

TP. 4 - Épaississement de la croûte continentale au niveau d'une subduction

➤ Problématique à résoudre

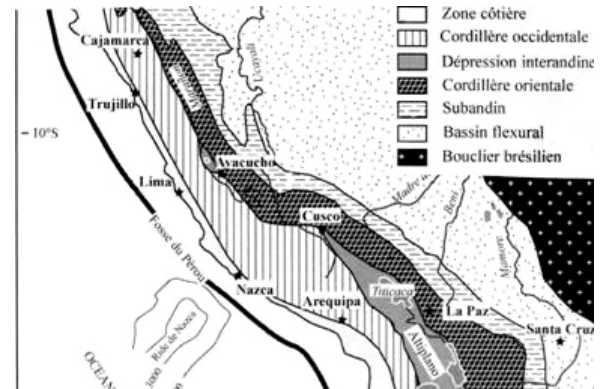
➤➤ Après avoir nommé et décrit les roches de la croûte continentale produites lors d'une subduction, résumer les caractéristiques et les conditions de leur production.

➤➤ Décrire les facteurs qui expliquent l'épaississement de la croûte continentale au niveau d'une subduction.

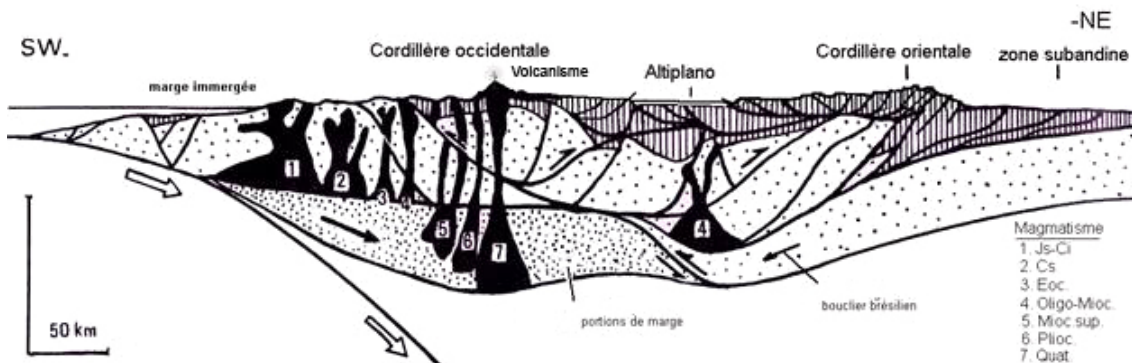
Les questions situées dans les documents constituent une aide à l'exploitation.

➤ Modèle de référence Coupe des Andes au Sud du Pérou

Ci-contre une carte simplifiée



Ci-dessous une coupe réalisée au Sud de la carte



A. Les roches magmatiques cristallisées en surface

1. La mise en place de ces roches

➤➤ Situer ces volcans par rapport aux limites de plaques.

Le Mont St-Helens est à la limite entre la plaque d'Amérique du Nord et la plaque Pacifique.

Le Pinatubo est à la limite entre les plaques Philippines et Asie et la plaque Pacifique.

Le Krakatau est à la limite entre la plaque Indo - Australienne et la plaque Pacifique.

➤➤ Comparer le volcanisme de dorsale (étudié en 1^{ère} S) au type de volcanisme observé.

Le volcanisme de dorsale est non explosif, présente peu de relief (les cônes volcaniques sont hauts de quelques centaines de mètres), un basalte fluide et sombre forme des pillow-lavas et des coulées. Le volcanisme de subduction présente des reliefs élevés pentus avec des dômes, les laves sont explosives (cendres), de couleur gris clair.

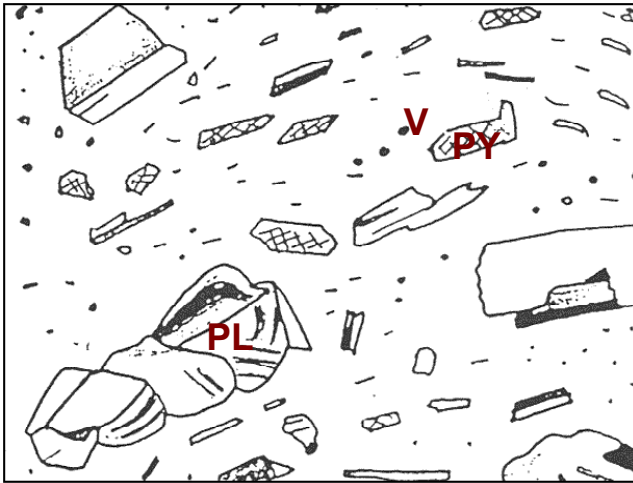
➤➤ Dégager les conditions de mise en place des laves étudiées.

