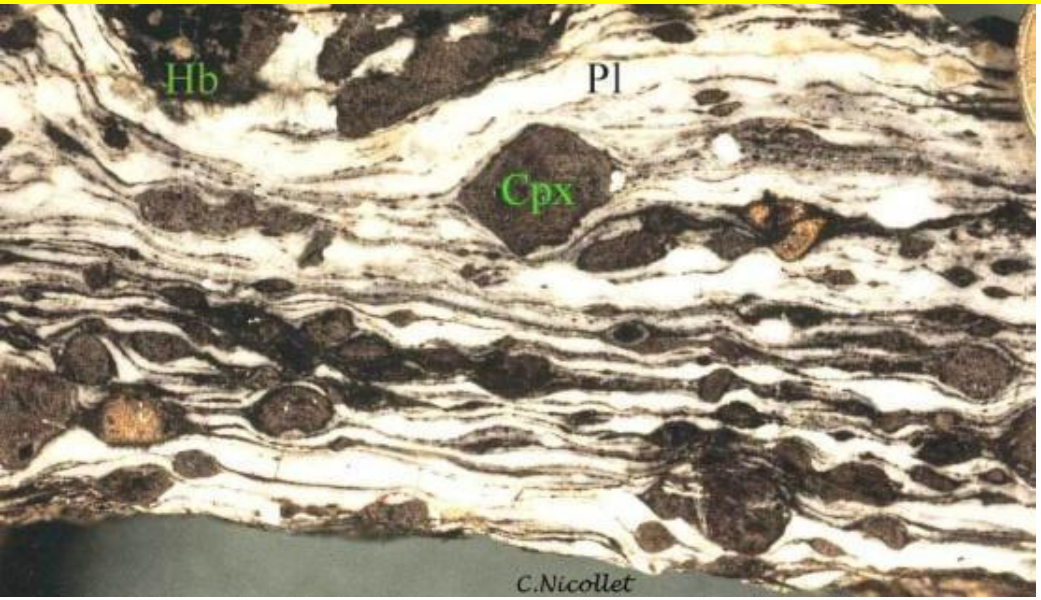
Hydratation de la lithosphère océanique lors de son vieillissement



La roche de départ : le gabbro océanique



La roche qui subduit : un gabbro du facies Schiste Vert



Gabbro à hornblende

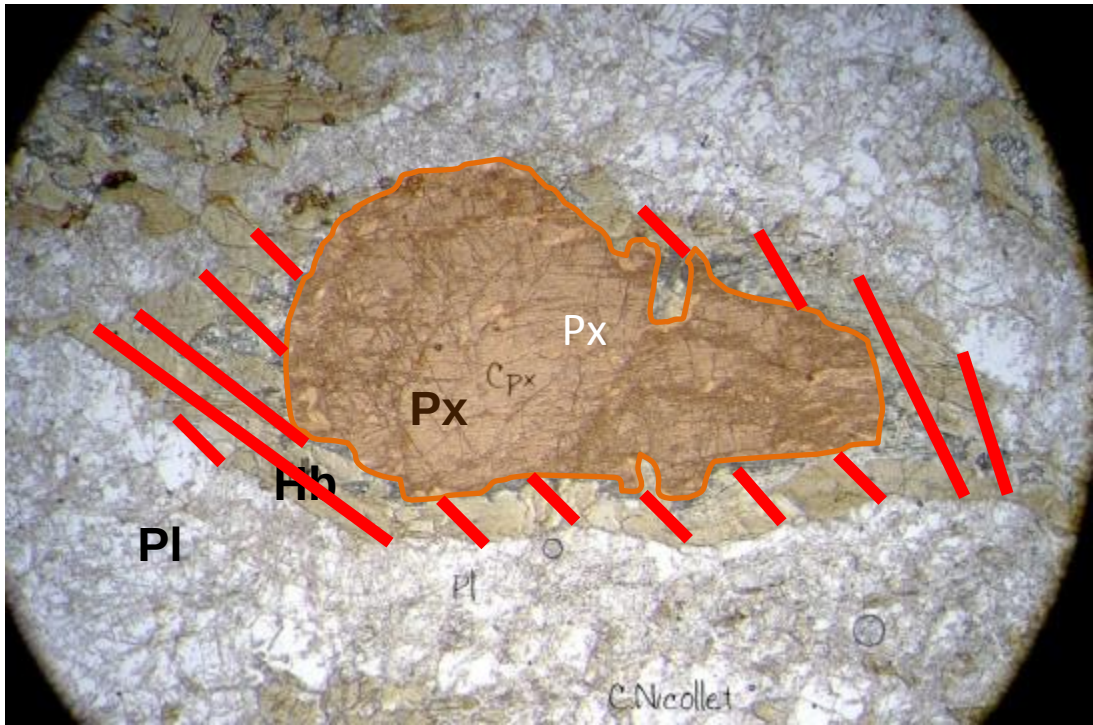
= métagabbro

= 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)

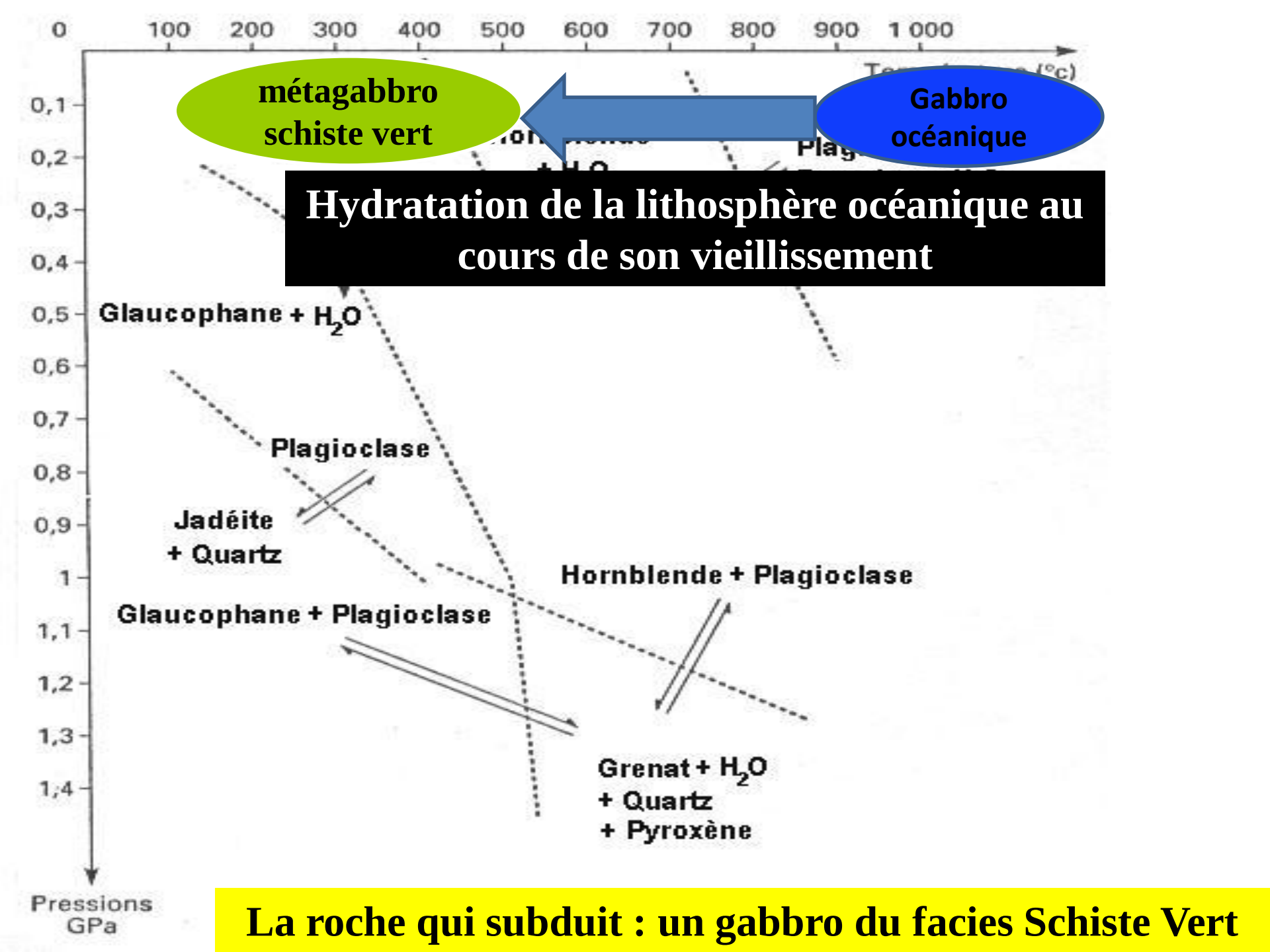


Minéraux principaux : Feldspaths plagioclases et hornblende

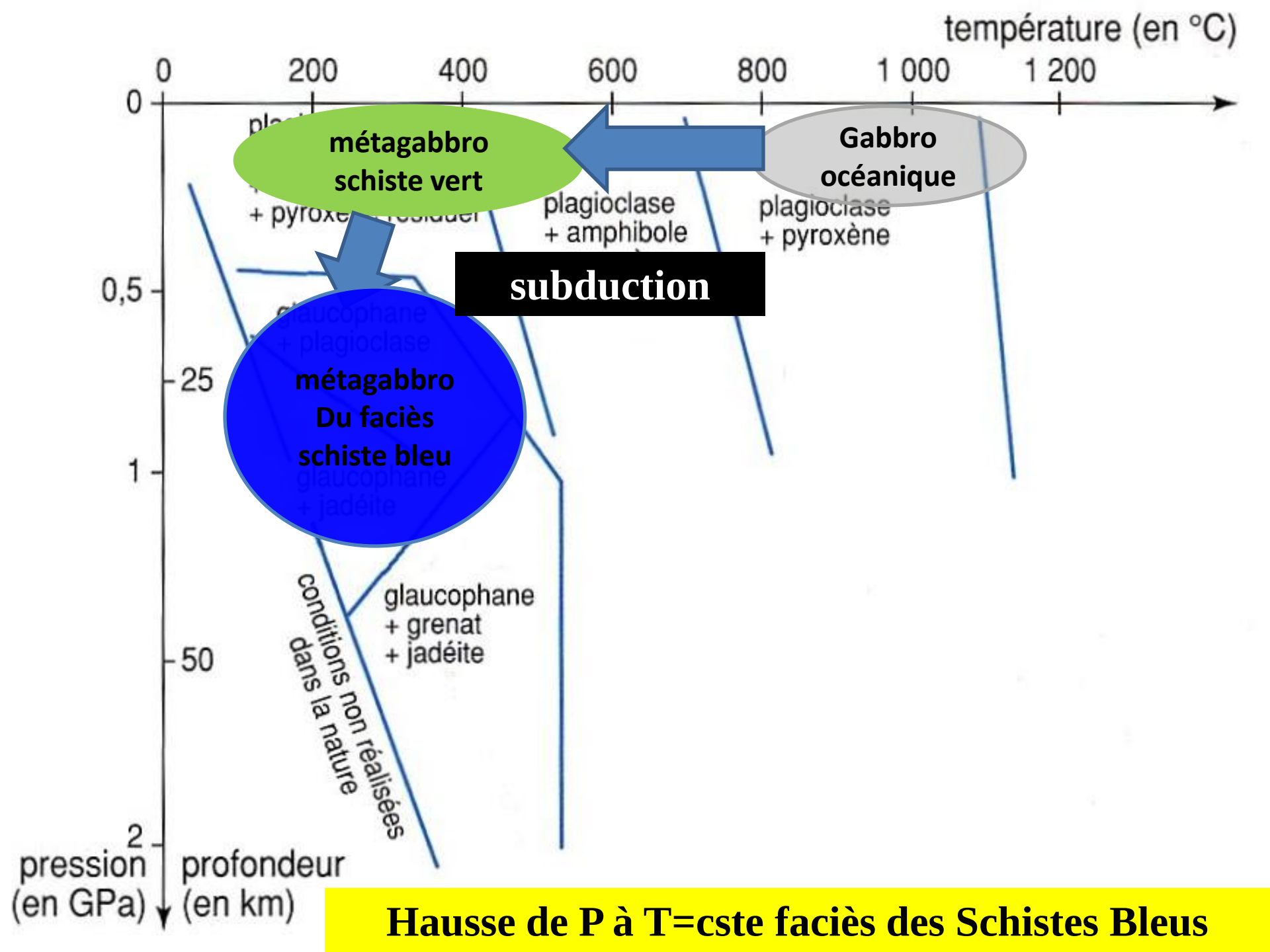
La roche qui subduit : un gabbro du facies Schiste Vert

GABRRO FRAIS

METAGABRRO
(à hornblende, chlorite et actinote) = faciès des <u>Schiste vert</u>

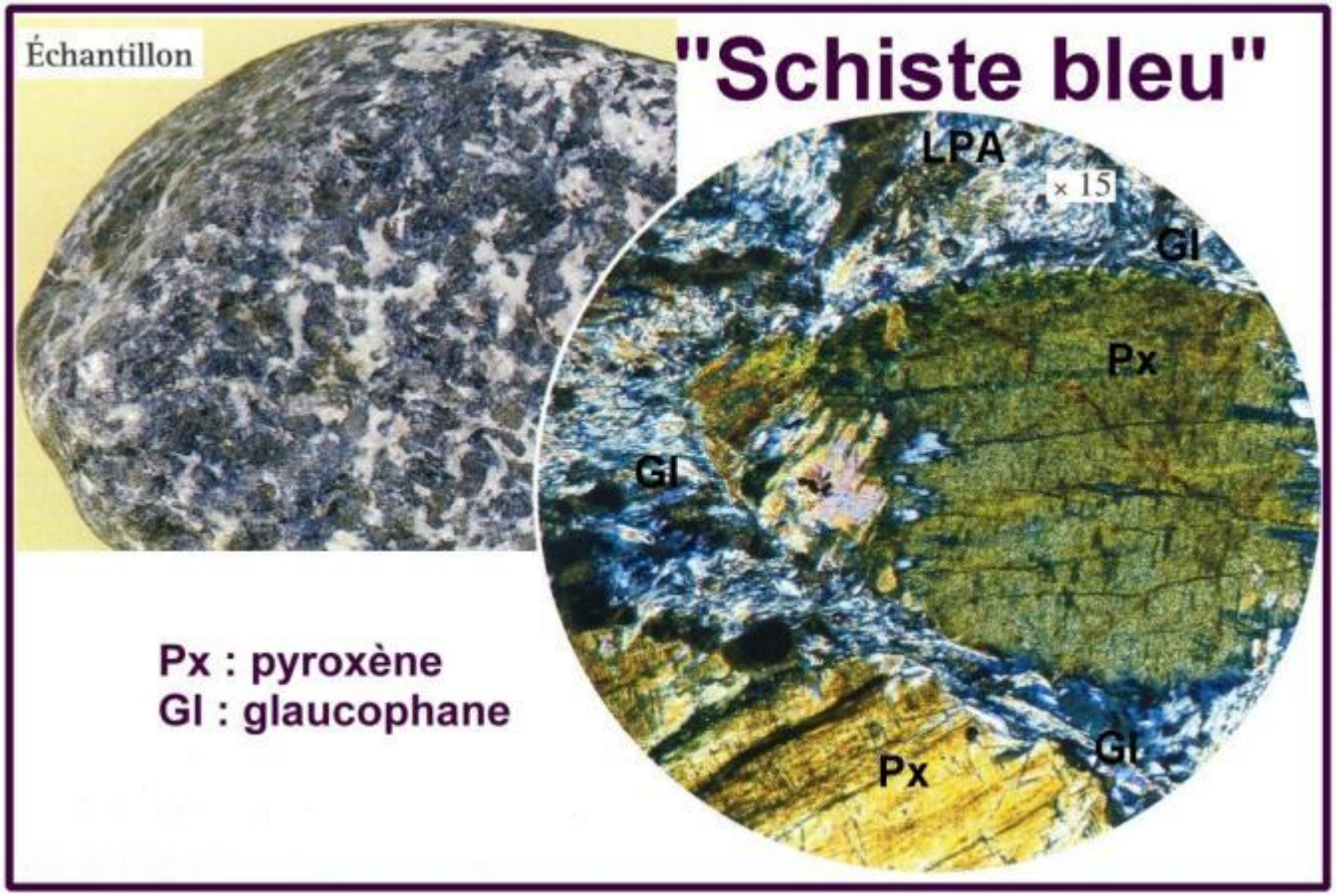


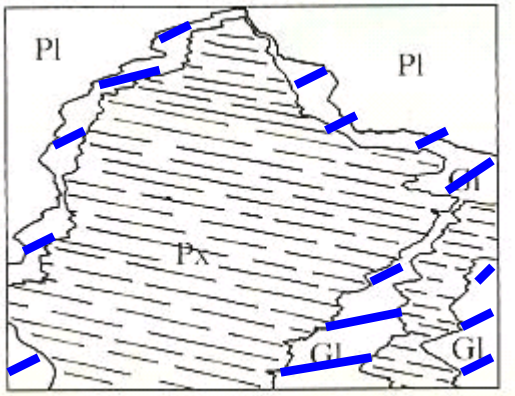
La roche qui subduit : un gabbro du facies Schiste Vert



Hausse de P à T=cste faciès des Schistes Bleus

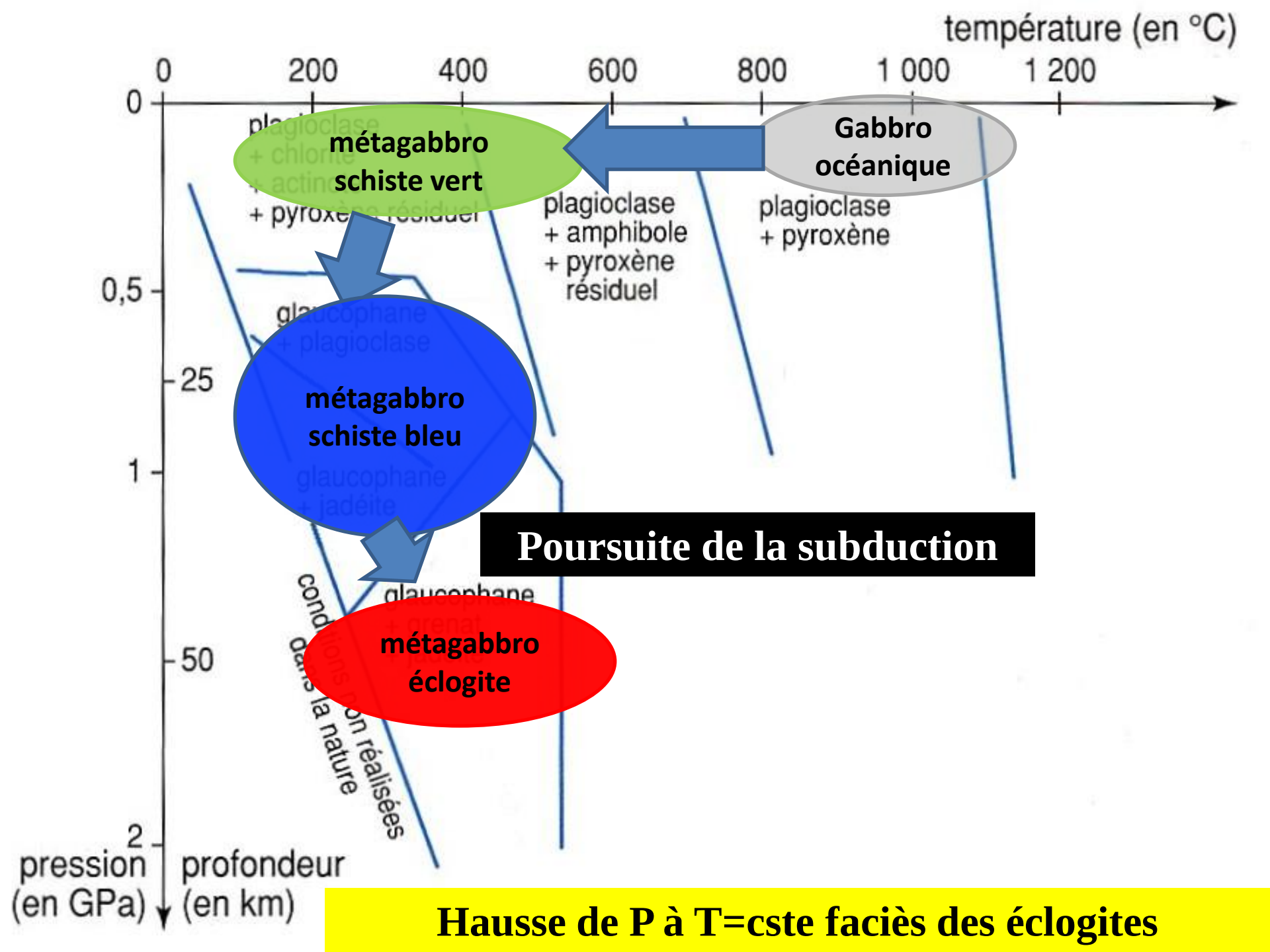
Formation des métagabbros à glaucophane lors de la subduction





