

Thème C : La dynamique interne de la Terre

Chapitre C4 : La dynamique des zones de convergence

Problématique : Quels sont les phénomènes géologiques associés aux zones de convergence ?

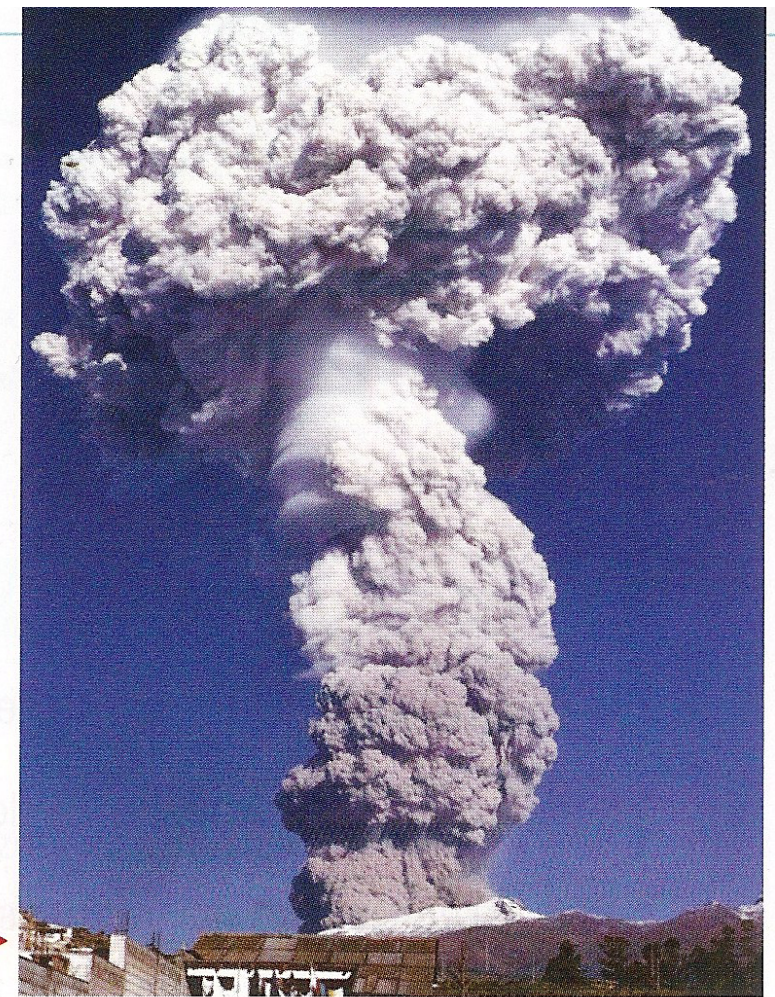
I. Les zones de subduction

1) Les marqueurs géologiques des zones de subduction

Une éruption explosive telle que celle du Guagua Pichincha (Équateur) libère une quantité importante de matériaux solides (cendres, blocs) et de gaz sous forme de **nuées ardentes** et de colonnes éruptives qui peuvent atteindre plus de 15 km d'altitude. Les gaz volcaniques émis sont surtout constitués de vapeur d'eau (de 70 à 90 %). Les autres gaz présents (CO_2 , SO_2 , N_2 , H_2 , CO , SO_2 ...) peuvent, en réagissant avec l'eau ou l'hydrogène, former de nombreux composés toxiques comme l'acide chlorhydrique, l'acide fluorhydrique, l'acide sulfurique ou le sulfure d'hydrogène.

Les gaz rejetés sont initialement dissous au sein du magma profond. C'est le dégazage de ce magma qui joue un rôle déterminant dans le déclenchement de l'éruption d'une part, et dans le type éruptif, d'autre part. En effet, c'est le dégazage qui constitue le « moteur » assurant l'ascension du magma depuis la chambre magmatique vers la surface. Dans le cas où le magma est particulièrement visqueux, l'expulsion des gaz est freinée et ceux-ci génèrent alors des pressions qui deviennent colossales ; l'éruption devient explosive, voire cataclysmique.

Une explosion du Guagua Pichincha, volcan situé en Équateur, à 14 km à l'ouest de Quito, la capitale



Doc. 2 Les produits rejetés lors d'une éruption explosive.

- Les explosions peuvent produire des nuées ardentes



Nuée ardente dévalant les pentes du mont Saint-Helens après l'explosion de son sommet (1980)

Lorsque la pression des gaz dans la chambre magmatique devient trop importante, le sommet du volcan, formé de laves refroidies, est pulvérisé par une gigantesque explosion qui donne naissance à une nuée ardente. Il s'agit d'un aérosol composé de gaz, de cendres et de blocs de toutes tailles, porté à haute température (plusieurs centaines de degrés Celsius) qui dévalent les pentes du volcan à grande vitesse (200 à 600 km par heure).

- Un dôme de lave obstrue la cheminée volcanique

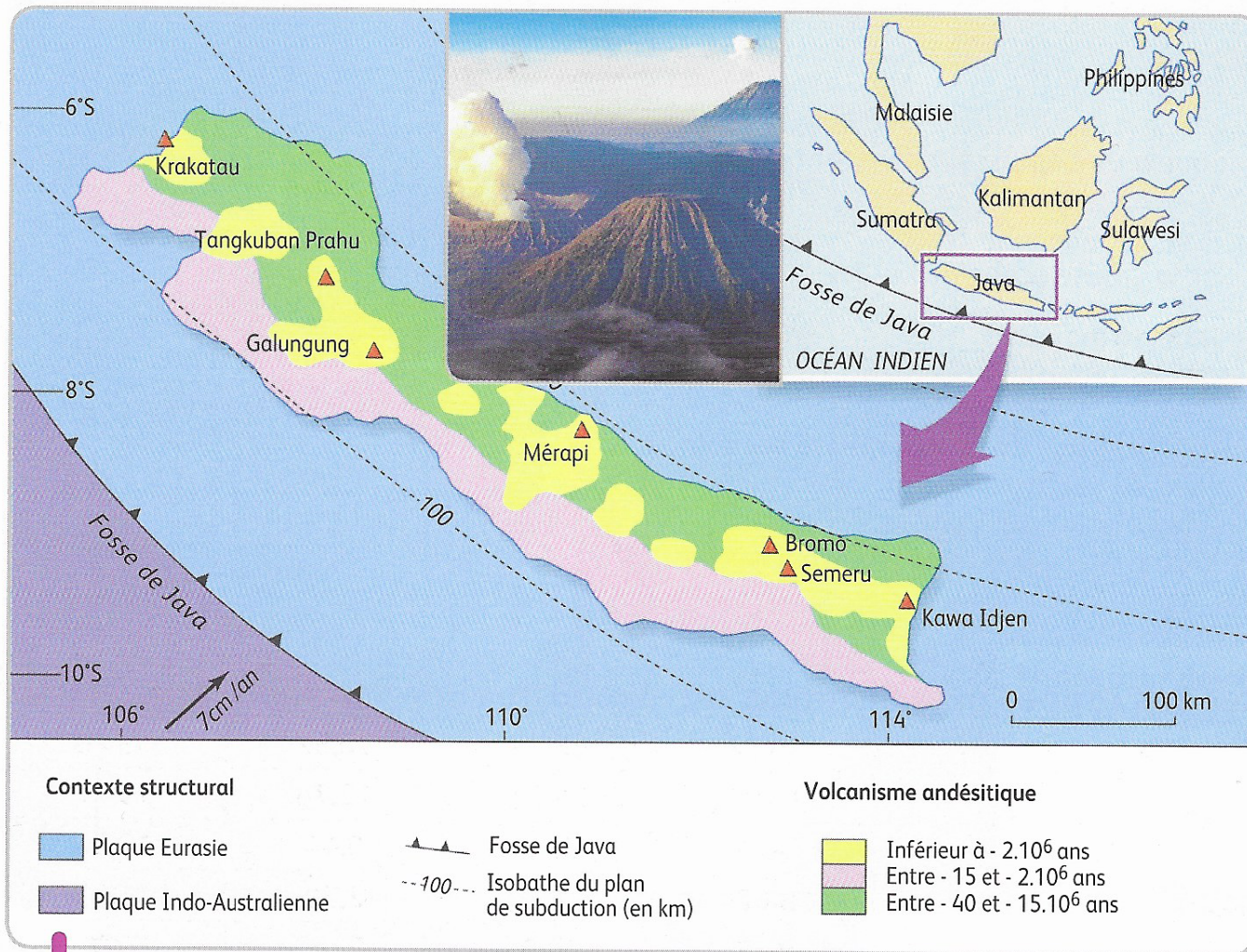


Dôme de lave visqueuse en formation au fond du cratère après l'explosion du mont Saint-Helens (1984)

Après une série d'explosions, le sommet du volcan présente un énorme cratère (ici, 2,5 km de diamètre) dans lequel débouche une cheminée volcanique. De la lave monte alors dans cette cheminée, mais comme elle est trop visqueuse pour pouvoir s'écouler, elle forme un dôme. Ce dôme se refroidit et obstrue totalement la cheminée ; les gaz vont donc s'accumuler au-dessous jusqu'au prochain épisode explosif.