Les laves étudiées lors de la séance de T.P. sont des laves émises dans les zones de subduction (convergence), lorsqu'une plaque océanique plonge dans le manteau.

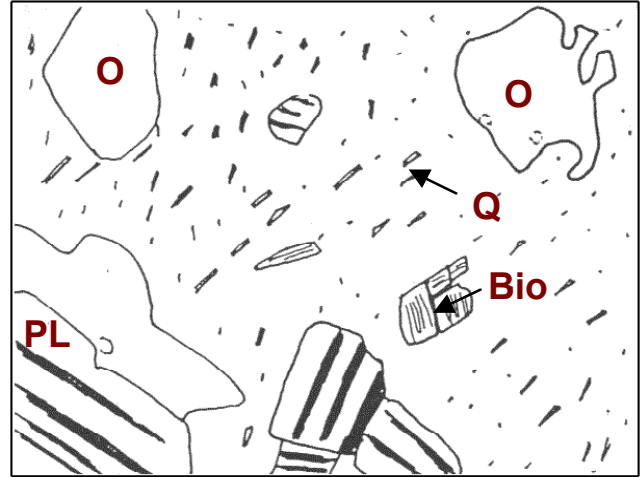
2. Les roches engendrées par les volcans des zones de subduction : l'andésite (toujours présente) et la rhyolite (souvent présente) comparées au basalte

» Légender les schémas ci-dessous à l'aide de symboles et compléter si nécessaire l'aspect général.

• A = amphibole • Bio = biotite • O = orthose • Pl = plagioclase • Py = pyroxène • Q = quartz • V = verre



