

# ST F : Le magmatisme



ST F 2 :

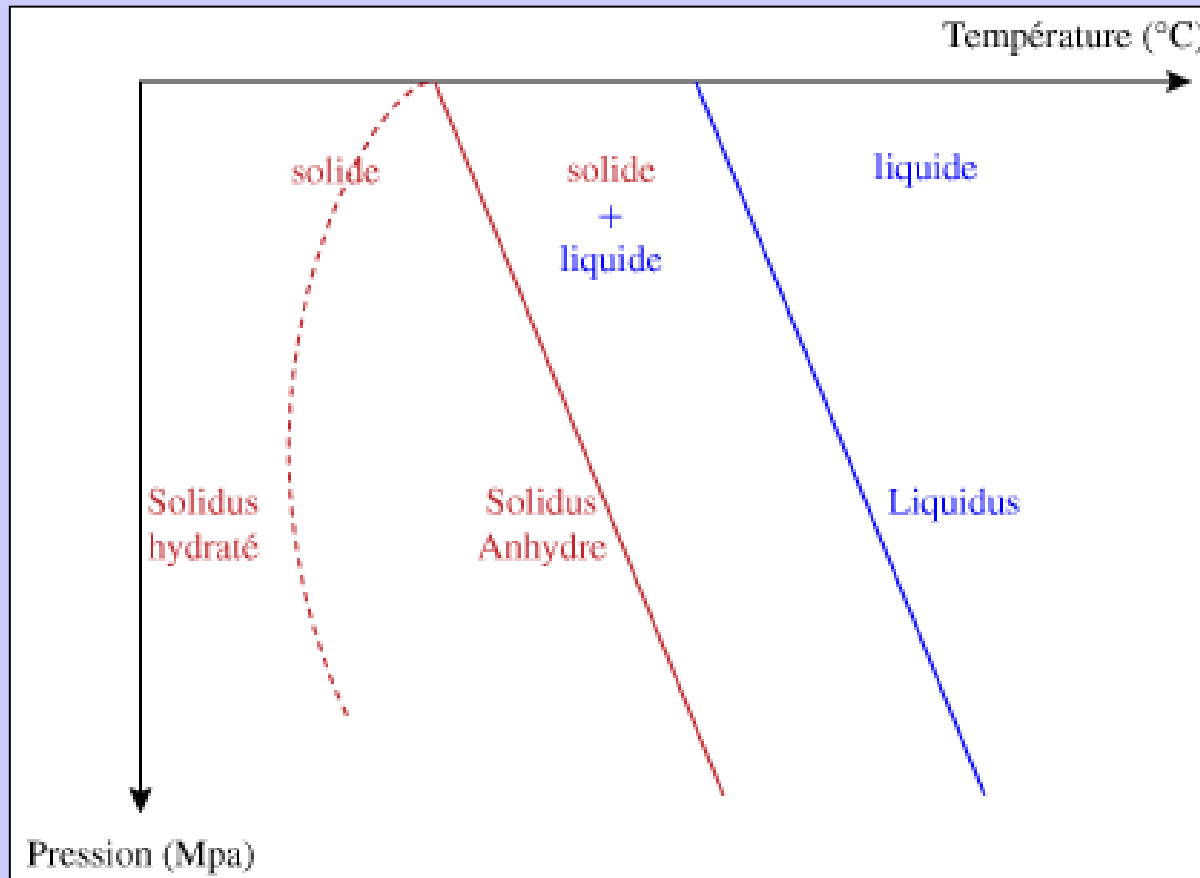
Etna, 2/10/05

Les processus fondamentaux du magmatisme

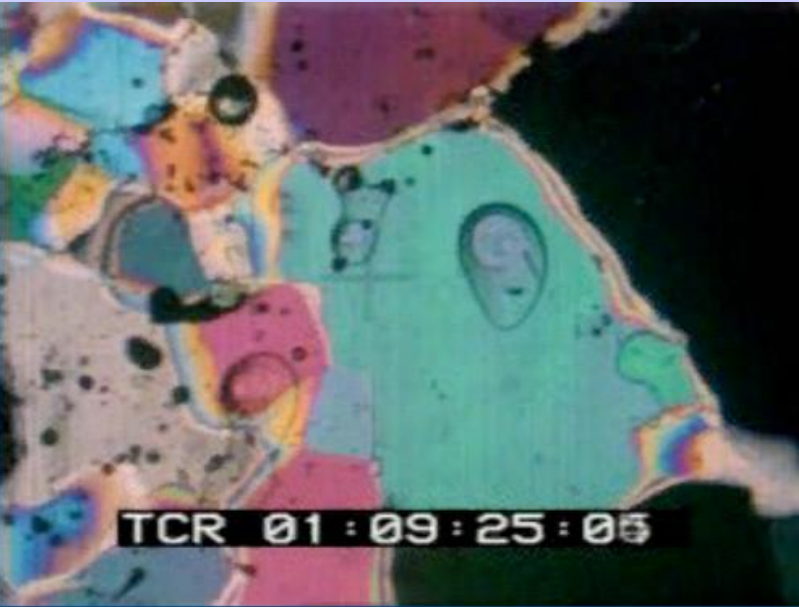
# I. Production des magmas primaires

## 1. Quelques préliminaires à l'étude des magmas primaires

a. Les magmas primaires : produits de la fusion d'une roche-mère



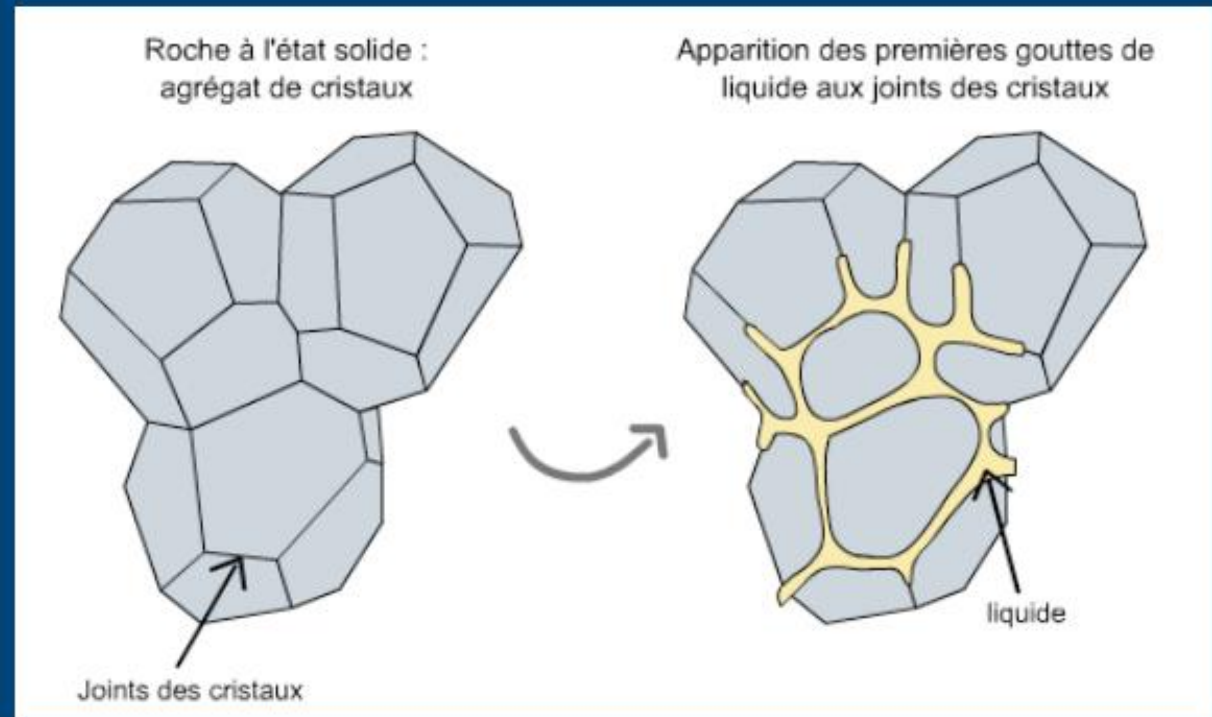
**Document 1. Conditions P, T de la fusion d'une roche.**



## Fusion partielle d'une péridotite en lame mince (LPA).

[http://www.ipgp.fr/~mevel/UElith\\_ocean2013Mevel1.pdf#page=23&zoom=auto,0,22](http://www.ipgp.fr/~mevel/UElith_ocean2013Mevel1.pdf#page=23&zoom=auto,0,22)