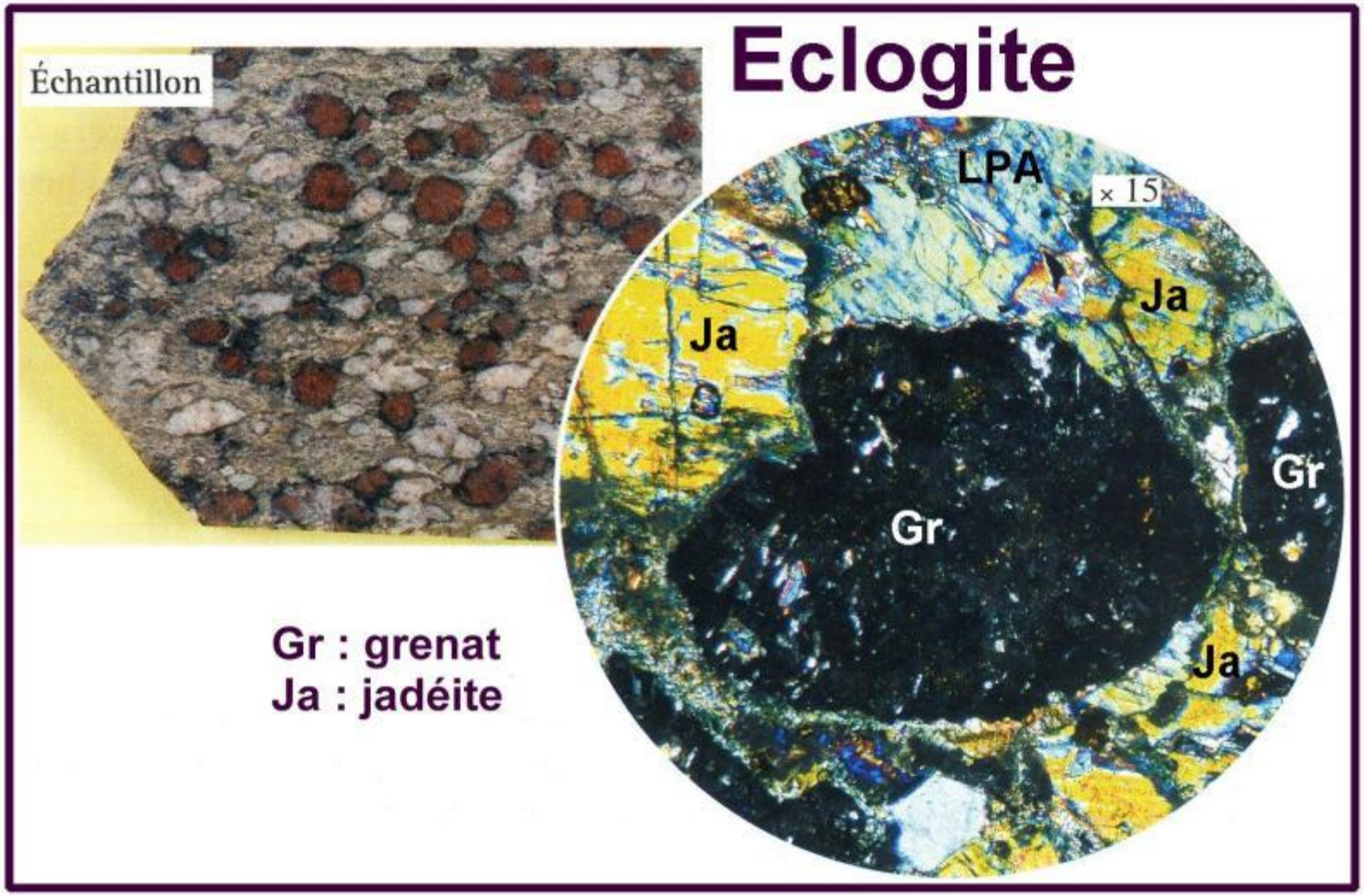
Plagioclase + Chlorite + Actinote → Amphibole bleue (Glaucophane) + eau

déshydratation de la lithosphère océanique au cours de la subduction



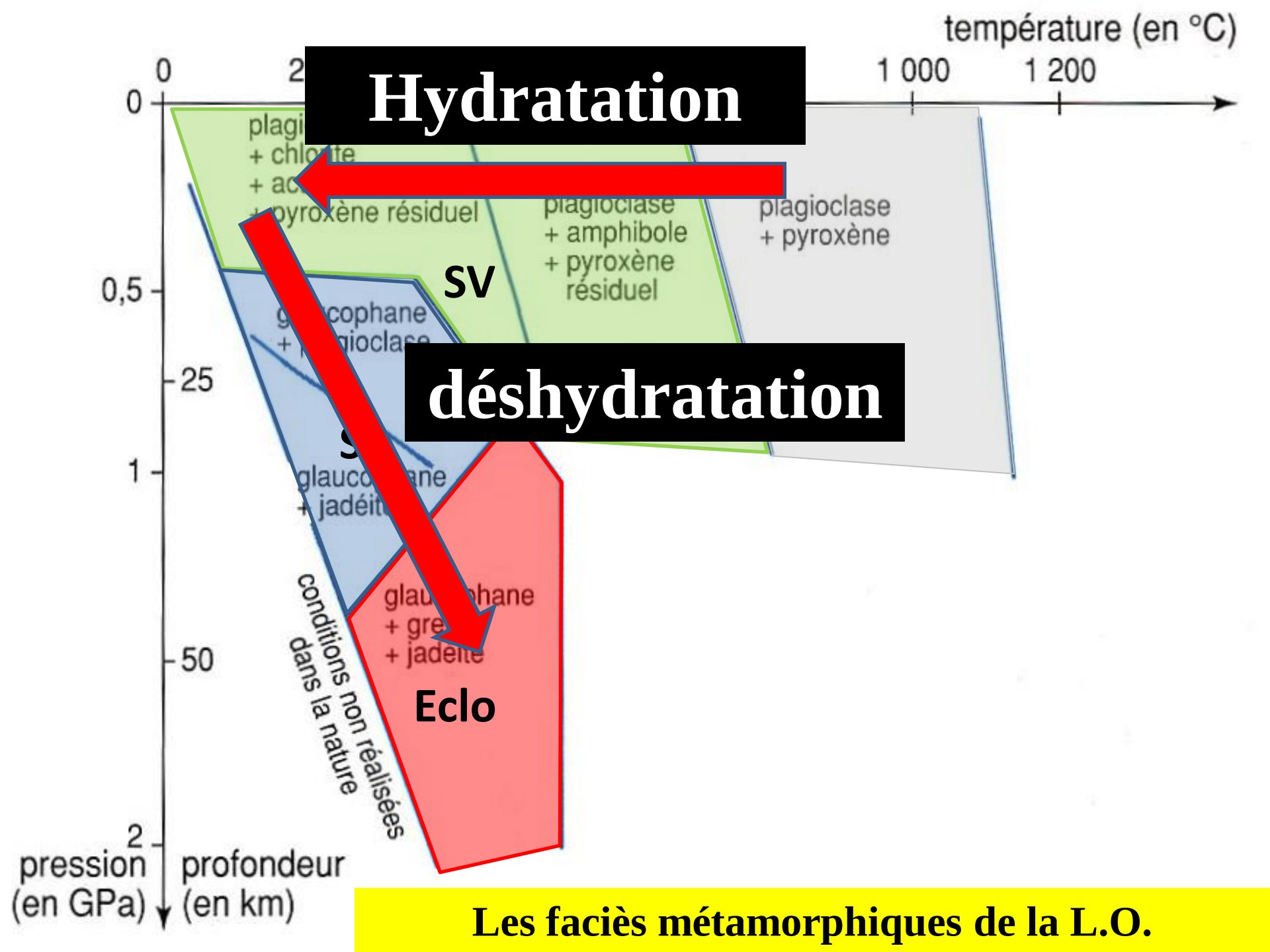
Hausse de P à T=cste faciès des éclogites

Formation des éclogites lors de la subduction



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

=> Déshydratation de la lithosphère océanique



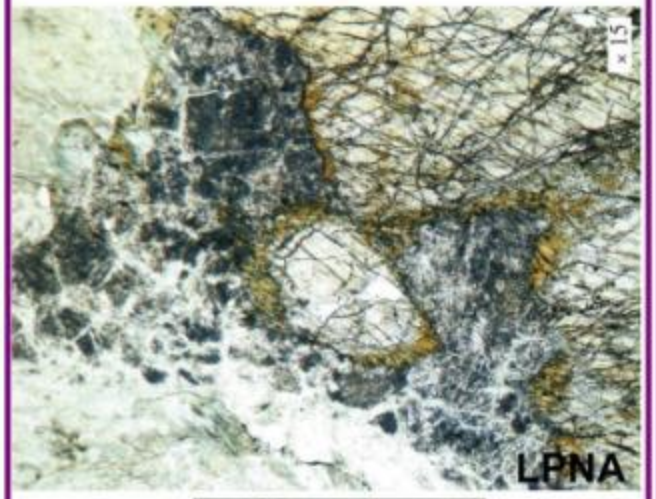
Les faciès métamorphiques de la L.O.

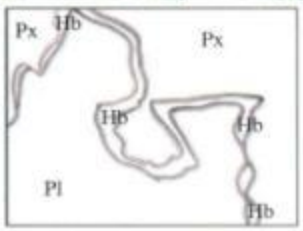
Le métamorphisme de subduction libère de l'eau

Libération d'eau

Pression

"Schiste vert"

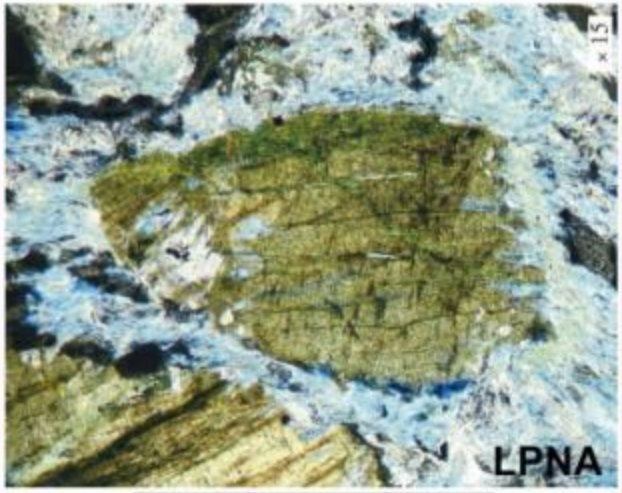


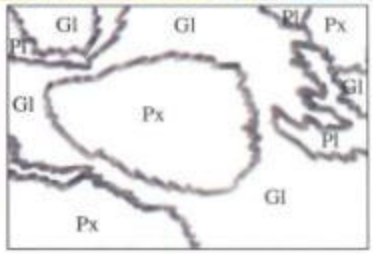


Act = actinote
Q = quartz
Pl = feldspath plagioclase
Px = pyroxène
J = jadéite (pyroxène vert)
Gl = glaucophane
Gt = grenat

Métagabbro à Hornblende

"Schiste bleu"

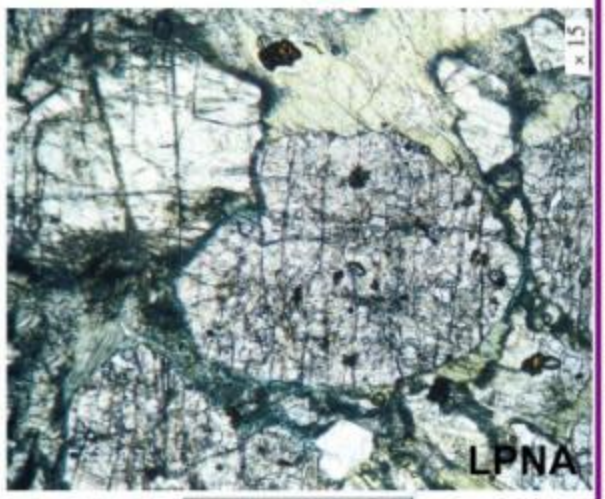


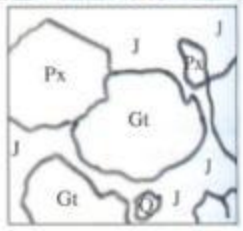


Act = actinote
Q = quartz
Pl = feldspath plagioclase
Px = pyroxène
J = jadéite (pyroxène vert)
Gl = glaucophane
Gt = grenat

Métagabbro à Glaucophane

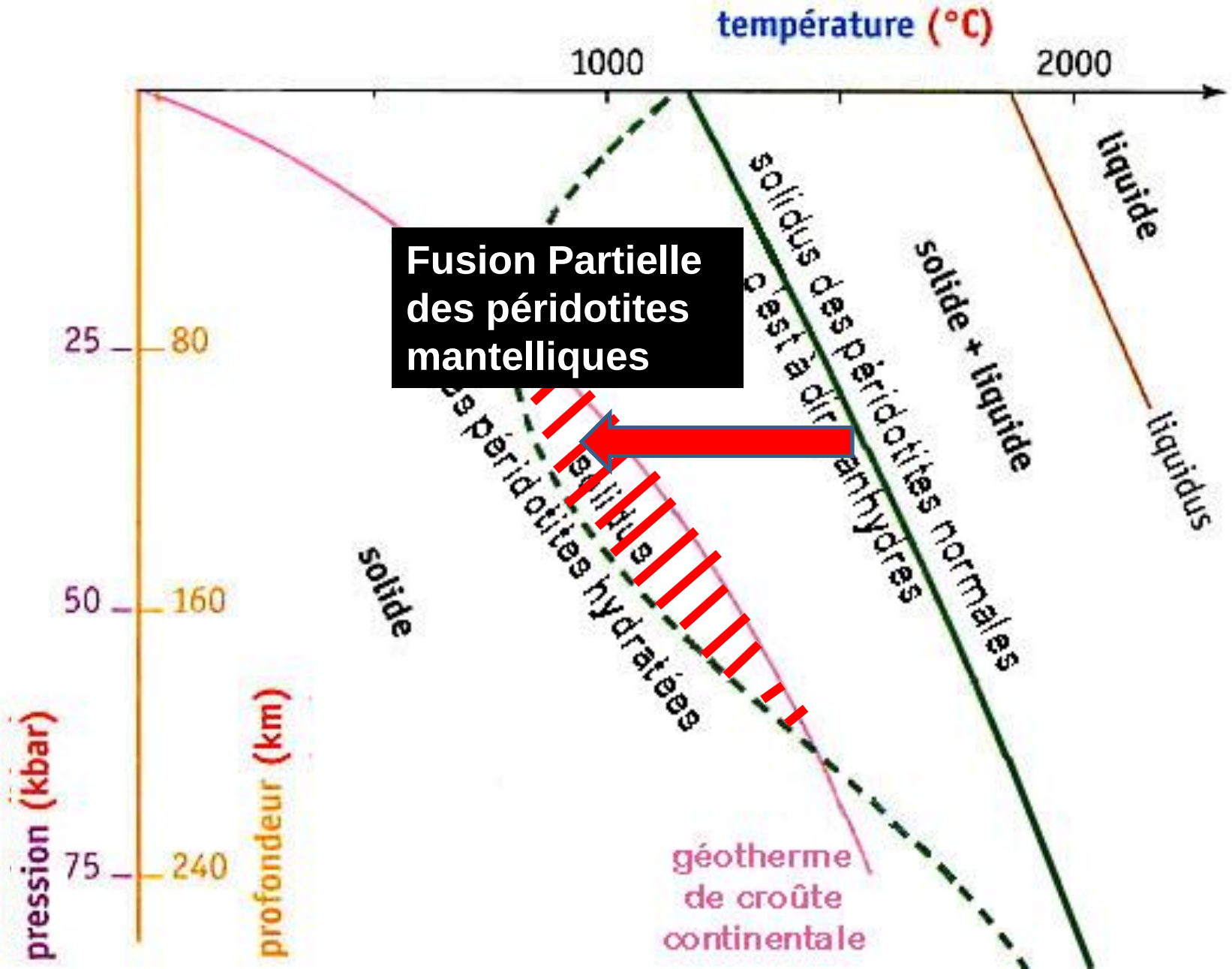
"Eclogite"



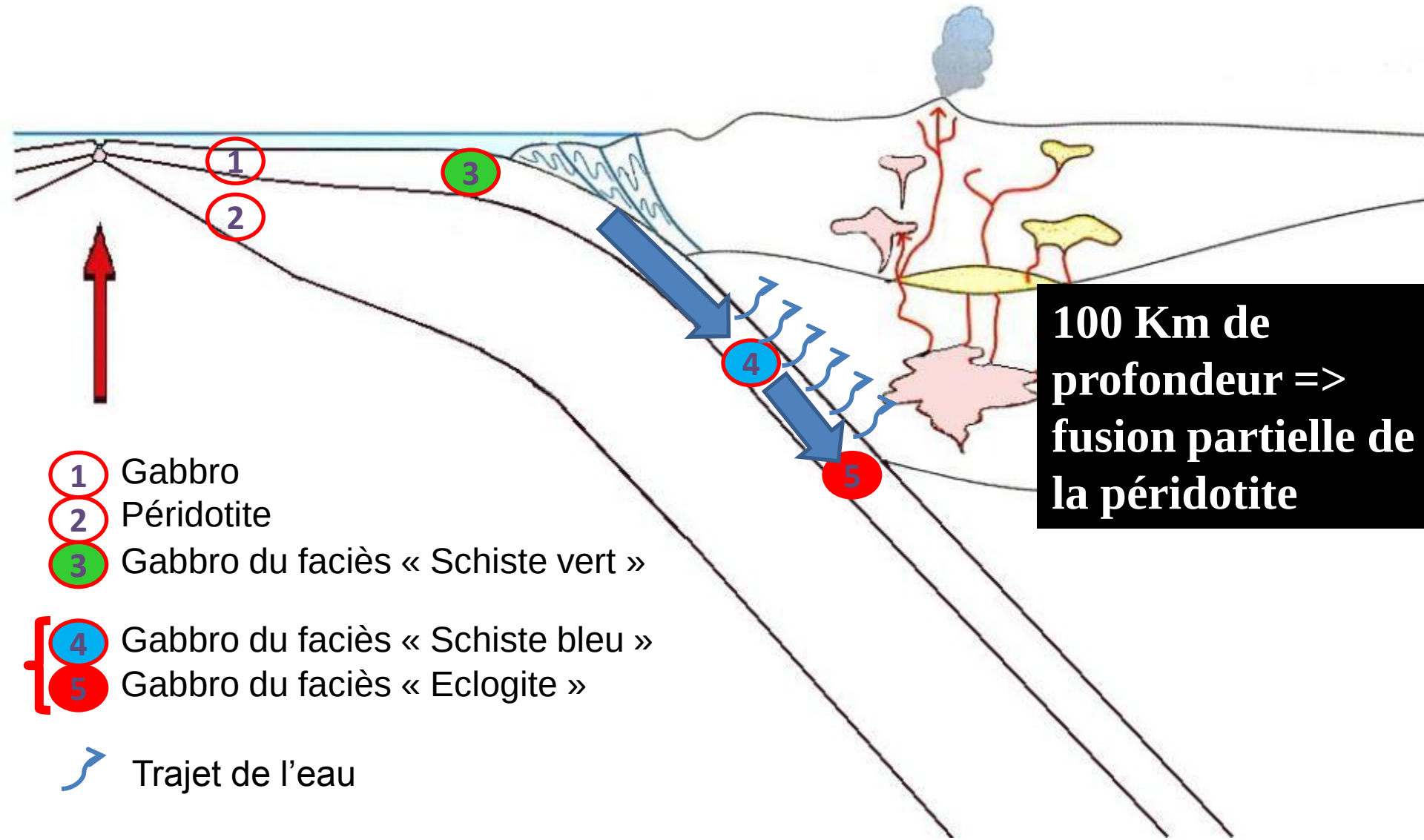


Métagabbro à Jadéite et Grenat

Le diagramme de phase des péridotites mantelliques hydratées

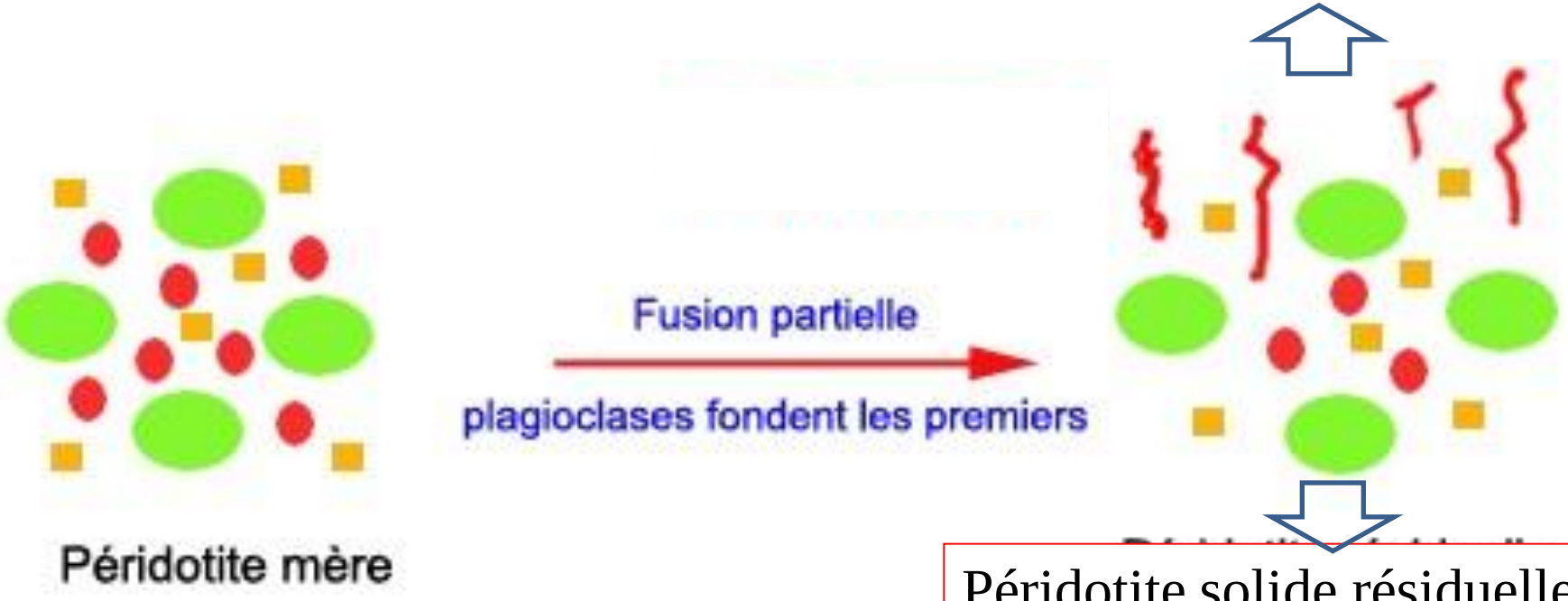


Déshydratation de la lithosphère océanique lors de la subduction



Le matériau n'est pas un corps pur : fusion incongruente

Liquide magmatique riche en Si et Al



Péridotite solide résiduelle riche en Fe et Mg

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

2°) Les principales roches magmatiques des zones de subduction.