Lame mince d'andésite



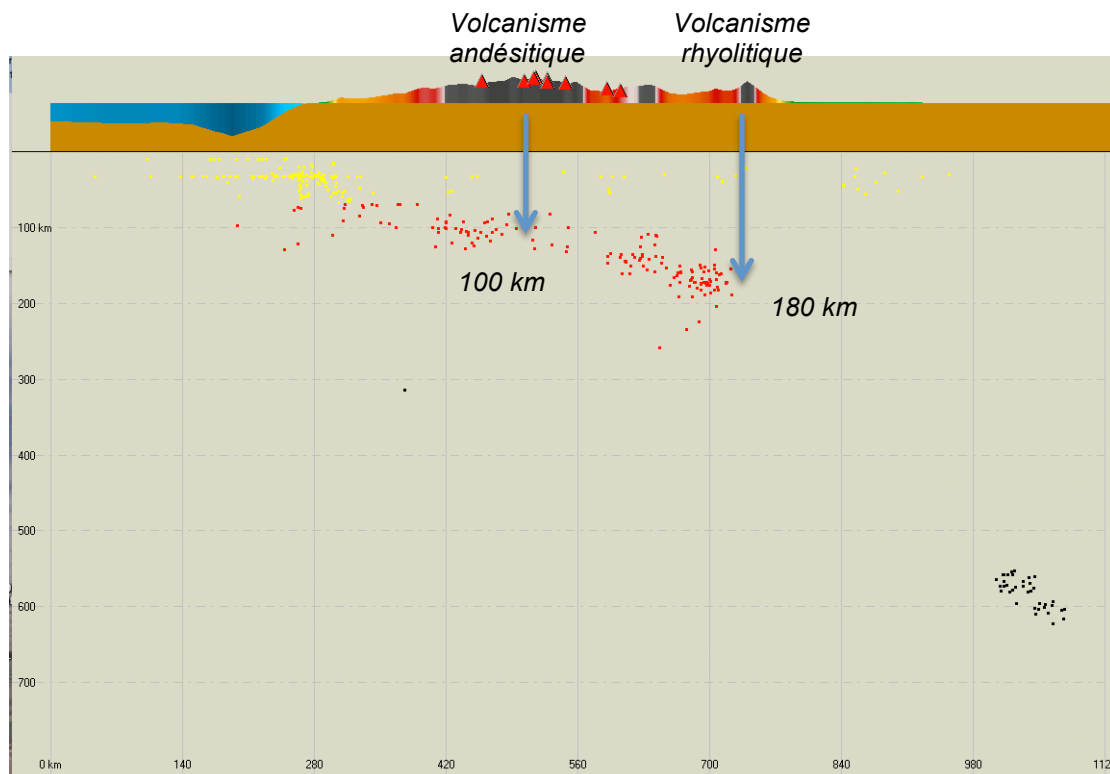
Lame mince de rhyolite

» Comparer, entre elles puis avec le basalte, les compositions minéralogiques et chimiques de ces roches (Sur le site SVT, le document Minéralogie et chimie des roches magmatiques).

Les andésites et les rhyolites sont riches en silice (particulièrement les rhyolites) et en eau. Elles sont appauvries en fer, comparées au basalte.

Les rhyolites sont appauvries en CaO et MgO par rapport aux andésites et basaltes.

3. Situer le volcanisme par rapport à la croute océanique en subduction



Le volcanisme andésitique apparaît lorsque la plaque océanique plongeante se situe environ à 100 km de profondeur ce qui explique aussi la distance entre la chaîne volcanique et la fosse (cette distance est fonction du pendage du plan de Bénéioff).

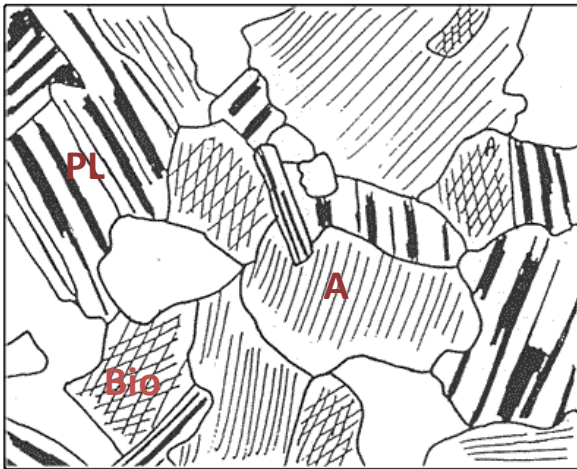
Le volcanisme rhyolitique est plus éloigné et correspond à une profondeur de la plaque océanique plongeante d'environ 180 km.

B. Les roches magmatiques cristallisées en profondeur

Les granodiorites et des diorites affleurent dans les Andes (carte ci-dessous).

►► Trouver un témoin montrant que ces massifs rocheux ont été mis en place lors de la subduction en cours.

Les massifs (épaississement de la croûte continentale) et les phénomènes tectoniques caractéristiques d'une convergence (plis, failles inverses et chevauchements) sont parallèles à la fosse, parallèles à la limite de plaques et parallèles à l'arc volcanique.

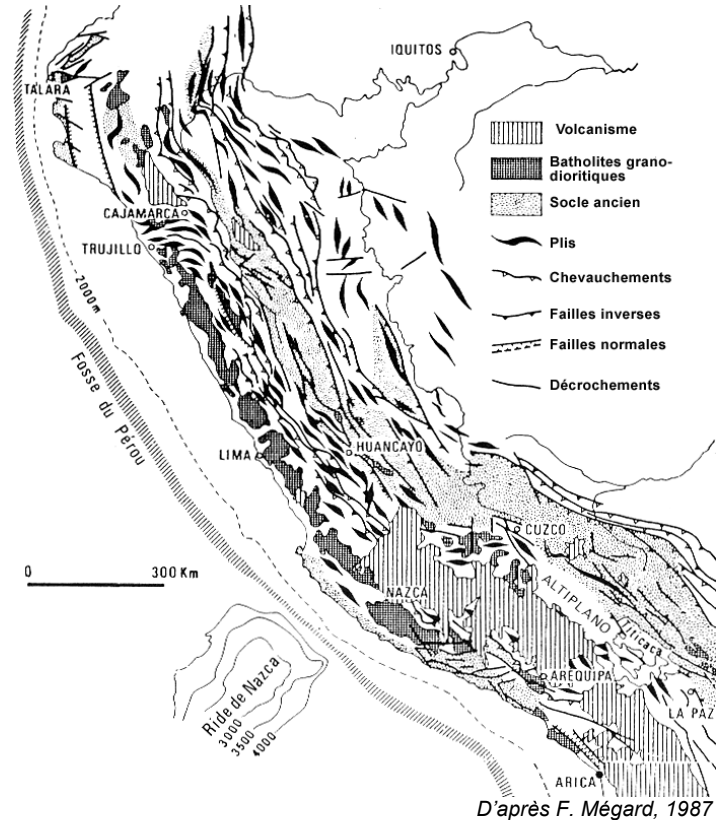
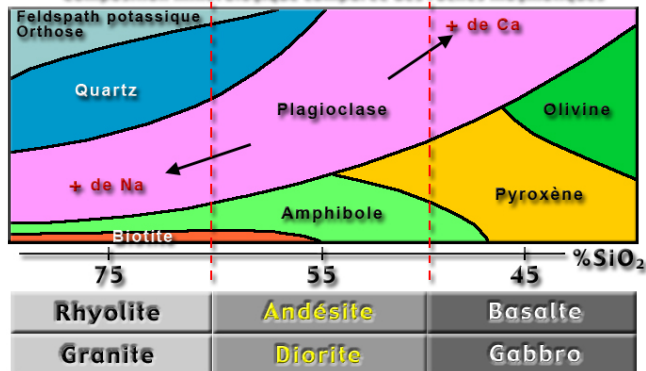