**La fusion débute aux joints des grains.**

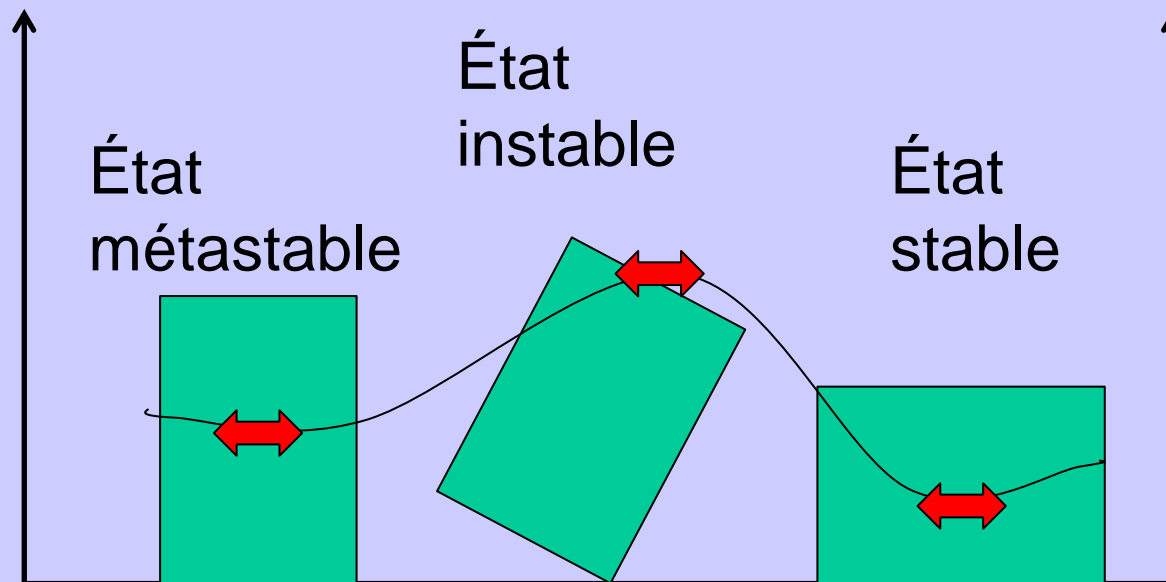


<http://objectif-terre.unil.ch>

# I. Production des magmas primaires

## 1. Quelques préliminaires à l'étude des magmas primaires

### b. Les roches : des système thermodynamiques

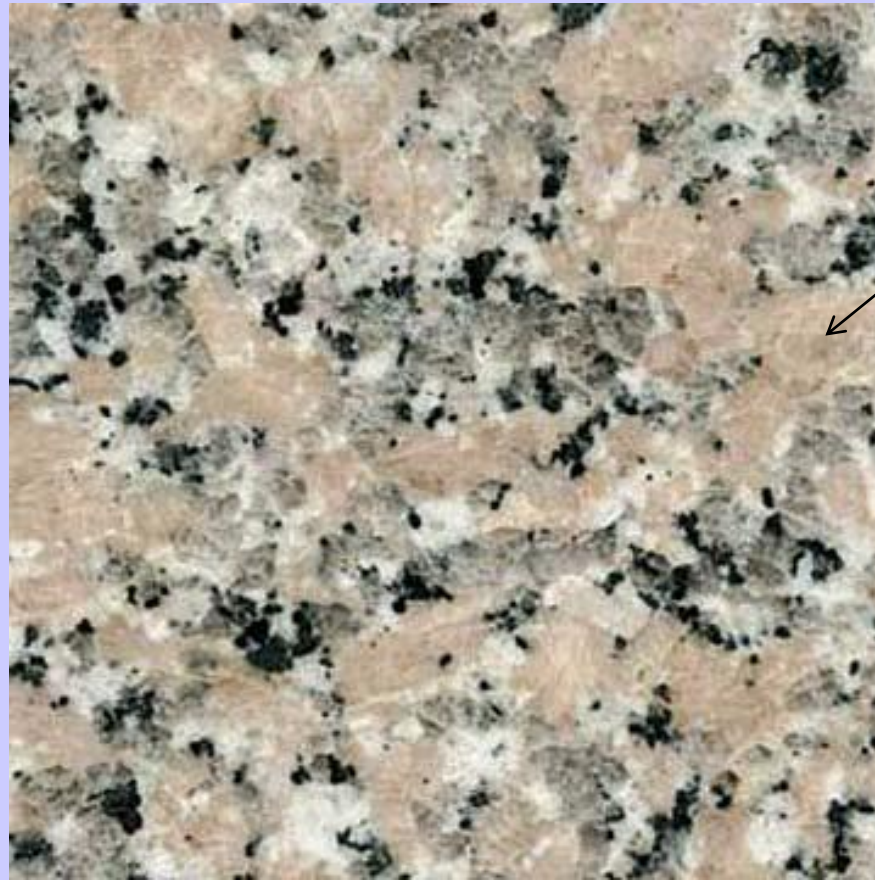


Analogie mécanique pour un solide rectangulaire

## c. Les roches, des systèmes contenant plusieurs phases

Un système = association de plusieurs phases

Une roche =  
un système



Ensemble  
des  
cristaux  
d'orthose =  
une phase

Une phase est caractérisée par sa composition chimique  
Ex : orthose  $KAlSi_3O_8$

# L'outil fondamental :

## Règle des phases ou loi de Gibbs :

$$v = k + 2 - \varphi$$

$v$  : variance (ou degrés de liberté) du système

$k$  : nombre de constituants chimiques indépendants  
(ex :  $\text{SiO}_2$  pour la silice)

$\varphi$  : nombre de phases (ici nb de minéraux)

2 : nb de paramètres qui définissent l'état du système, ici P et T

## d. Exemple de diagramme de phases : cas de la silice

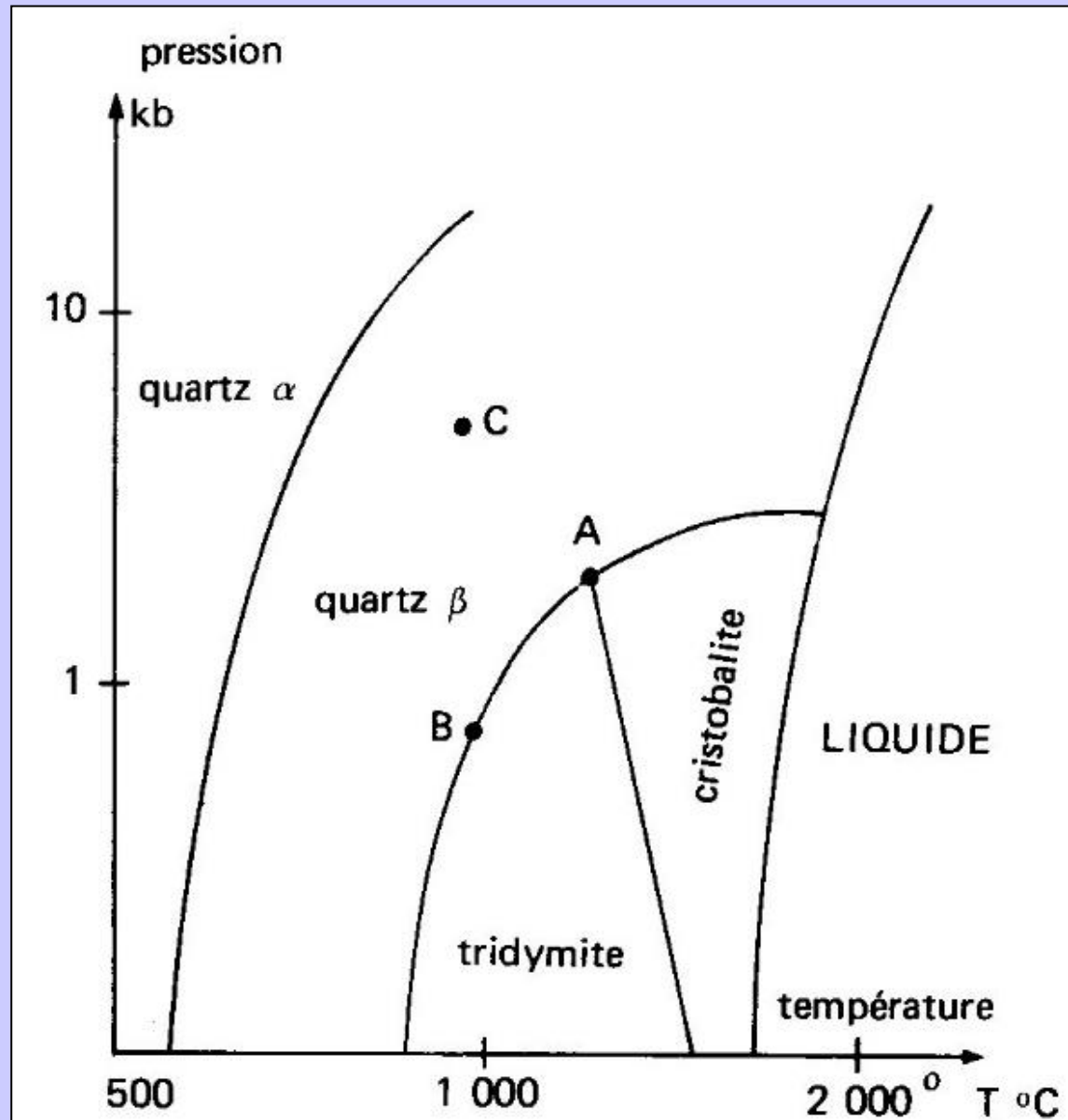
### Diagramme de phases de $\text{SiO}_2$

Différentes phases minérales existent à l'état solide selon les conditions de pression et de température.