Doc. 3 Des éruptions explosives liées à la viscosité des magmas.

Exemple de l'Indonésie

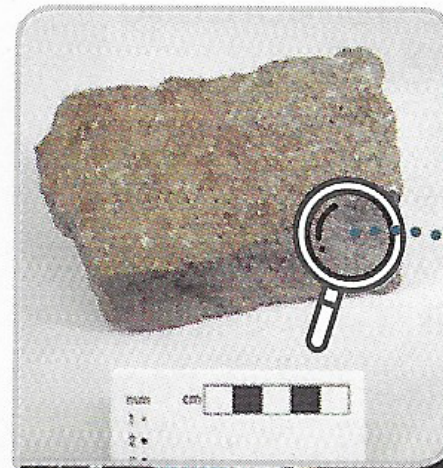


a Explosion du volcan Semeru en Indonésie.

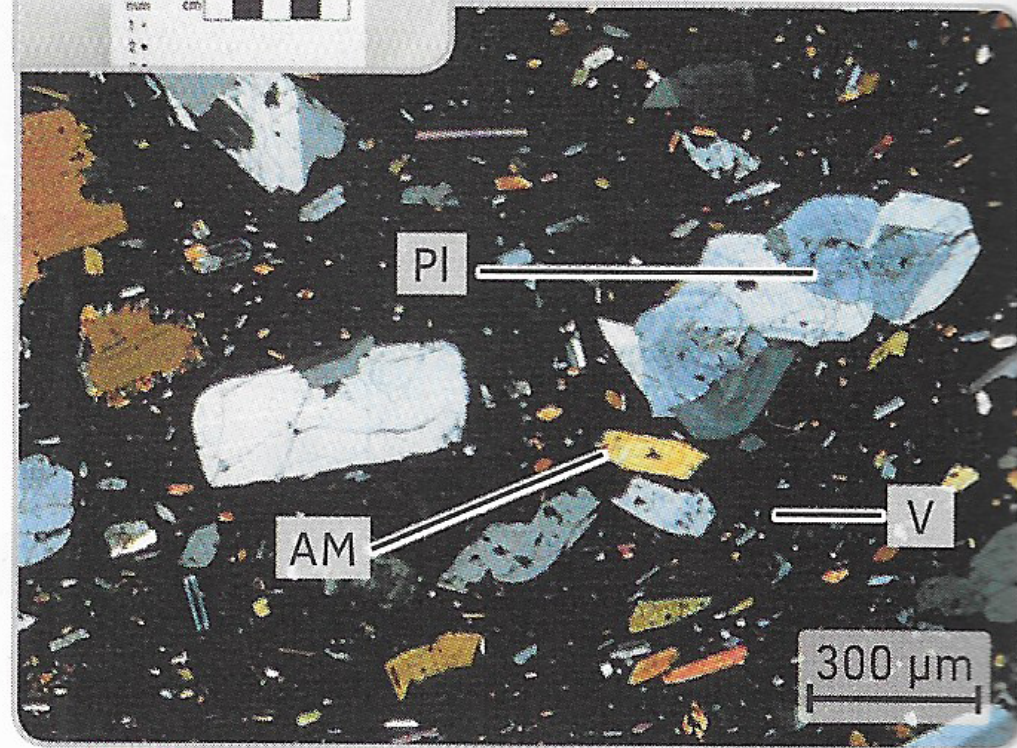
Les volcans associés aux zones de subduction sont très souvent explosifs. Certains sont particulièrement surveillés car le risque lié à une éruption peut être très élevé.

c Carte géographique et âges du volcanisme de l'île de Java.

Echantillon d'andésite récolté sur l'île de Java en Indonésie



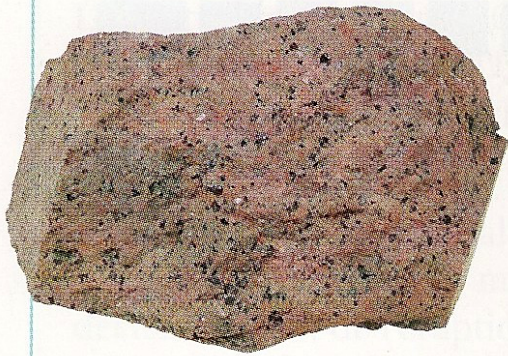
b Échantillon d'Andésite émis par le volcan.



c Lame mince observée au microscope optique (LPA – G x 400).

PI = plagioclase, AM = amphibole,
V = verre.

● LA RHYOLITE



a Un échantillon de rhyolite



b lame mince de rhyolite observée en lumière polarisée analysée

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).

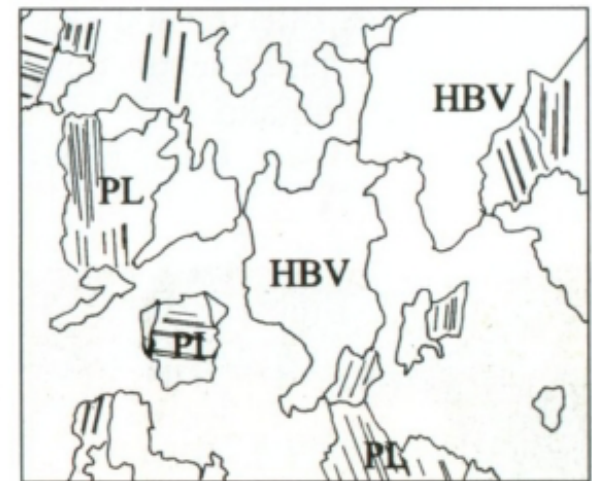


DIORITE

• **Composition chimique**

Silice	Alumine	Alcalins
66 %	15 %	6 %

Calcium	Fer	Magnésium
4,5 %	5,3 %	2,2 %



HBV = amphibole (hornblende)
Pl = feldspath plagioclase

17

Granite.

a. Échantillon de granite.

b. Lame mince de granite observée au microscope optique (x3) en lumière polarisée analysée. L'état de cristallisation et la taille des cristaux de ce granite définissent une structure grenue.

1. Quartz

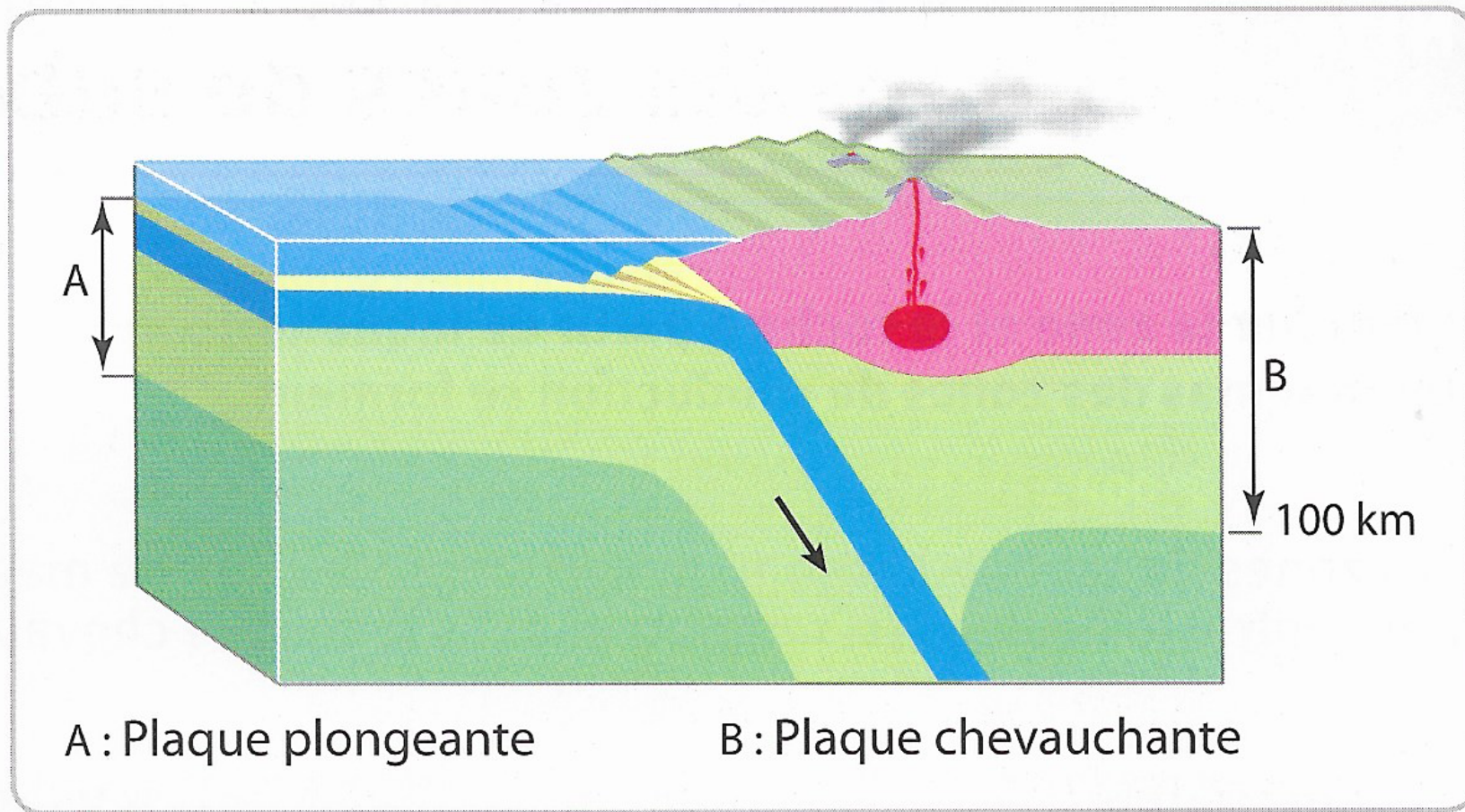
2. Feldspath potassique (orthose)