Lame mince de granodiorite

Symboles

• A = amphibole • Bio = biotite • O = orthose • PI = plagioclase • Py = pyroxène • Q = quartz • V = verre

Composition minéralogique comparée des roches magmatiques



D'après F. Mégard, 1987

Les granodiorites sont des roches entièrement cristallisées, lors d'un refroidissement suffisamment lent du pluton.

Les granodiorites diffèrent des granites par :

- Leur pauvreté en quartz et orthose
- Leur richesse en plagioclases, en biotite, en amphiboles (marqueurs d'une richesse en eau et ferromagnésiens).

C. Expliquer la différence qui existe entre les magmas

►► Comparer les 2 roches obtenues.

	Andésite	Rhyolite
T°C de solidification	736 °C	638 °C
Cristaux (taille)	Microlites	Microlites
Présence de verre (%)	50 %	52 %
Composition minéralogique	Amphiboles (7%) - Biotite (Mica noir - 13%) - Quartz (15%) - Orthose (8%) - Plagioclases (57%) → Série calco-alkaline	Muscovite (Mica blanc - 3%) - Biotite (4%) - Quartz (34%) - Orthose (21%) - Plagioclases (38%)

Les roches volcaniques et plutoniques proviennent d'un même magma, mais diffèrent par leur mode de consolidation. Le magma des roches plutoniques (diorites et granodiorites) n'ayant pas atteint la surface de la croûte a refroidi à l'intérieur de la croûte et a entièrement cristallisé.

Les roches volcaniques ne sont que partiellement cristallisées, elles atteignent une chambre de surface où les magmas subissent une différenciation en fonction du temps de séjour dans la chambre. Les magmas andésitiques (andésites et diorites) ont une température de solidification de 736°C alors que les rhyolites (et les granites) solidifient à 638°C. Ils diffèrent par la richesse en silice, en minéraux alcalins et en ferromagnésiens.

D. Quel est le rôle de l'eau sur la composition de la roche

► Sous forme d'un tableau, comparer les 2 roches et décrire ce qui est observé.

	Andésite en présence d'eau	Andésite en absence d'eau
T°C de solidification	896 °C	908 °C
Cristaux (taille)	Phénocristaux	Phénocristaux
Présence de verre (%)	0 %	0 %
Composition minéralogique	Amphiboles (7%) - Biotite (13%) - Quartz (15%) - Orthose (8%) - Plagioclases (57%)	Pyroxènes (17%) - Quartz (10%) - Orthose (15%) - Plagioclases (58%)

► En déduire les effets de l'eau sur la composition minérale de la roche.

La présence d'eau dans le magma diminue la température de solidification et favorise la formation d'amphiboles et de biotite aux dépens du pyroxène.

