

# QUELQUES ASPECTS DU MAGMATISME EN ZONES DE SUBDUCTION

Le sujet se compose de **3 parties**.

Les questions doivent être traitées **dans l'ordre**.

Vous devez **indiquer le numéro de chaque question** à laquelle vous répondez ainsi que **la référence du (des) document(s) utilisé(s)**.

**Toutes les réponses**, construites à partir des documents, doivent être **justifiées**.

**Les deux dernières pages (P. 18 et 19) comportent des documents à traiter** : elles sont **à compléter et à remettre avec votre copie**.

**PARTIE 1 - Formation des roches magmatiques des zones de subduction.**

L'analyse de certains radio-isotopes permet de déterminer le matériel qui donne naissance aux roches magmatiques par fusion partielle.

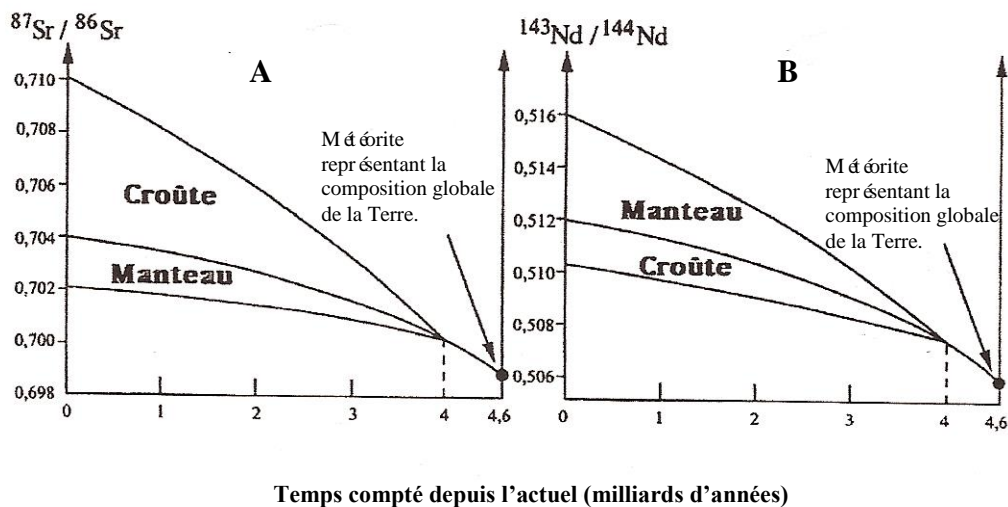
Le  $^{87}\text{Rb}$  (Rubidium) se désintègre en  $^{87}\text{Sr}$  au cours du temps.

Dans les deux premiers milliards d'années du globe terrestre, le  $^{87}\text{Rb}$ , qui a tendance à rester dans les phases liquides, s'est accumulé dans le magma à l'origine de la croûte.

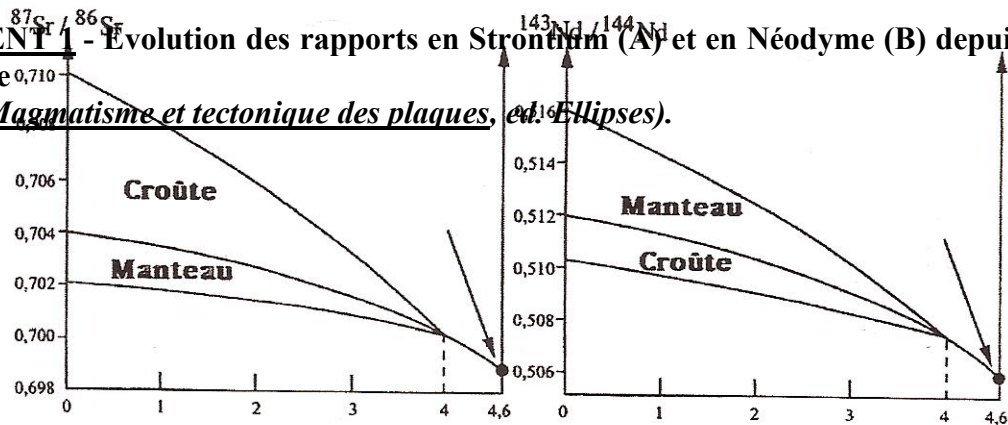
On étudie le rapport  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ( $^{86}\text{Sr}$  est un isotope stable qui ne provient pas de la désintégration d'un autre élément).

Le même type de raisonnement peut être effectué pour le  $^{147}\text{Sm}$  (Samarium) qui se désintègre en  $^{143}\text{Nd}$  (Néodyme). La différence est que le  $^{144}\text{Sm}$  passe difficilement dans les phases liquides. On étudie le rapport  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  (le  $^{144}\text{Nd}$  est un isotope stable qui ne provient pas de la désintégration d'un autre élément).

1°) Expliquez les valeurs des rapports en Sr dans la croûte, le manteau et les météorites de type chondrites. (Document 1A)



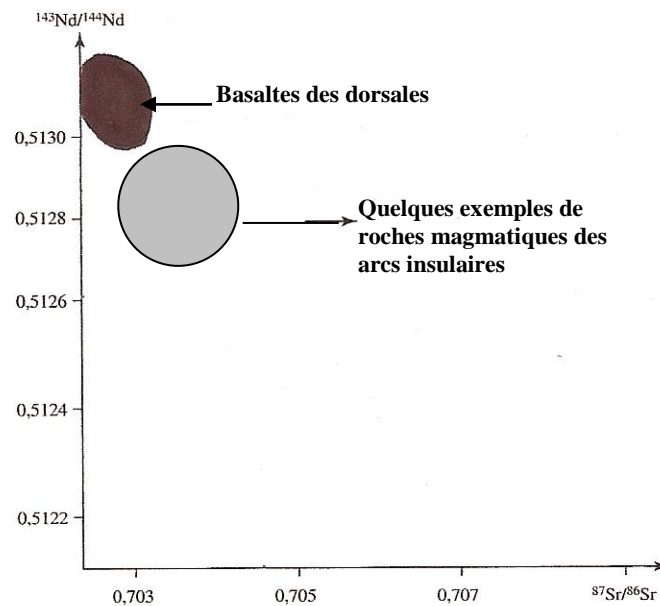
**DOCUMENT 1 - Evolution des rapports en Strontium (A) et en Néodyme (B) depuis la formation de la Terre (Mehier, *Magmatisme et tectonique des plaques*, ed. Ellipses).**



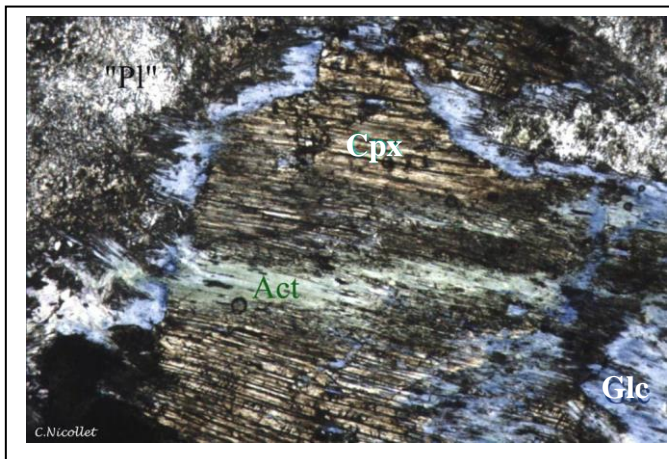
Le document 2 présente les rapports en Sr et Nd mesurés dans différentes roches magmatiques.

2°) *A l'aide du document 2, discutez de l'origine des roches magmatiques des arcs insulaires en contexte de subduction.*

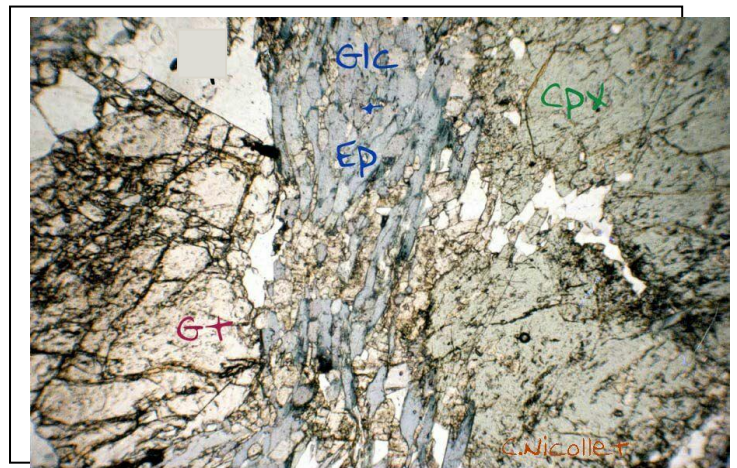
**DOCUMENT 2 - Rapports isotopiques en Sr et en Nd de différentes roches magmatiques.**  
 (D'après Caron et al., *Comprendre enseigner la planète Terre*, ed. Ophrys).



