

# Le magmatisme de subduction

## Quelles sont les roches engendrées par le magmatisme de la zone de subduction ?

Terminale S - Subduction - TP 2

**CORRIGÉ**

### I. Les roches magmatiques des régions de subduction

#### A. Les roches magmatiques cristallisées en surface

##### 1. La mise en place de ces roches

Observer sur le CD Volcans en naviguant depuis le planisphère du sommaire la séquence du Mont Saint Helens (côte Ouest de l'Amérique du Nord) et la séquence sur le Pinatubo (Philippines) ou celle de Krakatau (Java, Arc volcanique de la Sonde). On peut y ajouter pour rappel la séquence « Volcanisme sous-marins ».

» 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<sup>ère</sup> 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.*

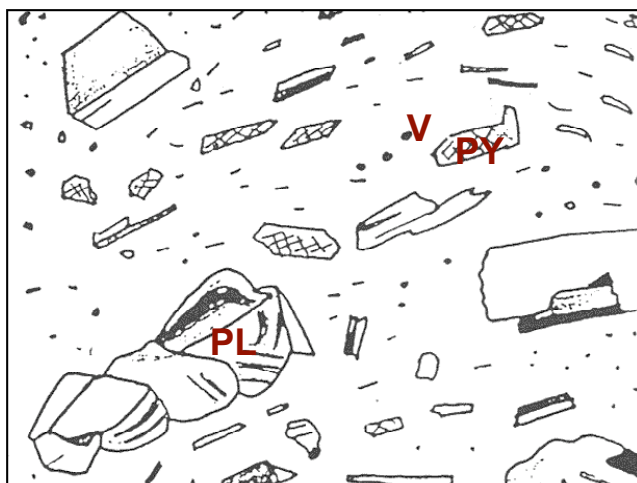
##### 2. Les roches engendrées par les volcans des zones de subduction : l'andésite (toujours présente) et la rhyolite (souvent présente)

Observer à l'œil nu les échantillons afin d'identifier leur aspect général.

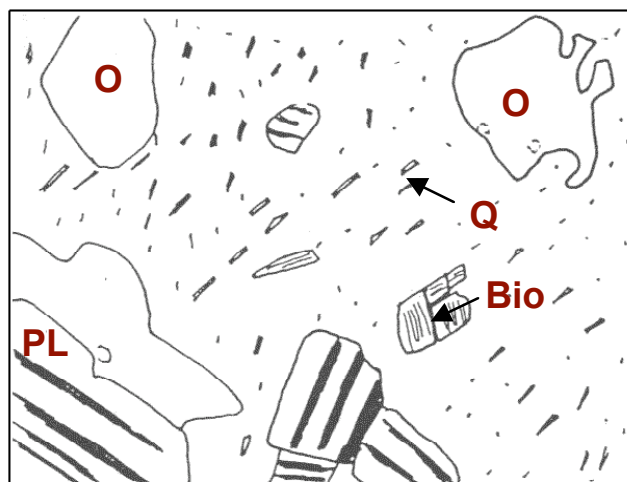
Identifier au microscope polarisant les minéraux qui les compose en vous aidant du logiciel des minéraux des roches ou des planches en couleur selon votre choix.

» Légènder 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 de ces deux roches en vous aidant du tableau de la composition chimique des minéraux (doc. 6, p. 331).

*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.*

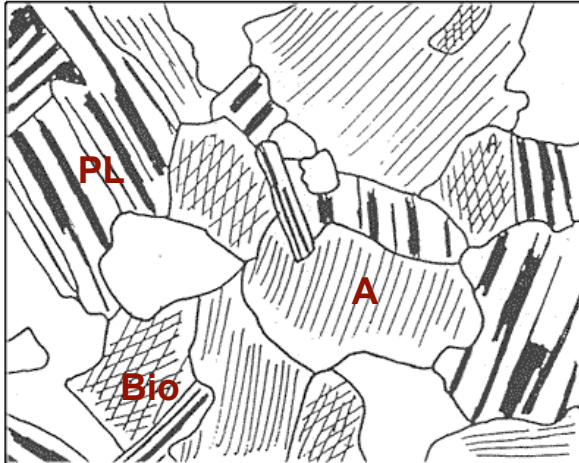
## B. Les roches magmatiques cristallisées en profondeur

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.*

Observer la photographie d'un échantillon de granodiorite et d'une lame mince en lumière polarisée et analysée (doc. 1 et 2, p. 330). Compléter le schéma de lame mince (*ci-dessous*) avec des légendes symboliques.