(Dercourt J., Paquet J., "Géologie : objets et méthodes", Dunod Ed.).

$$v = k + 2 - \varphi$$

- En C : une seule phase  
→  $V = 2$
- En B : deux phases  
→  $V = 1$
- En A : trois phases  
→  $V = 0$



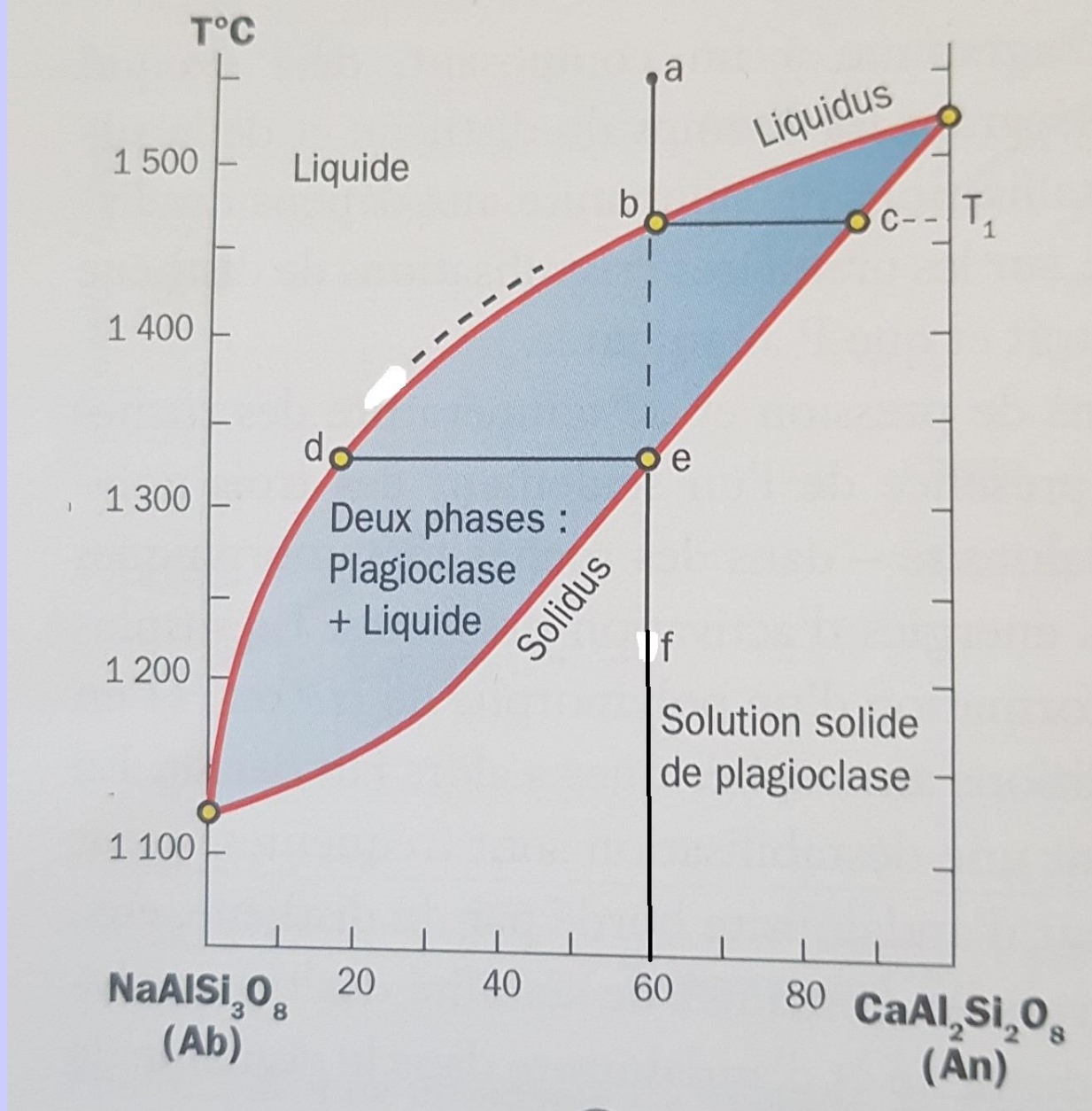


Diagramme binaire : albite- anorthite



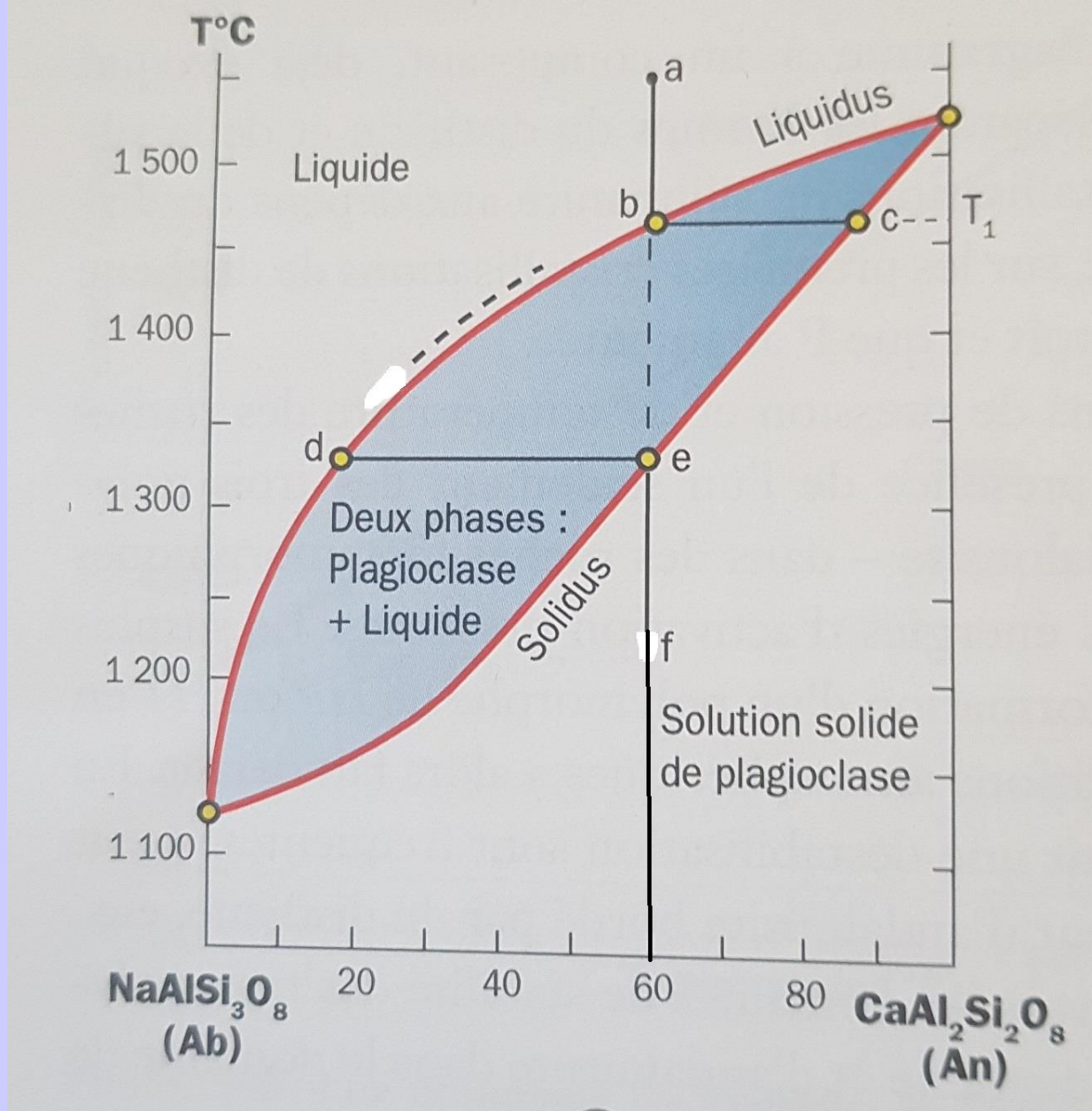


Diagramme binaire : albite- anorthite

b. Fusion d'un mélange binaire avec eutectique

*(minéraux quelconques ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide)*



**Diopside**  
(clinopyroxène)  
 $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$   
 $T^\circ \text{ fusion} = 1391 \text{ }^\circ\text{C}$



**Anorthite**  
(plagioclase)  
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$   
 $T^\circ \text{ fusion} = 1550 \text{ }^\circ\text{C}$

Quand tout est solide :

$$v = k + 1 - \varphi$$

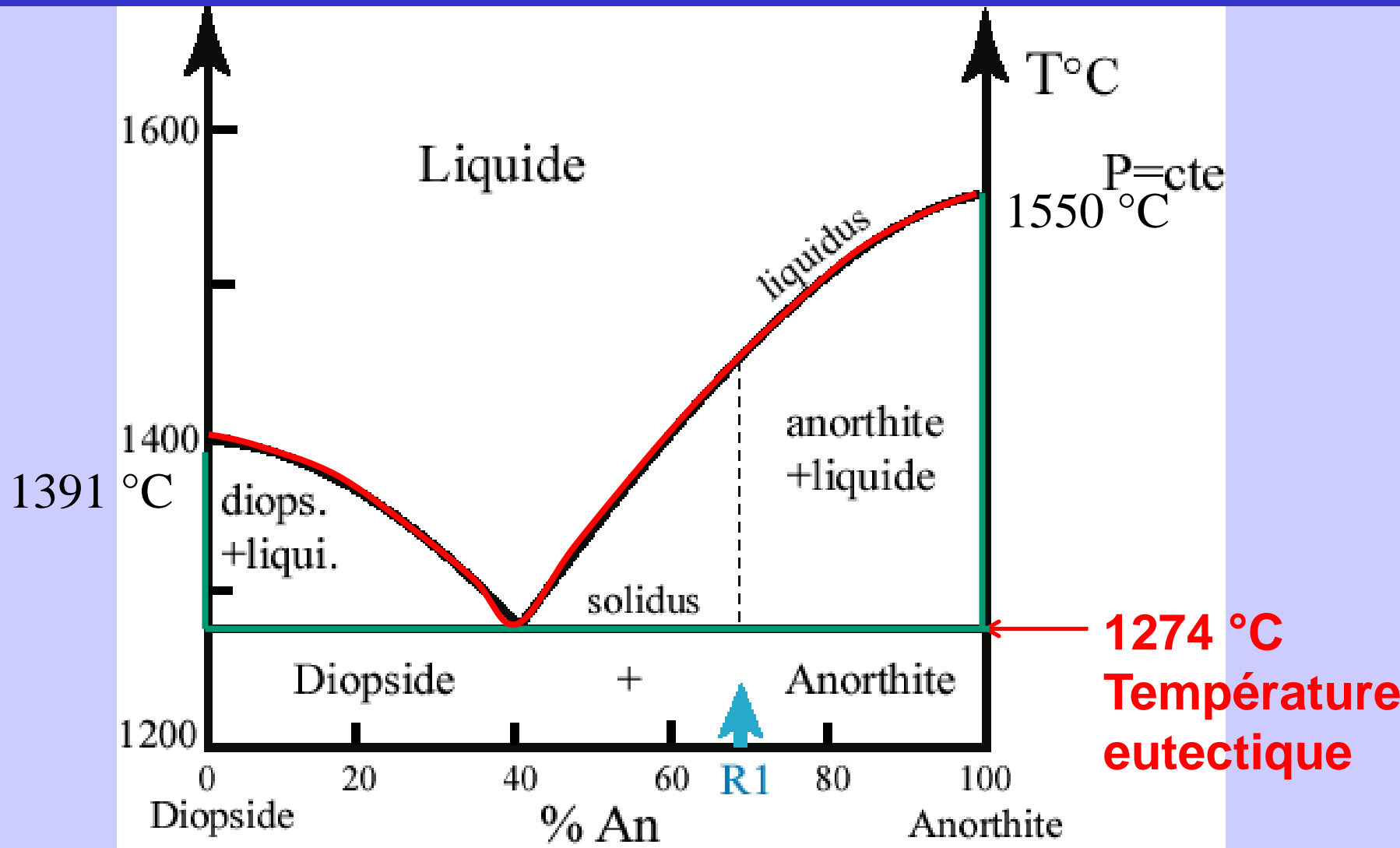
**P est fixé, donc 1 seule variable d'état,  
la T, pour décrire le système**