3°) *Exploitez et mettez en relation les documents 3 à 5 afin de préciser les mécanismes conduisant à la formation de magmas dans les zones de subduction.*



A



B

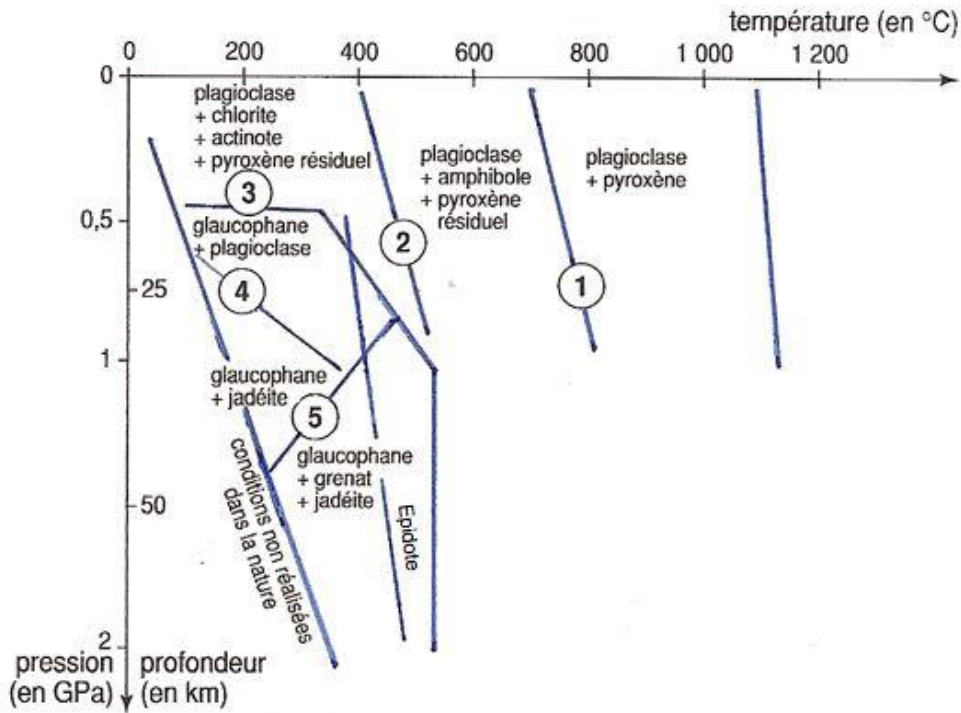
**DOCUMENT 3 - Lames minces de deux « gabbros » prélevés dans les Alpes et ayant subi des transformations minéralogiques au cours de leur histoire.**

Les deux lames sont observées en lumière polarisée non analysée. Légende :

**A** : Cpx : clinopyroxène ; Act : actinote ; Glc : glaucophane ; « Pl » : feldspath plagioclase altéré de type albite.

**B** : Cpx : clinopyroxène ; Glc : glaucophane ; Ep : epidote ; Gt : grenat.

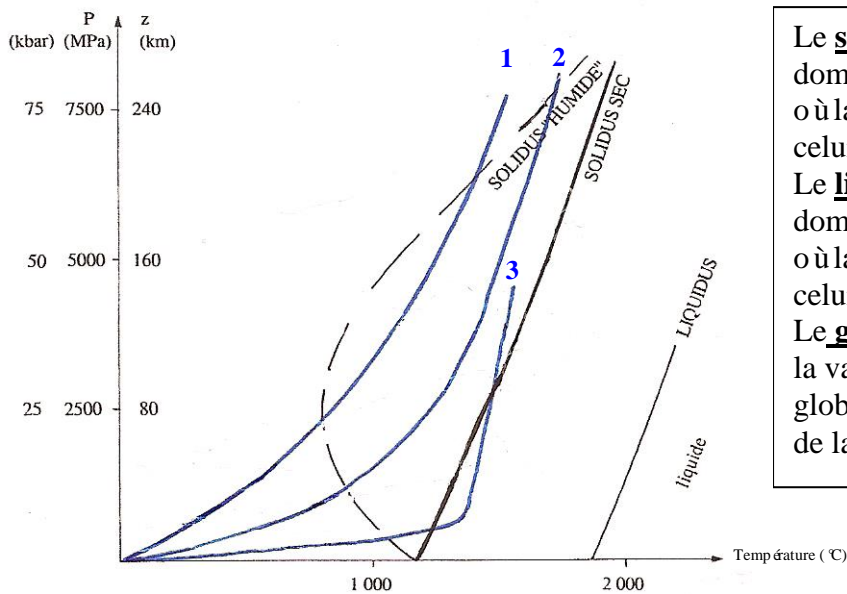
(<http://christian.nicollet.free.fr>).



**Quelques réactions du métamorphisme**

1. Plagioclase + Pyroxène + eau → Amphibole Hornblende verte
2. Plagioclase + Hornblende + eau → Chlorite + Actinote
3. Albite + Chlorite + Actinote → Amphibole Glaucophane + eau
4. Albite → Pyroxène Jadéite + Quartz
5. Albite + Glaucophane → Grenat Pyrope + Pyroxène + eau

**DOCUMENT 4 -** Diagramme pression-température présentant les domaines de stabilité de différents minéraux. (d'après SVT Terminale S, Bordas, 2002).



Le **solidus** est la courbe qui sépare le domaine de pression et de température où la roche est entièrement solide, de celui où elle est partiellement fondue. Le **liquidus** est la courbe qui sépare le domaine de pression et de température où la roche est partiellement fondue, de celui où elle est totalement liquide. Le **géotherme** est la courbe qui décrit la variation de la température dans le globe en fonction de la profondeur (ou de la pression).

**DOCUMENT 5 -** Diagramme Pression-Température sur lequel figurent : 1 : géotherme continental ; 2 : géotherme océanique ; 3 : géotherme au niveau des dorsales, solidus et liquidus de la péridotite. Solidus humide : solidus d'une péridotite hydratée ; solidus sec : solidus de la péridotite anhydre. (D'après Caron et Al. Comprendre et enseigner la planète Terre, ed Ophrys).

L'analyse de phénomènes magmatiques passe aussi par l'évaluation de taux de fusion partielle. La fusion partielle de la péridotite du manteau conduit à la formation d'un liquide magmatique et d'un résidu de fusion solide.

On note :

**M<sub>s</sub>** : masse de la péridotite source

**M<sub>m</sub>** : masse de magma obtenu

**M<sub>r</sub>** : masse du solide résiduel

**f** : taux de fusion

Soit un élément chimique donné présent dans la péridotite source.

On note :

**x** : pourcentage massique de l'élément chimique dans la péridotite source

**y** : pourcentage massique de l'élément chimique dans le magma obtenu

**z** : pourcentage massique de l'élément chimique dans le solide résiduel

- 4°) a) *Exprimez M<sub>m</sub> et M<sub>r</sub> en fonction de f et M<sub>s</sub> uniquement.*  
 b) *A l'aide des équations précédentes, exprimez f en fonction de x, y et z.*  
 c) *En utilisant les données numériques du document 6, évaluez le taux de fusion de la péridotite dans une zone de subduction. On simplifiera le calcul en considérant que le potassium passe entièrement dans la phase liquide.*

	<b>Péridotite hydratée</b>	<b>Basalte andésitique</b>
SiO <sub>2</sub>	44,77	47,98
TiO <sub>2</sub>	0,19	1,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,16	17,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	10,24	11,66
MgO	39,22	7,45
CaO	2,42	11,48
Na <sub>2</sub> O	0,54	2,48
K <sub>2</sub> O	0,06	0,89
H <sub>2</sub> O	5,23	0,30

**DOCUMENT 6 - Compositions chimiques moyennes en oxydes (pourcentages massiques)**  
 (D'après Bonin, *Pétrologie endogène*, ed. DUNOD).

- 5°) *A l'aide de vos connaissances et des documents précédents, construisez un schéma bilan expliquant la formation des roches magmatiques d'une marge continentale active et précisant les principales roches magmatiques produites.*  
(sur la légende, vous indiquerez quelles sont les informations que vous avez tirées des documents en précisant le numéro du document correspondant)

## PARTIE II - Les adakites, des roches magmatiques particulières de zones de subduction.

Les adakites sont des roches magmatiques volcaniques trouvées dans certains contextes de subduction. Elles tirent leur nom de l'île d'Adak, dans les Aléoutiennes où elles ont été décrites initialement. On étudie différents aspects de la composition chimique des adakites et des dacites. Les dacites sont des roches magmatiques volcaniques de la série calco-alcaline caractéristique des zones de subduction.

6°) À l'aide des documents 7 à 10, comparez la composition chimique des adakites et des dacites.