E. Quel est le rôle de l'eau lors de la formation des magmas des zones de subduction ?

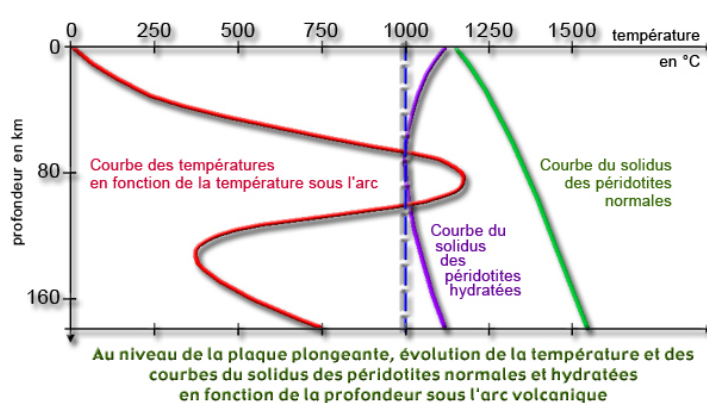
Vitesse de refroidissement 1	Magma andésitique		Magma rhyolitique	
T°C à partir de laquelle on n'obtient plus de magma	Avec 1,1% d'eau	Sans eau	Avec 1,9% d'eau	Sans eau
	740 °C	895 °C	658 °C	835 °C

► Les résultats obtenus avec le magma andésitique sont-ils cohérents avec les résultats obtenus avec le magma rhyolitique ?

Ces résultats obtenus avec le magma rhyolitique sont cohérents avec ceux que nous avons obtenus pour un magma andésitique. La présence d'eau dans un magma diminue sa température de solidification et ce quel que soit le magma.

► Conclure en résumant les conditions de formation des deux types de magma étudiés.

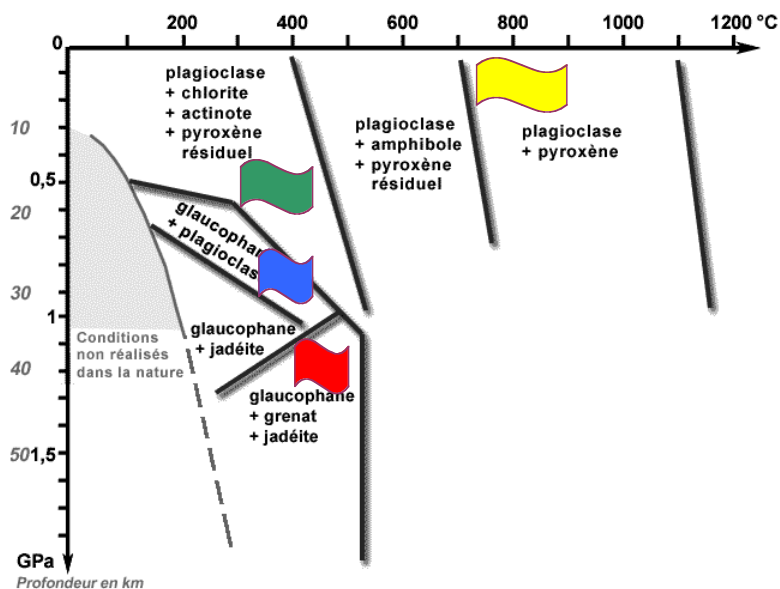
La présence d'eau favorise la formation de magmas à des températures inférieures à celles qui existent normalement (par exemple plus de 1250°C au niveau des dorsales). La présence d'eau permet donc à des magmas de se former dans les zones de subductions caractérisées par une anomalie thermique négative liée à la plongée d'une lithosphère océanique froide et par des forces convergentes augmentant la pression. On note que les magmas rhyolitiques nécessitent pour se former une température inférieure à celle des magmas andésitiques.



F. D'où vient l'eau contenue dans les roches magmatiques des zones de subduction ?

Nous avons vu que les magmas de subduction nécessitent un apport d'eau qui permet la formation de magmas dans des conditions de température inférieure à la normale.

L'eau nécessaire à la formation d'un magma entre 70 et 100 km provient en grande partie de la déshydratation des amphiboles (hornblende) chloritisées au moment du début de la subduction (faciès des schistes verts). Elles se transforment en glaucophane (faciès des schistes bleus) puis grenat (faciès des éclogites). Les amphiboles (hornblende) quant à elles résultent de l'hydratation des pyroxènes des gabbros de la dorsale, lorsque la croûte océanique se refroidit et s'hydrate en s'éloignant de la dorsale. (TP précédent)



La présence d'eau s'explique aussi par la présence de sédiments océaniques très compactés solidaires de la croûte océanique qui partent avec elle dans la subduction et se déshydratent en profondeur, alors que les sédiments moins compactés qui forment la plus grande épaisseur sont « raclés » dans la fosse par la croûte continentale et sont retenus sous forme de prisme d'accrétion.