**$\varphi = 2$  deux phases car minéraux immiscibles**

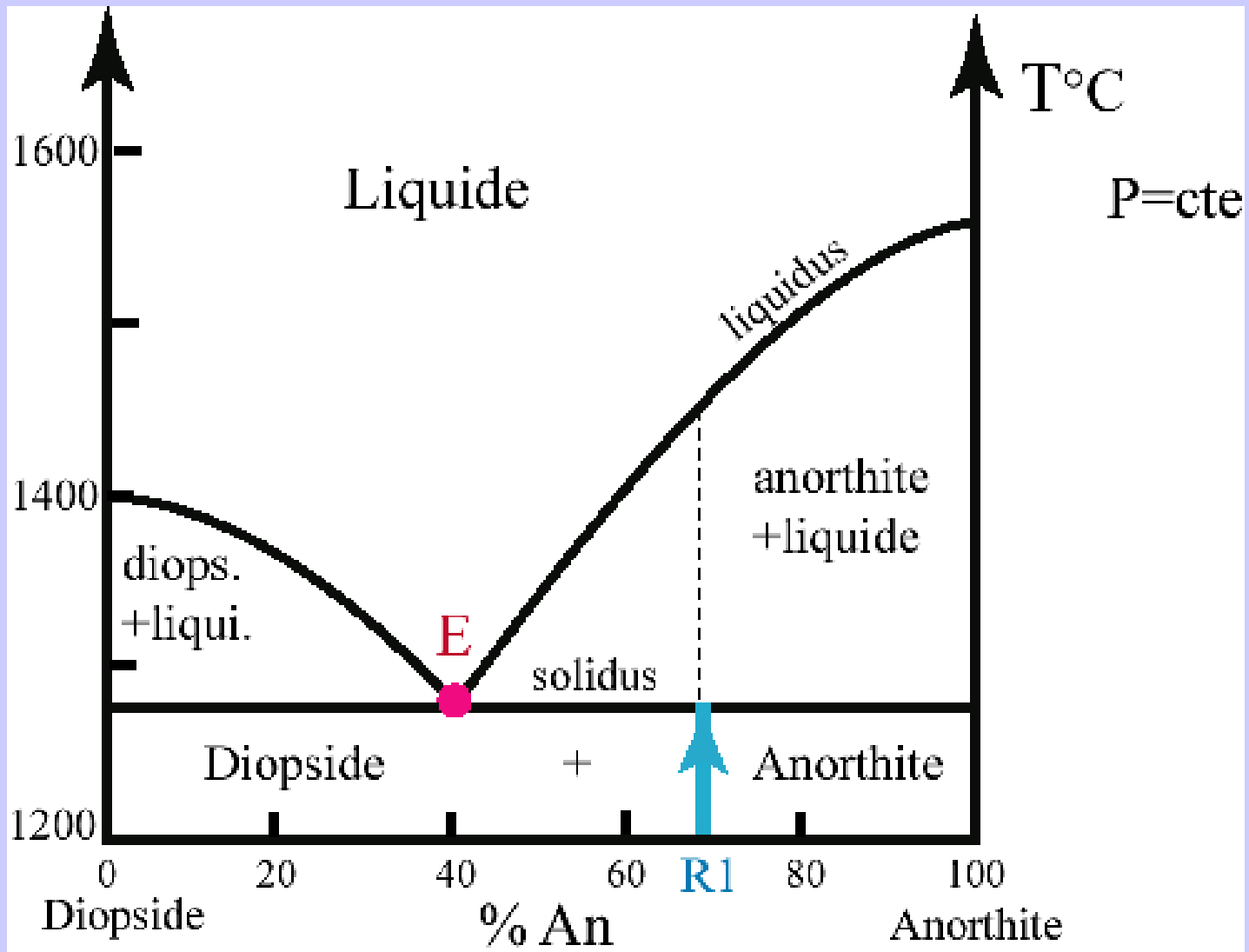
**$k = 2$  (2 minéraux en mélange)**

$$\rightarrow v = 1$$

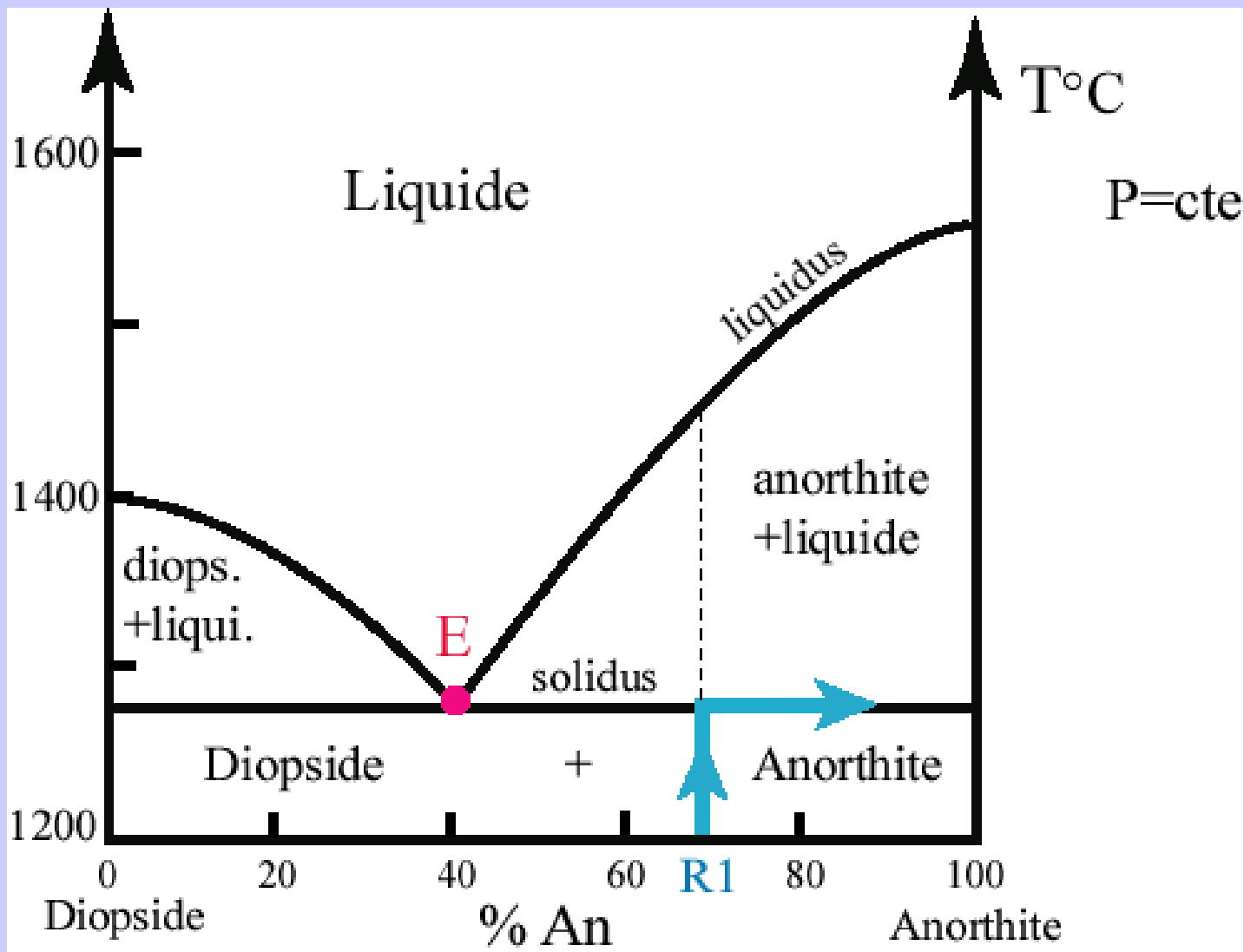
**$\rightarrow$  Seule la température change jusqu'à la température eutectique (qui dépend des minéraux en mélange)**