Lame mince de granodiorite

Symboles

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

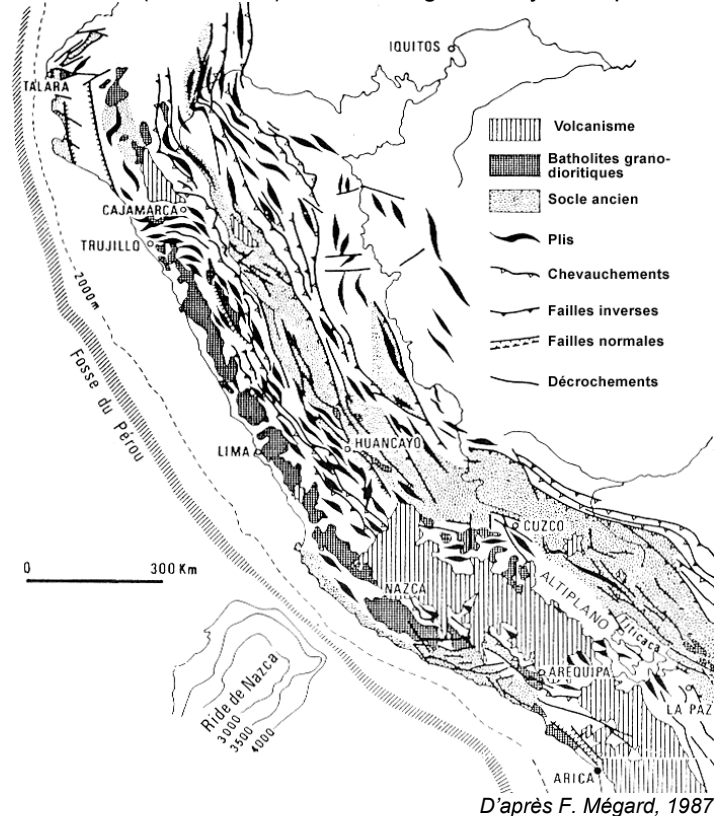
» À l'aide de vos observations et de vos connaissances de l'an passé expliquer pourquoi on peut conclure à la formation de ces massifs rocheux en profondeur ?

» À l'aide des documents 4 et 5, p. 331, indiquer ce qui différencie les granodiorites des granites.

*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).



D'après F. Mégard, 1987

## C. Expliquer la différence qui existe entre les magmas

Pour résoudre ce problème on utilise un logiciel de modélisation numérique « MAGMA » sous Dos.

- **Exécuter** : C:\MAGMA\MAGMA.EXE

1 - **Entrer** la composition d'un magma andésitique, puis les paramètres température : 950°C, vitesse : 6.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeMgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
59.9%	17.1%	6.3%	5.7%	4%	2.5%	1.1%

En allant à simulation, **afficher** la roche obtenue. - **Comparer** le résultat à celui de la lame mince. - En allant dans Chimie **repérer la composition des minéraux**. - Entrer cette roche en **mémoire 1**.

2 - **Entrer** la composition d'un magma rhyolitique, puis les paramètres température : 950°C, vitesse : 6.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeMgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O
73.3%	13.3%	1.4%	1.1%	3.7%	4.2%	1.9%

En allant à simulation, **afficher** la roche obtenue. - **Comparer** le résultat à celui de la lame mince. - En allant dans Chimie **repérer la composition des minéraux**. - Entrer cette roche en **mémoire 2**. - Aller à la fonction **Rappel pour afficher les deux roches**.