3. Feldspath (plagioclase proche du pôle sodique)

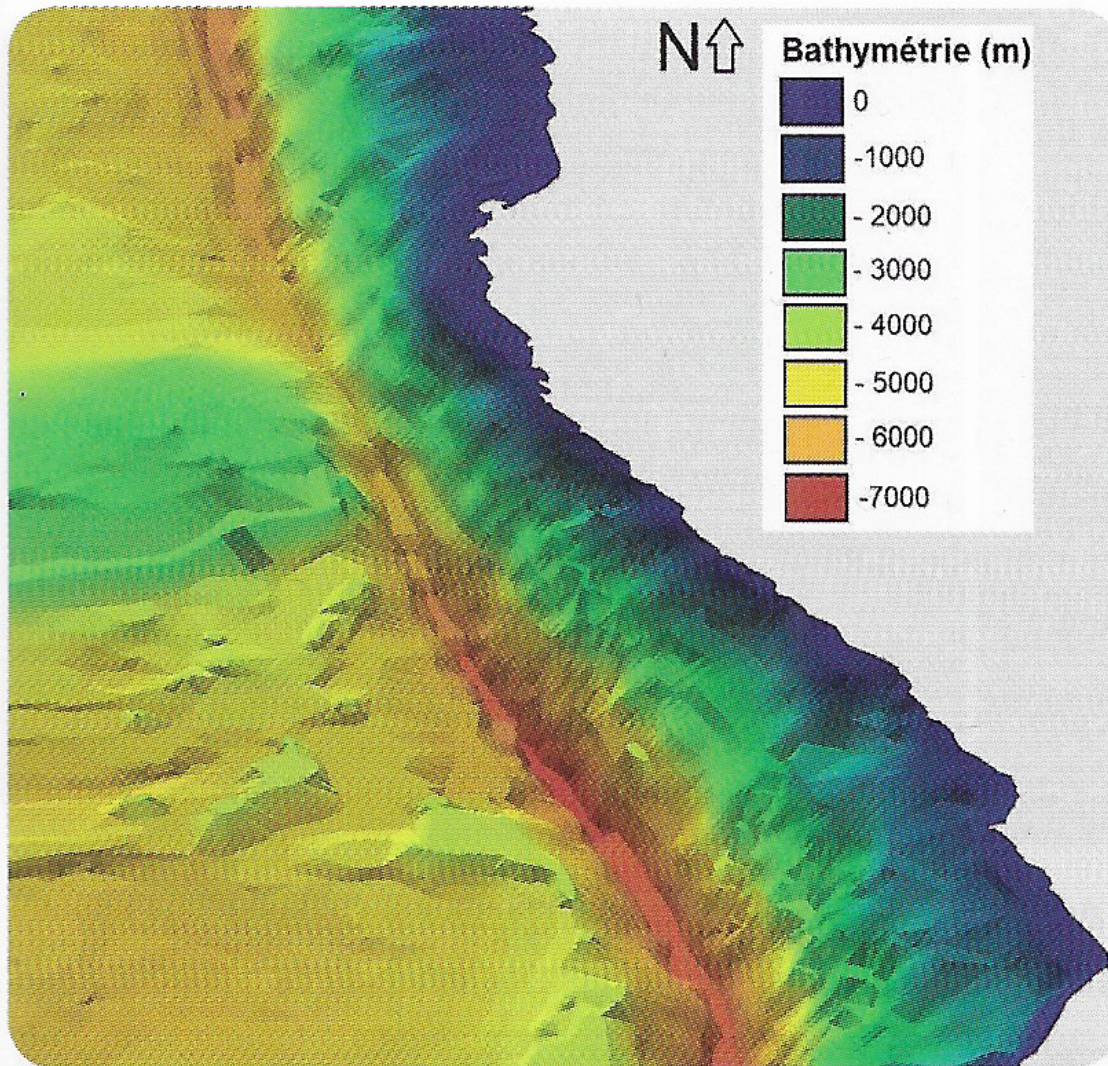
4. Mica noir (biotite)



Schéma des deux plaques en convergence dans une zone de subduction



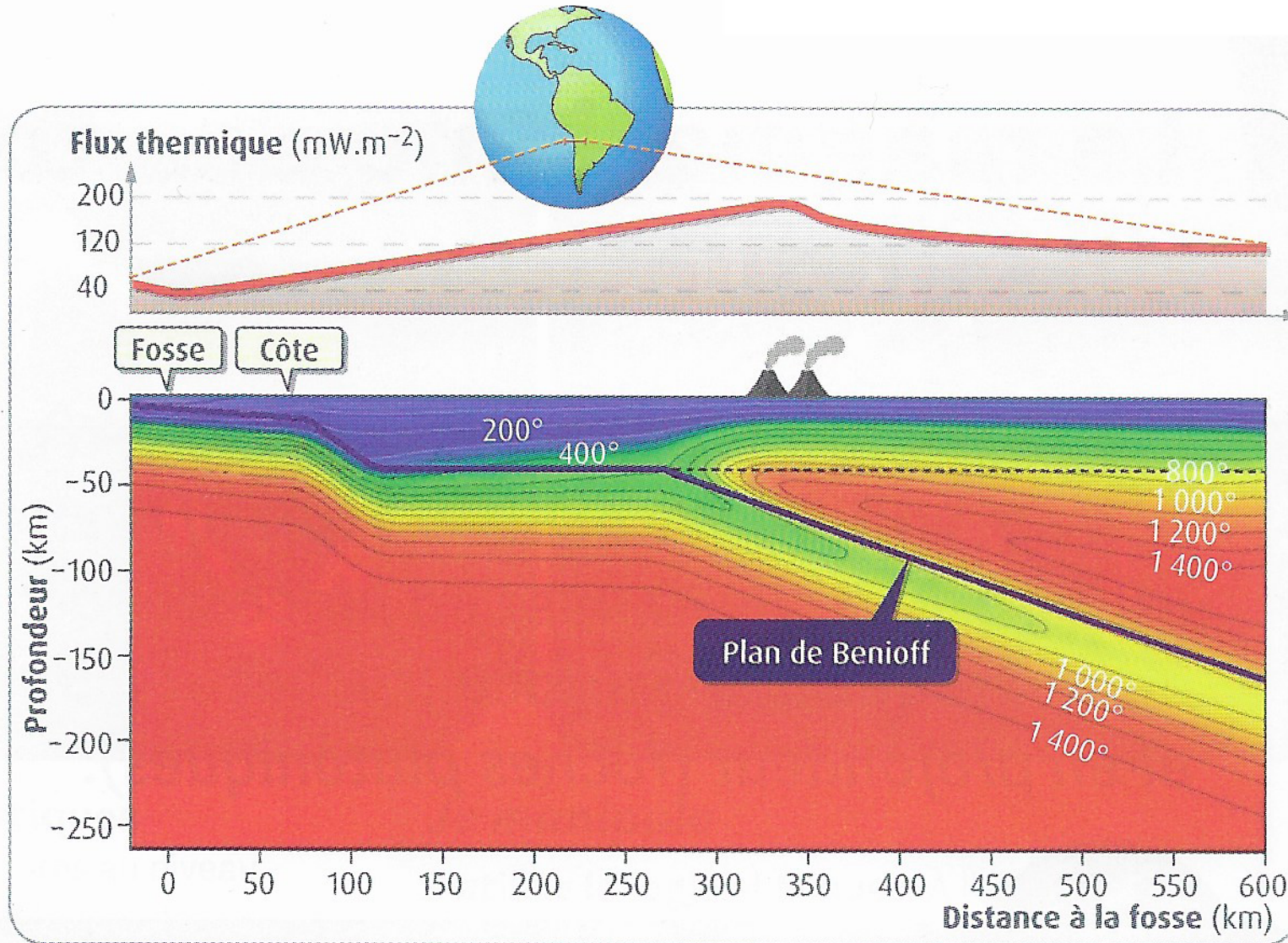
g Schéma d'une zone de subduction.