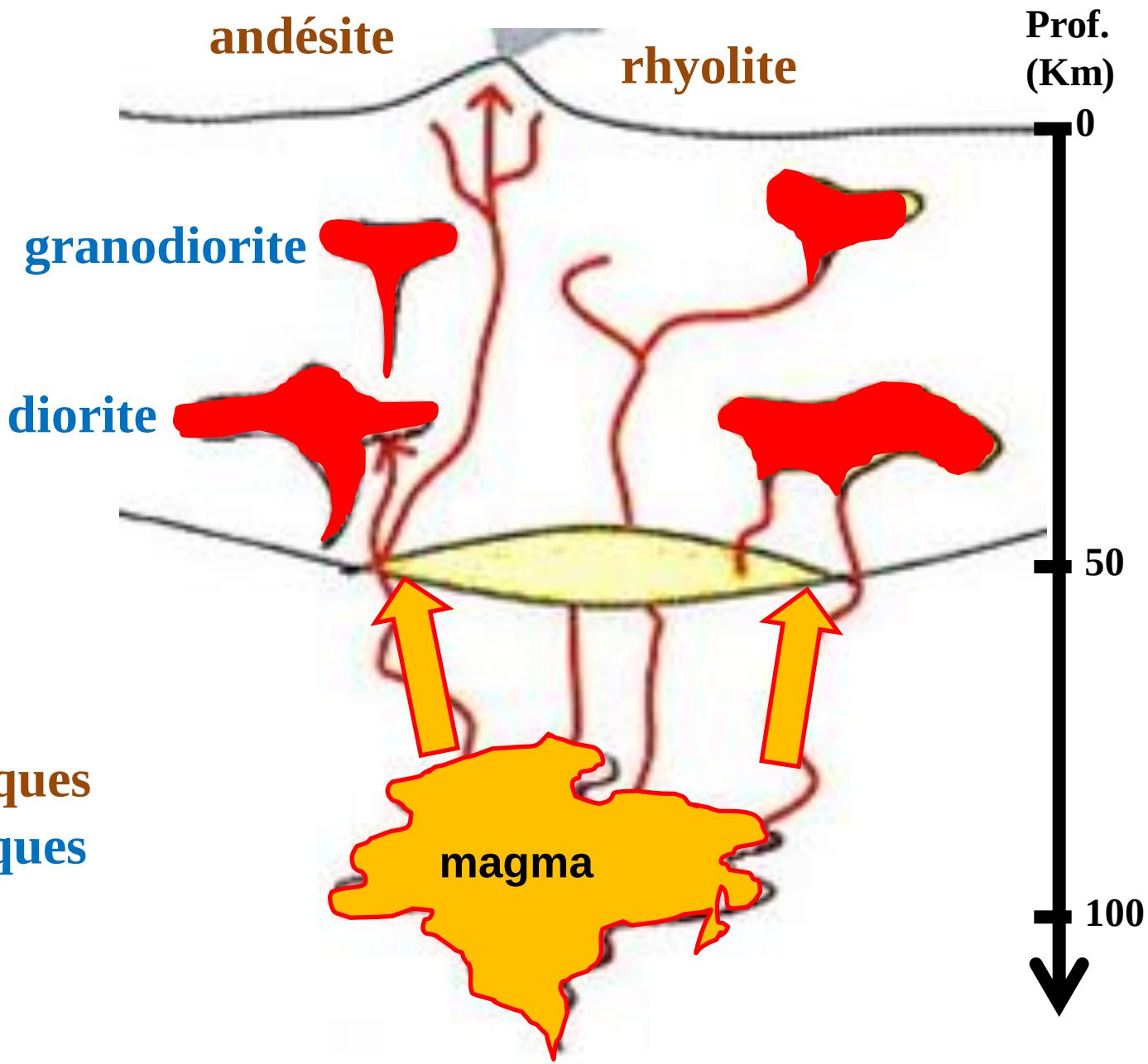
B°) Origine du magma des zones de subduction.

1°) Conditions de la FP des péridotites mantelliques.

2°) Origine de l'eau nécessaire à la FP des péridotites.

3°) Mise en place des roches de la C.C à partir d'un magma

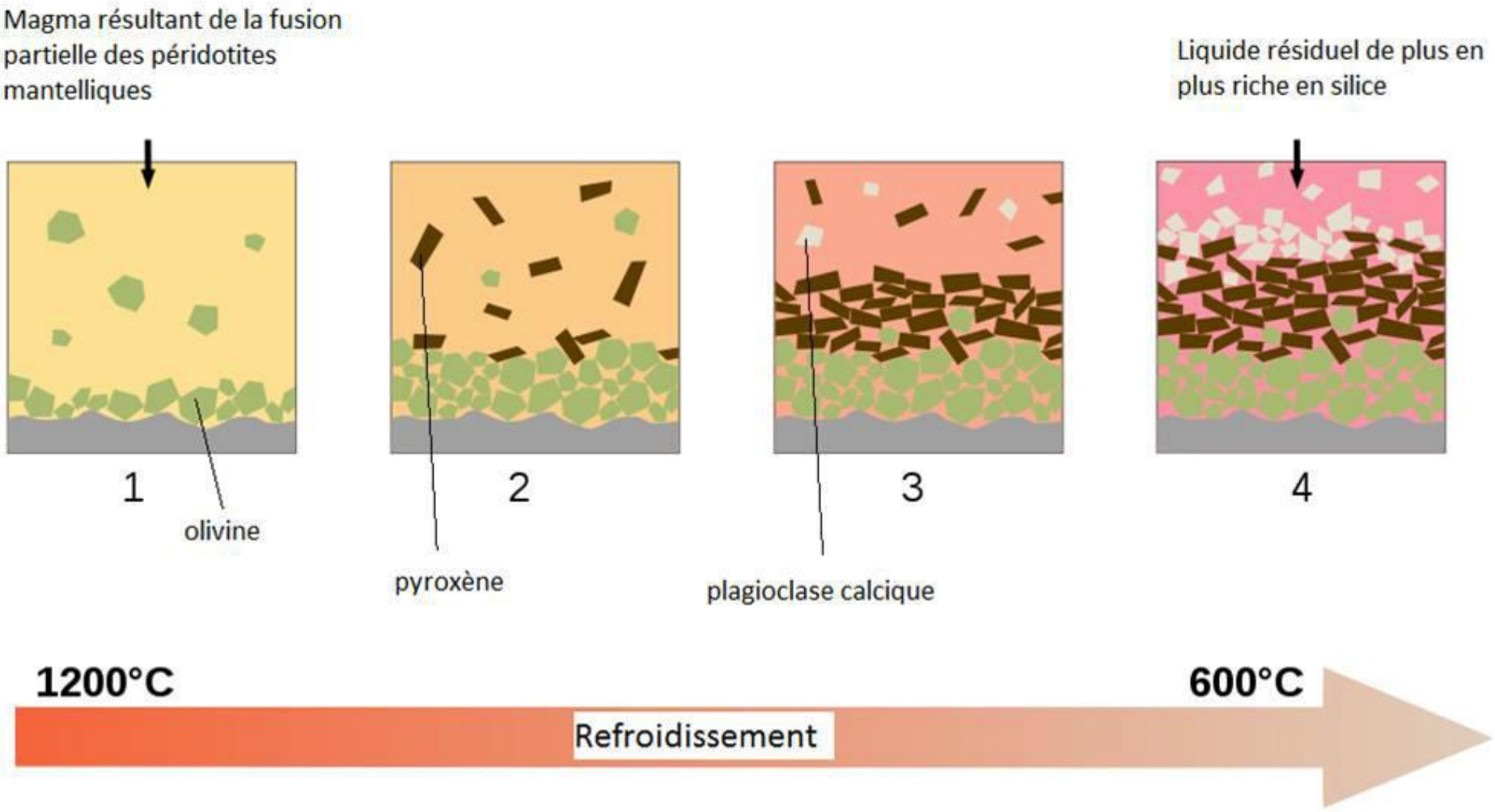
Les roches magmatiques formées lors de la subduction



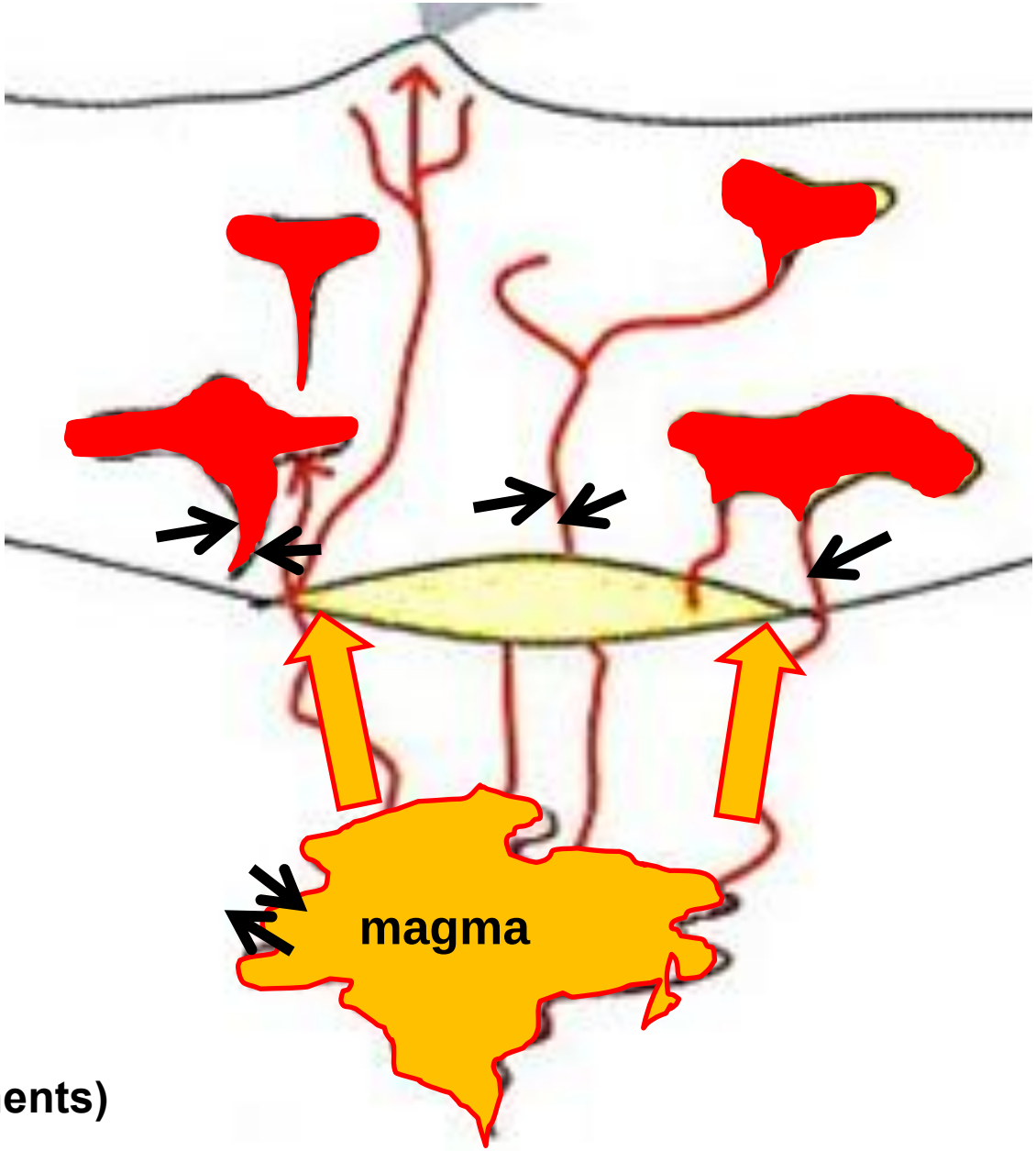
Roches volcaniques

Roches plutoniques

1 magma unique mais différentes roches : la Cristallisation Fractionnée



Contamination

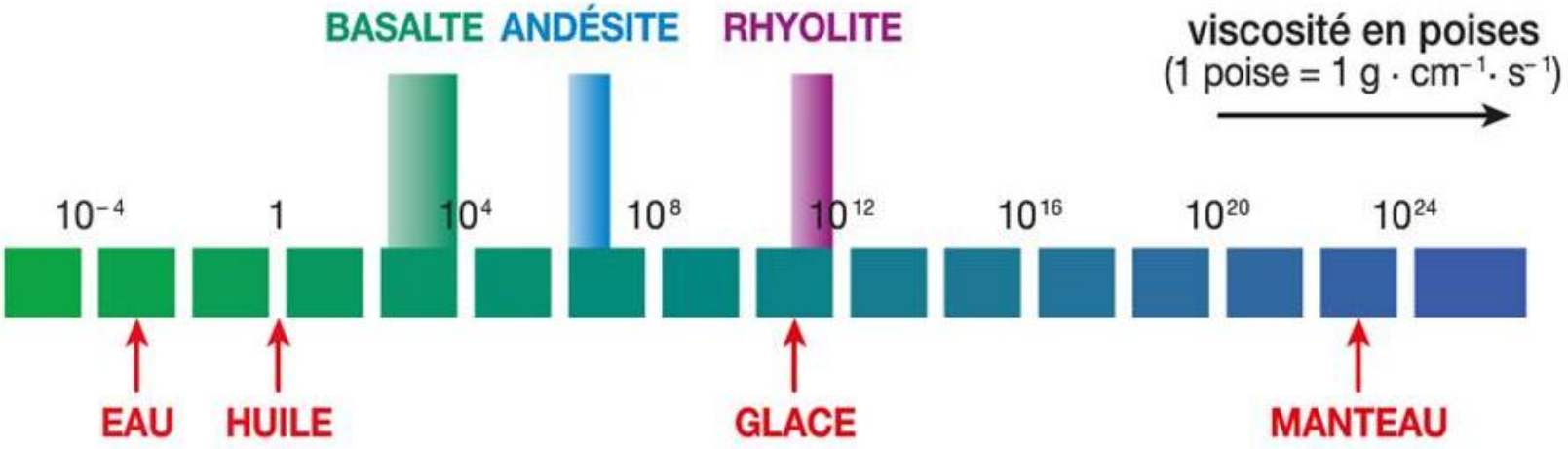


Contaminations
(=échanges d'éléments)

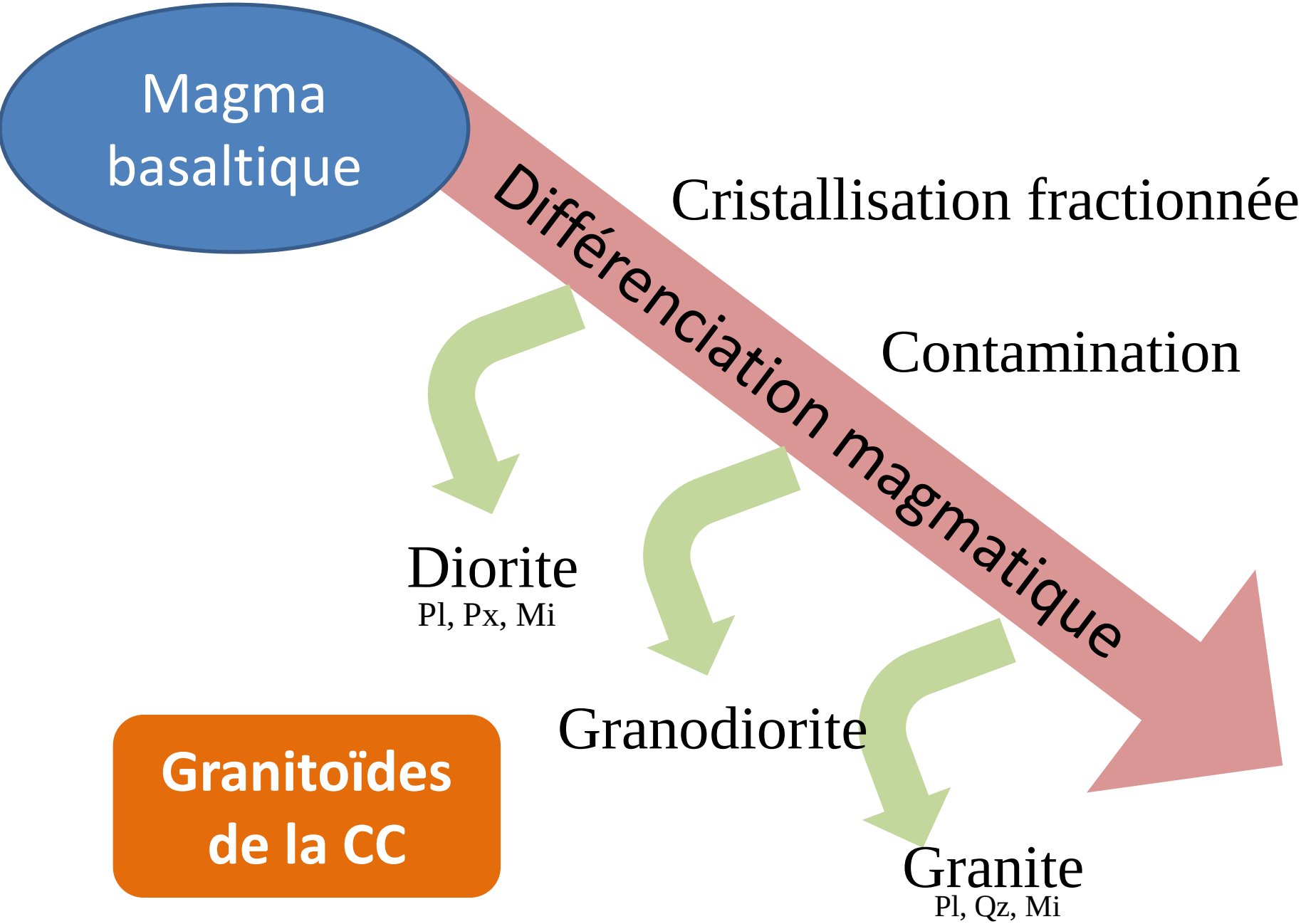
Magma riche en silice = visqueux

Teneur en silice (SiO_2)	Nature chimique du magma
44 à 50 %	basaltique
54 à 63 %	andésitique
68 à 77 %	rhyolitique