» Comparer les 2 roches obtenues.

	<b>Andésite</b>	<b>Rhyolite</b>
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%)

#### D. Bilan

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

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.

## II. Quel est le rôle de l'eau dans le magmatisme des zones de subduction ?

### A. 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.

	<b>Andésite en présence d'eau</b>	<b>Andésite en absence d'eau</b>
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.

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

**Abaisser** régulièrement la température du magma en saisissant les valeurs sans retour à la barre simulation (une alarme apparaît dans la fenêtre lorsque la température est trop basse pour permettre la formation d'un magma).

Vitesse de refroidissement 1	<b>Magma andésitique</b>		<b>Magma rhyolitique</b>	
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.

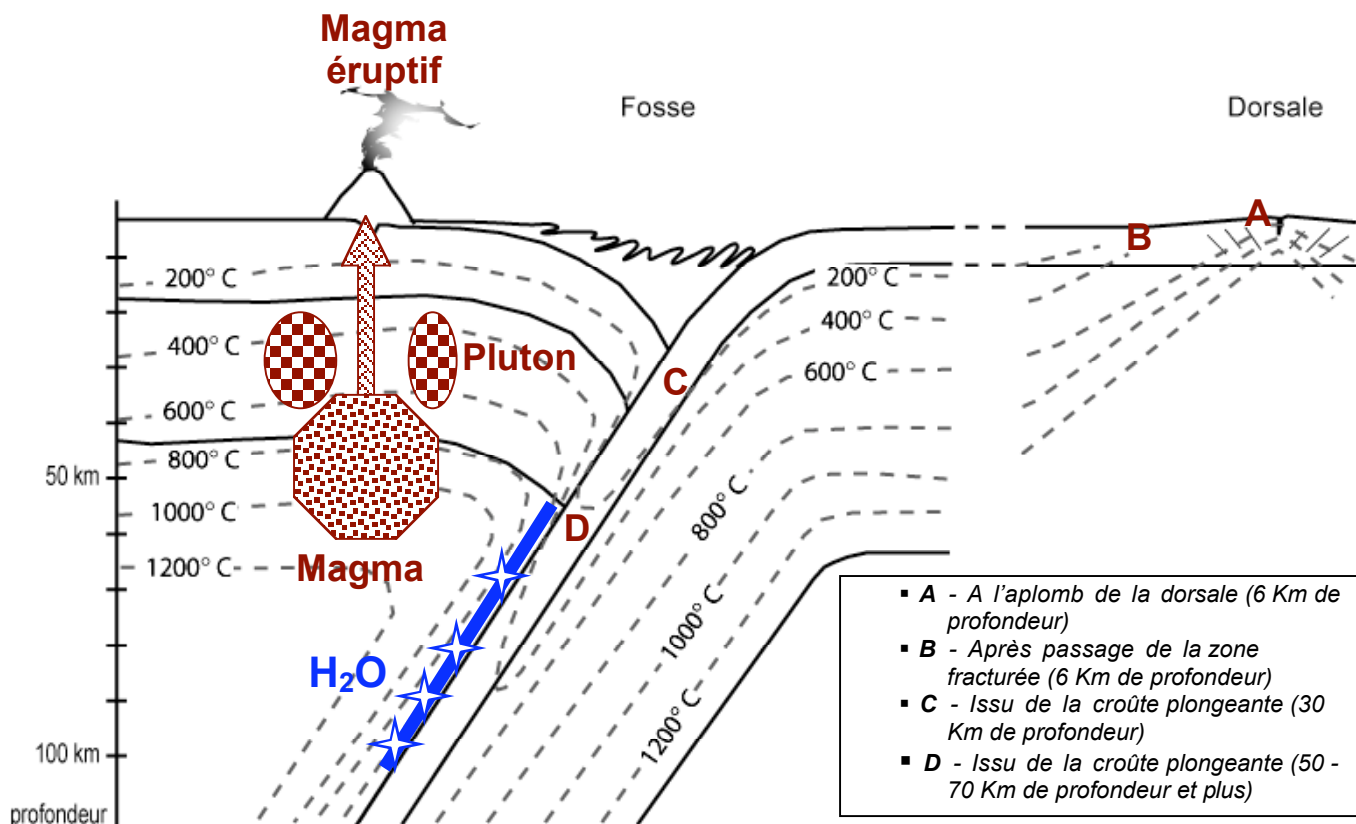
La présence d'eau favorise la formation de magmas à des températures inférieures à celles qui existent normalement (par exemple entre 1000 et 1100°C au niveau des dorsales). La présence d'eau permet donc à des magmas de se former dans les zones de subductions caractérisées par une anomalie thermique 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.