Fosse océanique

3 Reconstitution 3D de la profondeur du plancher océanique (bathymétrie) de la zone de contact entre la plaque de Nazca et la plaque sud-américaine.

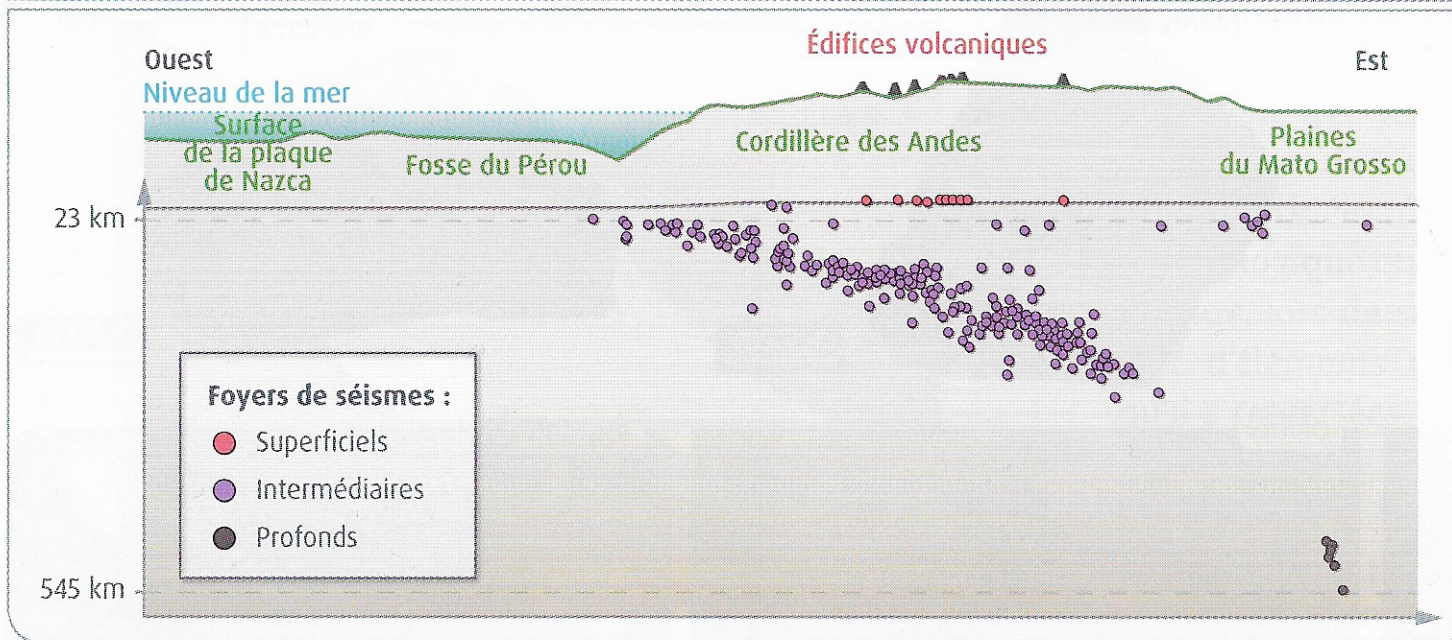
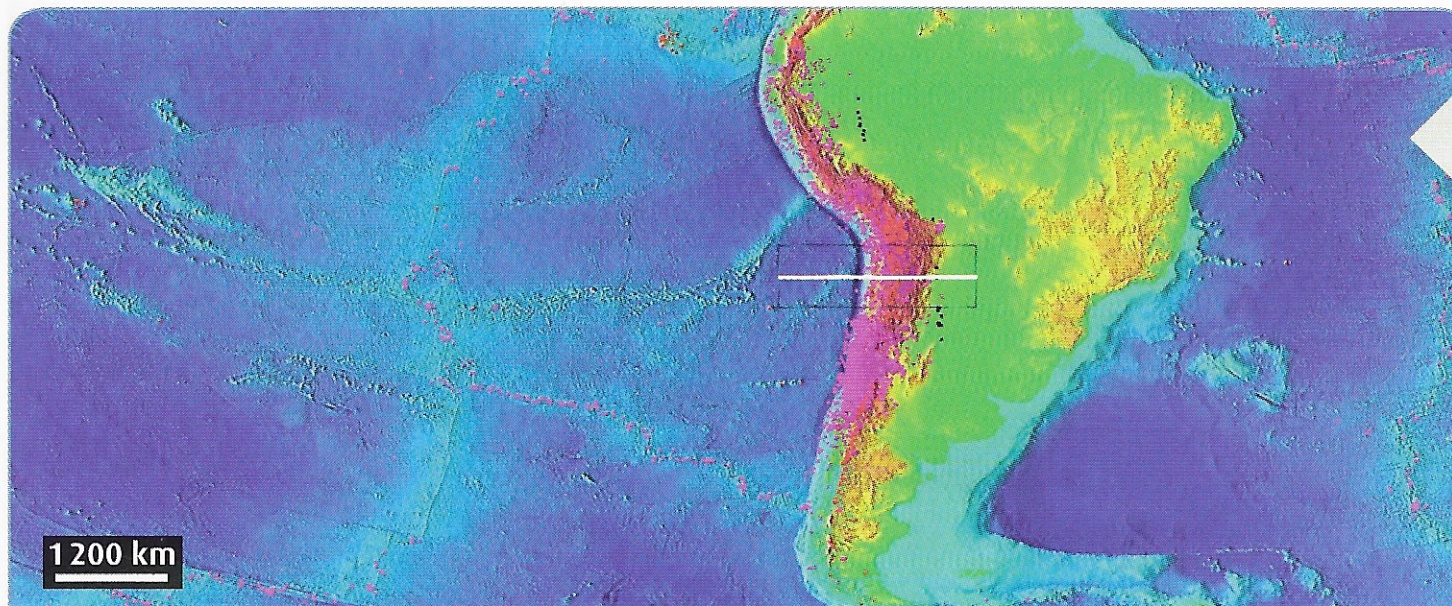
Evolution du flux géothermique dans une zone de subduction



4 Évolution du flux thermique et de la température en profondeur dans la zone de subduction sud-américaine.