	Adakites	Dacites
<i>Eléments majeurs (en % massique)</i>		
SiO <sub>2</sub>	64,66	68,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,77	14,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,20	4,28
MgO	2,20	1,22
CaO	5,00	2,88
Na <sub>2</sub> O	4,09	4,15
K <sub>2</sub> O	1,72	3,37
TiO <sub>2</sub>	0,51	0,46
<i>Eléments traces sélectionnés (en ppm : parties par million)</i>		
La	19	48,1
Yb	0,93	4,4
Y	10	47

**DOCUMENT 7 - Comparaison des compositions chimiques des adakites (moyenne de 81 analyses) et des dacites (moyenne de 80 analyses).**

**Remarque : une ppm correspond à un rapport de 10<sup>-6</sup>, soit, par exemple, un milligramme par kilogramme**

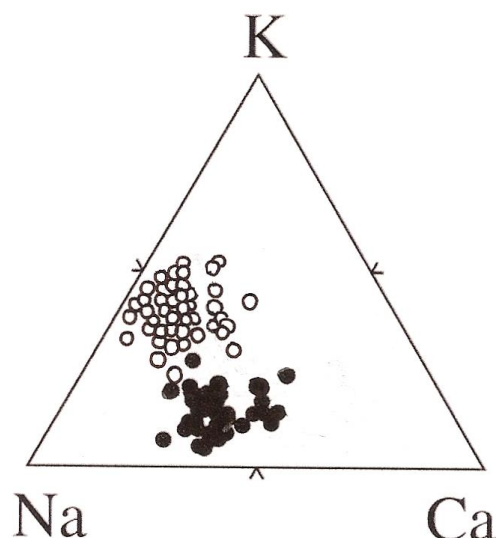
**(D'après Moyen, <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre>).**

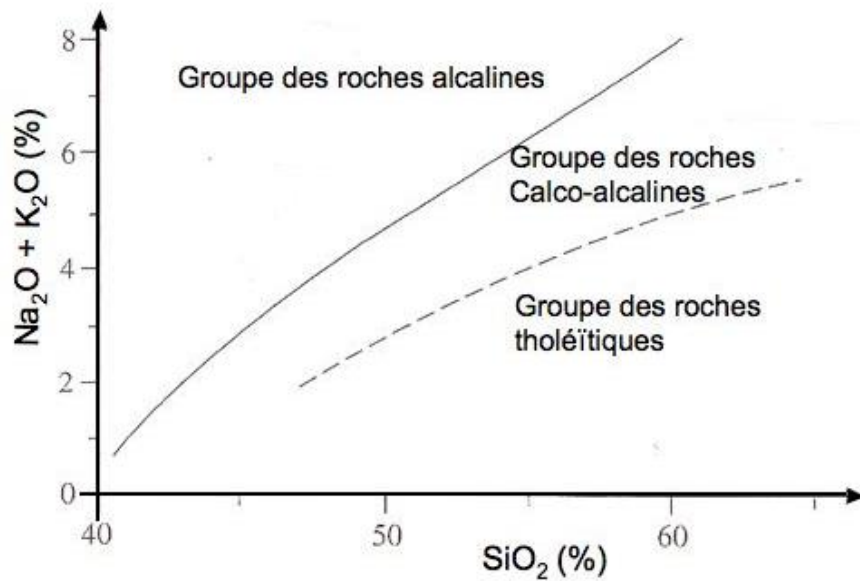
### **DOCUMENT 8 - Diagramme triangulaire K-Na-Ca**

Les sommets du triangle indiquent respectivement une proportion de 100% de K, 100% de Na et 100% de Ca.

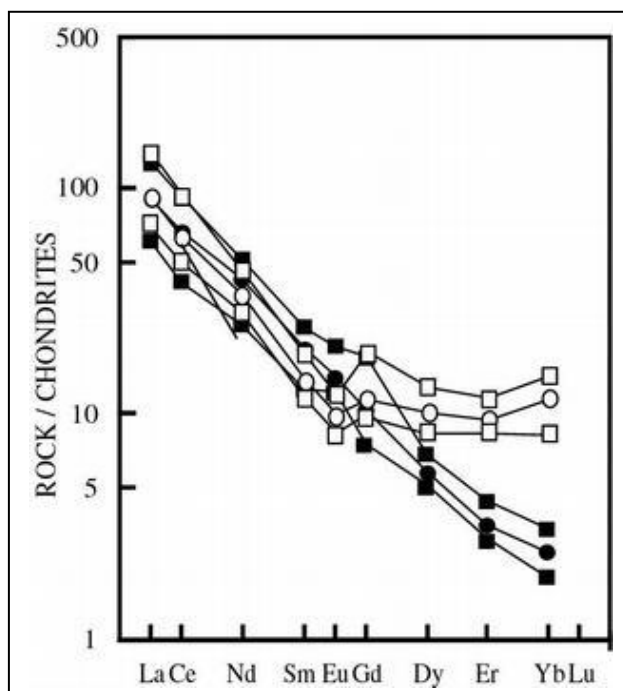
Chaque rond noir matérialise la composition en K-Na-Ca d'une adakite et les ronds blancs matérialisent la composition d'une dacite.

**(D'après Moyen, <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre>).**





**DOCUMENT 9** - Diagramme alcalins ( $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ ) en fonction de  $\text{SiO}_2$  (pourcentages massiques) mettant en évidence les trois grands groupes de roches magmatiques. (d'après Caron et al., *Comprendre et enseigner la planète Terre*, ed Ophrys).



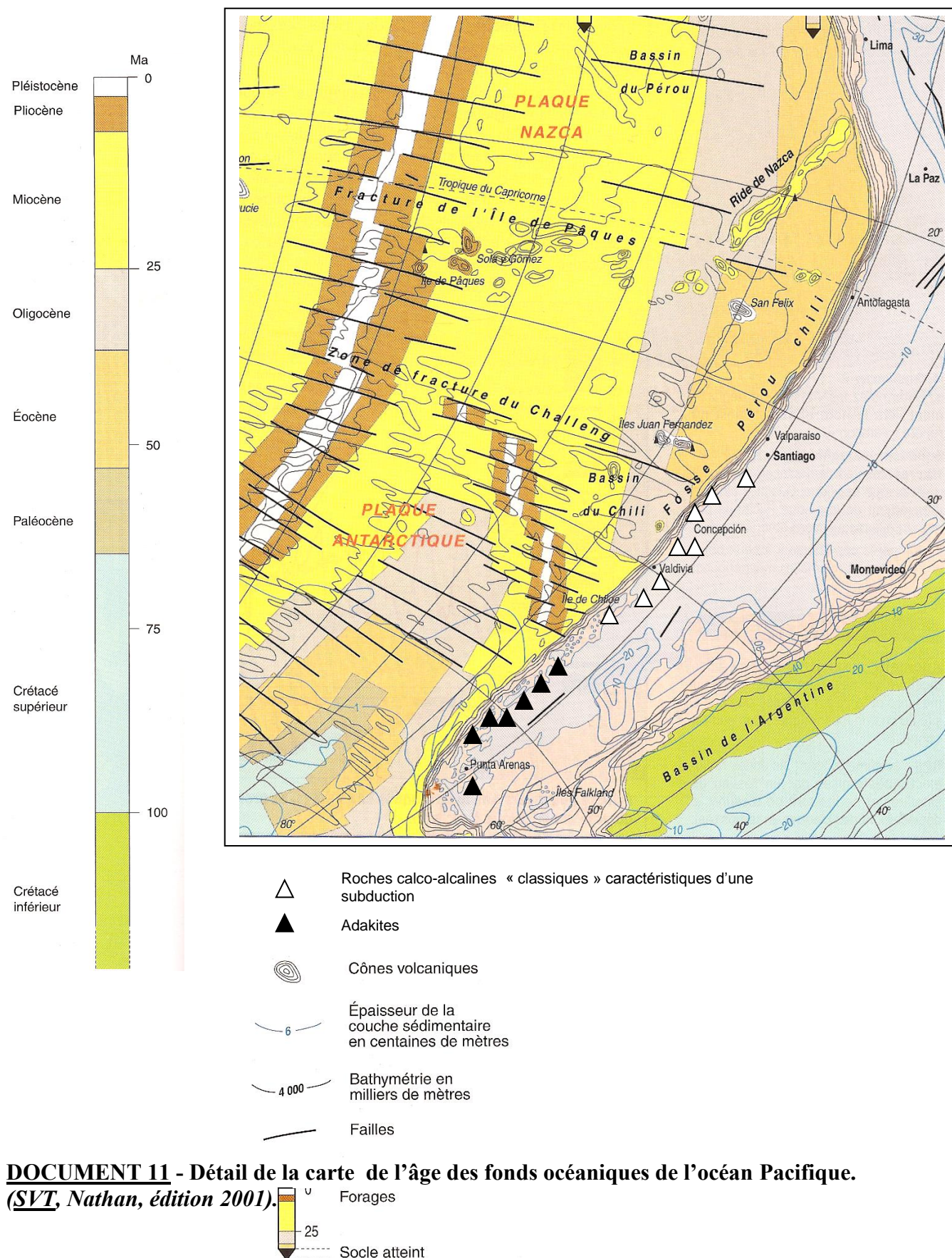
**DOCUMENT 10** - Comparaison des spectres de terres rares des adakites (ronds blancs) et des dacites (ronds noirs).

Le diagramme indique en abscisse les différentes terres rares (lanthanides), de la plus légère, le lanthane (La), à la plus lourde, le lutétium (Lu). En ordonnée, on représente (en échelle logarithmique) le rapport entre la teneur en l'élément considéré dans la roche et dans une référence (une météorite chondritique, en général) : on parle donc de teneur « normalisée ». La composition d'une roche en terres rares est donc représentée par une série de points (un par terre rare).

(Martin, *Lithos*, Vol 46-3, pp 411-429, 1999).

Des adakites sont observés dans la région du sud-Chili. Leur localisation est précisée sur le document 11.

7°) À partir du document 11, décrivez le contexte géodynamique de la région (plaques lithosphériques, nature des frontières de plaques et mouvements au niveau des frontières), en justifiant vos commentaires.