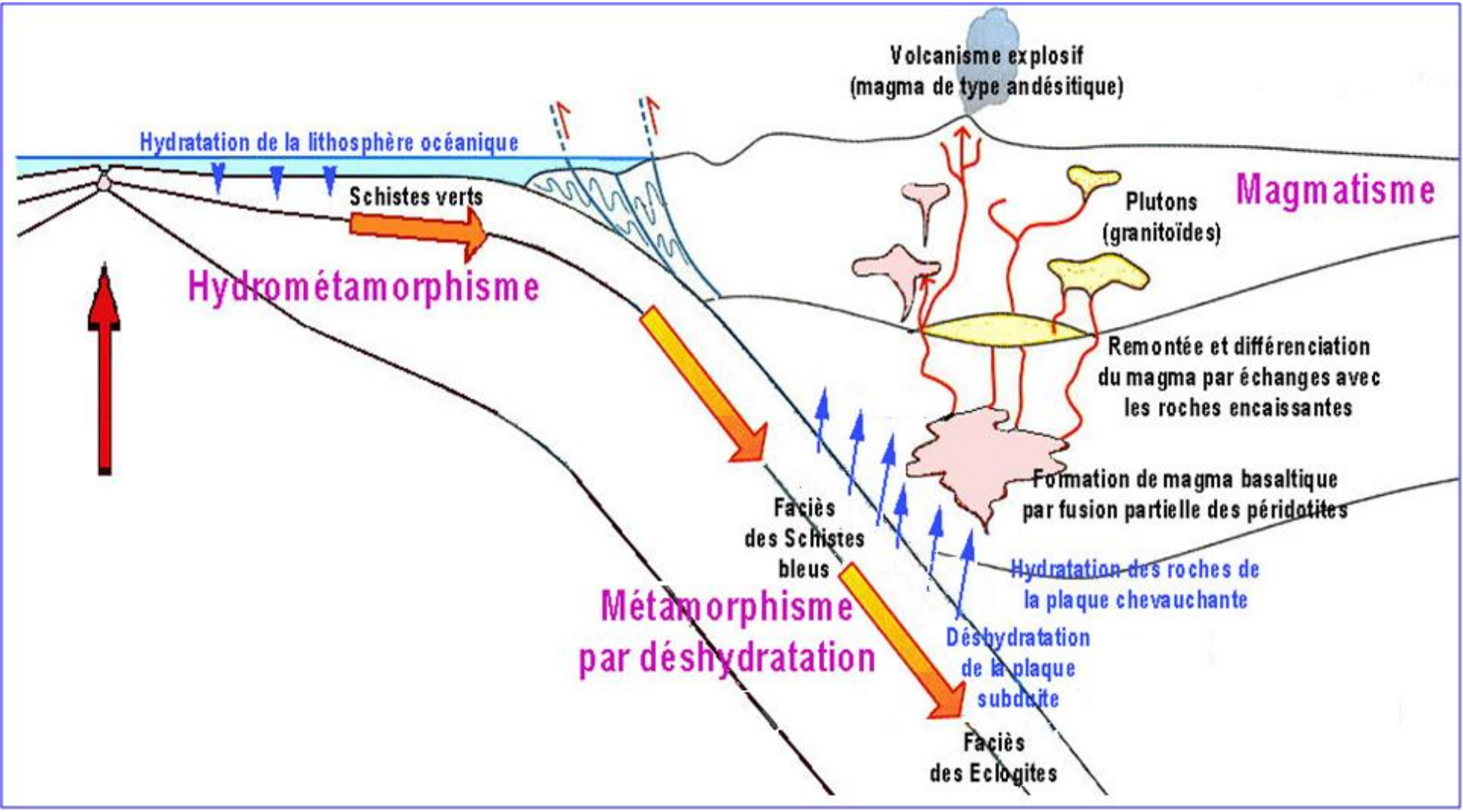
Ordre de grandeur de la viscosité (en poises) de plusieurs types de lave



Accrétion continentale

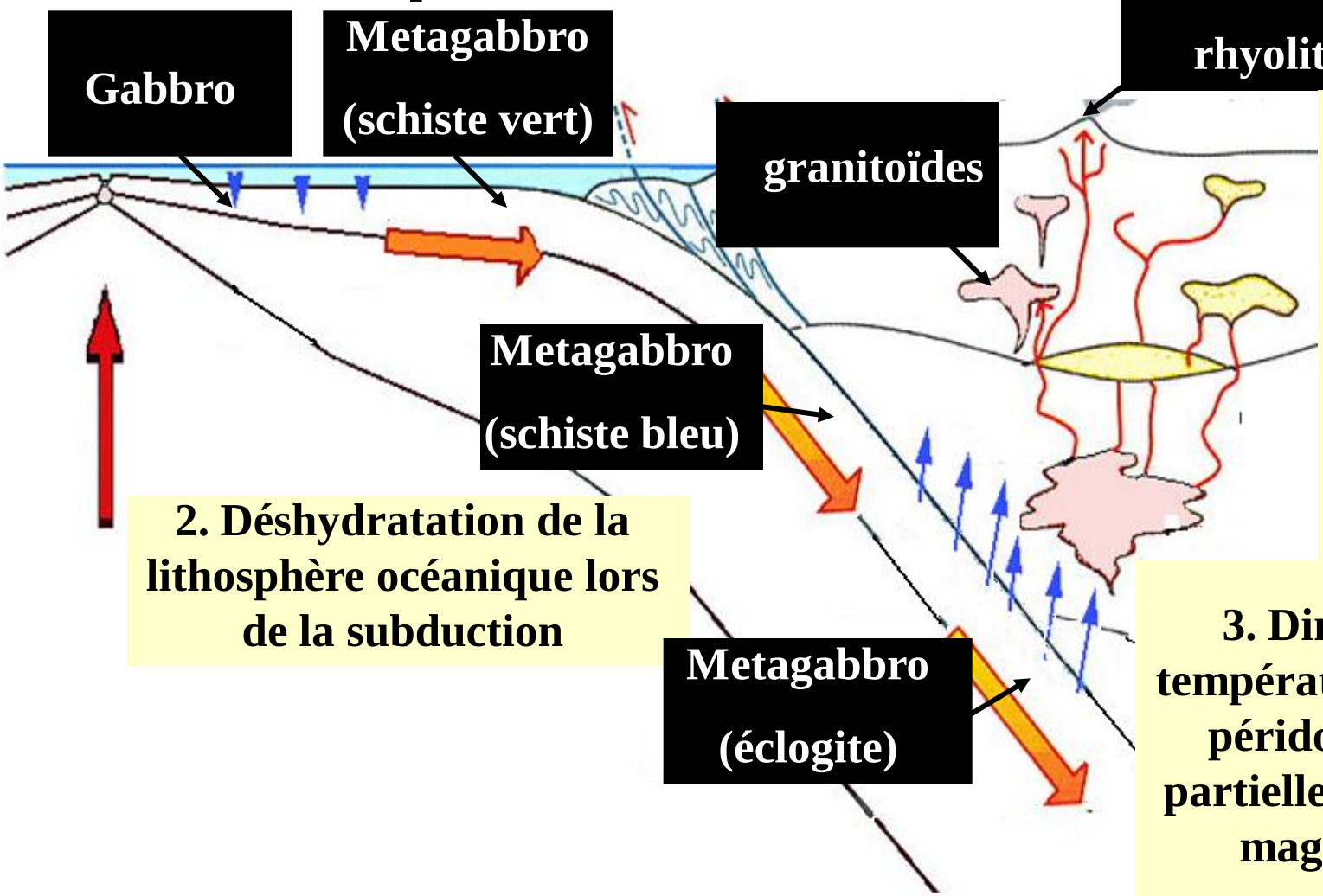


La subduction : zone de production de roches de la croûte continentale.



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

1. Hydratation de la lithosphère océanique



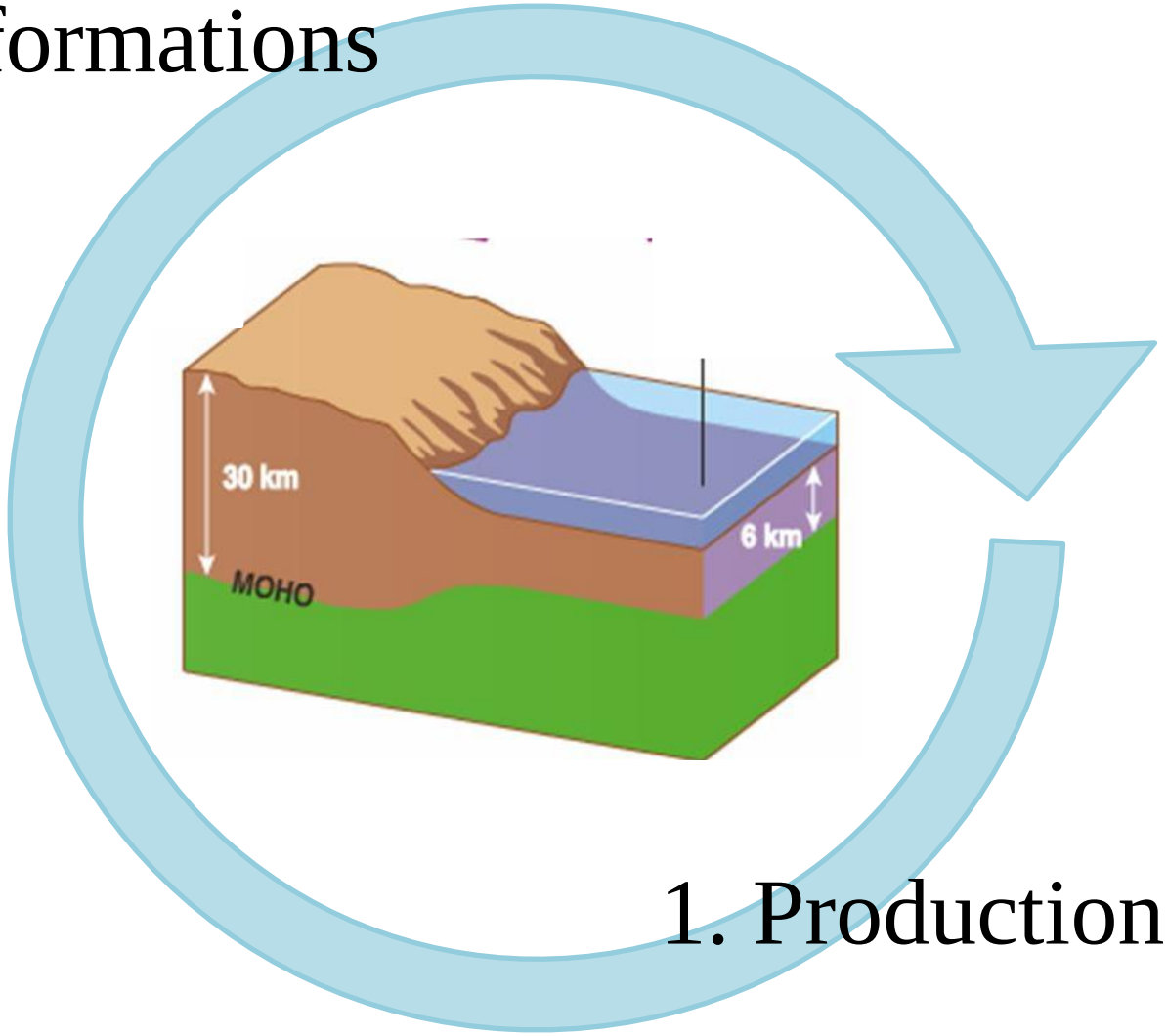
2. Déshydratation de la lithosphère océanique lors de la subduction

3. Diminution de la température de fusion des péridotites => fusion partielle => formation de magma (100 Km)

4. Ascension du magma => roches plutoniques en profondeur et roches volcaniques en surface

Dynamique de la croûte continentale

2. Transformations



1. Production

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

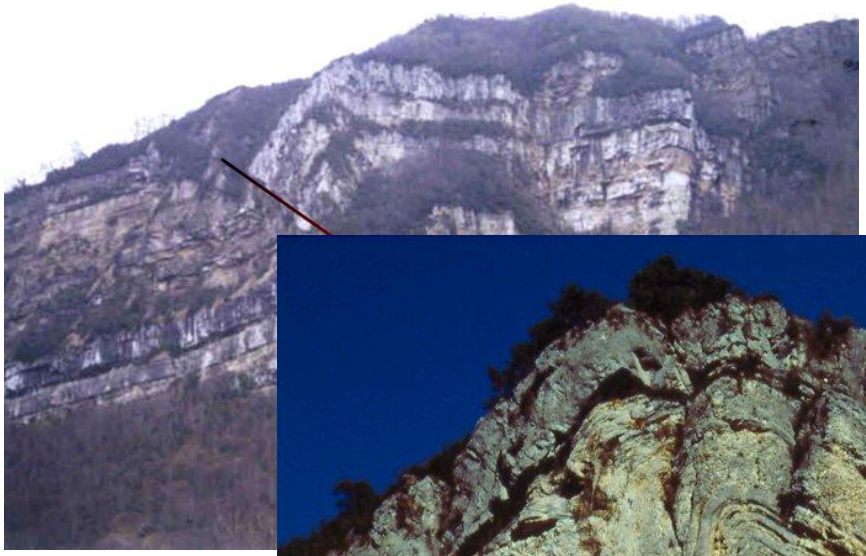
I°) La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction.

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

B°) Origine du magma des zones de subduction.

II°) Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaines de montagnes.

Déformations de la croûte continentale

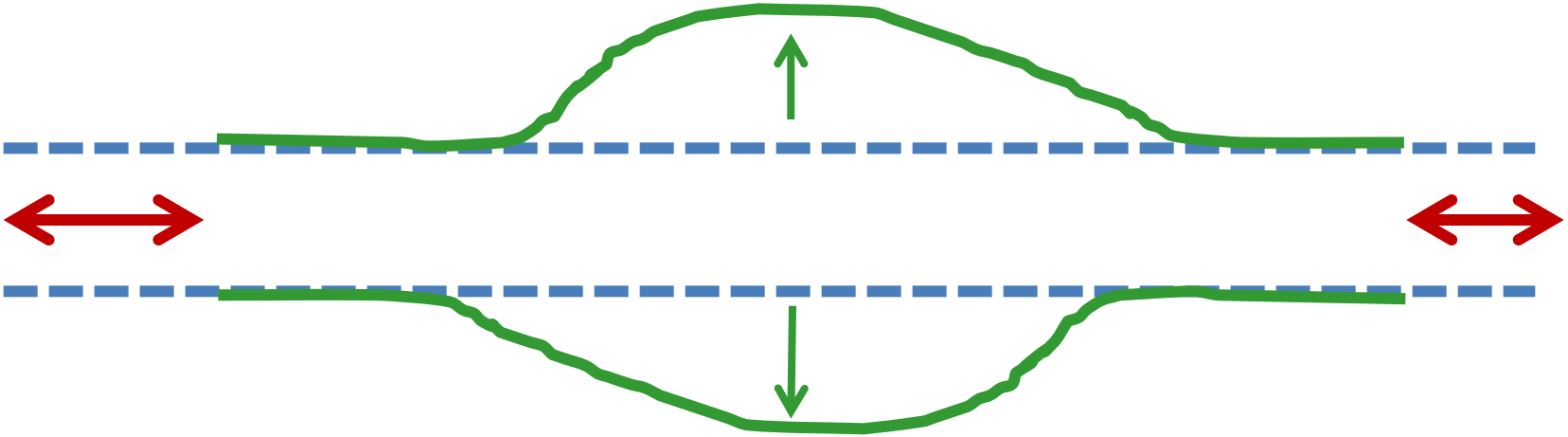


Epaississement de la croûte continentale

ETAT INITIAL

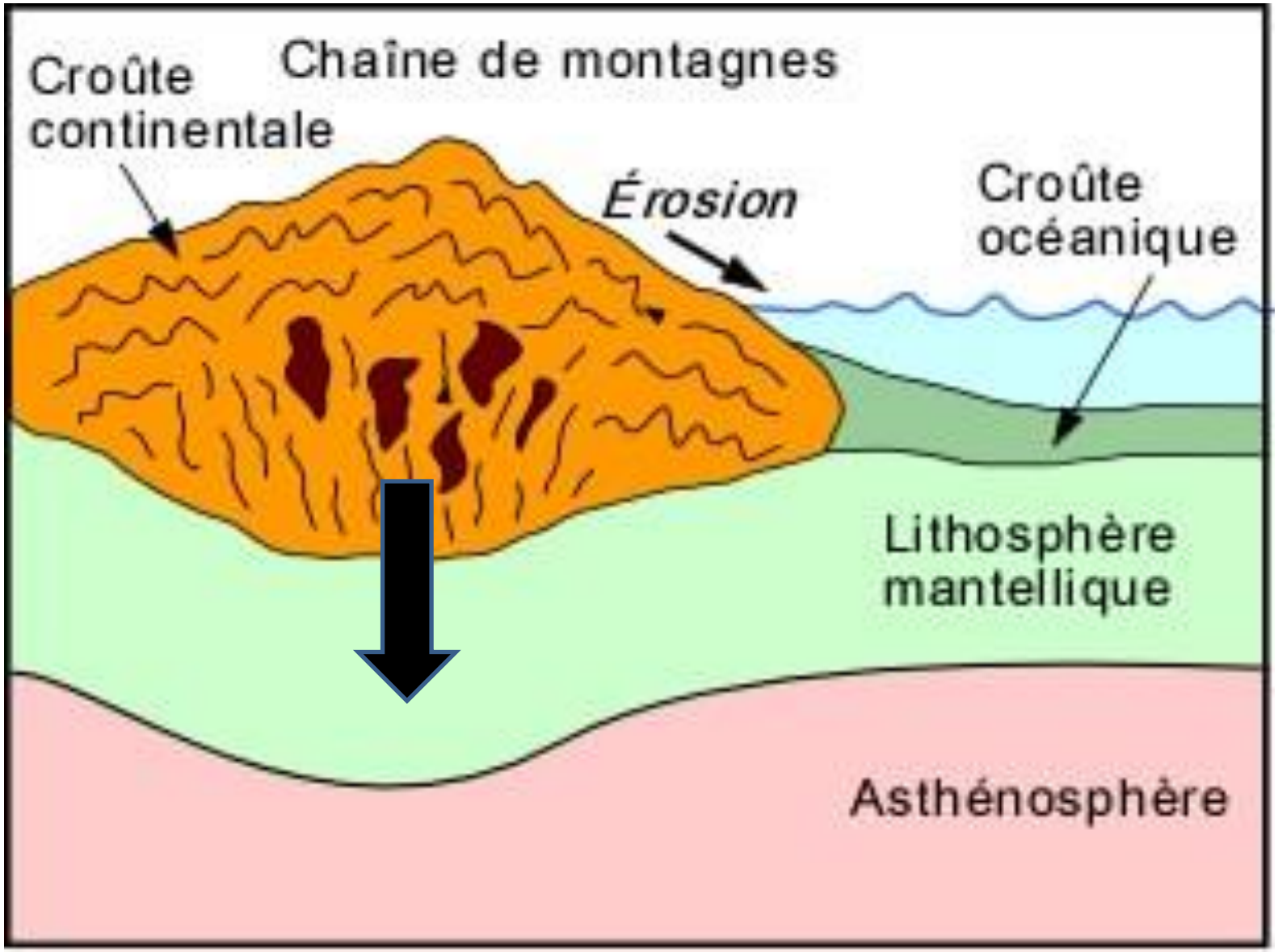
CONTRAINTES COMPRESSIVES

EPAISSISSEMENT



RACCOURCISSEMENT

Mise en place d'une racine crustale

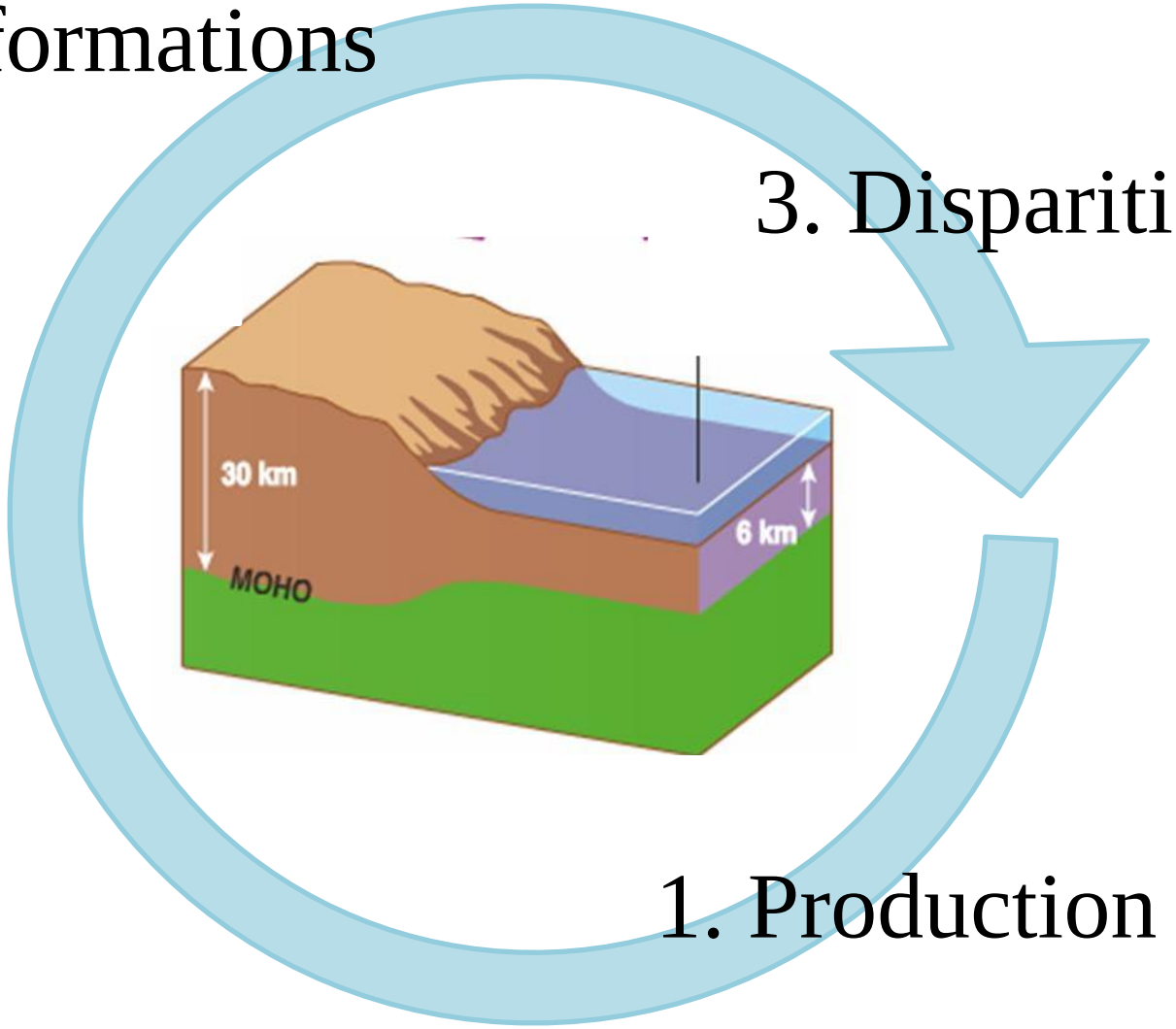


Transformations pétrographiques

Dynamique de la croûte continentale

2. Transformations

3. Disparition



1. Production

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

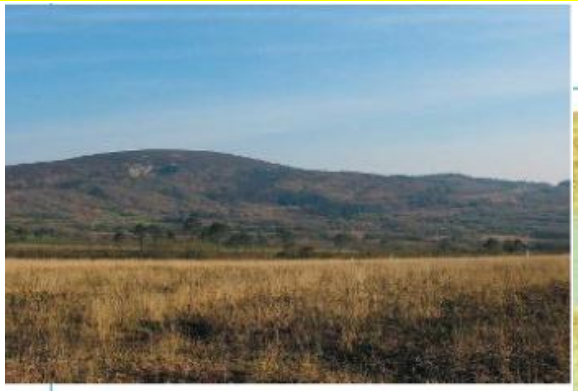
- A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.
- B°) Origine du magma des zones de subduction.