### III. Comment sont engendrés les magmas des zones de subduction ?

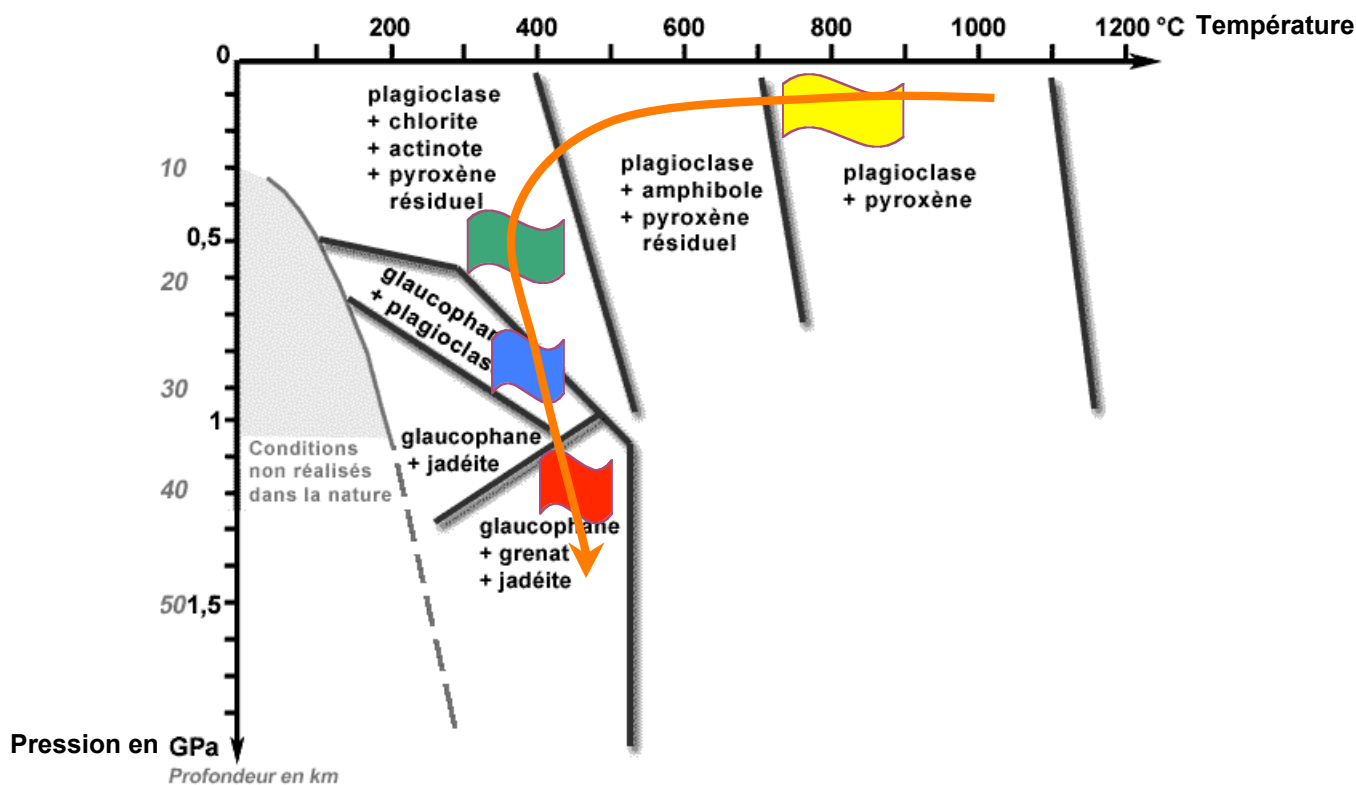
#### A. D'où vient l'eau contenue dans les roches magmatiques des zones de subduction ?