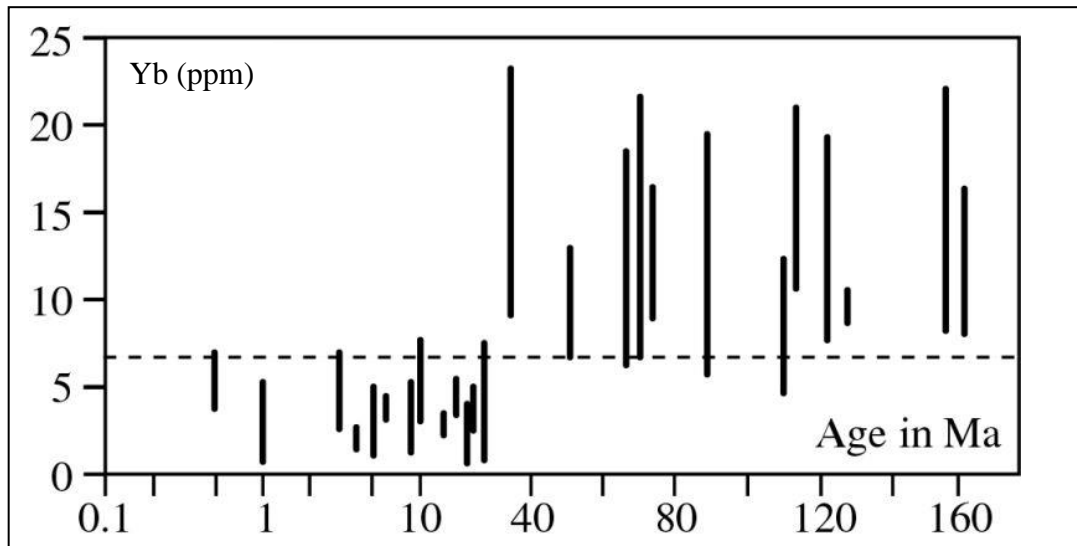




8°) À l'aide du document 11, commentez l'âge de la lithosphère océanique subduite le long de la côte Ouest de l'Amérique du sud. Emettez une hypothèse sur les conditions de formation des adakites.

Des études géochimiques ont permis de construire (pour l'ensemble des laves calco-alcalines « classiques » connues, comme pour les adakites) un diagramme figurant en abscisse l'âge de la croûte rentrant en subduction à l'aplomb du volcan étudié, et en ordonnée la teneur en élément trace, Yb (Document 12).

9°) À l'aide du document 12, tester l'hypothèse émise à la question précédente.



**DOCUMENT 12** - Graphique représentant la quantité de Yb en ppm (parties par million) en fonction de l'âge de la lithosphère océanique subduite. (Martin, *Lithos*, Vol 46-3, pp 411-429, 1999).

Dans la suite on cherche à déterminer le matériel qui, par fusion partielle, forme les adakites.

Pour chaque élément chimique constituant une roche, on peut définir un **coefficient de partage**. Le coefficient de partage est le rapport entre la concentration d'un élément chimique dans un minéral et dans le magma qui coexiste avec ce minéral.

10°) Précisez ce que signifie un coefficient de partage élevé.

Connaissant les coefficients de partage pour différents éléments chimiques, on peut calculer mathématiquement la composition d'un liquide formé à partir d'une roche de départ choisie, à un taux de fusion donné.

De tels calculs ont été effectués en considérant comme roche subissant une fusion partielle :

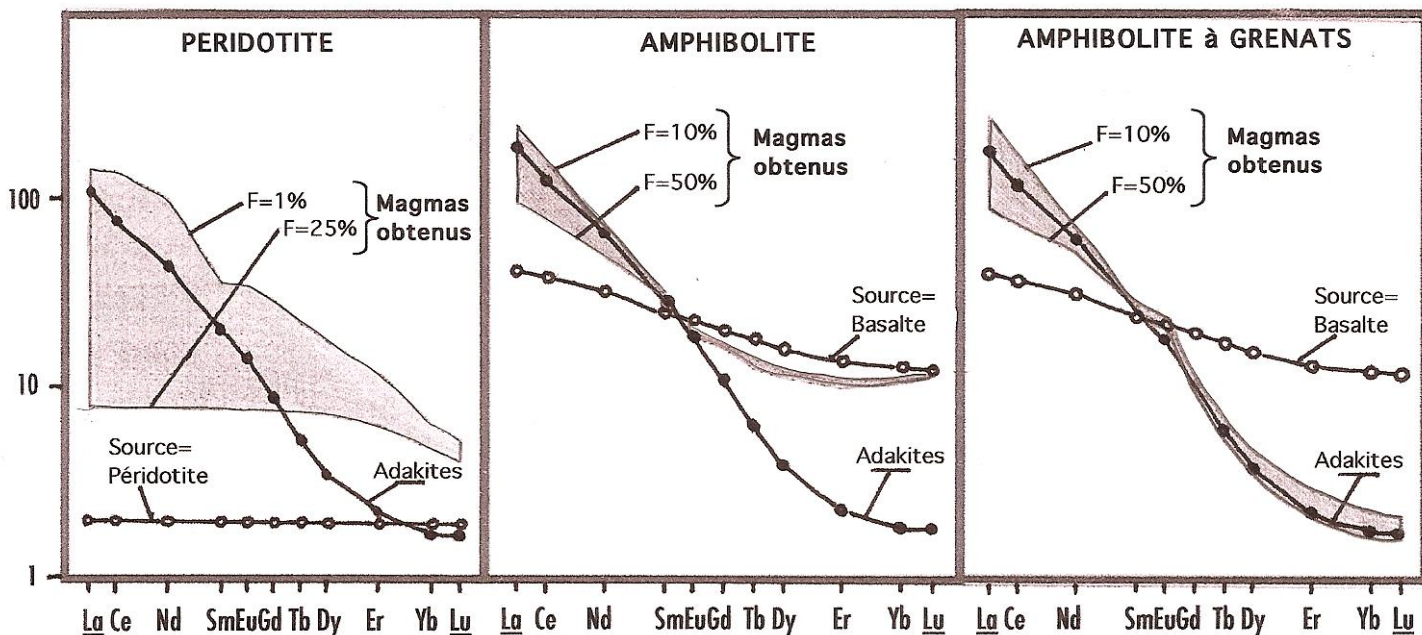
- une péridotite,
- une amphibolite (roche contenant des amphiboles de type hornblende),
- une amphibolite contenant des grenats.

Les amphibolites étudiées ici sont toutes d'anciens basaltes ayant subi des transformations minéralogiques.

On détermine par le calcul le spectre de terres rares (cf document 10 pour les explications) des produits de fusion, comparé au spectre de terres rares des adakites (Document 13).

11°) a) A partir de l'exploitation du document 13, indiquez quelle est la source probable des adakites et son taux de fusion.

b) Indiquez quelle expérience complémentaire pourrait être effectuée pour vérifier la source des adakites.



**DOCUMENT 13** - Spectres de terres rares comparant les adakites (ronds noirs) avec les liquides modélisés, formés dans différents cas. Dans chaque cas, les ronds blancs figurent la composition de la source (c'est-à-dire du matériel qui subit la fusion partielle). La composition (modélisée) des liquides formés varie plus ou moins largement en fonction du taux de fusion F, créant des compositions dans le champ grisé.

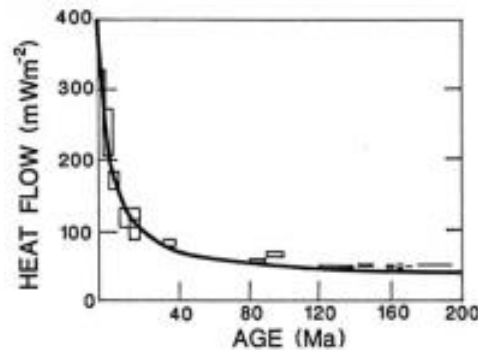
(Martin, *Lithos*, Vol 46-3, pp 411-429, 1999).

12°) a) Sur le diagramme Pression - Température du document 14 (en page 18, document à compléter et à rendre avec votre copie), grisez – en justifiant votre réponse - le domaine de pression et de température dans lequel les adakites peuvent se former.

b) Indiquez si ces conditions sont compatibles avec celles d'une zone de subduction « classique ».

Le document 15 présente l'évolution du flux de chaleur émis par une lithosphère océanique en fonction de son âge.

- 13°) Précisez en quoi le document 15 permet de comprendre les conditions de formation des adakites.  
14°) À l'aide des résultats précédents, proposez un schéma expliquant la formation des adakites dans la région sud-Chili.