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

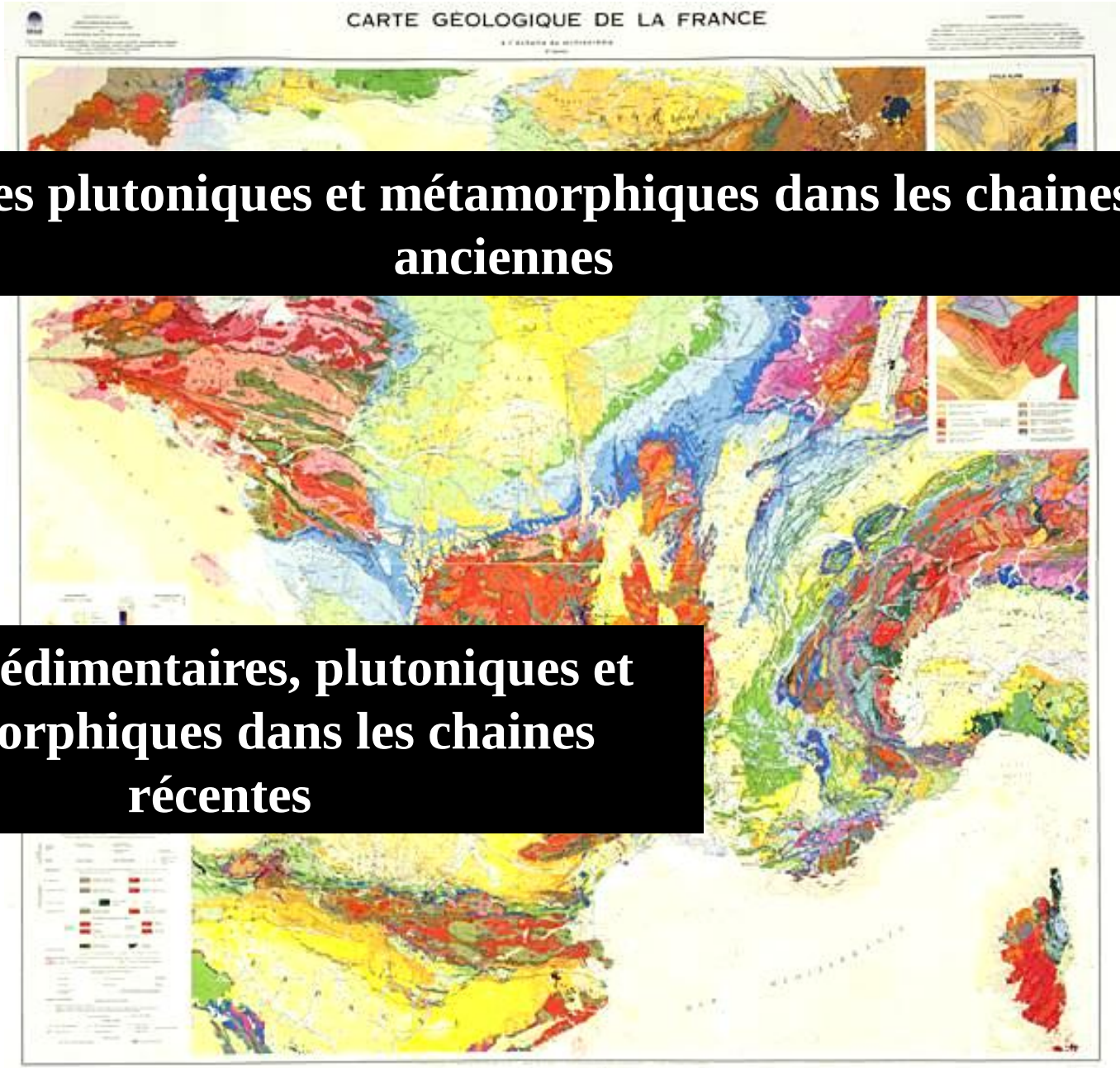
Des chaines récentes

Paysage des Pyrénées

lief de la France : il s'agit d'une représentation de
partir de données d'altitude du terrain (réalisé par J.-D
Technology).

Paysage des Alpes

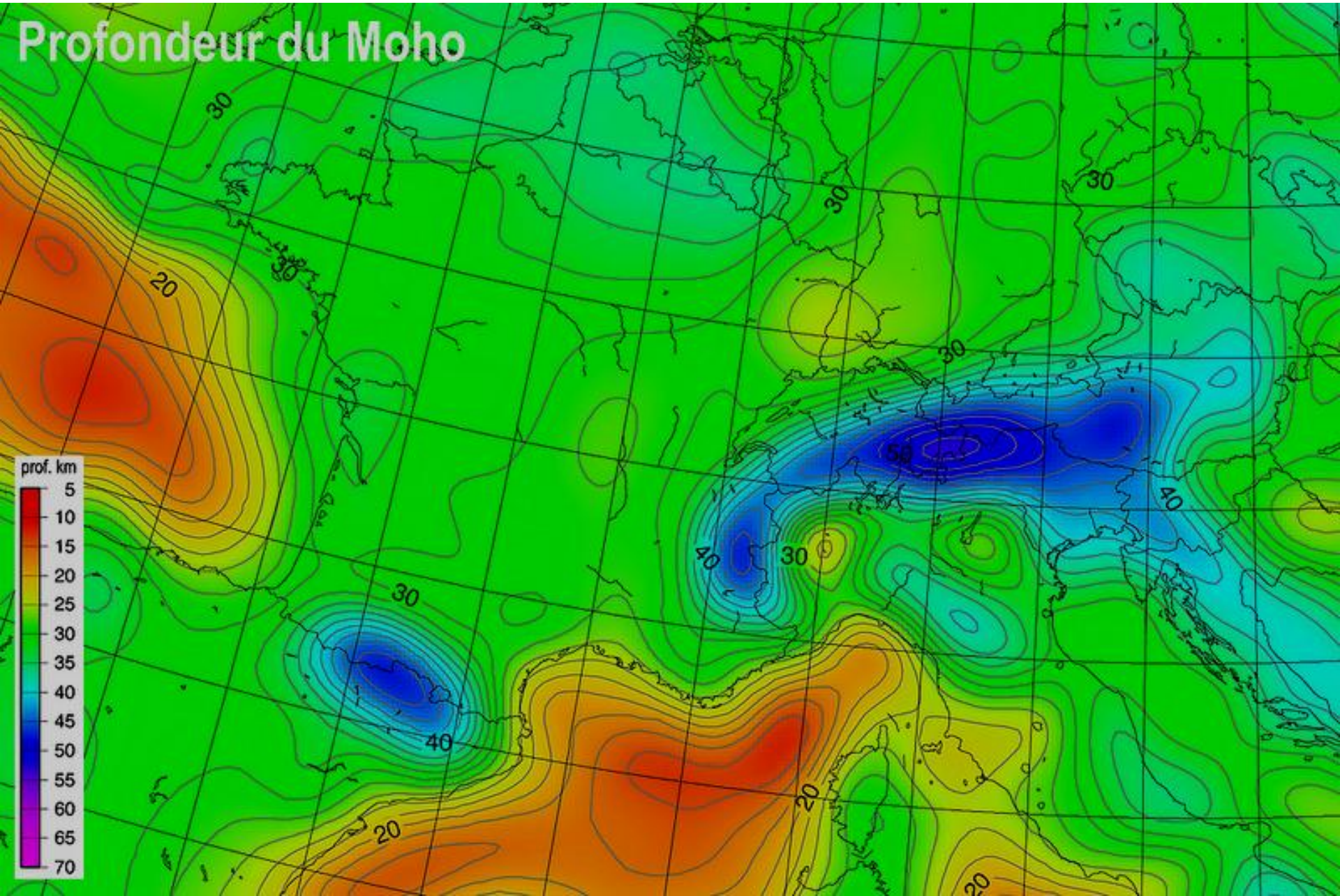
Les roches à l'affleurement



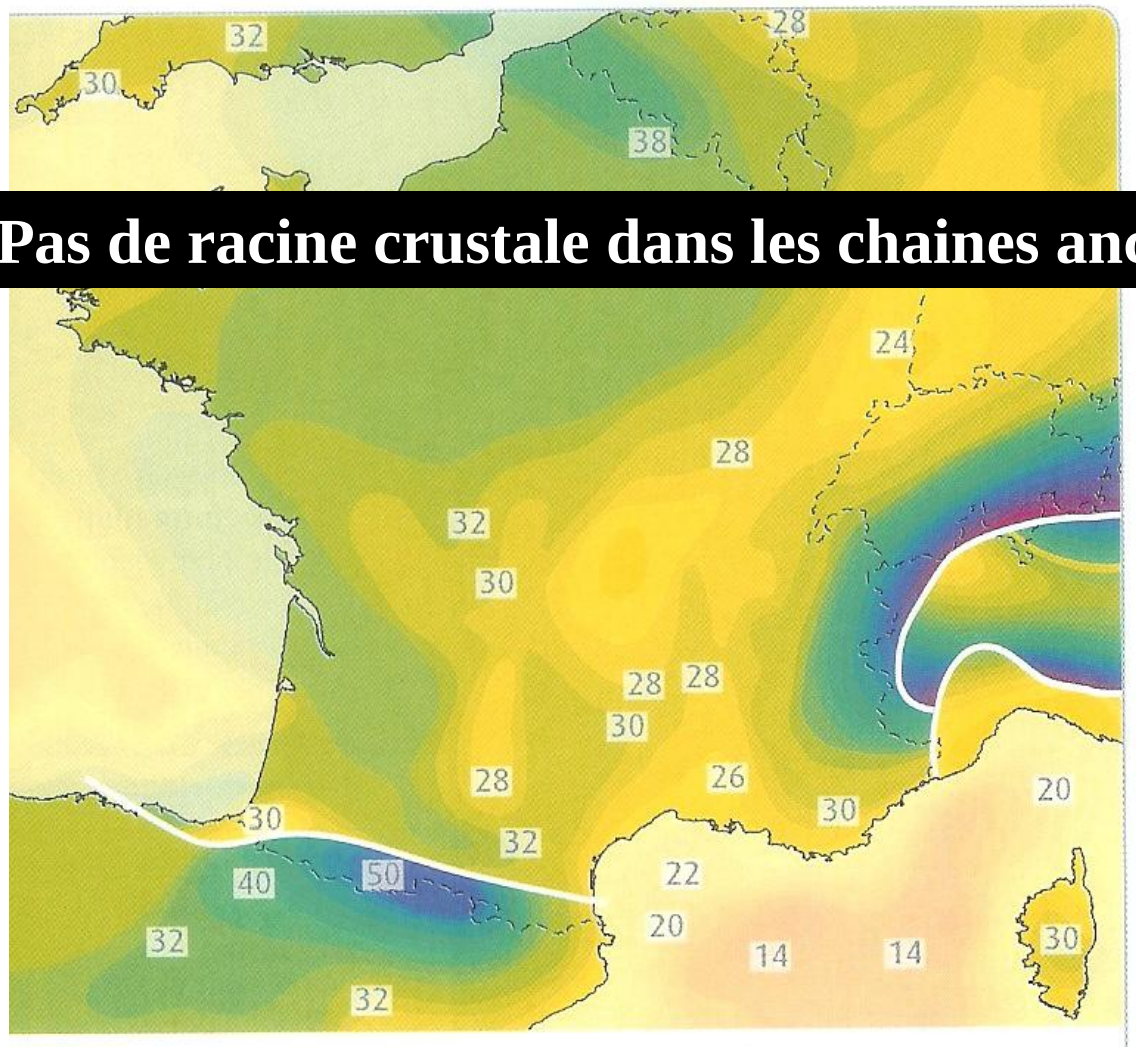
Roches plutoniques et métamorphiques dans les chaines anciennes

Roches sédimentaires, plutoniques et métamorphiques dans les chaines récentes

Bathymétrie du Moho (=épaisseur de la croûte)



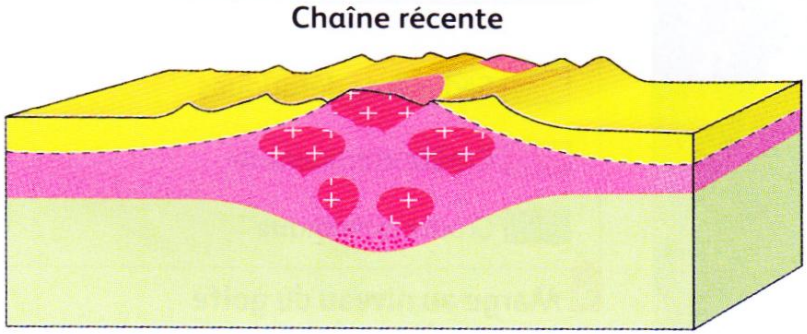
Profondeur du Moho sous les reliefs récents et anciens



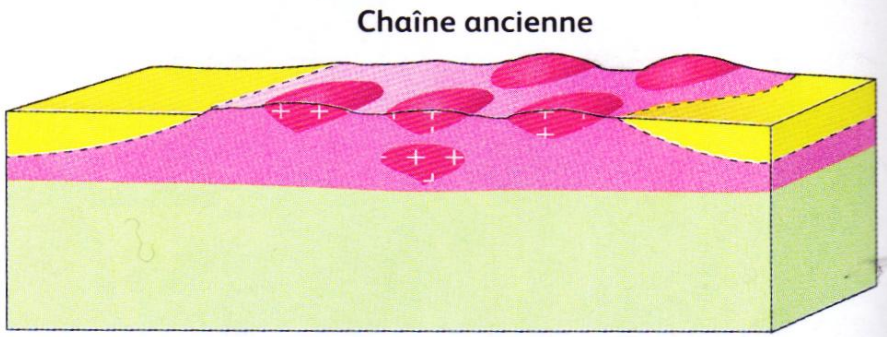
Pas de racine crustale dans les chaines anciennes

Existence d’une racine crustale dans les chaines récentes

Comparaison chaine récente et chaine ancienne



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



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

Roches sédimentaires | Roches métamorphiques | 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

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

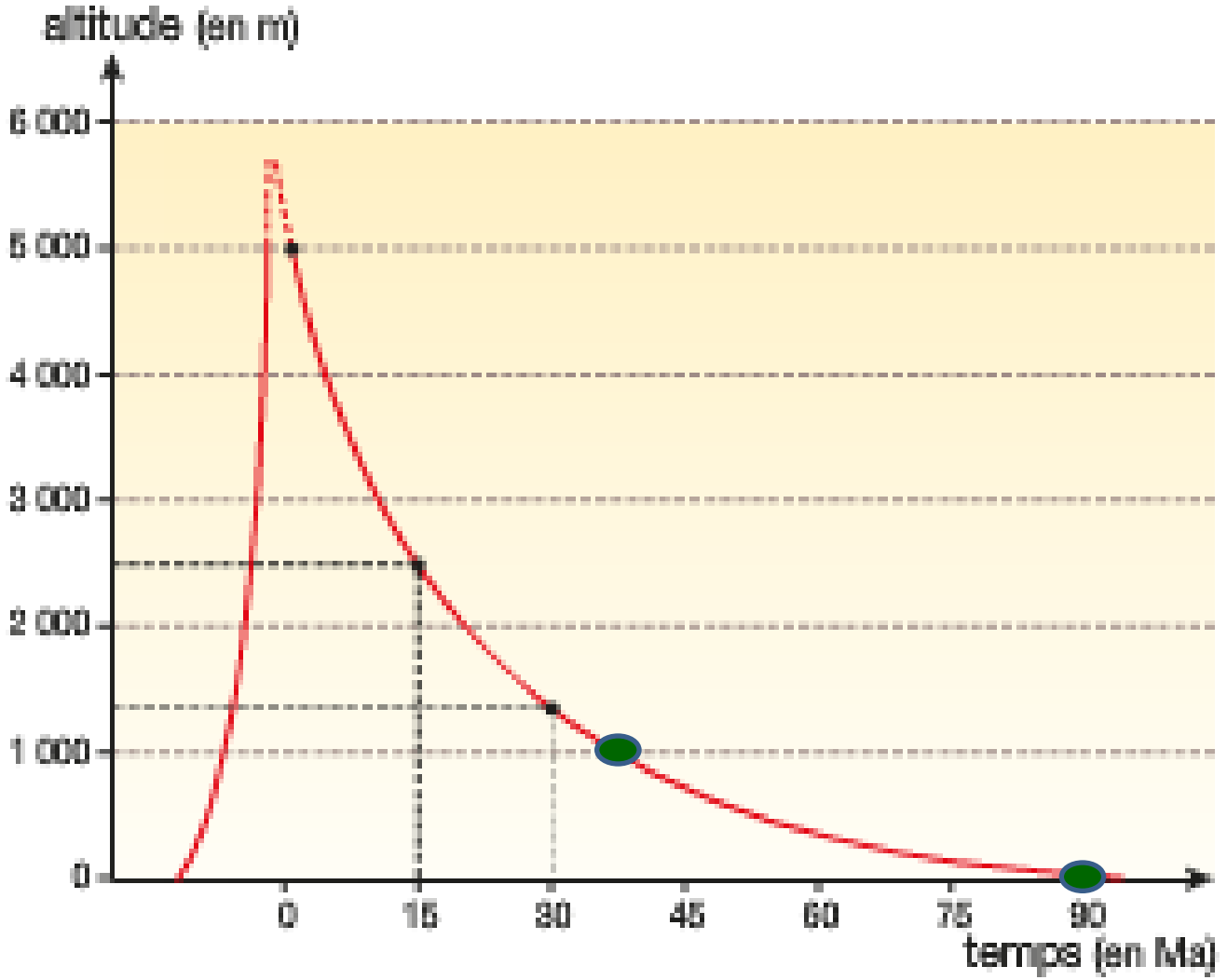
- A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.
- B°) Origine du magma des zones de subduction.

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.

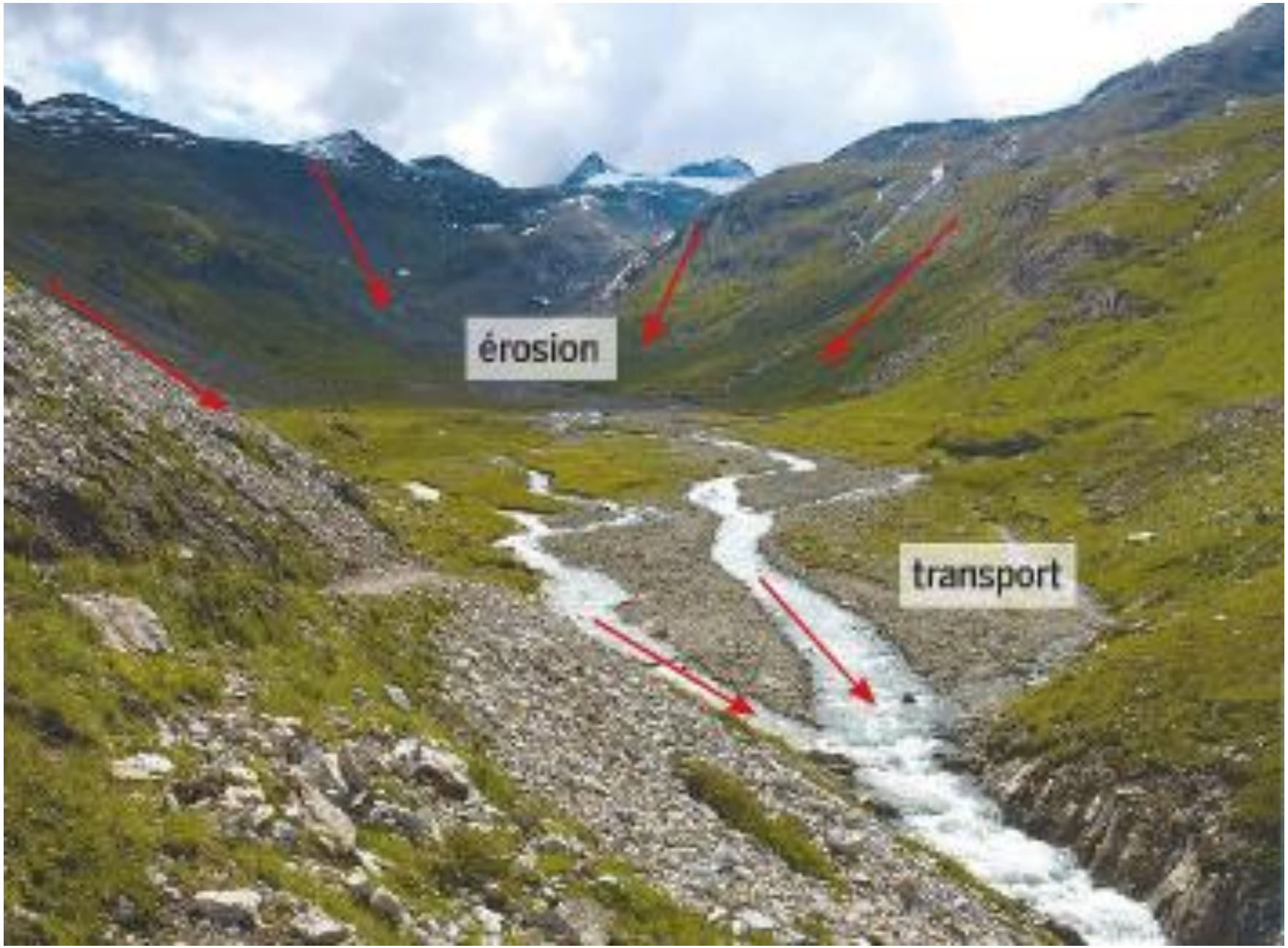
- A°) Deux grands types de chaines de montagnes.
- B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.