Le profil de sismique réflexion ci-dessous, réalisé à proximité de l'entrée en subduction montre un réflecteur S (surface des pillow-lavas et un réflecteur ZD (zone de décollement au sein des sédiments de la fosse). Les sédiments contenus entre S et ZD sont solidaires de la croûte océanique et partent en subduction avec celle-ci. Au-dessus du réflecteur ZD, on peut mettre en évidence les failles inverses de compression des sédiments du prisme d'accrétion.

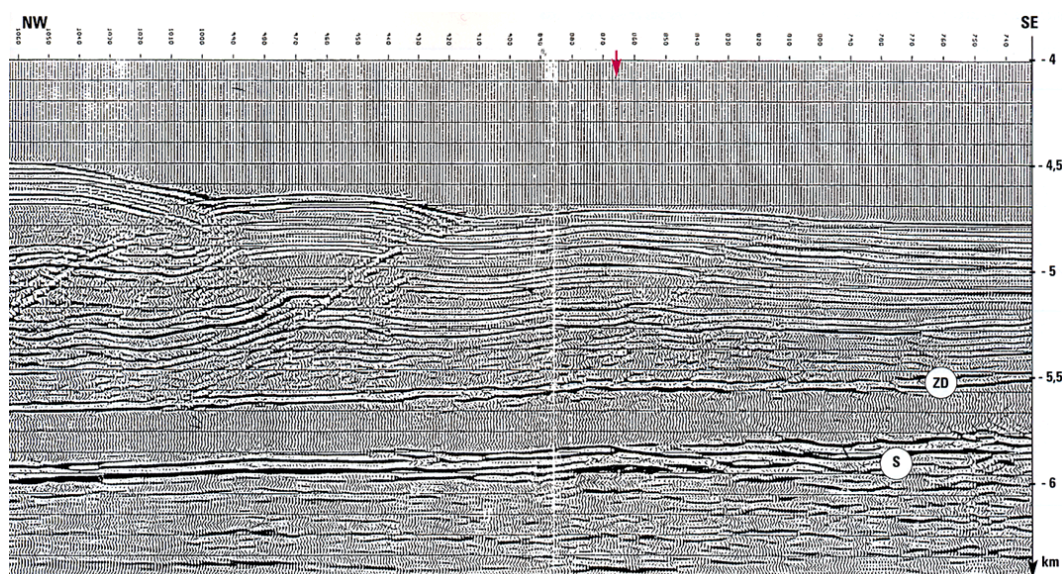
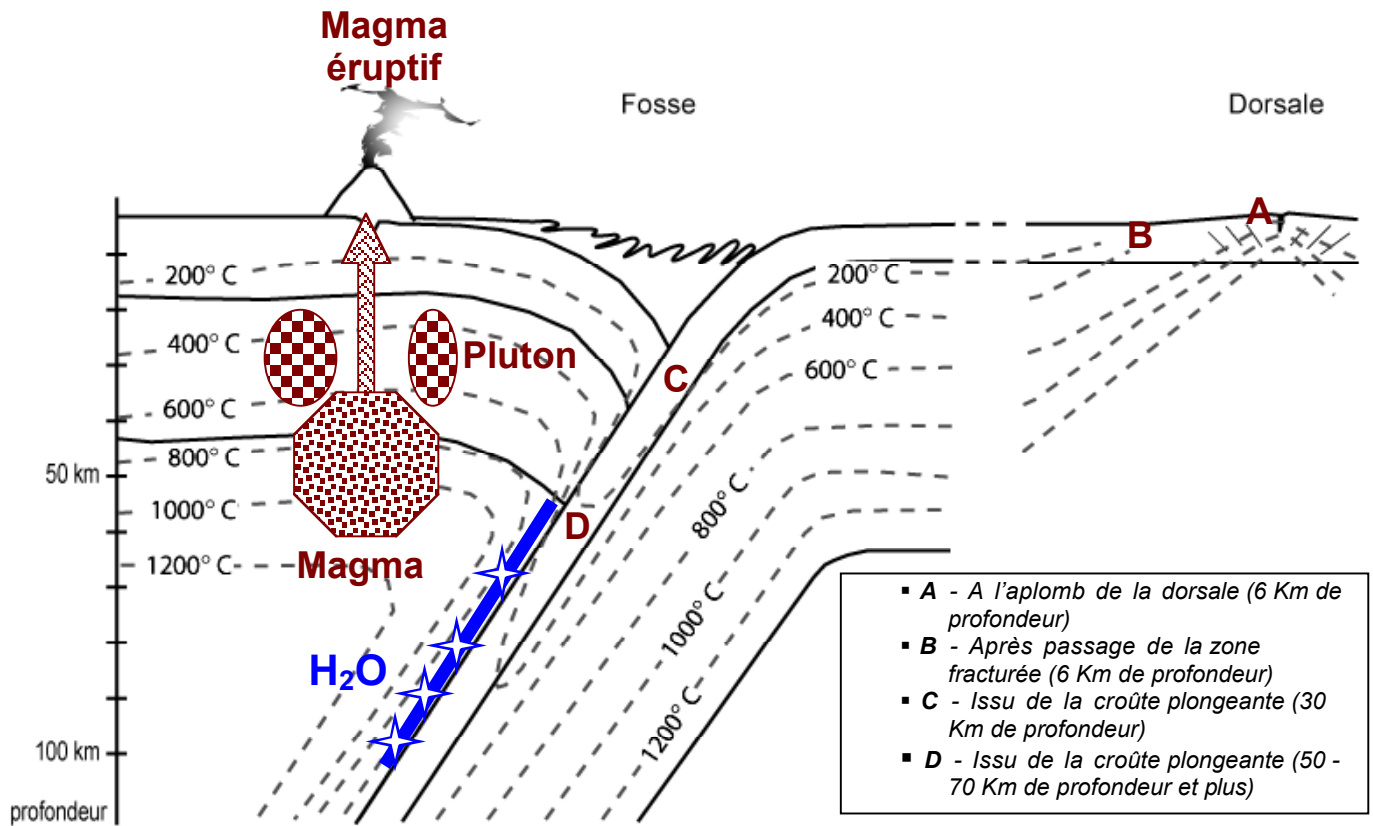