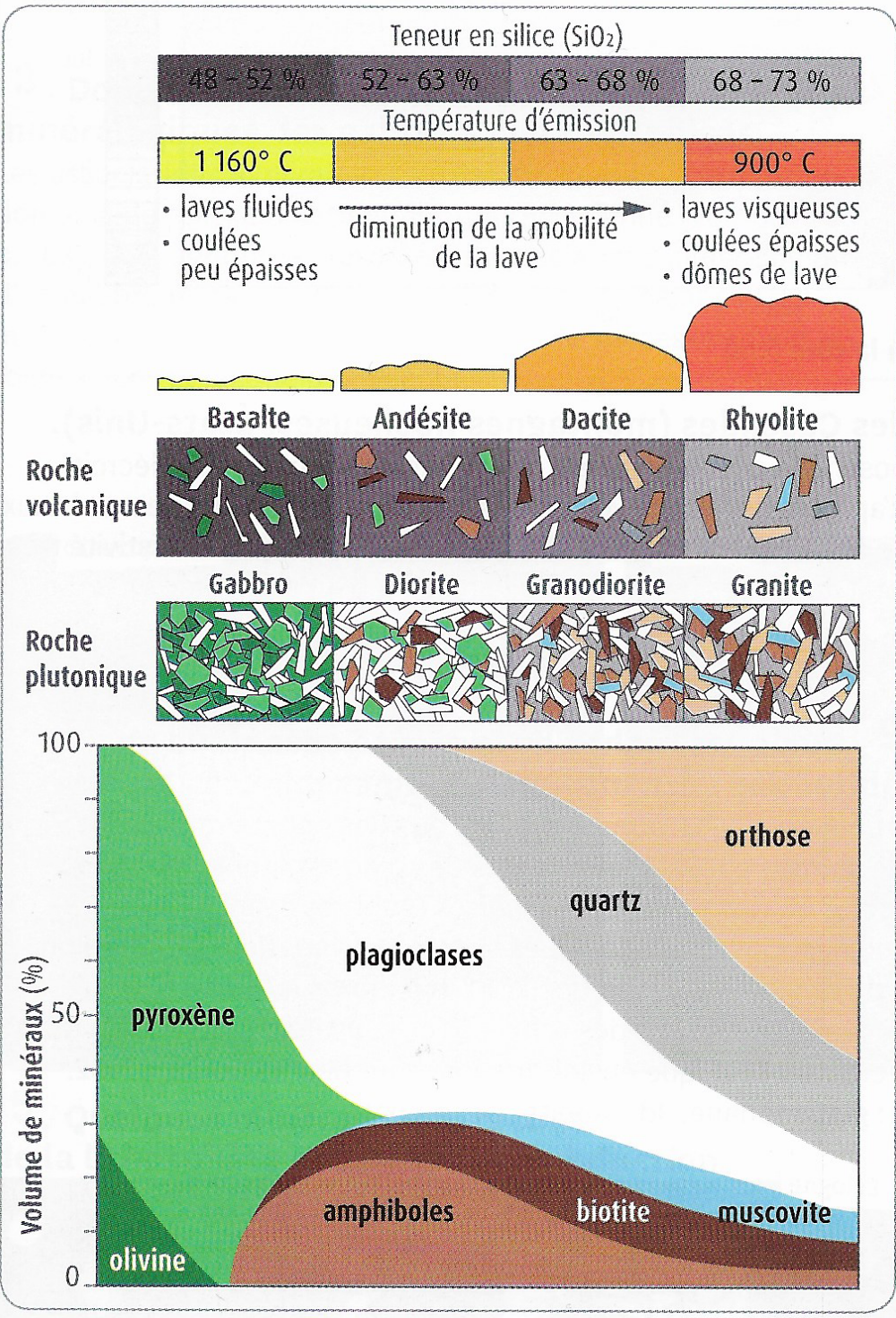
Rappelons que le flux thermique correspond à la quantité d'énergie traversant la surface du globe par transfert thermique par unité de temps et unité de surface. Sur Terre, le flux moyen est de 60 mW.m^{-2} .

Localisation des foyers sismiques dans une zone de subduction



5 Localisation en coupe des foyers sismiques sous la plaque sud-américaine à l'aplomb de la cordillère des Andes. Le trajet matérialisé par l'emplacement de ces foyers délimite le plan de Wadati-Benioff.

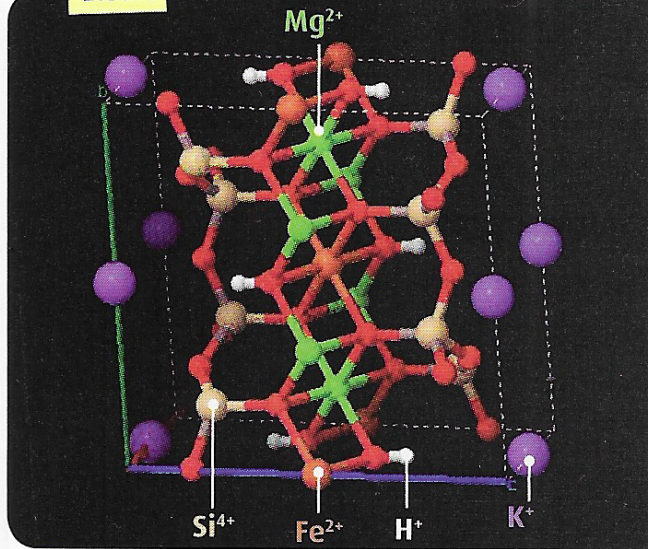
2) Les caractéristiques du magmatisme dans une zone de subduction



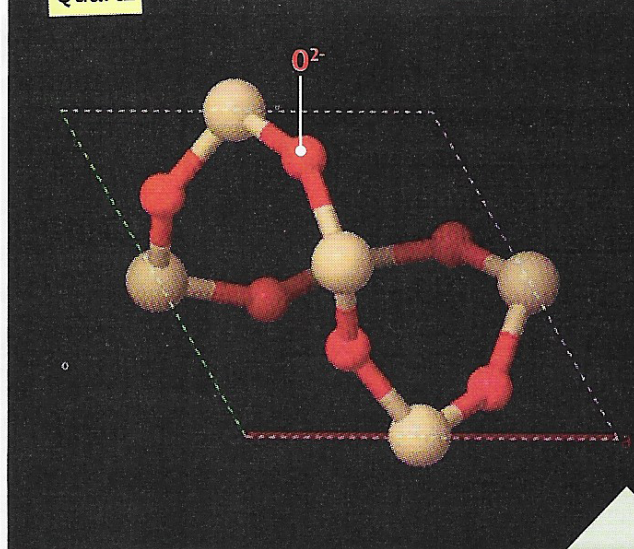
Les caractéristiques du magma et des roches magmatiques dans une zone de subduction

L'hydratation des minéraux des roches magmatiques de zones de subduction

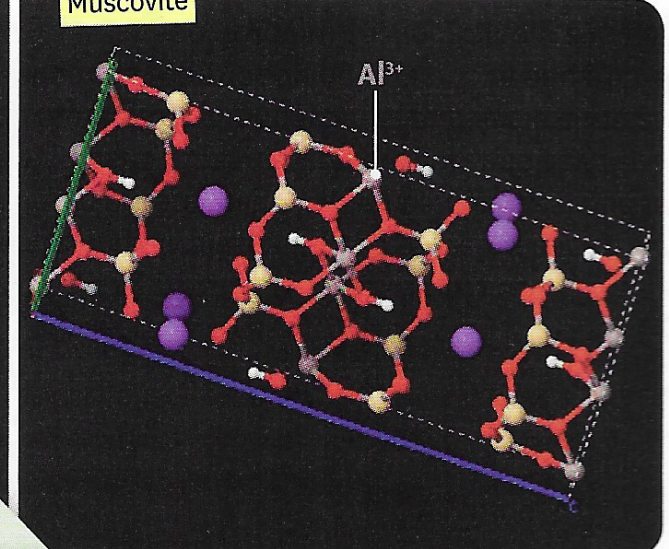
Biotite



Quartz



Muscovite



3 Quelques exemples de minéraux caractéristiques des roches. Ces minéraux sont absents des roches produites au niveau des dorsales. Biotite, muscovite et amphibole (voir la hornblende, doc. 3 p. 163) possèdent des radicaux -OH: ce sont des minéraux hydratés.