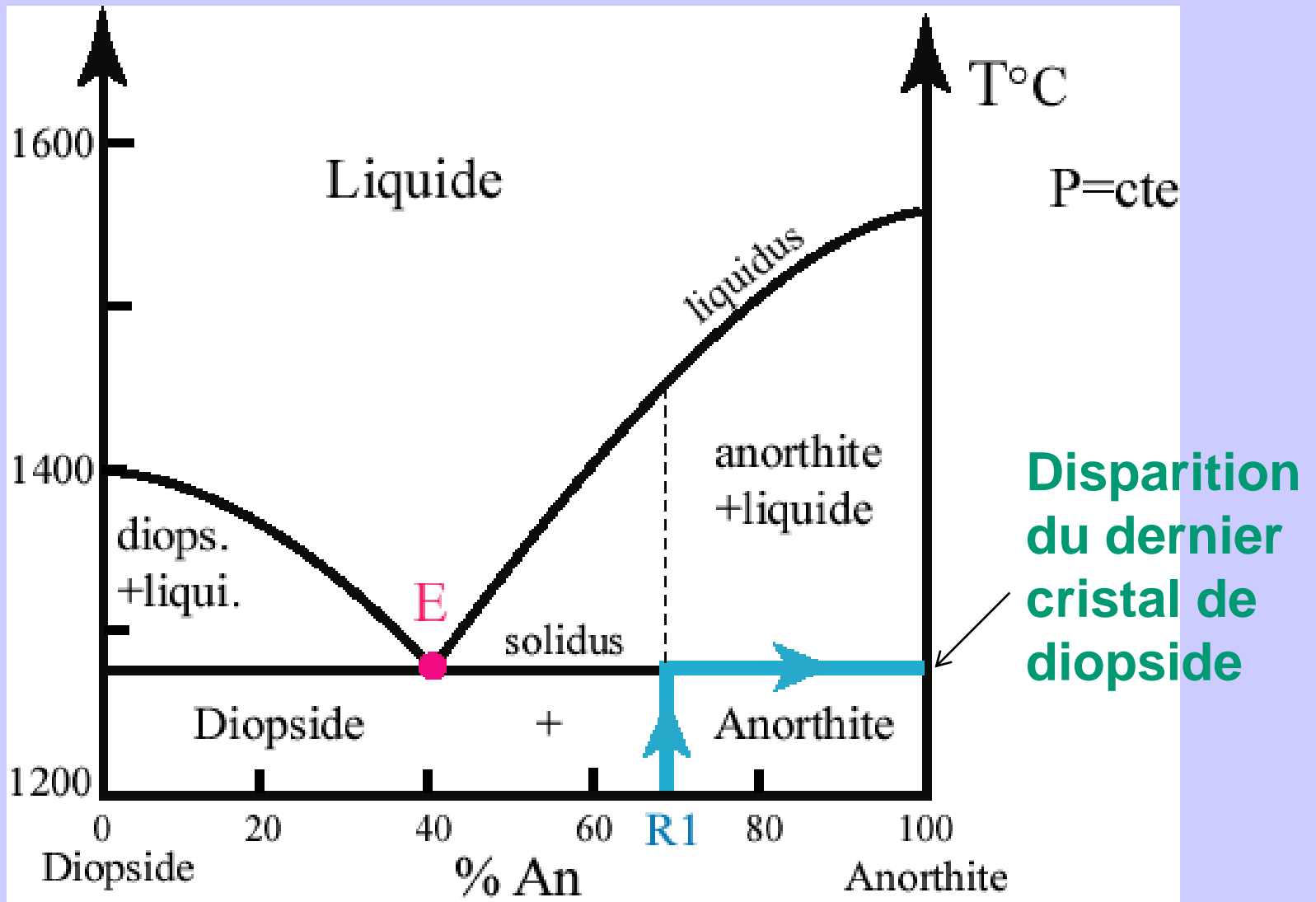
**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .



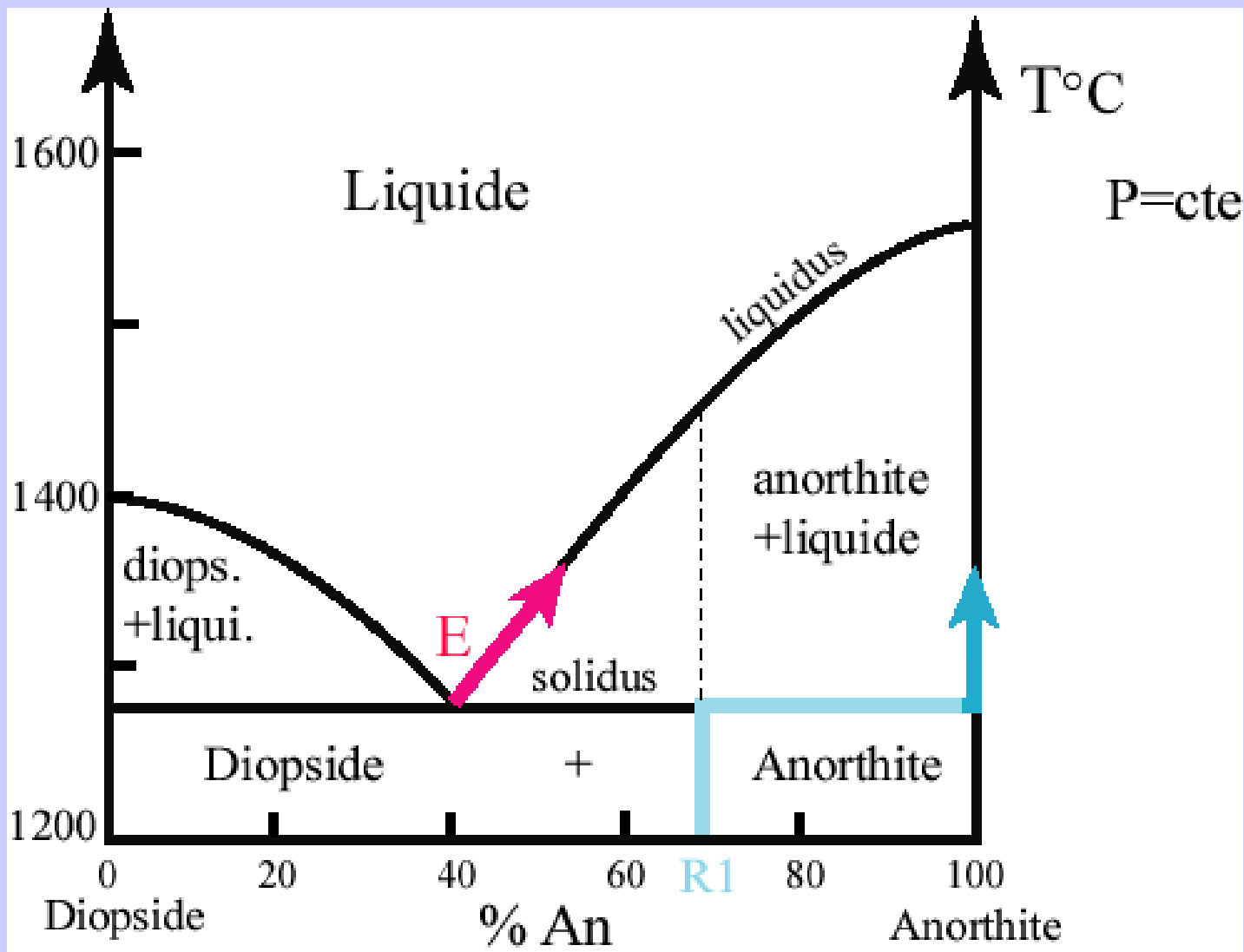
**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .



**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .

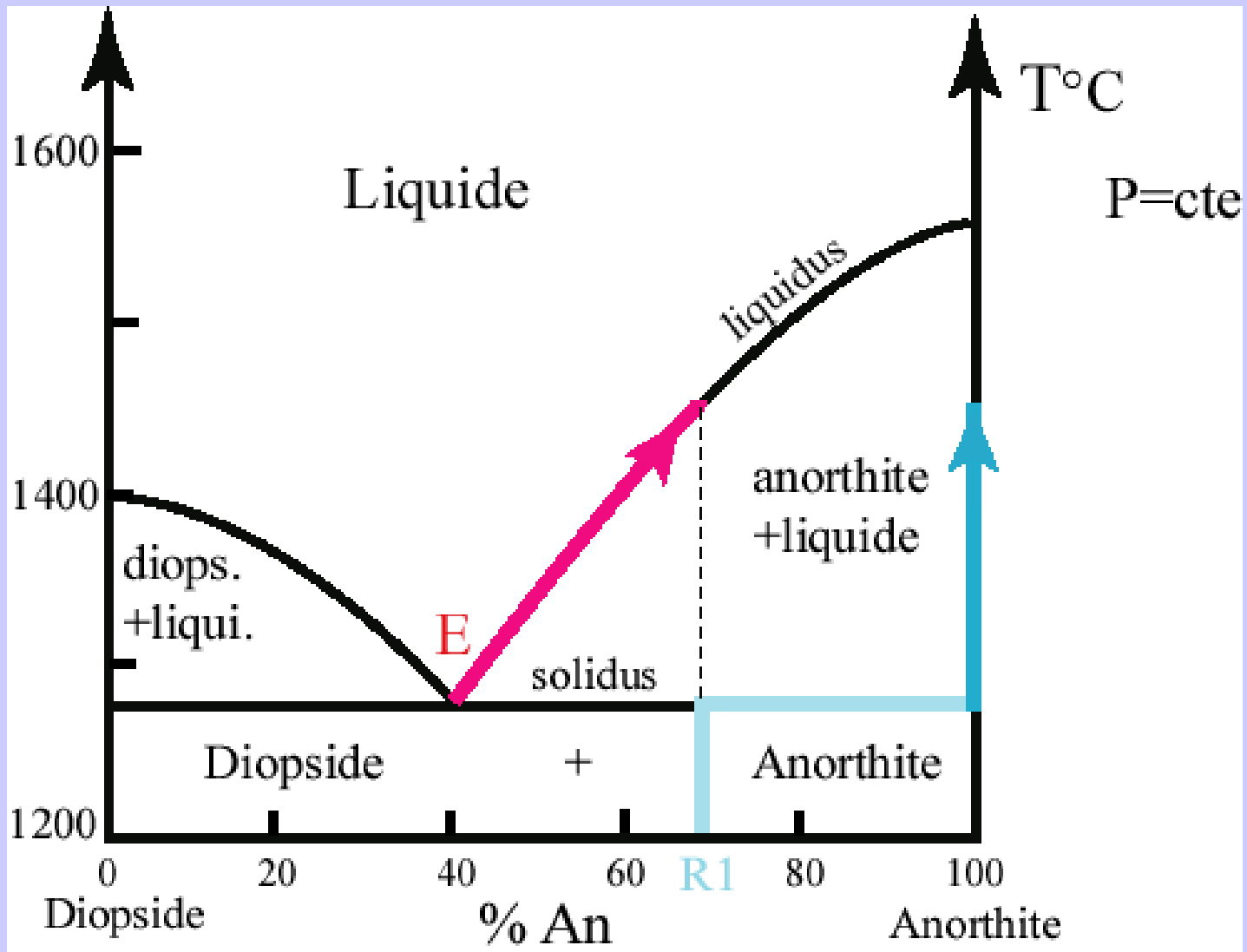


**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .

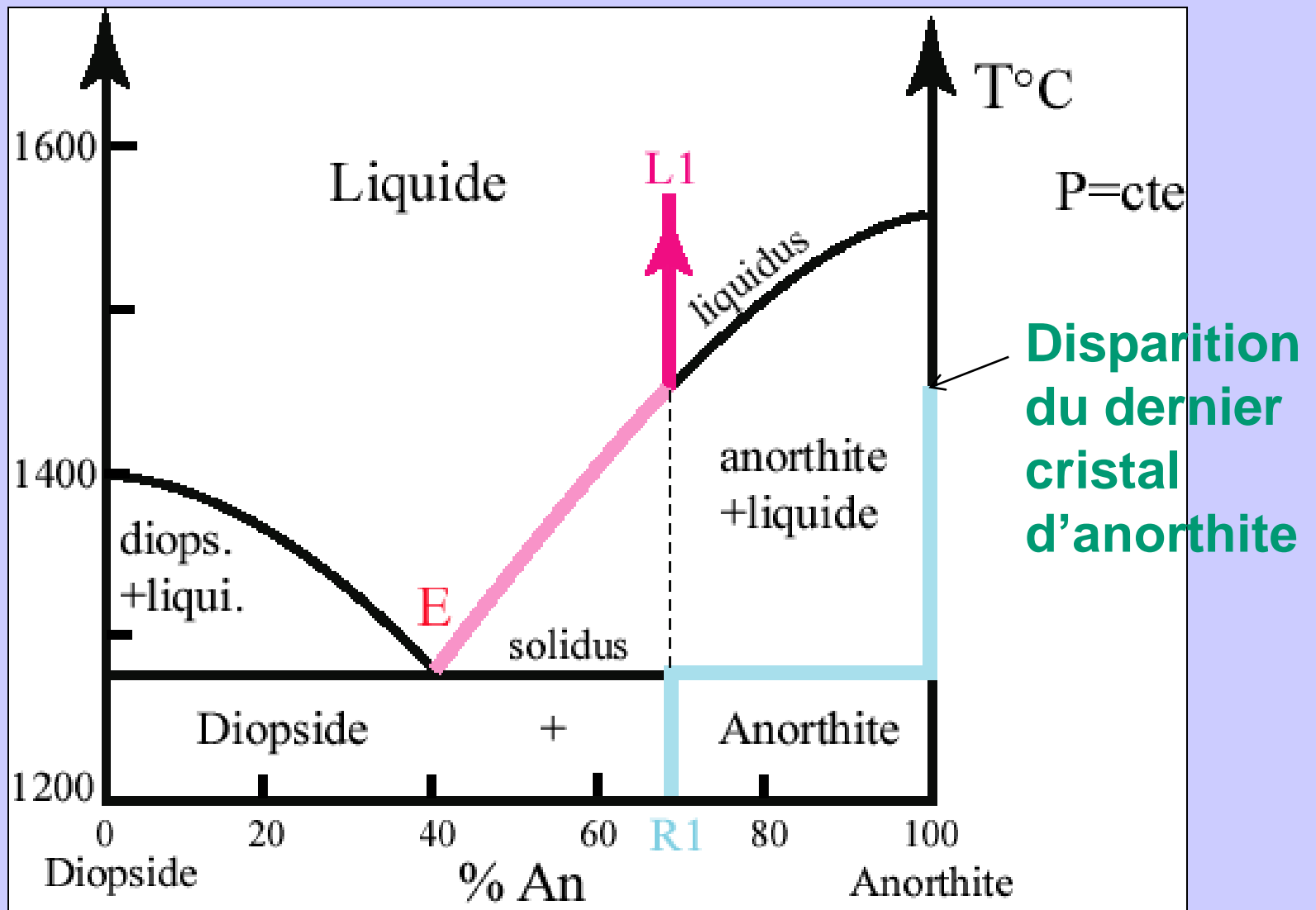


**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .



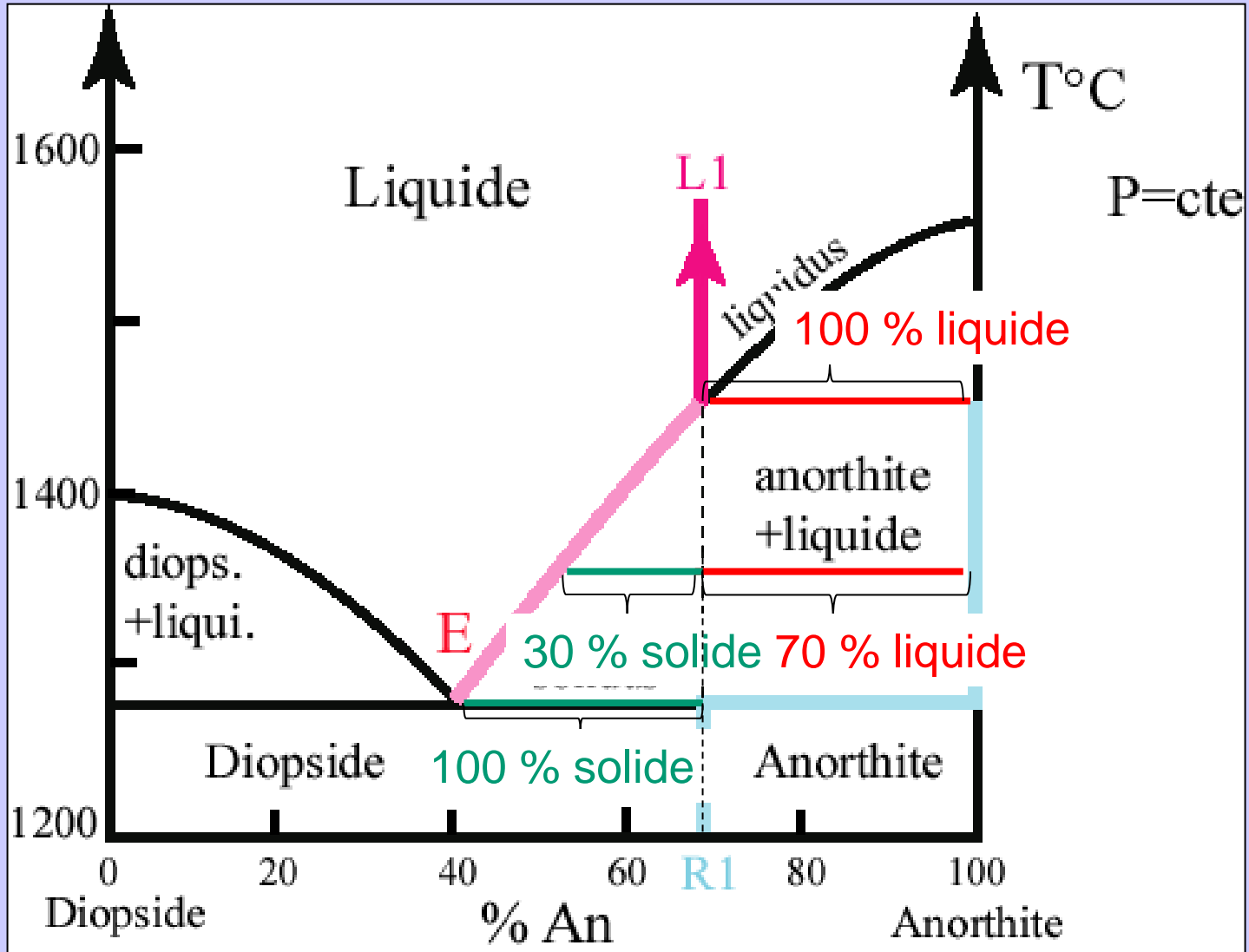


**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .



**Document 4 :** Diagramme binaire pour des minéraux ne formant pas de série isomorphe, immiscibles à l'état solide : cas du mélange Diopside (clinopyroxène)  $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$  - Anorthite (plagioclase)  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ .

# Règle du levier



## c. Fusion d'un mélange ternaire



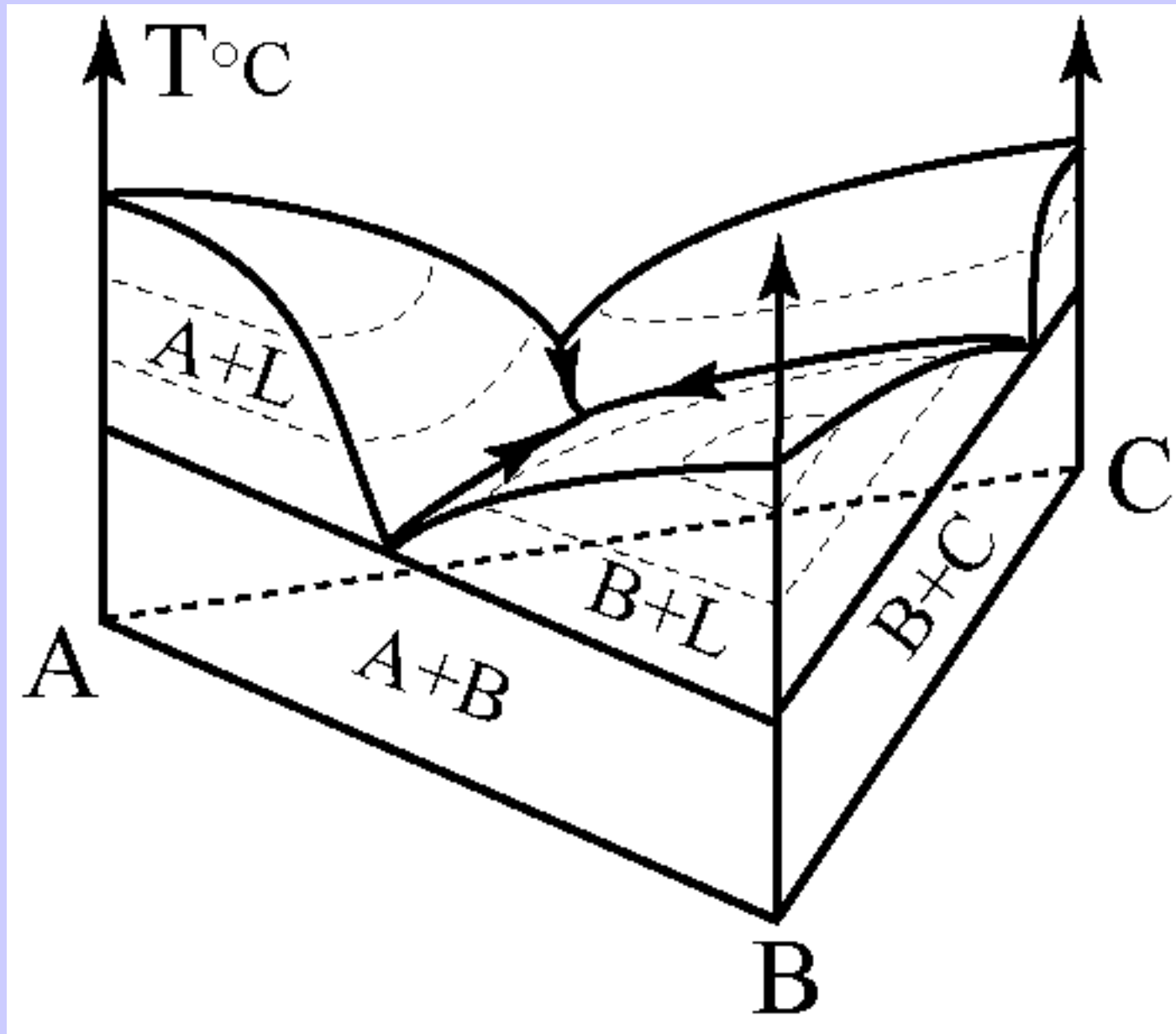
**Diopside**  
(clinopyroxène)  
 $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$



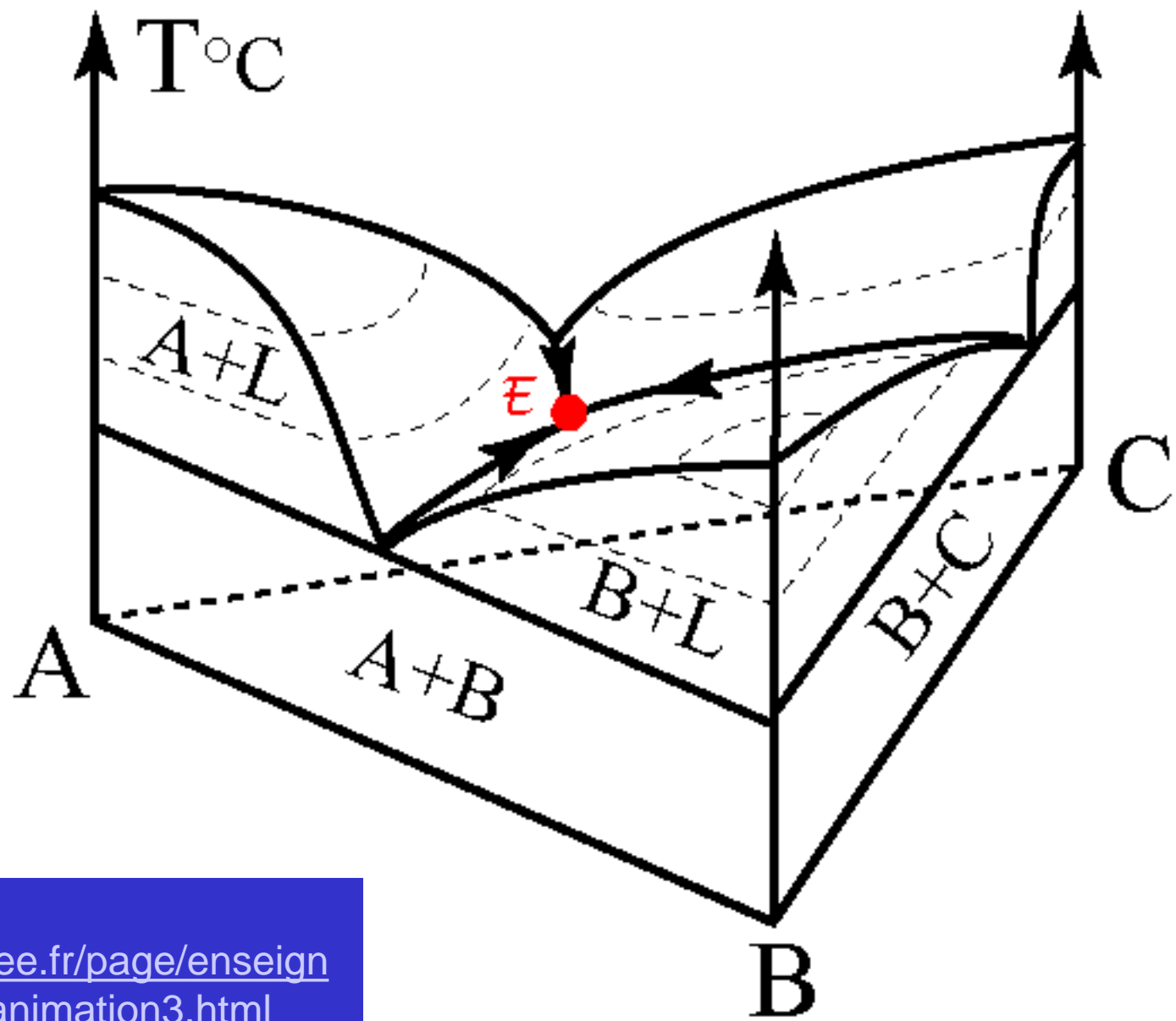
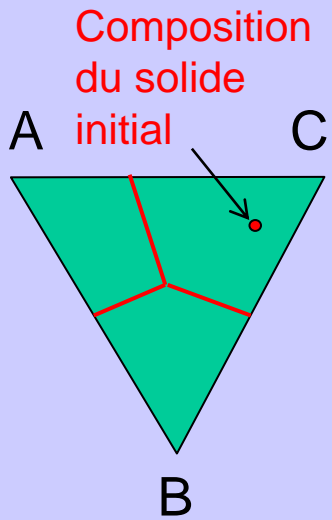
**Olivine**  
(Fe,Mg)  $\text{SiO}_4$