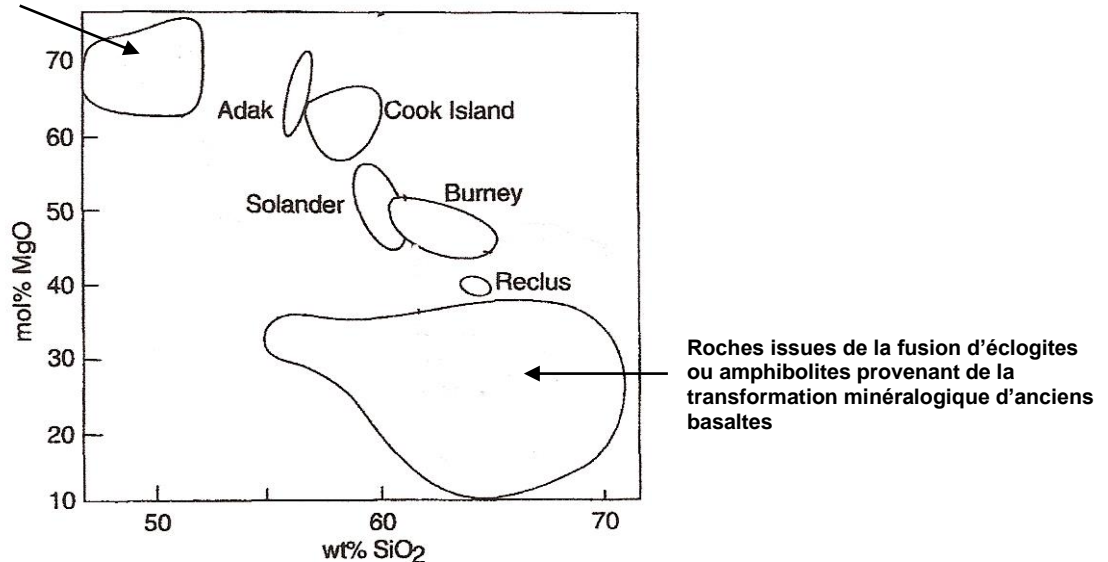
**DOCUMENT 15** - Relation entre le flux de chaleur (heat flow) en mW.m<sup>-2</sup> et l'âge de la lithosphère océanique en millions d'années (Ma).  
(<http://www.ipgp.jussieu.fr>)

Des adakites ont été étudiées dans différentes zones de subduction. De même, différentes études expérimentales de fusion partielle ont été réalisées.

Les résultats de plusieurs de ces études sont consignés dans le document 16 qui représente la composition chimique de différentes roches, par leur pourcentage molaire de MgO en fonction de leur pourcentage massique de SiO<sub>2</sub>.

- 15°) Dites en quoi les résultats du document 16 modulent-ils le modèle proposé à la question 14.

Roches issues de la fusion partielle du manteau



**DOCUMENT 16** - Pourcentage molaire de MgO en fonction du pourcentage massique de SiO<sub>2</sub>. Des adakites de différentes origines géographiques (Adak, Cook Island, Solander, Burney, Reclus) sont placées sur ce diagramme. De même, on a placé les roches obtenues après fusion partielle expérimentale du manteau et de roches provenant de la transformation minéralogique d'anciens basaltes.

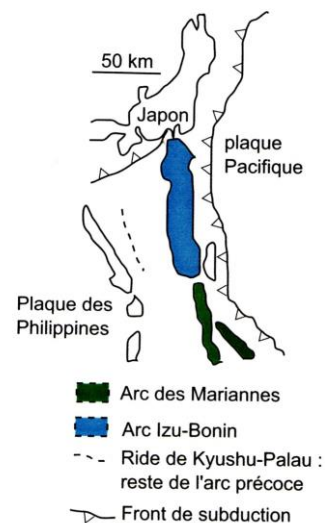
(Reay et Parkinson, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, Vol 40, pp121-126, 1997).

### PARTIE 3 - Subduction dans la région Izu-Bonin-Mariannes

La région Izu-Bonin-Mariannes est proche du Japon. On y observe des roches magmatiques volcaniques de 3 sortes :

- basaltes tholéitiques MORB (Mid Ocean Ridge Basalt) de types 1 et 2 (de compositions chimiques différentes),
- boninites qui tirent leur nom de la région du Bonin,
- roches calco-alcalines caractéristiques des zones de subduction (andésite, dacite et rhyolite par exemple).

Ces roches ont un âge d'environ 40 à 50 millions d'années.



### DOCUMENT 17 - Carte de la région d'Izu-Bonin-Mariannes

16. À partir du document 18, comparez la composition chimique en oxydes des roches étudiées.

ROCHES		Boninite a	Boninite b	Basalte MORB de type 1	Andésite	Dacite	Rhyolite
COMPOSITION MASSIQUE EN OXYDES (%)	SiO <sub>2</sub>	54.4	54.1	50.6	60.4	65.6	73.0
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.13	10.0	16.0	17.5	16.4	14.2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> et FeO	8.54	8.96	8.62	6.40	4.70	2.40
	MgO	14.5	13.7	8.41	2.80	1.70	0.50
	CaO	6.27	7.47	11.3	6.20	4.40	1.70
	Na <sub>2</sub> O	1.00	1.41	2.21	4.30	4.61	4.60
	K <sub>2</sub> O	0.35	0.43	0.43	1.20	1.62	3.10
	Autres oxydes	5.81	3.93	2.43	1.2	0.97	0.5
COMPOSITION EN ELEMENTS TRACES (ppm)	Cr (ppm)	943	1126	2350	Nc	Nc	Nc
	Ni (ppm)	303	346	956	Nc	Nc	Nc
	Zr (ppm)	32	37	11	Nc	Nc	Nc
RAPPORT ISOTOPIQUE	<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0.7033	0.7037	0.7034	Nc	Nc	Nc

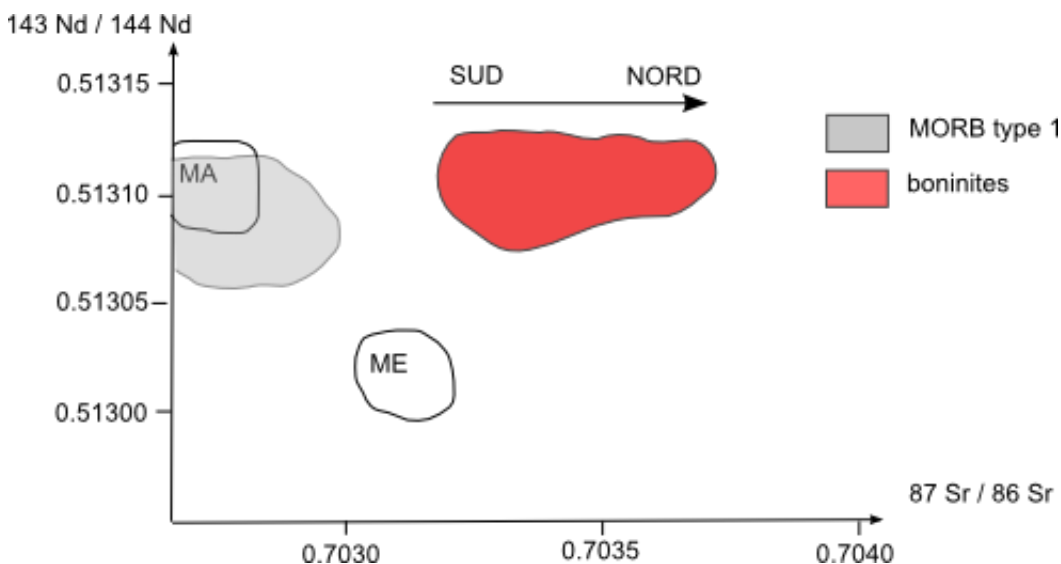
### DOCUMENT 18 - Analyses chimiques de quelques roches observées (nc : valeur non mesurée)

L'étude de la géochimie permet de déterminer le matériel qui a subi la fusion partielle et qui est, ainsi, à l'origine des roches (cf. document 1, partie 1).

Il est fréquent de placer les roches dans un diagramme présentant le rapport isotopique en  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  en fonction du rapport isotopique en  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  afin de déterminer le matériel source.

Une modification des rapports isotopiques par rapport aux valeurs de la source peut mettre en évidence une contamination par d'autres roches.

**17. À partir des documents 1, 18 et 19, identifiez la source du magma à l'origine des boninites.**



MA : manteau supérieur, source des basaltes tholéitiques de dorsale par exemple

ME : manteau profond, source des points chauds par exemple

Les valeurs données pour les MORB correspondent à celles des MORB de type 1 étudiés.