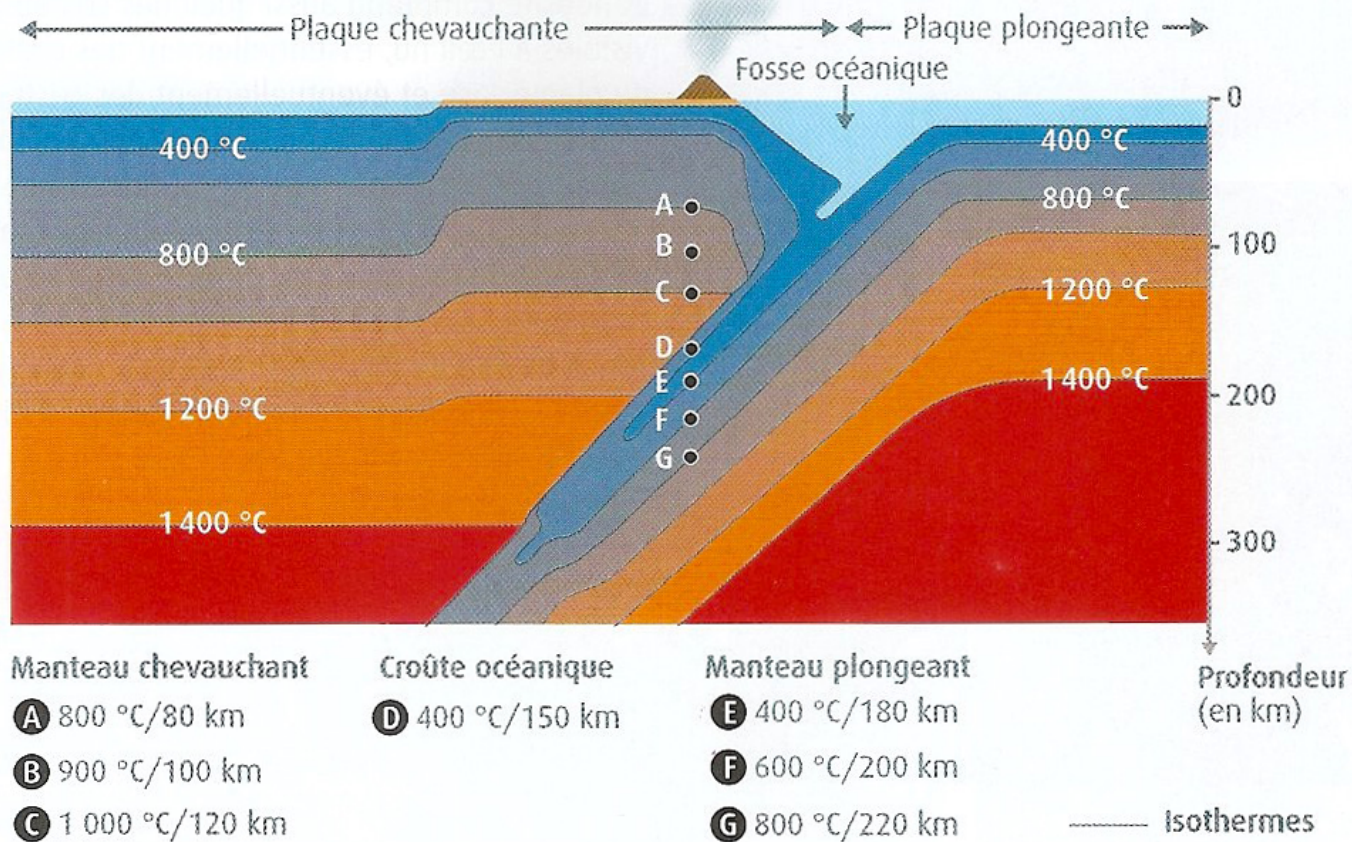
Je manipule

J'utilise le logiciel Minusc. À l'aide du logiciel, calculez le pourcentage d'hydratation et la densité des minéraux présentés.

Protocole



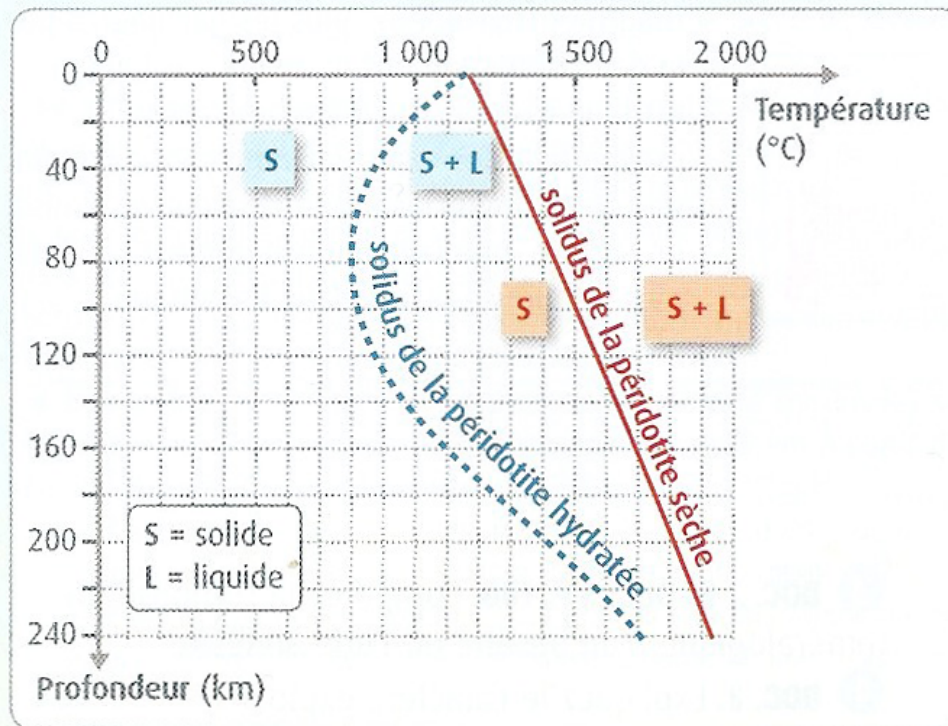
3) L'origine du magma dans une zone de subduction



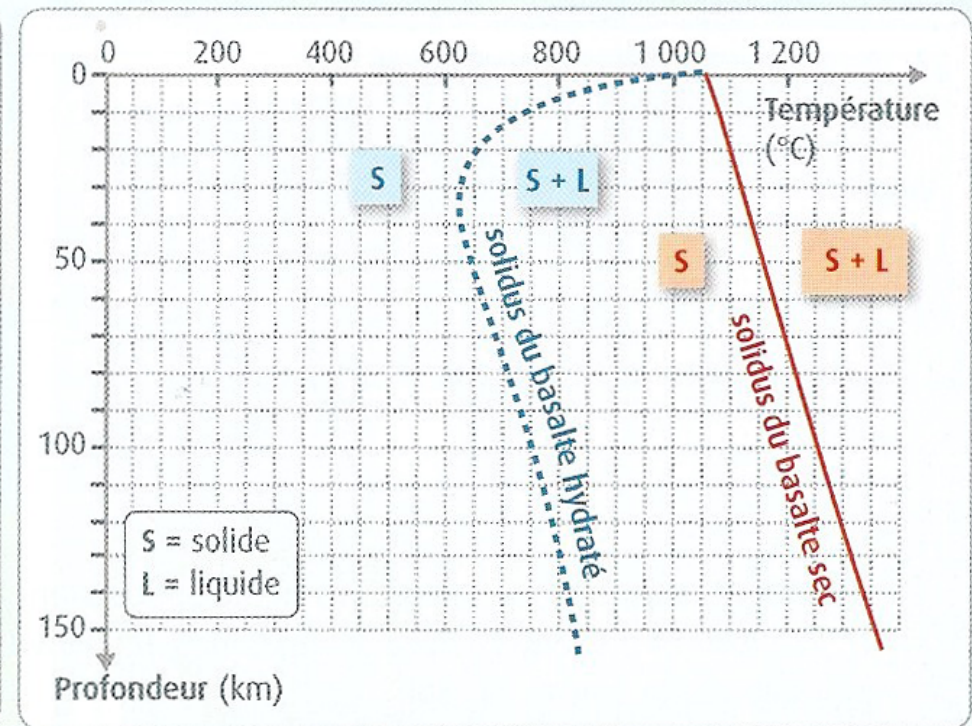
1 La répartition des isothermes dans une zone de subduction. Dans les zones de subduction, on observe que l'activité volcanique est localisée au niveau d'un arc volcanique à une centaine de km de distance de la fosse océanique. Les points A, B, C correspondent à des péridotites du manteau lithosphérique chevauchant. Le point D correspond à une roche de la croûte océanique plongeante (en subduction) et les points E, F, G correspondent à une péridotite du manteau lithosphérique plongeant.

Au laboratoire, il est possible de soumettre un échantillon de roche à différentes conditions de pression P (correspondant à différentes profondeurs) et de température T, et d'observer l'état de la matière. Les mesures réalisées permettent de tracer, sur un diagramme P/T, la courbe de fusion commençante

d'une roche (ou fusion partielle), appelée **solidus**. Connaissant les conditions de pression et de température rencontrées par une roche dans un contexte géodynamique donné, on peut alors déterminer si les conditions de fusion de la roche sont atteintes dans ce contexte.