Matériel Jeulin « Evolution des gabbros A, C et D » et Pierron « Métagabbro B »



- A - A l'aplomb de la dorsale (6 Km de profondeur)
- B - Après passage de la zone fracturée (6 Km de profondeur)
- C - Issu de la croûte plongeante (30 Km de profondeur)
- D - Issu de la croûte plongeante (50 - 70 Km de profondeur et plus)

Niveau étudié	Gabbro A	Métagabbro B	Métagabbro C	Éclogite
Roche couleur déformation :	Roche plus ou moins sombre cristallisée. Les cristaux peuvent être disposés en lits.	Roche verte schisteuse et plissée	Roche bleutée schisteuse et plissée à gros cristaux bleu sombre	Roche sombre parfois marmorée par altération des minéraux
Minéraux. Légèrer les lames minces avec des symboles.				
Relation géométrique entre les minéraux des 4 échantillons observés - Variations observées.	<p>Dans les gabbros A, disposition aléatoire des plagioclases et pyroxènes.</p> <p>Dans les Métagabbros B (faciès des schistes verts), par hydratation, les pyroxènes sont entourés d'amphiboles ; de la chlorite se développe autour plagioclases et des amphiboles.</p> <p>Dans les Métagabbros C (faciès des schistes bleus), formation de cristaux de glaucophane à partir des amphiboles et pyroxènes. Les plagioclases ont disparu. Début de déshydratation Riche en composés ferromagnésiens du pyroxène.</p> <p>Dans les éclogites, par déshydratation, formation de cristaux de grenat et de jadéite.</p>			
Composition chimique	Pyroxène (Py) $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Si}_2\text{O}_6$	Hornblende verte (HV) $\text{Al}_3 \text{Si}_6 \text{O}_{22} (\text{OH})_2$	Glaucophane (GL) $\text{Na}_2(\text{MgFe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$	Grenat (Gr) $(\text{SiO}_4)_3 \text{Al}_2\text{O}_3$
Zone PT où ces minéraux sont observés	Colorier en jaune	Colorier en vert	Colorier en bleu	Colorier en rouge



►► Proposer une hypothèse permettant de répondre au problème posé.

*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 dans les conditions précitées semble provenir de la déshydratation des amphiboles lors de la subduction. Les amphiboles quant elles résultent de l'hydratation des pyroxènes contenus des gabbros, lorsque la croûte océanique se refroidit et s'hydrate en s'éloignant de la dorsale.*

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

►► 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 200 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.*

►► À l'aide de l'analyse du tableau, valider ou réfuter successivement les hypothèses proposées.

Oxydes %	Rhyolite	Andésite	Granite	Gabbro	Péridotite (olivine, pyroxène)
SiO <sub>2</sub>	73.3	59.9	72	49.8	44.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.3	17.1	14	13.7	1.8
Fe O	1.1	3	3	11.3	7.2
Mg O	0.3	3.25	1	10.2	42.8
CaO	1.1	5.7	2	9	1.6
Na <sub>2</sub> O	3.7	4	3	2.3	0.3
K <sub>2</sub> O	4.2	2.5	4	0.5	0.1
H <sub>2</sub> O	1.9	1.1	1.9	0	0

- 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 semble peu probable.*

» 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 cette température seuls les constituants siliceux du manteau 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 évolue par digestion de la croûte continentale granitique et ainsi s'enrichit en silice.*

### C. 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.*