Temps nécessaire pour aplanir un relief



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

Erosion



Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.

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.
- B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.
  - 1°) Altération des roches.

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.

B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.

1°) Altération des roches.

a°) altération physique.

Altération physique : alternance gel-dégel

Altération physique : variation de Température

Altération physique : érosion sous les glaciers

Altération physique : action du vent

Altération physique : action des racines

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.

B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.

1°) Altération des roches.

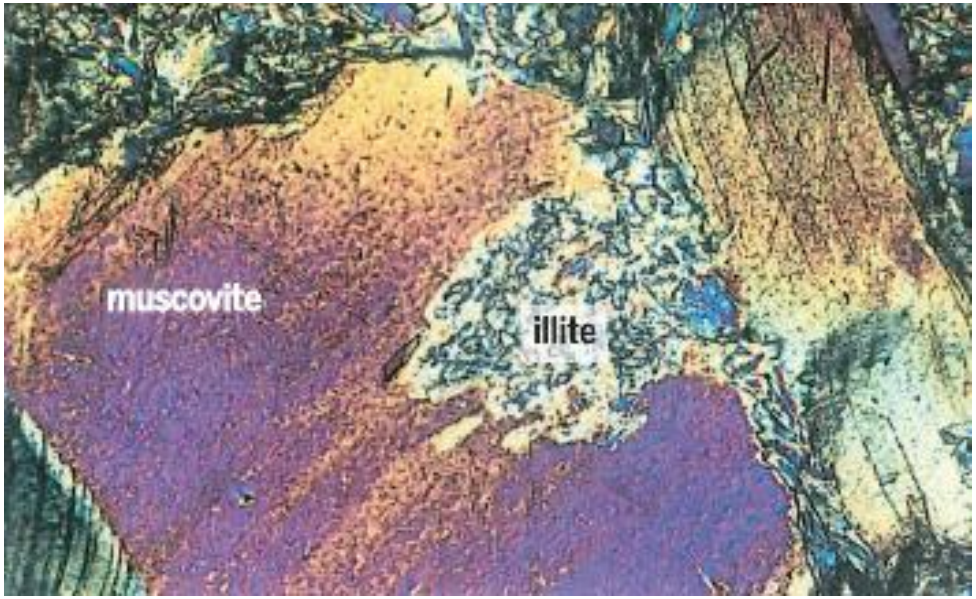
a°) altération physique.

b°) altération chimique.

Altération chimique

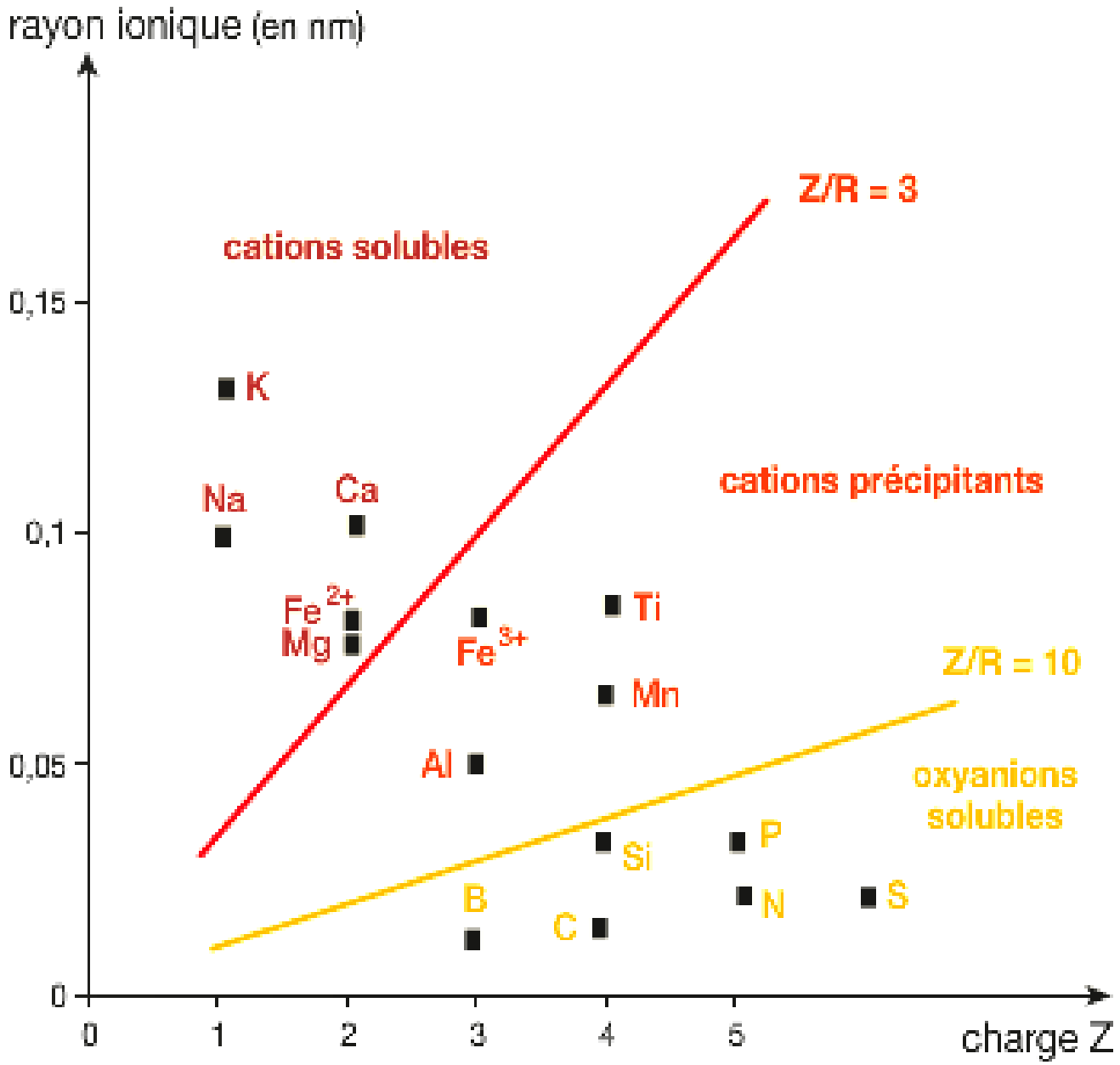
Hydrolyse

Minéral d'origine + eau → nouveau minéral + ions en solution



Muscovite (mica) + eau → illite + K^+

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



Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

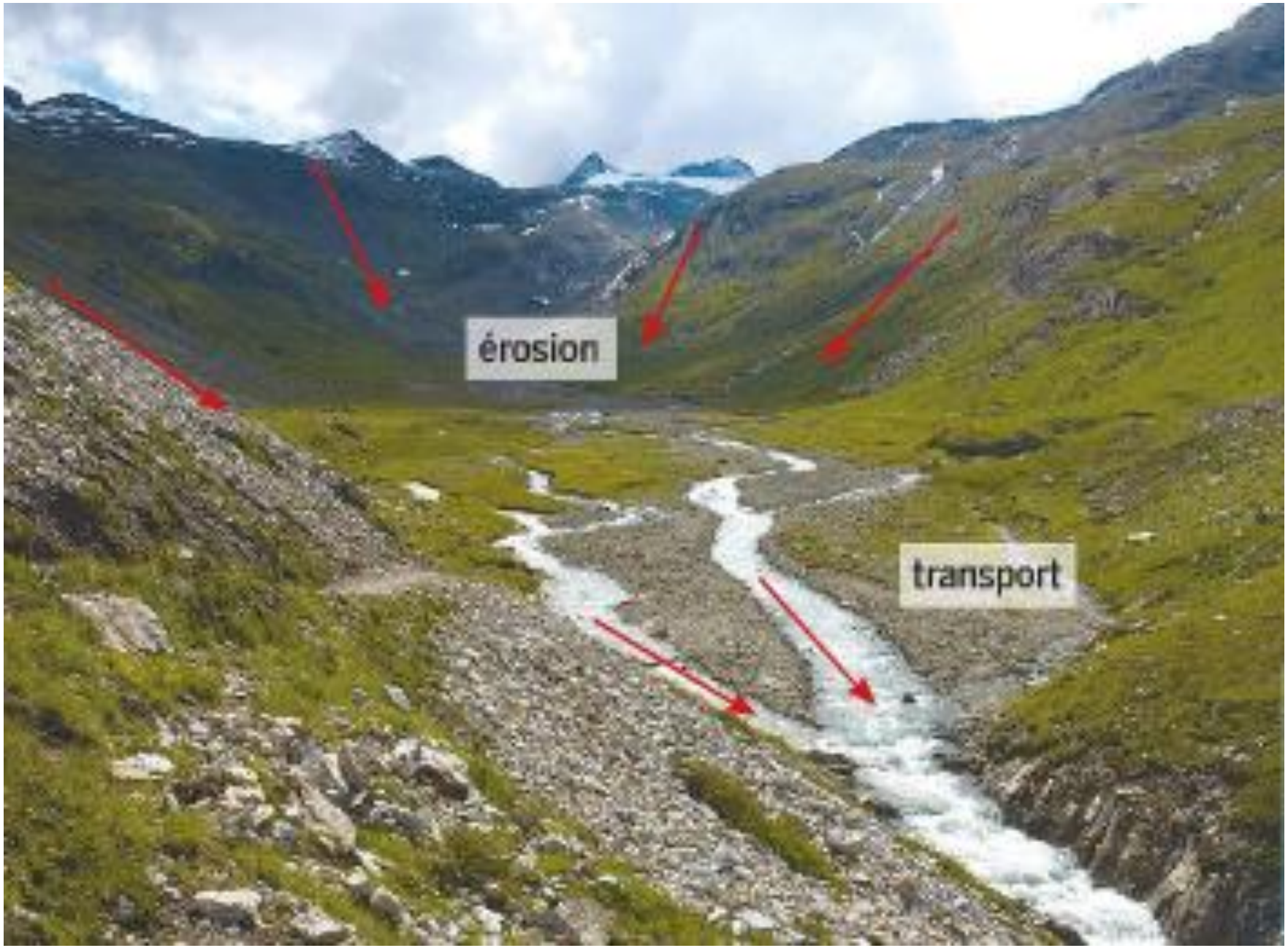
I°) La production de nouveaux matériaux continentaux au niveau des zones de subduction.

II°) Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaines de montagnes.

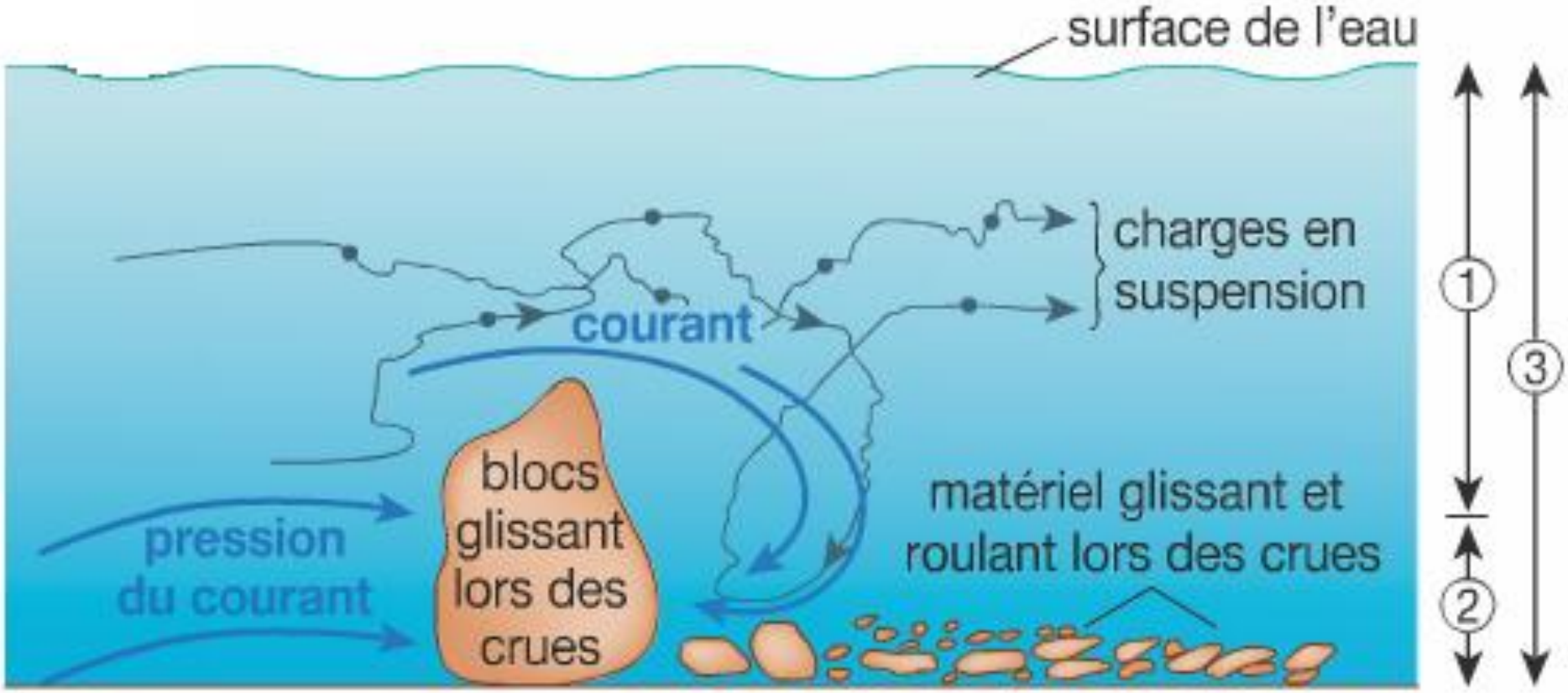
III°) La disparition des reliefs de la croûte continentale.

- A°) Deux grands types de chaines de montagnes.
- B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.
  - 1°) Altération des roches.
    - a°) altération physique.
    - b°) altération chimique.
  - 2°) Transport et sédimentation.

Transport des éléments issus de l'altération



Transport des particules solides dans l'eau

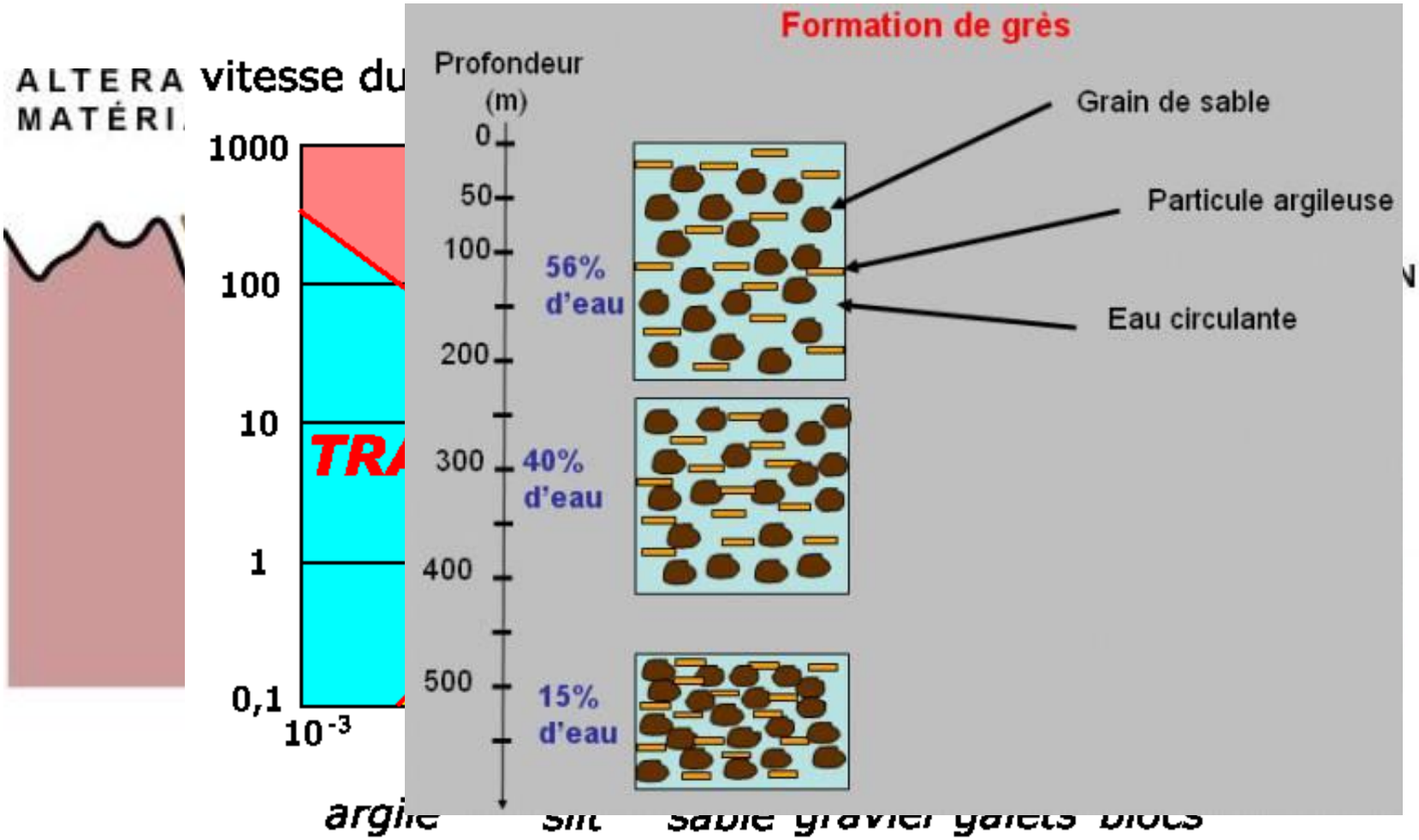


① charge déplacée principalement en suspension

② charge déplacée par glissement et roulement

③ charge chimique en solution

Équilibres transport-dépôt puis compaction

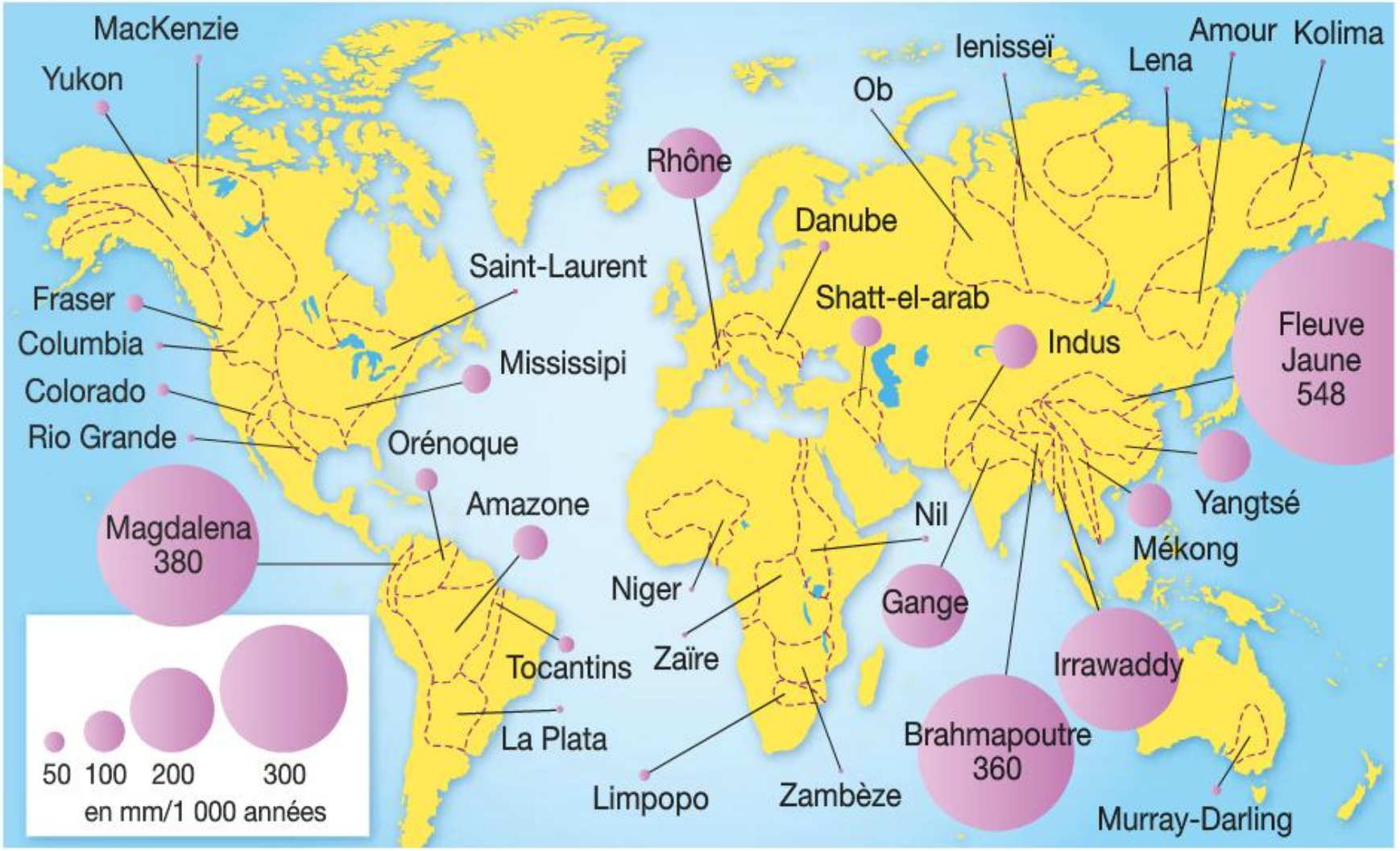


Charge sédimentaire de l'Isère

© NM

L'Isère en crue en mai 2008

Hauteur érodée par bassin fluvial



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

Souvent plus de 300 mm / 1000 ans

Dépôt des produits d'érosion

Image satellitale du delta du Gange

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.