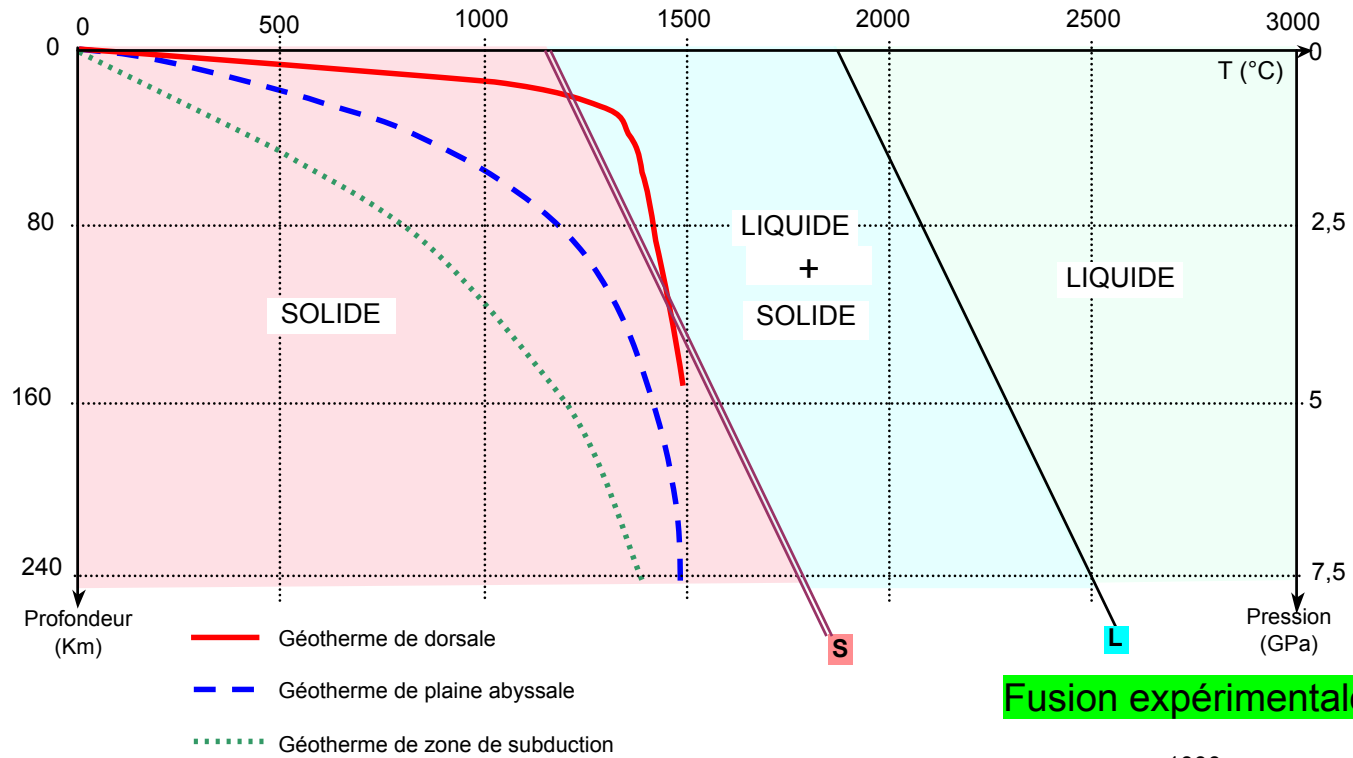
Conditions de fusion d'une péridotite sèche ou hydratée.



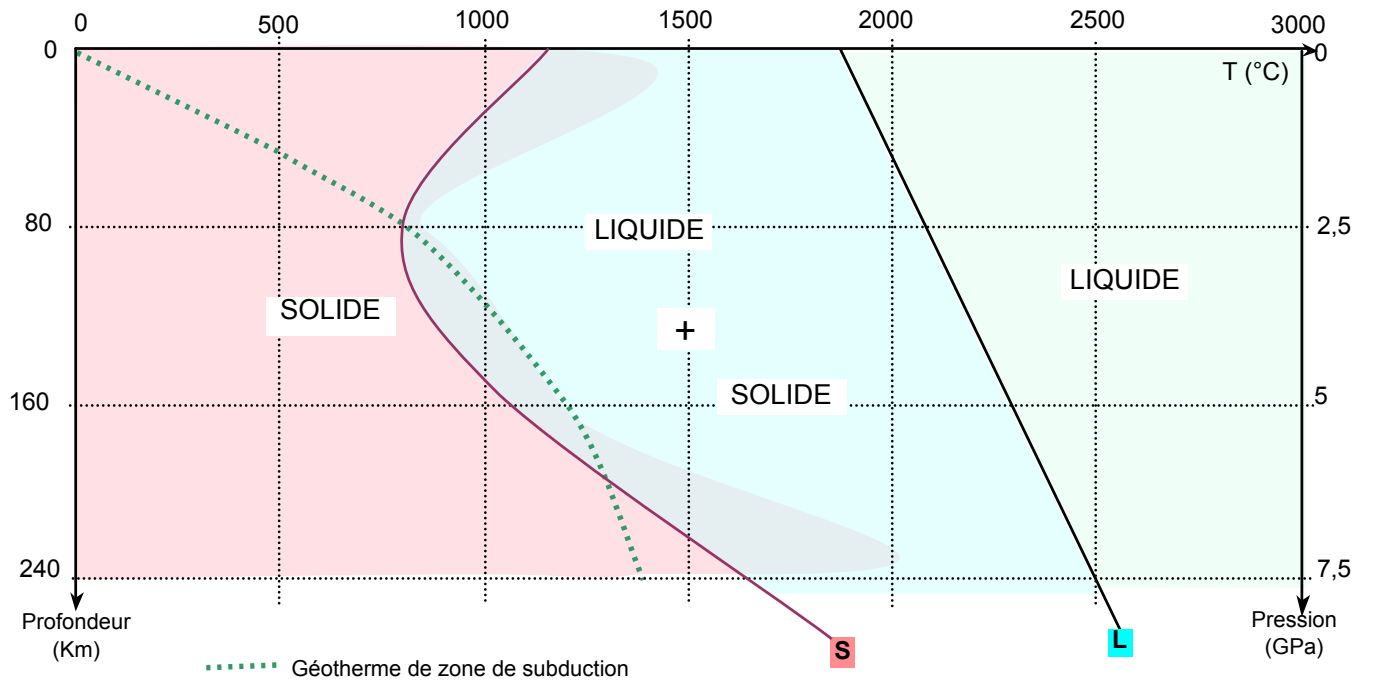
Conditions de fusion d'un basalte sec ou hydraté.

2 La recherche expérimentale des conditions de fusion au niveau d'une zone de subduction.

Fusion expérimentale de la péridotite sèche



Fusion expérimentale de la péridotite hydratée



L'origine de l'hydratation des péridotites

Lors de la subduction, les roches de la lithosphère plongeante subissent une augmentation de pression et une faible variation de température qui entraîne le métamorphisme des roches la constituant. Les gabbros sont transformés en métagabbros.

Lors de l'augmentation de pression au cours de la subduction, il y a formation de métagabbros à chlorite et actinote (facies schistes verts) puis à glaucophane (facies schistes bleus) puis à jadéite et grenat (facies éclogite).

Les transformations minérales par métamorphisme lors de la subduction

Les assemblages minéralogiques sont stables pour des conditions de pression et de température données.

Quand la pression et la température varient, les minéraux se transforment en de nouveaux minéraux stables aux nouvelles conditions de pression et température.