**DOCUMENT 19 - Rapports isotopiques en néodyme en fonction des rapports isotopiques en strontium pour les boninites observés du sud vers le nord de l'arc volcanique.**

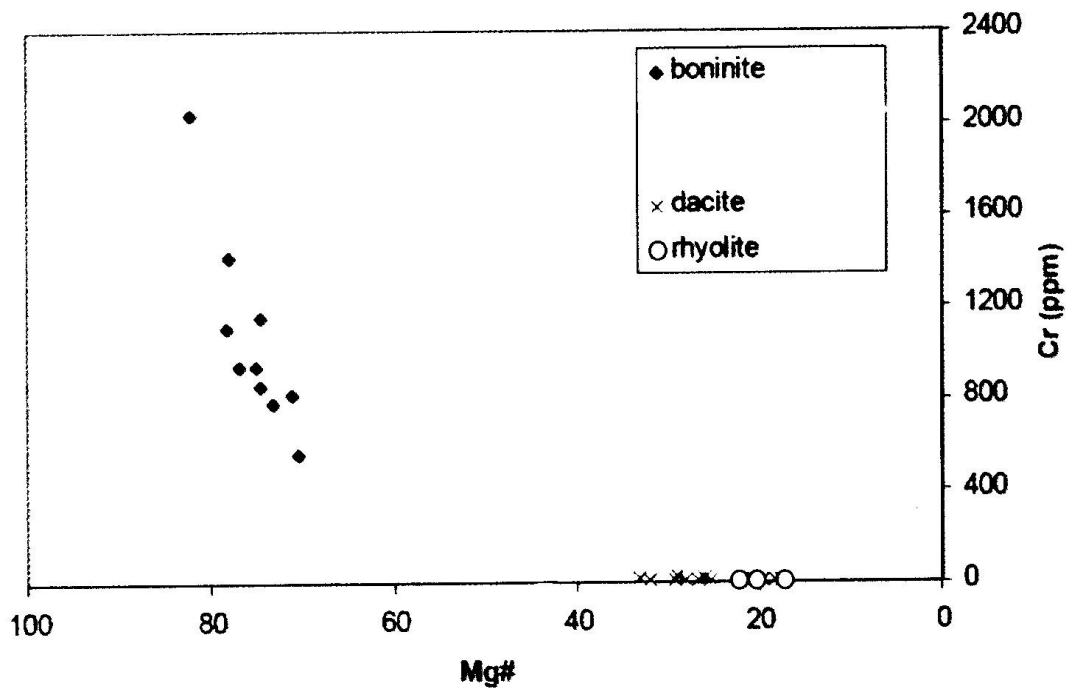
Certains éléments chimiques (K, Rb, Zr par exemple) tendent à se concentrer dans les liquides et sont alors dits incompatibles. D'autres éléments (Ni, Co, Cr par exemple) tendent à se concentrer dans les solides et sont alors qualifiés de compatibles. Donc, lorsqu'une roche commence à fondre, les éléments incompatibles sont parmi les premiers à passer dans la phase liquide.

**18. Mettez en relation l'étude des éléments compatibles ou non (documents 20, 21 et 22) avec le taux de fusion partielle subi par la roche-mère à l'origine des boninites.**

Des analyses ont permis de construire les graphiques suivants (documents 20, 21 et 22).

Dans ces documents  $\text{Mg} \# = (100 \times \text{MgO}) / (\text{MgO} + \text{FeO})$

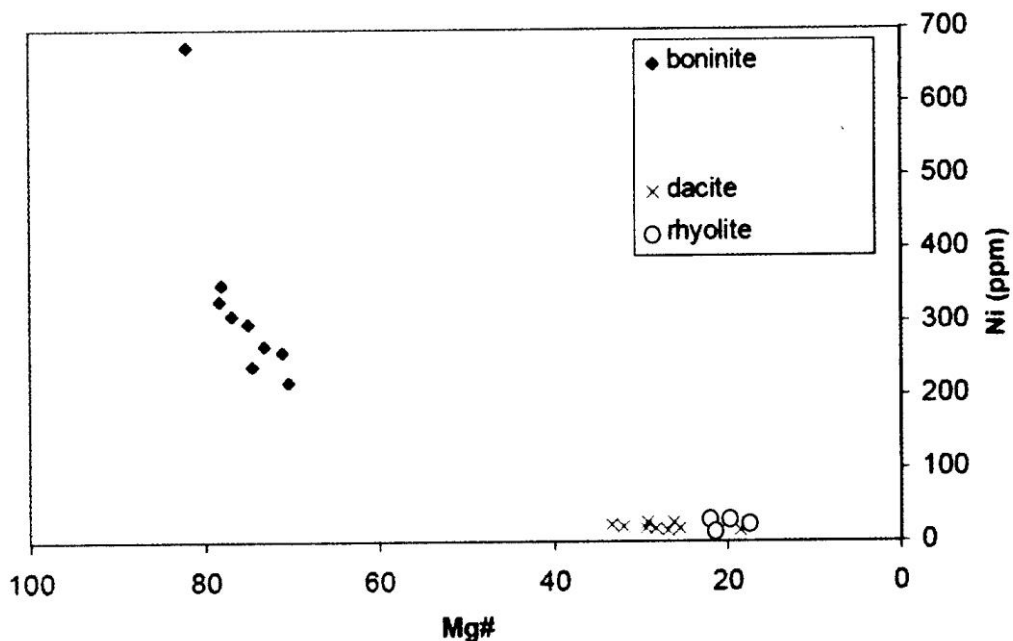
MgO et FeO sont en pourcentages massiques.



ppm = partie par million (1 ppm = 1 g pour 1 tonne de roche)

**DOCUMENT 20 - Quantité de chrome (Cr) en fonction de Mg#.**

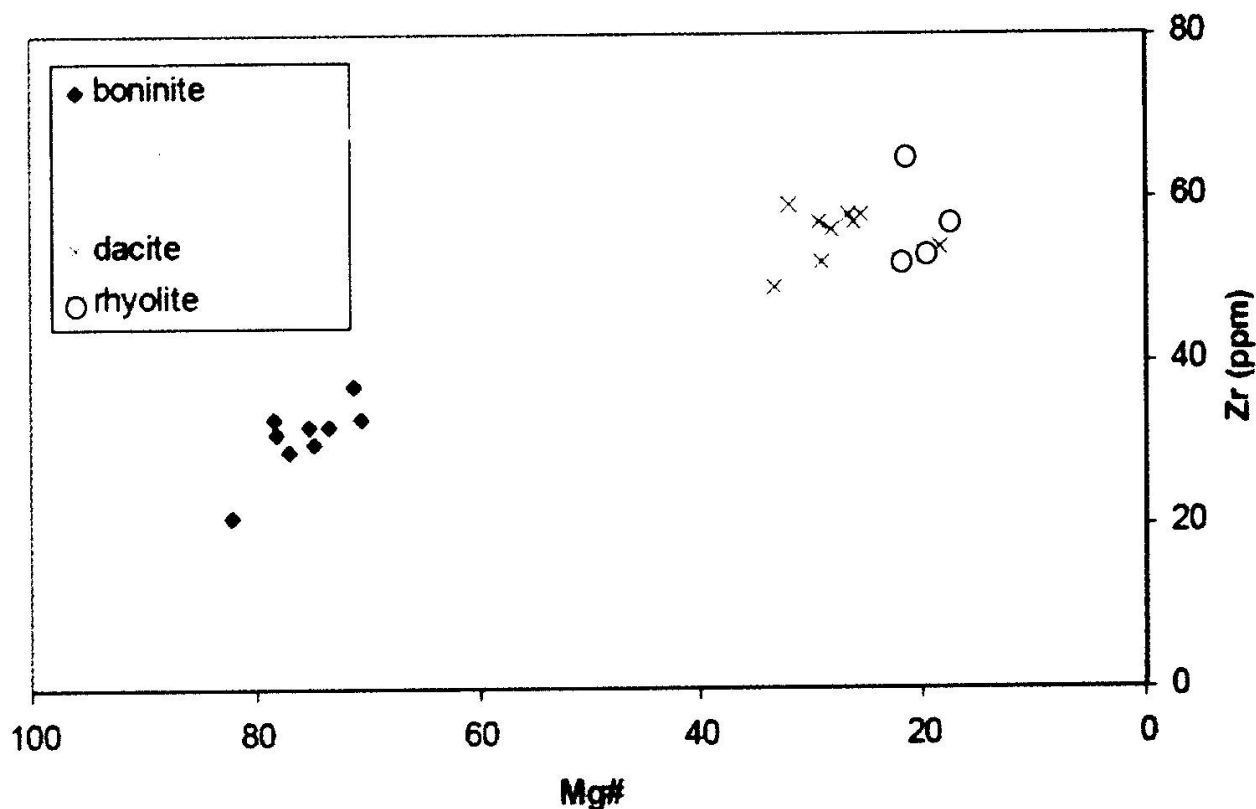
(D'après *Petrology and geochemistry of boninite series of volcanic rocks, Chichi-Jima, Bonin Island, Japan*; P. F. Dobson, S. Maruyama, J. G. Blank, J. G. Liou, *International geology Review*, vol. 48, août 2006).



ppm = partie par million (1 ppm = 1 g pour 1 tonne de roche)

**DOCUMENT 21 - Quantité de nickel (Ni) en fonction de Mg#.**

(D'après *Petrology and geochemistry of boninite series of volcanic rocks, Chichi-Jima, Bonin Island, Japan*; P. F. Dobson, S. Maruyama, J. G. Blank, J. G. Liou, *International geology Review*, vol. 48, août 2006).



ppm = partie par million (1 ppm = 1 g pour 1 tonne de roche)

**DOCUMENT 22 - Quantité de zirconium (Zr) en fonction de Mg#.**

(D'après *Petrology and geochemistry of boninite series of volcanic rocks, Chichi-Jima, Bonin Island, Japan*; P. F. Dobson, S. Maruyama, J. G. Blank, J. G. Liou, *International geology Review*, vol. 48, août 2006).

Il est possible d'évaluer le taux de fusion partielle subi par la roche-mère grâce à une méthode graphique : la méthode du levier. Pour cela, il faut placer sur le graphique du document 23 les roches à étudier : R la roche résiduelle, I la roche-mère et B la roche obtenue (ici boninite).