B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.

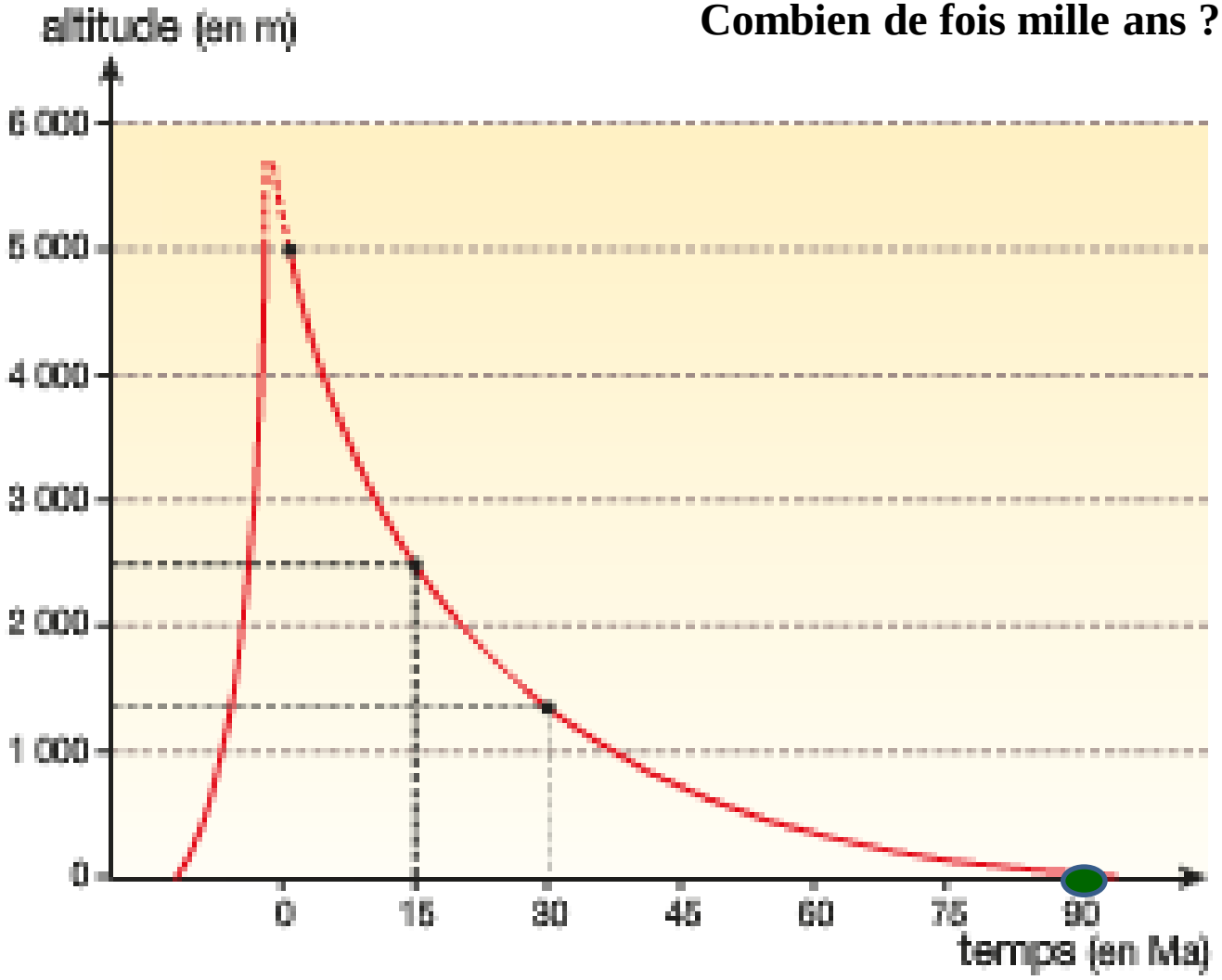
1°) Altération des roches.

2°) Transport et sédimentation.

3°) phénomènes tectoniques accompagnant l'aplanissement des reliefs.

a°) un réajustement (rebond) isostatique.

Temps nécessaire pour aplanir un relief



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

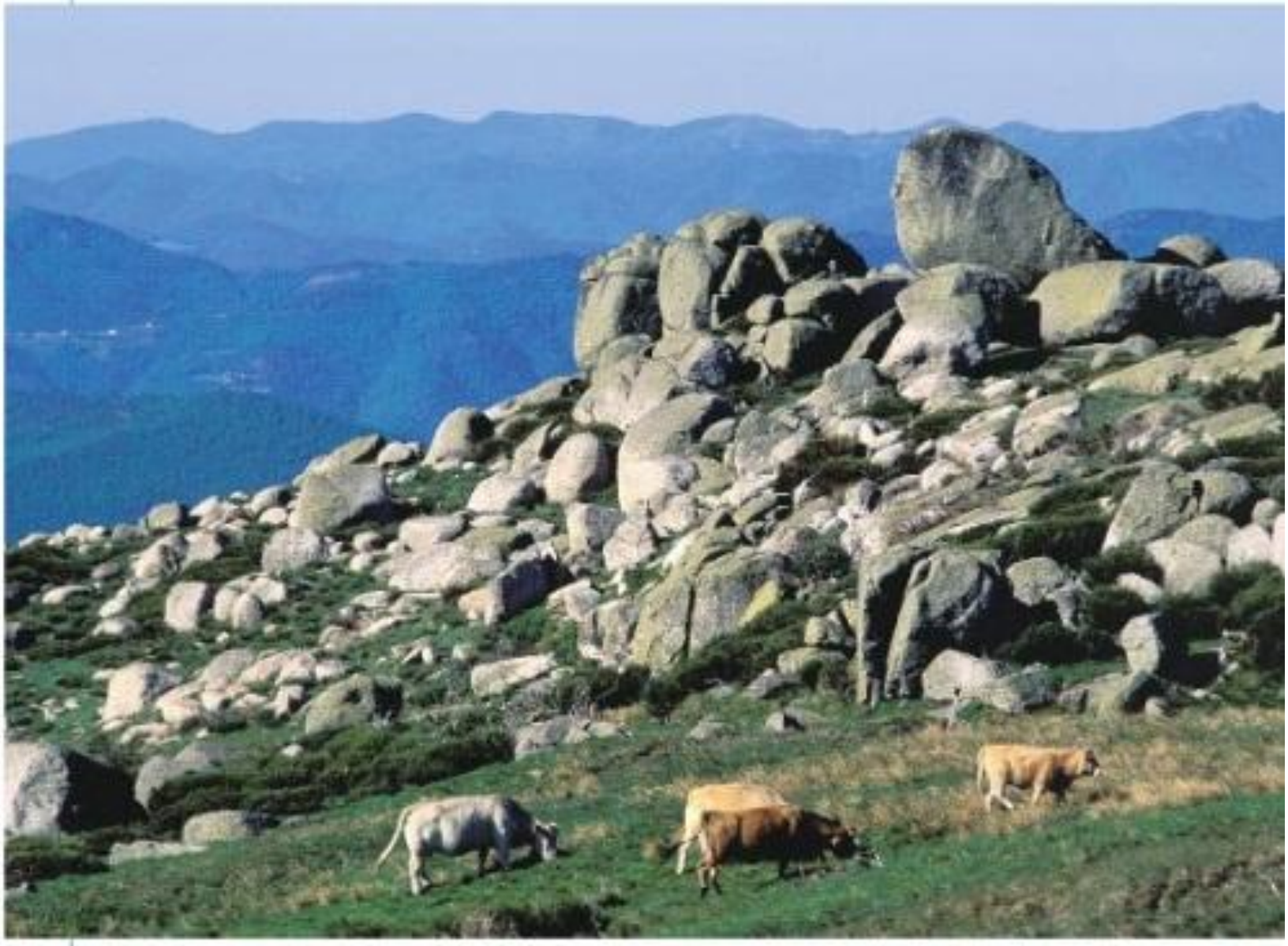
Combien de fois mille ans ? : 90.000.000 / 1000 = 90.000

Combien de mm dénudés ?
90000 * 300 = 27.000.000

Soit 27.000 m érodés

Soit 27 km érodés !

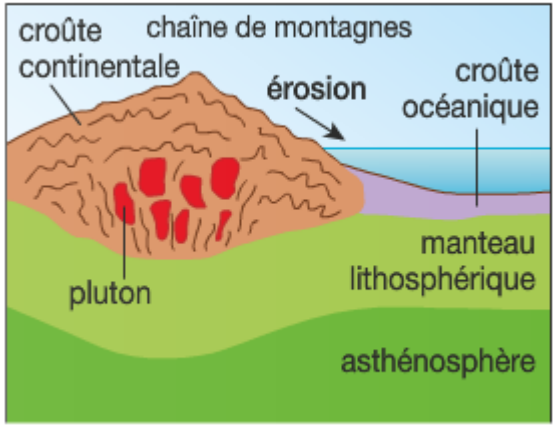
Affleurement en surface de granites formés à 15 Km de profondeur



Paysage granitique du mont Lozère

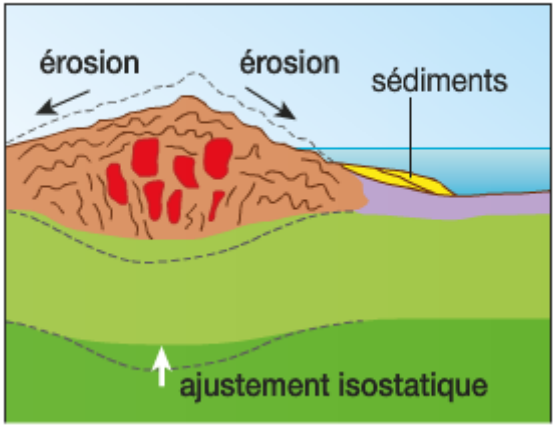
Modèle permettant d'expliquer la remontée des roches plutoniques

Temps



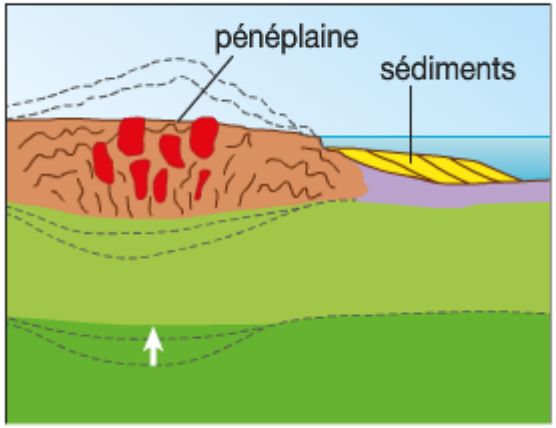
Formation de roches plutoniques en profondeur lors de l'orogénèse

exemple : les Alpes



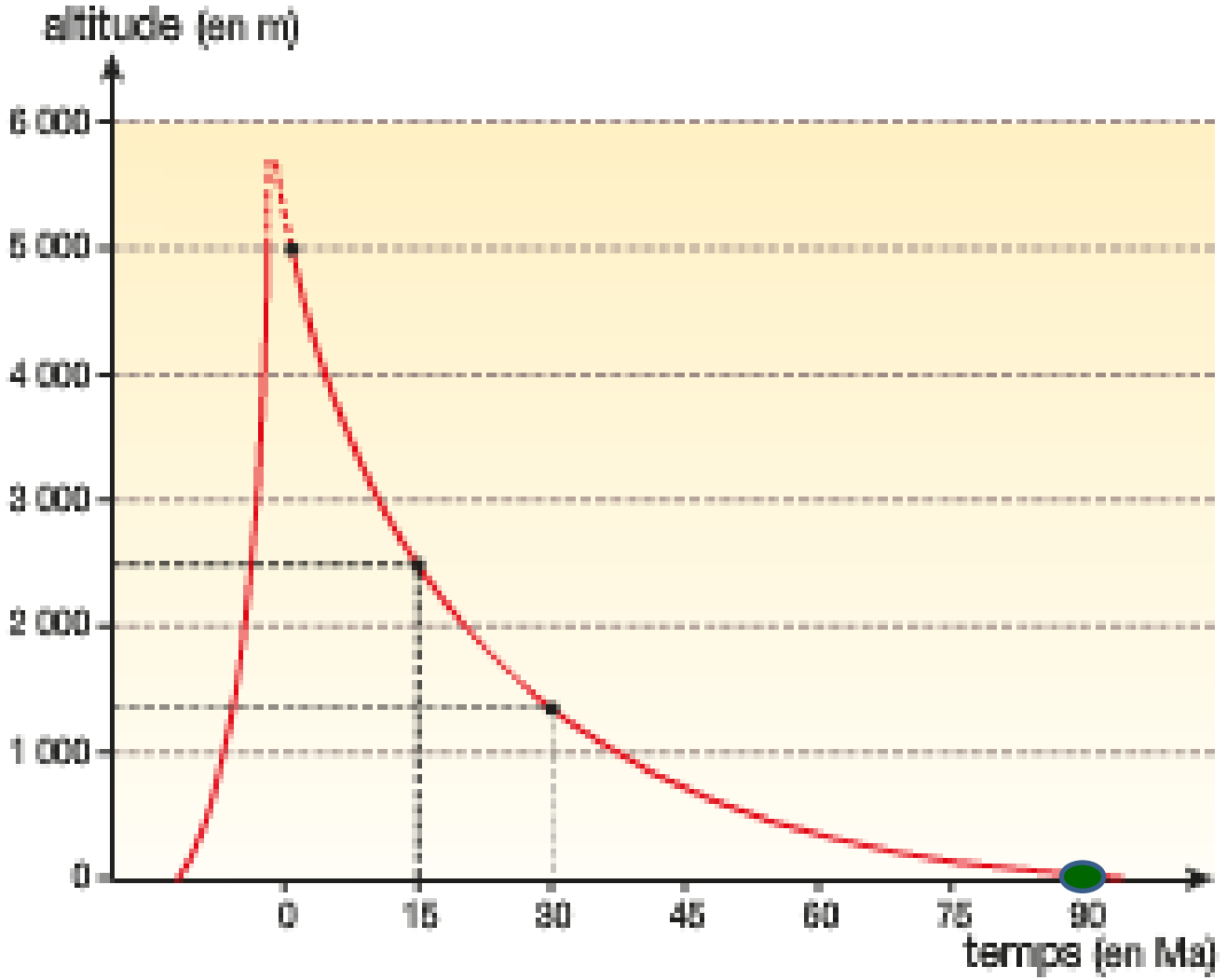
Erosion en surface => allègement de la croûte continentale => remontée de roches mantelliques denses pour compenser ce déficit de masse (réajustement isostatique)

exemple : le Massif central



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

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.

B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.

1°) Altération des roches.

2°) Transport et sédimentation.

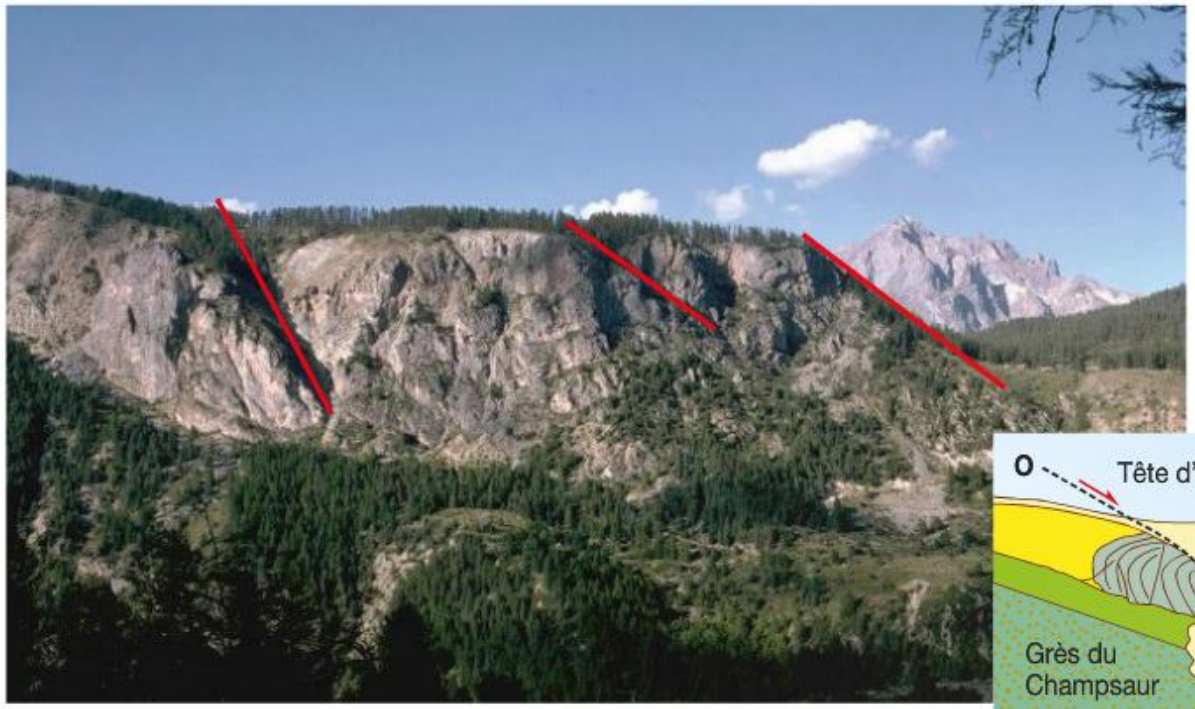
3°) phénomènes tectoniques accompagnant l'aplanissement des reliefs.

a°) un réajustement (rebond) isostatique.

b°) une tectonique en extension qui favorise l'aplanissement.

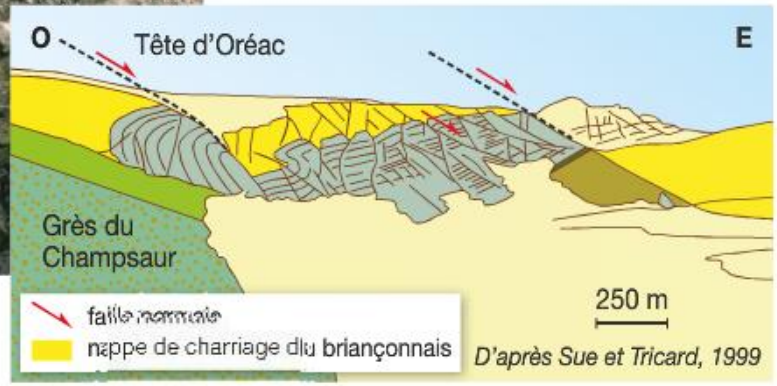
Des failles normales dans les Alpes

• 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.