Schéma bilan



G. Quelles sont les roches susceptibles de fondre partiellement pour engendrer les magmas des zones de subduction ?

➤ *Un problème se pose sur l'origine du magma.*

Hypothèse à discuter

- Hypothèse 1 - C'est la croûte océanique qui fond partiellement
- Hypothèse 2 - C'est la croûte continentale qui fond partiellement
- Hypothèse 3 - C'est la péridotite qui fond partiellement

❏ *Rappeler la localisation des édifices volcaniques d'une zone de subduction (fiche TP 1).*

Ils se situent entre 100 et 200 km de la fosse au-dessus de la zone de subduction.

❏ *Quelle est la profondeur des séismes à cet endroit ?*

La profondeur des séismes se situe entre 100 et 180 km.

❏ *Quelles sont les roches qui peuvent fondre à cet endroit pour engendrer l'andésite ou la rhyolite ?*

Les premiers minéraux à cristalliser sont l'Olivine, les Pyroxènes et les Amphiboles. Ils sont pauvres en silice et riches en ferromagnésiens. Les Plagioclases cristallisent en même temps.

Le magma (phase restée visqueuse) s'enrichit alors en silice et devient plus acide. Se forment alors la Biotite, le Quartz, l'Orthose et la Muscovite.

Si le magma est peu profond, Amphiboles et Biotite se décomposent en libérant de l'eau ce qui donne un caractère explosif au magma.

- Hypothèse 1 - C'est la croûte océanique qui fond partiellement

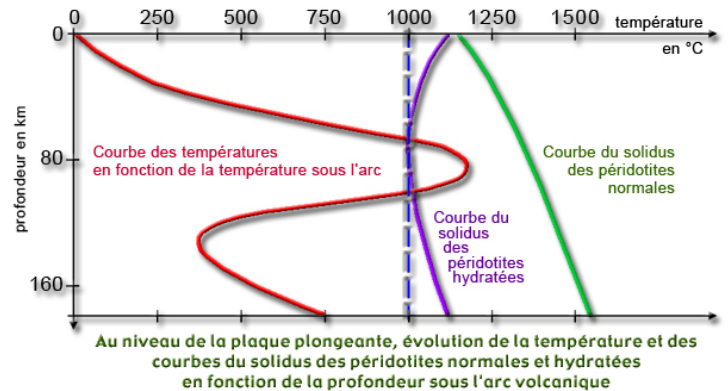
La fusion de la croûte océanique est trop appauvrie en silice et trop riche en ferromagnésiens. Cette hypothèse est peu probable.