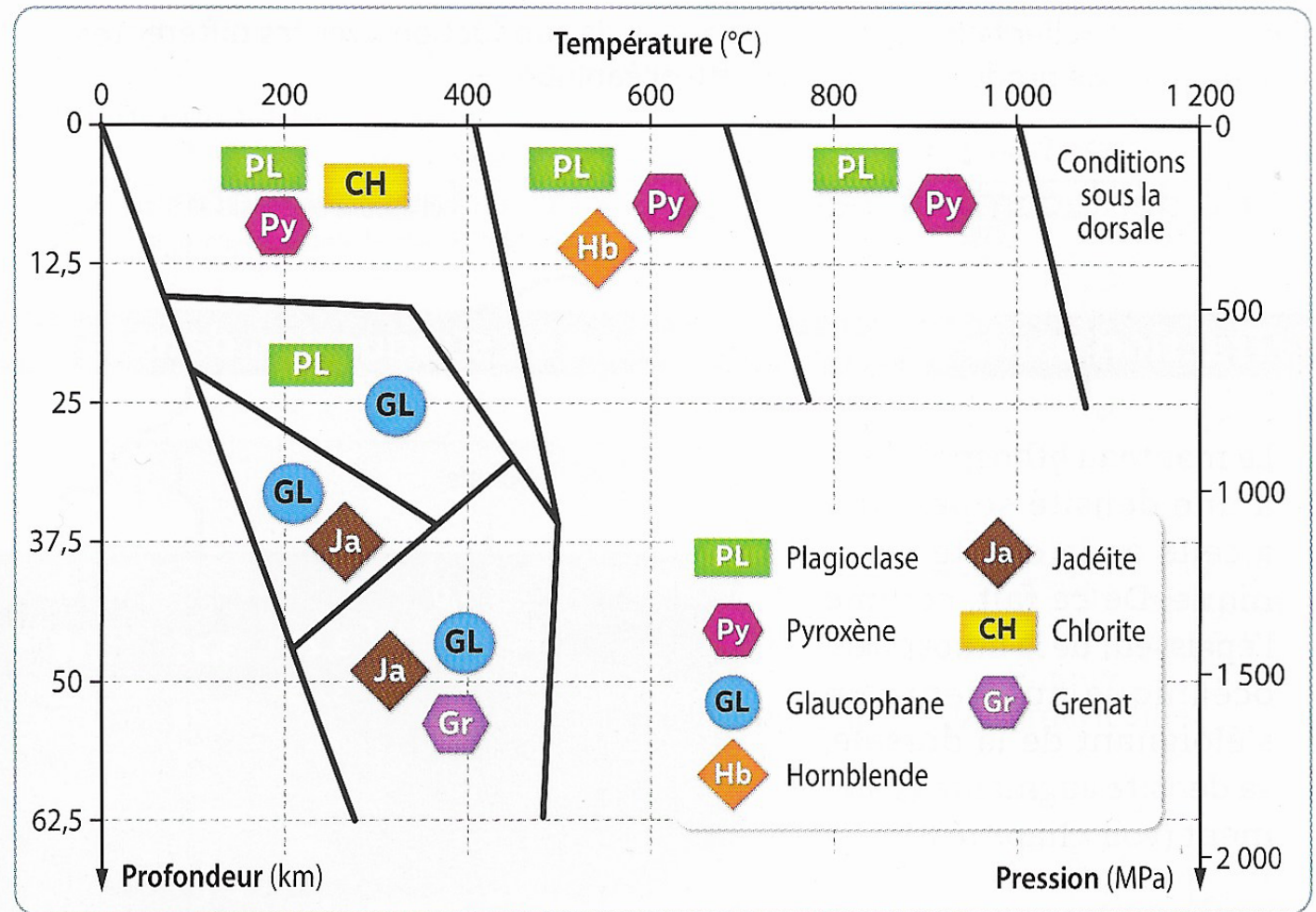
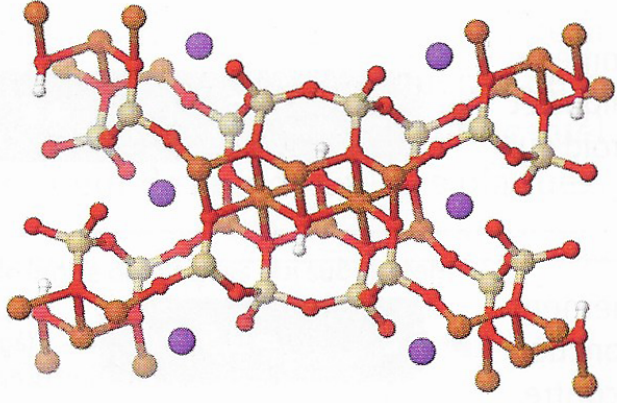
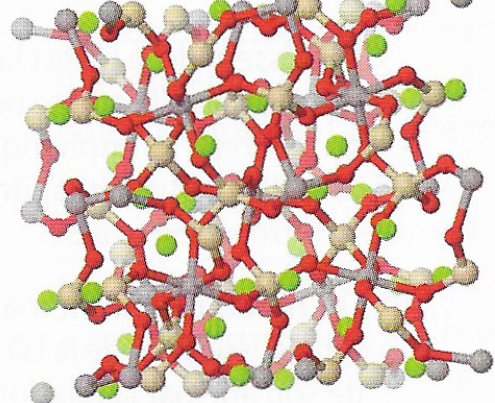
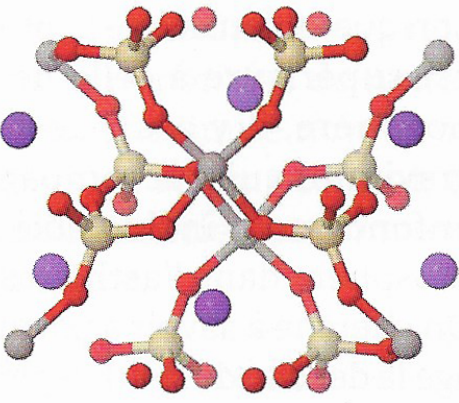
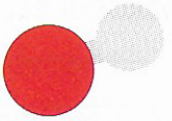








Diagramme pression-température de stabilité des minéraux

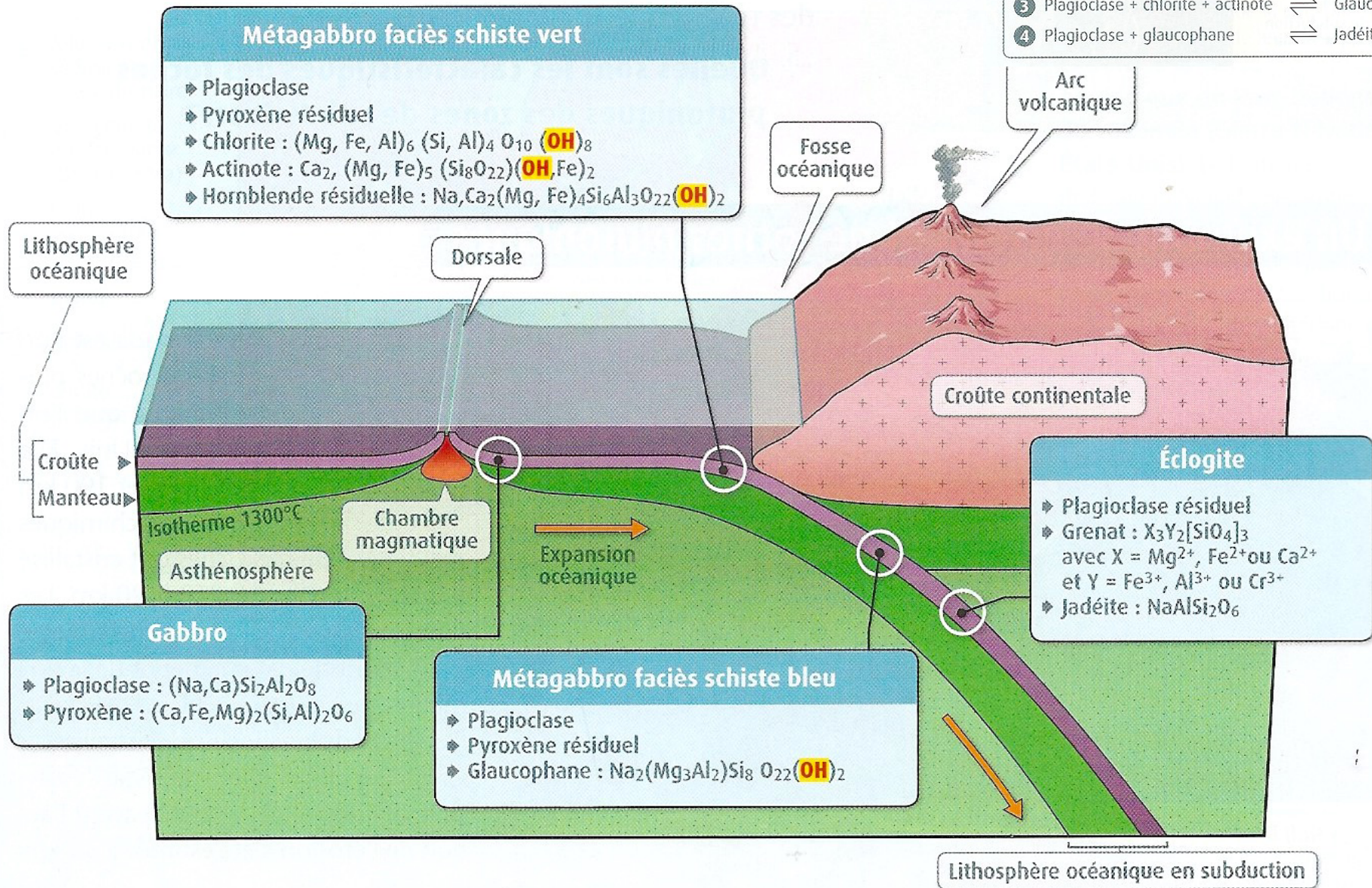
Minéral	Glaucophane	Grenat	Jadéite				
Structure cristalline (atomes)							
Formule	$\text{Na}_2(\text{MgFe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	$\text{Fe}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$	$\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$				
Légende	 OH ⁻	 Na ⁺	 Mg ²⁺	 Al ³⁺	 Si ⁴⁺	 Ca ²⁺	 Fe ²⁺

4 Structures cristallines et formules de certains minéraux des métagabbros

L'étude des transformations minéralogiques

Quelques réactions du métamorphisme

- ① Plagioclase + pyroxène + eau \rightleftharpoons Hornblende
- ② Plagioclase + hornblende + eau \rightleftharpoons Chlorite + actinote
- ③ Plagioclase + chlorite + actinote \rightleftharpoons Glaucophane + eau
- ④ Plagioclase + glaucophane \rightleftharpoons Jadéite + grenat + eau



2 L'évolution des roches de la croûte océanique depuis leur mise en place à la dorsale jusqu'à leur engagement dans une subduction. La composition minéralogique des différentes roches est indiquée, ainsi que la formule chimique des minéraux. La présence de radicaux hydroxylés (-OH) dans les minéraux d'une roche témoigne de son hydratation (présence d'eau).