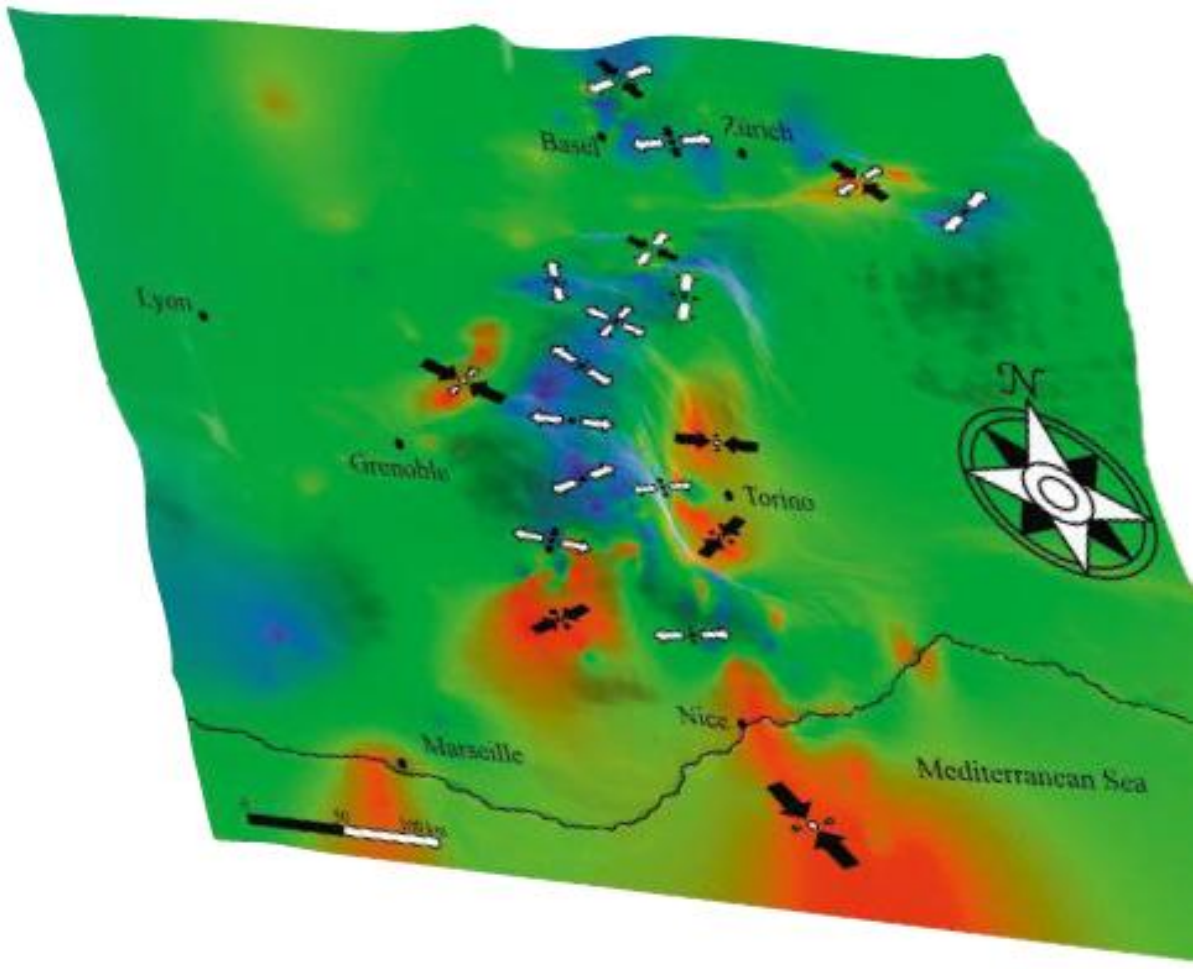


• Des données sismiques interprétées

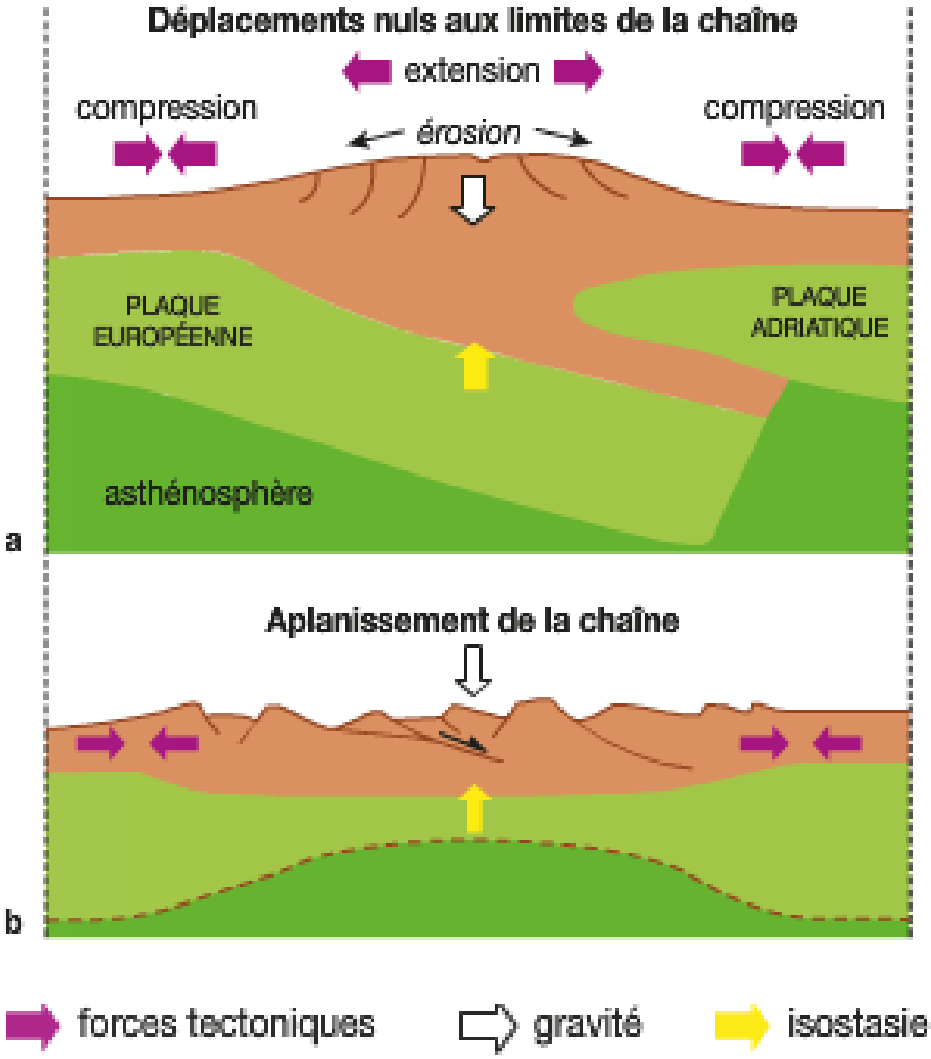
Des zones en extension dans les Alpes

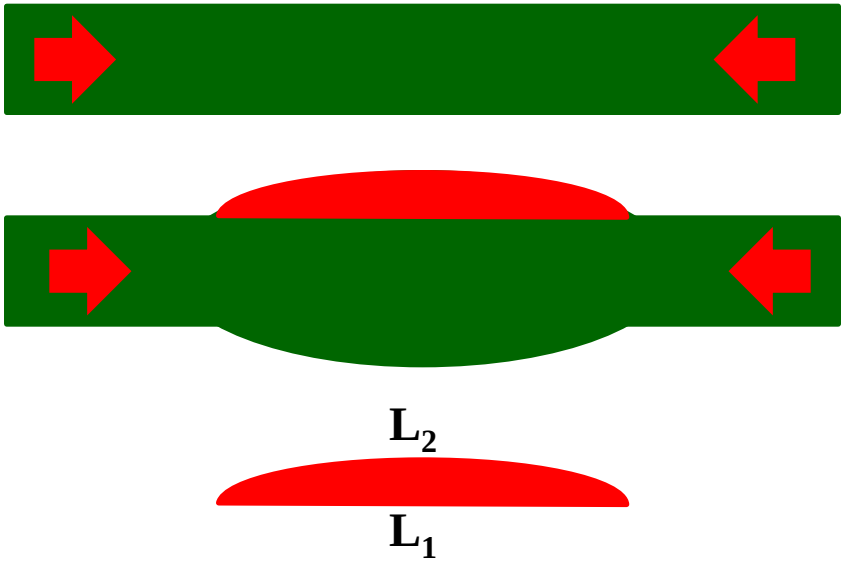
• Données sismotectoniques

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



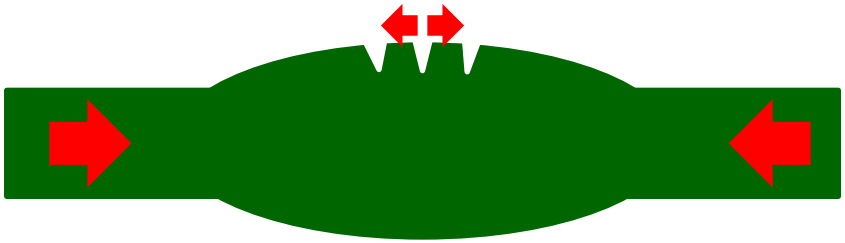


$L_2 = 0.01 \times L_1$

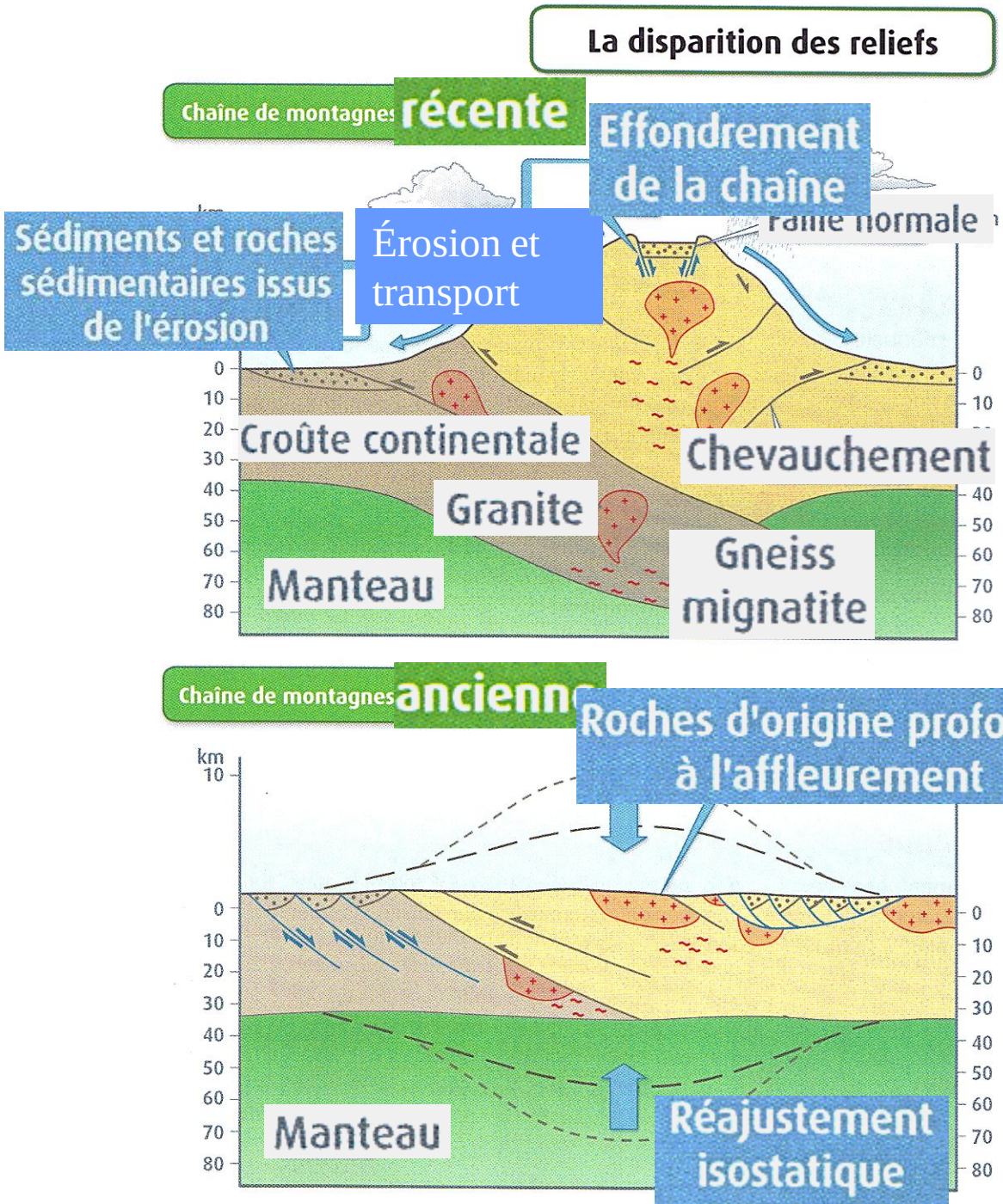
Cas de l'Himalaya : L_1 =1000 km

Petit calcul : L_2 =1010 km

La surface centrale d'une chaine de montagne globalement en compression… est en extension.



La disparition des reliefs



- Reliefs élevés
- Racine crustale profonde

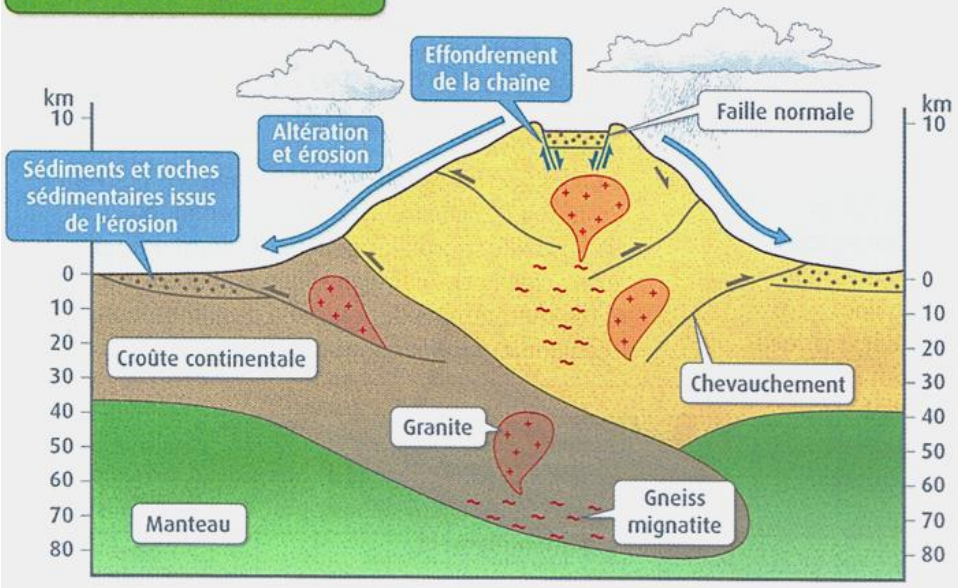
érosion

- Réajustement isostatique
- Effondrement de la chaîne

- 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

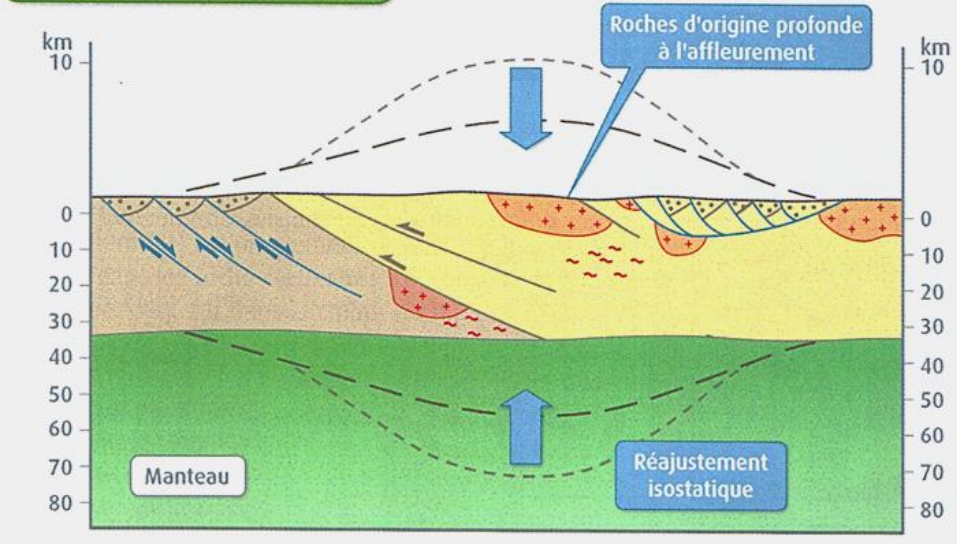
Chaîne de montagnes récente



- Reliefs élevés
- Racine crustale profonde

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

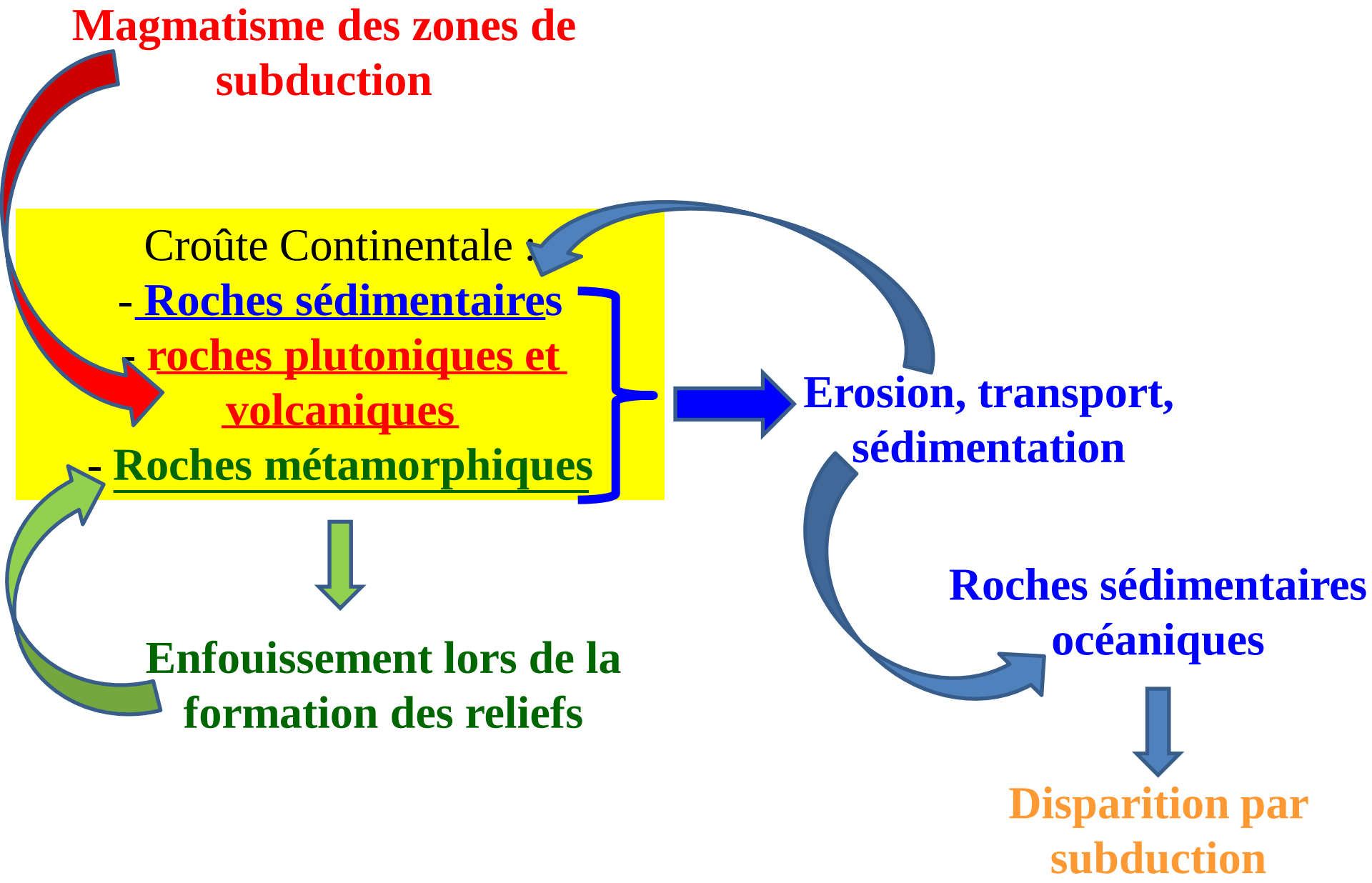
Chaîne de montagnes ancienne



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

Conclusion

Recyclage des matériaux de la croûte continentale



Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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

A°) Une activité magmatique dans les zones de subduction.

1°) le volcanisme explosif témoin de la formation d'un magma dans les zones de subduction.

2°) Les principales roches magmatiques des zones de subduction.

B°) Origine du magma des zones de subduction.

1°) Conditions de la FP des péridotites mantelliques.

2°) Origine de l'eau nécessaire à la FP des péridotites.

3°) Mise en place des roches de la C.C à partir d'un magma

II°) Les transformations subies par la croûte continentale lors de la formation des chaines de montagnes.

Thème : Les continents et leur dynamique.

Leçon n°3 : Dynamique de la coûte continentale

Introduction

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.
- B°) Les mécanismes permettant l'aplanissement des reliefs.
  - 1°) Altération des roches.
    - a°) altération physique.
    - b°) altération chimique.
  - 2°) Transport et sédimentation.
  - 3°) phénomènes tectoniques accompagnant l'aplanissement des reliefs.

Conclusion