- Hypothèse 2 - C'est la croûte continentale qui fond partiellement

La fusion de la croûte continentale permettrait d'expliquer l'enrichissement en silice (la lithosphère continentale étant riche en granite).

- Hypothèse 3 - C'est la péridotite qui fond partiellement

La péridotite est assez pauvre en silice, très riche en ferromagnésiens et pauvres en alumine, sodium, potassium. Cela la différencie de manière importante des magmas de subduction. Cette hypothèse au premier abord pourrait sembler moins probable, mais à 100 km de profondeur au dessus de la croûte océanique plongeante, se situe un coin de manteau à 1000°C et l'eau émise par la croûte océanique ne peut qu'hydrater ce coin de manteau. À 1000°C la température des péridotites serait insuffisante pour commencer la production de magma : la présence d'eau abaisse le point de fusion et permet la production de magma. Lorsque ce magma atteint la base de la lithosphère continentale, il assimile les roches environnantes d'origine granitique par fusion et modifie sa composition chimique.



» L'hypothèse retenue peut-elle fonctionner pour produire de l'andésite et de la rhyolite ? Justifier.

Rhyolites et Andésites diffèrent par un enrichissement en silice et un appauvrissement en ferromagnésiens. Sans doute, deux hypothèses peuvent être privilégiées pour différencier des deux types de production magmatique. La présence de volcanismes andésitiques et rhyolitiques dans les arcs insulaires (c'est-à-dire lorsque deux plaques océaniques sont confrontées) laisse à penser que l'hypothèse de la fusion de la croûte continentale n'est pas suffisante. Il faut alors envisager un enrichissement en silice d'un magma d'origine mantellique : ce qui peut s'expliquer par le fait qu'à la température de fusion des magmas rhyolitiques seuls les constituants siliceux entrent en fusion.

» Sachant que les édifices volcaniques rhyolitiques sont plus éloignés de la fosse que les édifices andésitiques, proposer une hypothèse expliquant la différence des magmas andésitiques et rhyolitiques.

Les andésites proviennent d'un magma résultant de l'hydratation du manteau supérieur alors que le magma rhyolitique se forme à partir de péridotites plus profondes (180 km) et s'enrichit en silice par digestion de la croûte continentale granitique.

H. Bilan

» Récapituler sous forme d'un plan, les phénomènes qui engendrent les magmas des zones de subduction.

- *La croûte océanique nouvellement formée se refroidit et s'hydrate, les pyroxènes se transforment en amphiboles.*
- *L'éloignement et l'hydratation conduit au faciès des schistes verts (les amphiboles et les plagioclases hydratés et refroidis se transforment en chlorite et actinote).*
- *La croûte entre en subduction, les minéraux débutent une déshydratation sous l'action de la pression, avec formation de glaucophane à partir de la chlorite (faciès des schistes bleus). Les plagioclases disparaissent.*
- *Toujours dans des conditions de basse température mais avec la pression qui augmente du fait de l'enfoncement de la lithosphère océanique, la déshydratation s'accroît, les grenats et la jadéite apparaissent accompagnés de restes de glaucophane (faciès des éclogites).*
- *L'eau libérée franchit le plan de Bénioff pour remonter dans le manteau supérieur continental. Celui-ci en présence d'eau voit son solidus diminuer ce qui permet l'apparition de gouttelettes de magma qui migrent vers le haut, se rejoignent pour former des chambres magmatiques à la limite de la croûte continentale. Cette création de magmas constitue un apport de matériaux constituant les reliefs (anomalie de relief positive des zones de subduction).*
 - *Si le magma reste bloqué dans la croûte continentale et ne peut migrer jusqu'à la surface, il cristallise et donne des plutons de granodiorites et diorites.*
 - *Si le magma migre à travers la croûte continentale, il donnera des laves explosives, andésitiques lorsqu'il est peu contaminé, rhyolitiques lorsqu'il est contaminé par la croûte continentale et qu'il s'enrichit en silice.*