Le taux de fusion partielle =  $(100 * \text{distance RI}) / (\text{distance RI} + \text{distance IB})$

**19. Évaluez le taux de fusion partielle à l'origine de la boninite a, à l'aide des documents 18 et 24. Complétez le document 23 (page 19) à rendre avec votre copie.**

	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	K <sub>2</sub> O (%)
Roche mantellique appauvrie en éléments incompatibles	2.3	0.0760
Roche mantellique très appauvrie en éléments incompatibles	0.5	0.0118

**DOCUMENT 24**

**20. Sachant que le taux de fusion partielle maximal sur Terre a été d'environ 30 %, qualifiez le taux de fusion partielle à l'origine des boninites.**

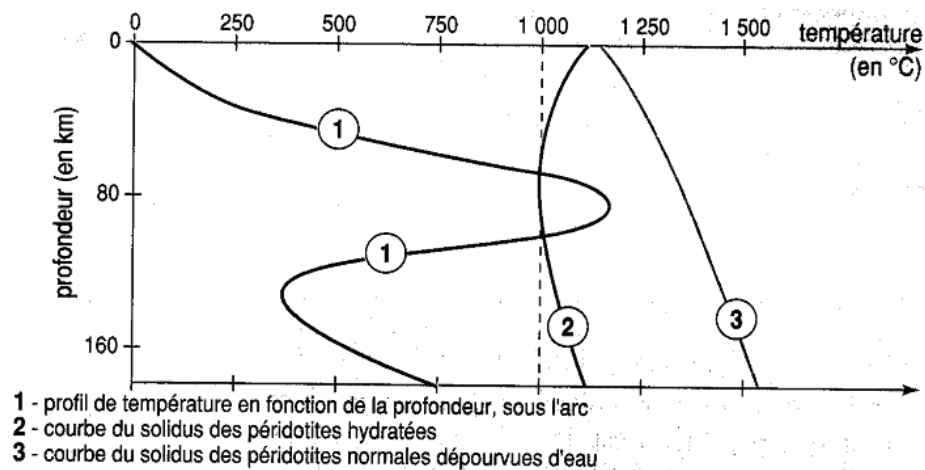
Les boninites ne peuvent se former qu'en présence d'eau, dans des conditions de pressions régnant à faibles profondeurs (moins de 60 km).

**21. A partir de l'exploitation des documents 25 et 26, déterminez si ces conditions peuvent être réunies dans un contexte de subduction classique. Si elles ne sont pas réunies, proposez des hypothèses pour expliquer la concomitance des conditions particulières au cas des boninites.**

Plusieurs techniques de géothermométrie ont été réalisées de manière à déterminer les conditions de température nécessaires à la formation des boninites (document 25).

	Technique A	Technique B	Technique C	Technique D
Echantillon 1	1269	1260	1250	1287
Echantillon 2	1101	1080	1120	1131

**DOCUMENT 25 - Températures (en degrés Celsius) de formation d'échantillons de boninite évalués à partir de différentes techniques**



**DOCUMENT 26 - Température au niveau d'une zone de subduction et courbe de solidus en fonction de la profondeur**

(D'après *Sciences de la vie et de la Terre, terminale S* ; R. Tavernier, C. Lizeaux, éditions Bordas).

Une équipe de chercheurs a mis au point un modèle numérique afin de tester une hypothèse de formation des boninites. Ce modèle prend en compte les conditions de fusion de toutes les roches observées au niveau de la région d'Izu-Bonin : basaltes de type MORB, boninites et roches volcaniques de la série calco-alcaline.

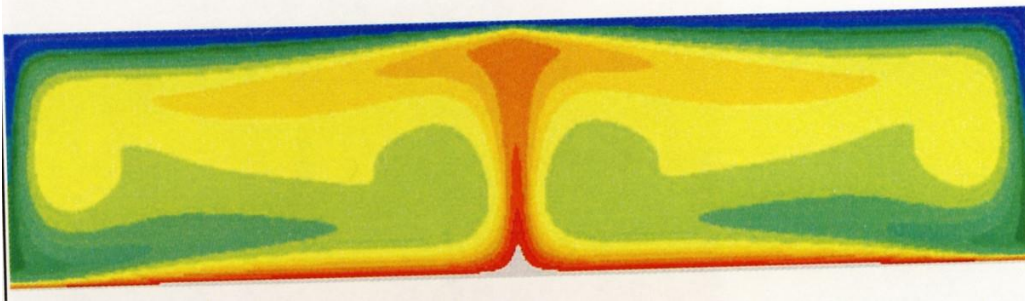
Les résultats sont donnés sous la forme de « boîtes » en 2 dimensions (profondeur d'étude de 670 km et longueur d'étude de 2700 km environ) présentant les courbes isothermes (le bleu pour les isothermes les plus froids et le rouge pour les isothermes les plus chauds).

Les chercheurs imposent les conditions initiales : divergence symétrique au milieu de la boîte avec une vitesse de 0,5 cm/an. Ils obtiennent alors un état stationnaire présenté dans le document 27.

**22. Exploitez le document 27 de manière à déterminer le contexte géologique modélisé pour l'état initial.**

**23. Justifiez le choix de ce contexte géodynamique fait par l'équipe de chercheurs.**



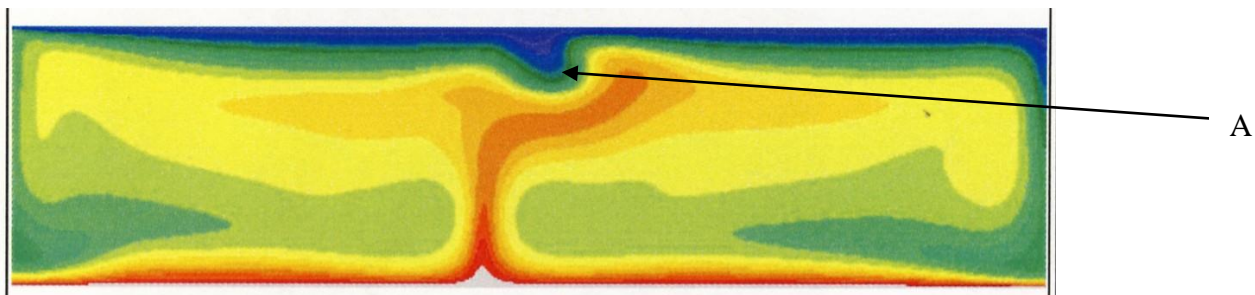


**DOCUMENT 27 - Etat initial stationnaire vu en coupe verticale**

(D'après D. Insergueix, L. Dupeyrat, J. Bébien, [http://geosciences.geol.u-psud.fr/site\\_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html](http://geosciences.geol.u-psud.fr/site_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html)).

Le modèle s'appuie sur les caractéristiques des plaques : vitesses de déplacement, pendage du plan de subduction... Il doit permettre de prévoir, entre autres, les types de magmas et leurs chronologies.

24. À partir des documents 27 et 28, expliquez les modifications entre l'état initial et l'état final obtenu grâce au modèle, en particulier, ce qui est légendé A.
25. À partir du document 28, réalisez un schéma d'interprétation de la coupe verticale à l'état final.
26. Précisez en quoi ce modèle peut expliquer la formation de boninites.



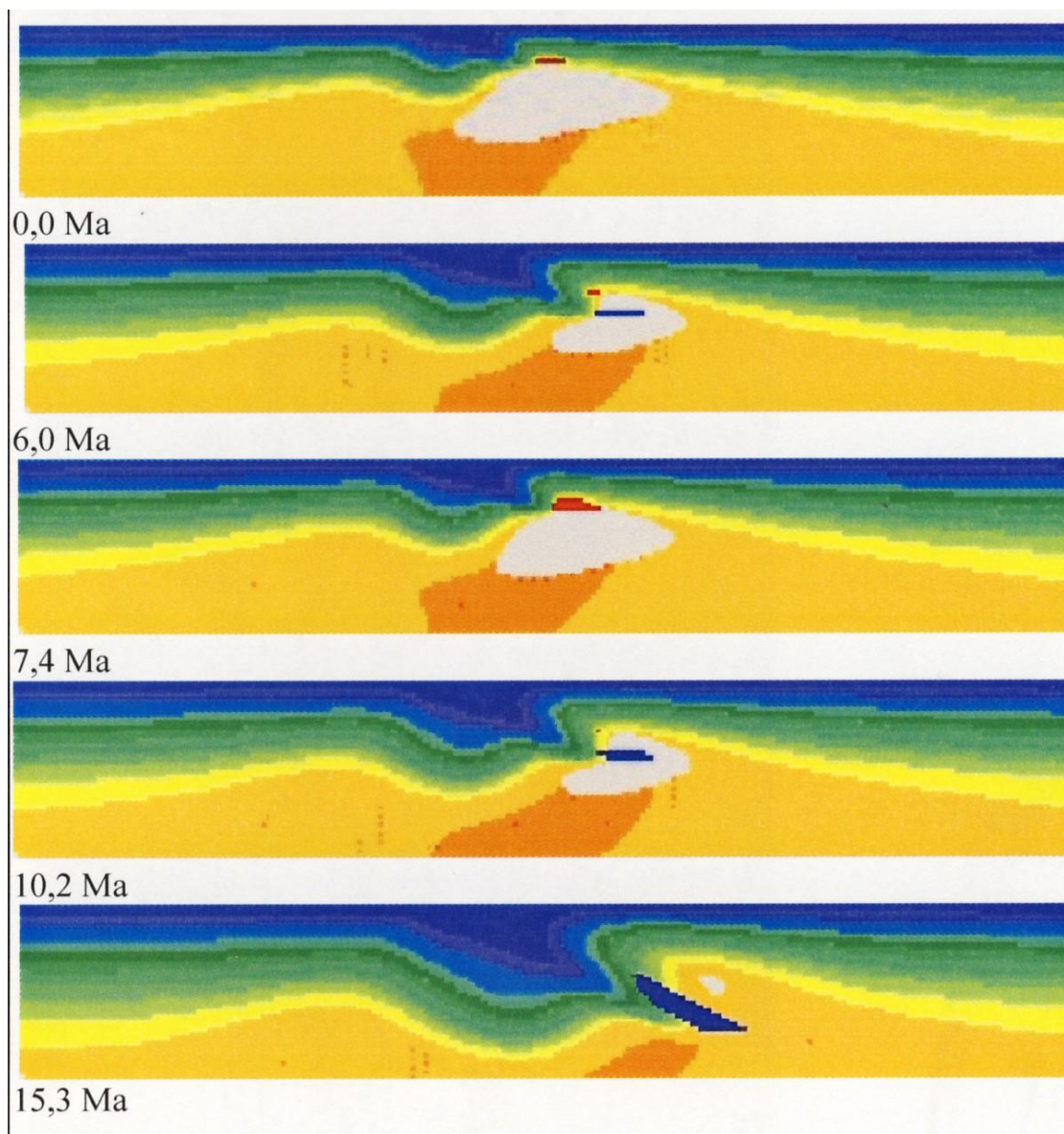
**DOCUMENT 28 - Etat final au bout de 15 millions d'années, vu en coupe verticale**

(D'après D. Insergueix, L. Dupeyrat, J. Bébien, [http://geosciences.geol.u-psud.fr/site\\_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html](http://geosciences.geol.u-psud.fr/site_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html)).

Les roches observées dans la région d'Izu-Bonin-Mariannes pour le même cadre géodynamique ont été datées :

- des roches de la série calco-alkaline et MORB type 2 de 41 millions d'années,
- des boninites de 44 millions d'années,
- des roches de la série calco-alkaline de 45 à 46 millions d'années,
- des MORB type 1 et des boninites de 48 millions d'années.

27. Comparez la chronologie théorique obtenue (document 29) avec celle observée. Discutez la validité de ce modèle.



En gris : MORB

En bleu : roches de la s érie calco-alcaline

En rouge : boninites

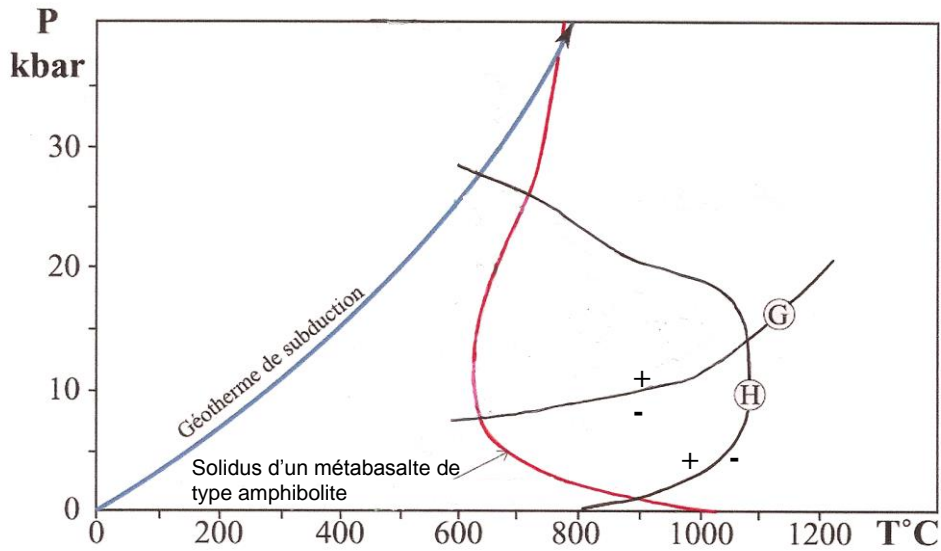
Ma : million(s) d'années

### **DOCUMENT 29**

**Coupes verticales pr ès de la surface superposant les isothermes et les types de roches volcaniques formées lors de l'évolution du magmatisme dans la phase d'initiation de la subduction de l'état initial à environ 15 millions d'années. (D'après D. Insergueix, L. Dupeyrat, J. Bébien, [http://geosciences.geol.u-psud.fr/site\\_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html](http://geosciences.geol.u-psud.fr/site_perso/Dupeyrat/pWEB-3.html)).**

**28. Construisez un sch éna bilan expliquant la formation des roches observ ées dans la r égion Izu-Bonin-Mariannes.**

**Document 14 à compléter et à rendre avec votre copie**



**DOCUMENT 14**

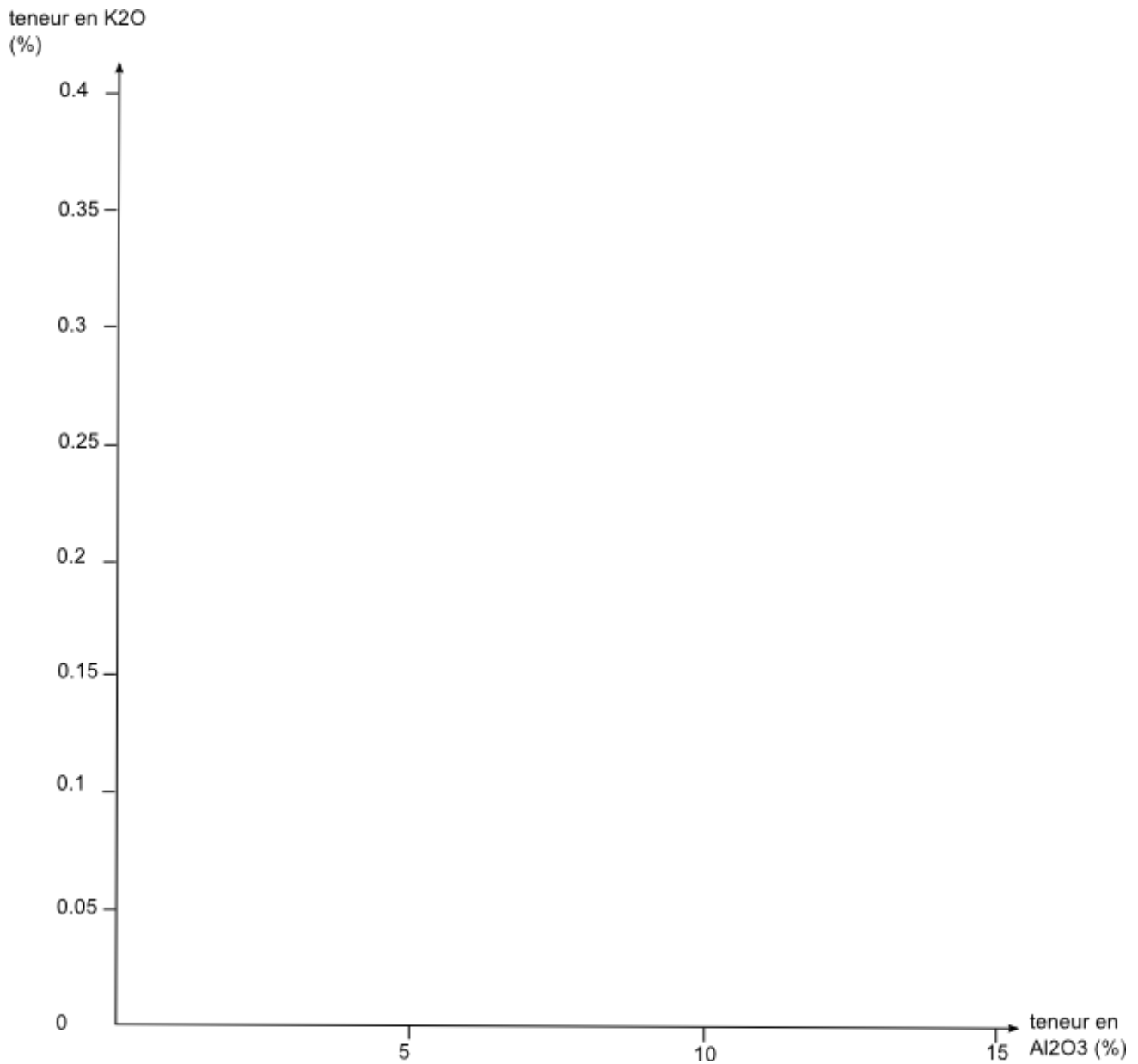
**Diagramme Pression – température.**

**La courbe G correspond à la limite inférieure de stabilité du grenat**

**(+ : présence de grenat ; - :absence de grenat), H correspond à la disparition de l'amphibole hornblende (+ : présence d'amphibole ; - : absence d'amphibole).**

**(D'après Moyen, <http://planet-terre.ens-lyon.fr/planetterre>).**

**Document 23 à compléter et à rendre avec votre copie**



**DOCUMENT 23** - Graphique de la quantité de K<sub>2</sub>O en fonction de la quantité de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.