**Grenat**  
(nérosilicate)  
 $\text{X}_3^{2+}\text{Y}_2^{3+}[\text{SiO}_4]_3$

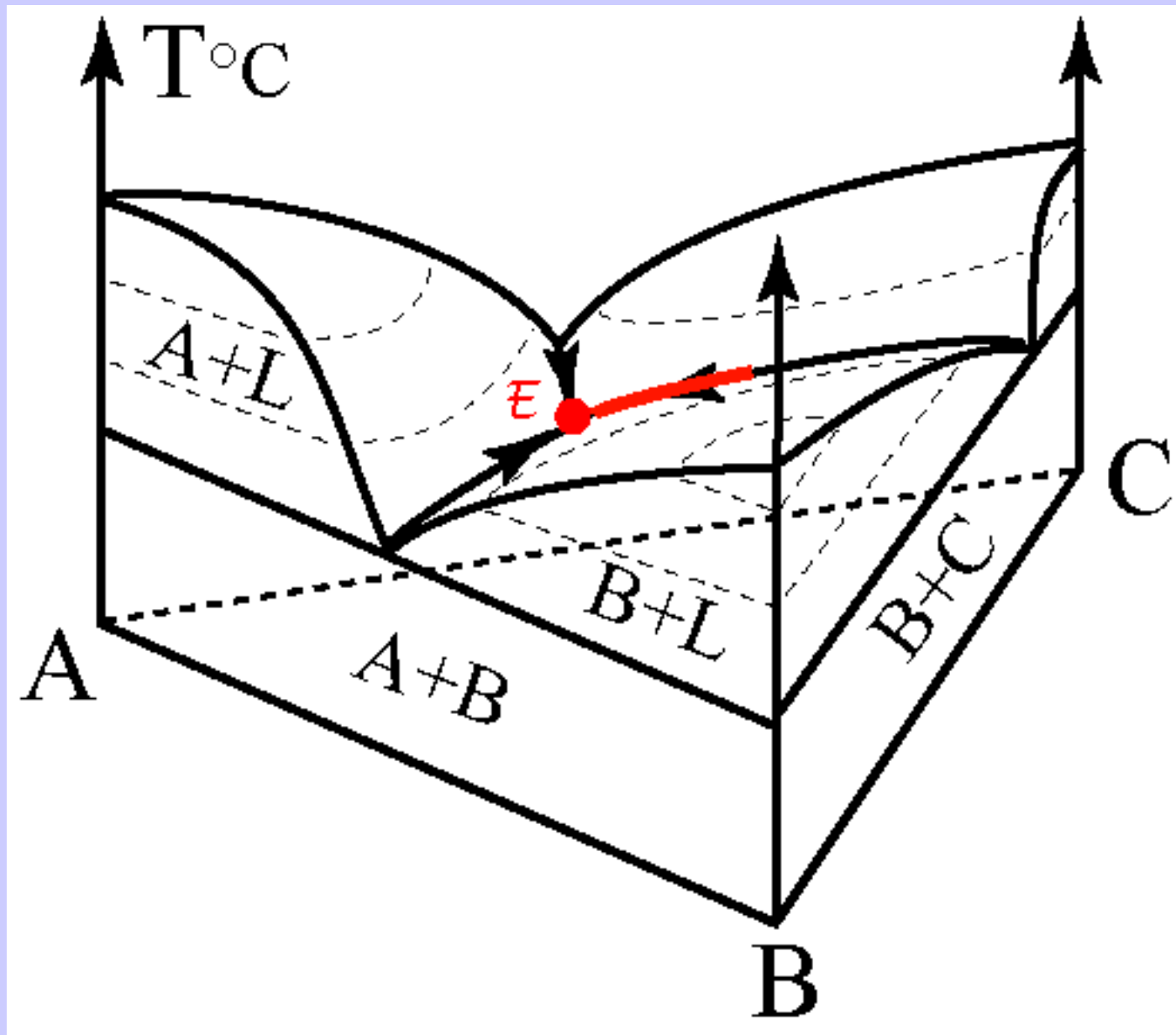


**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.

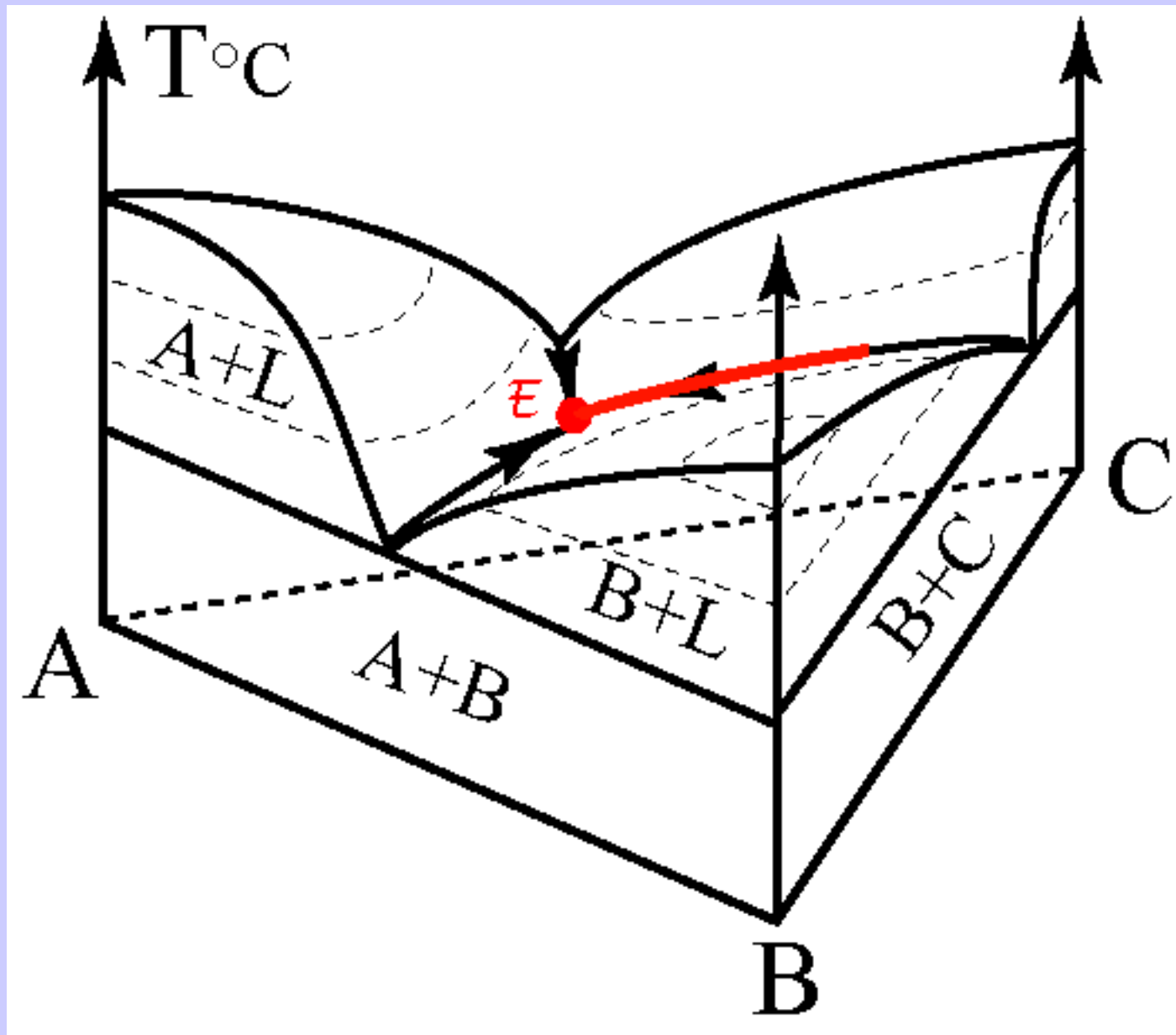


Animation :  
<http://christian.nicollet.free.fr/page/enseignement/LicenceSN/ani3/animation3.html>

**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.

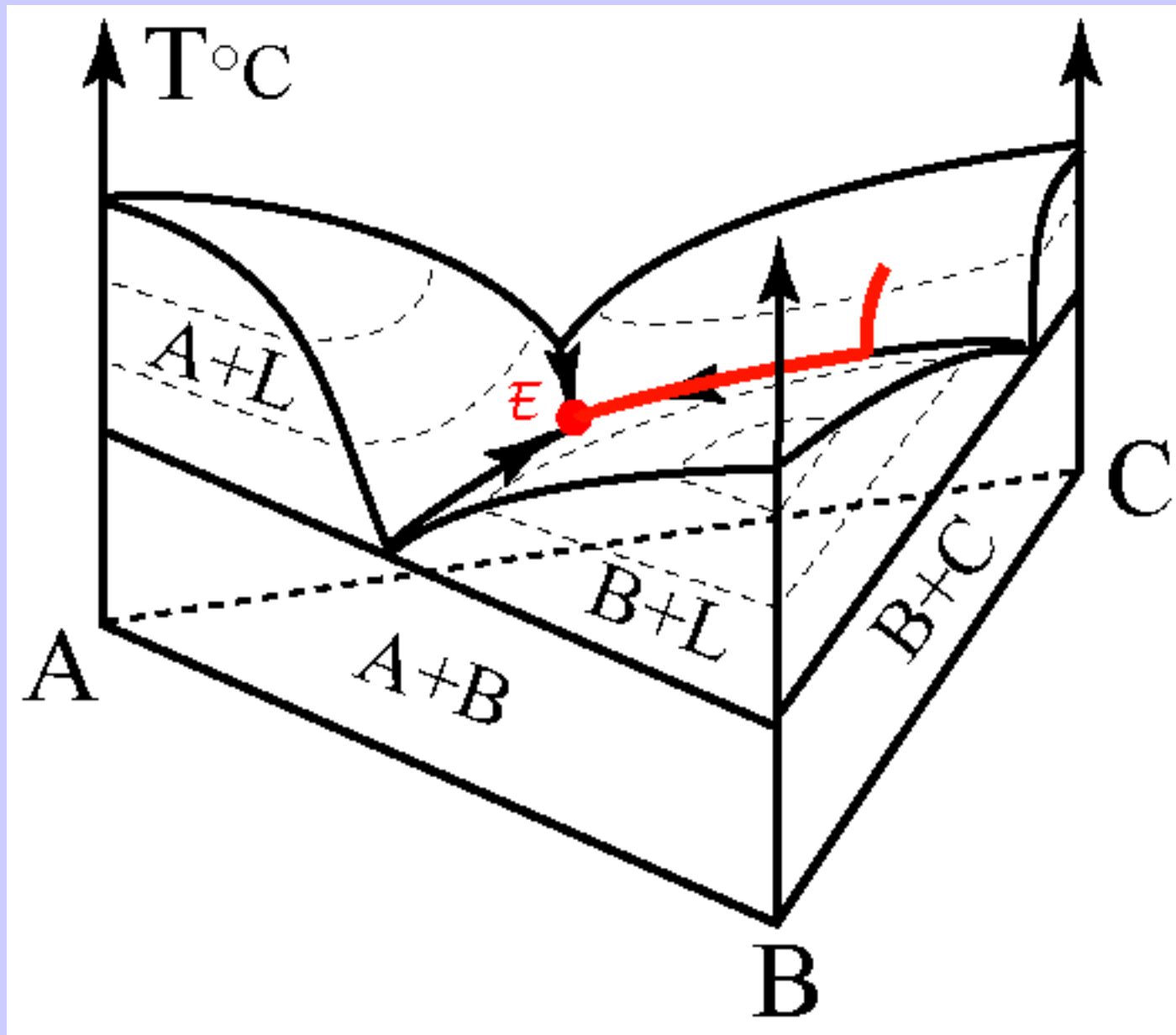


**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.

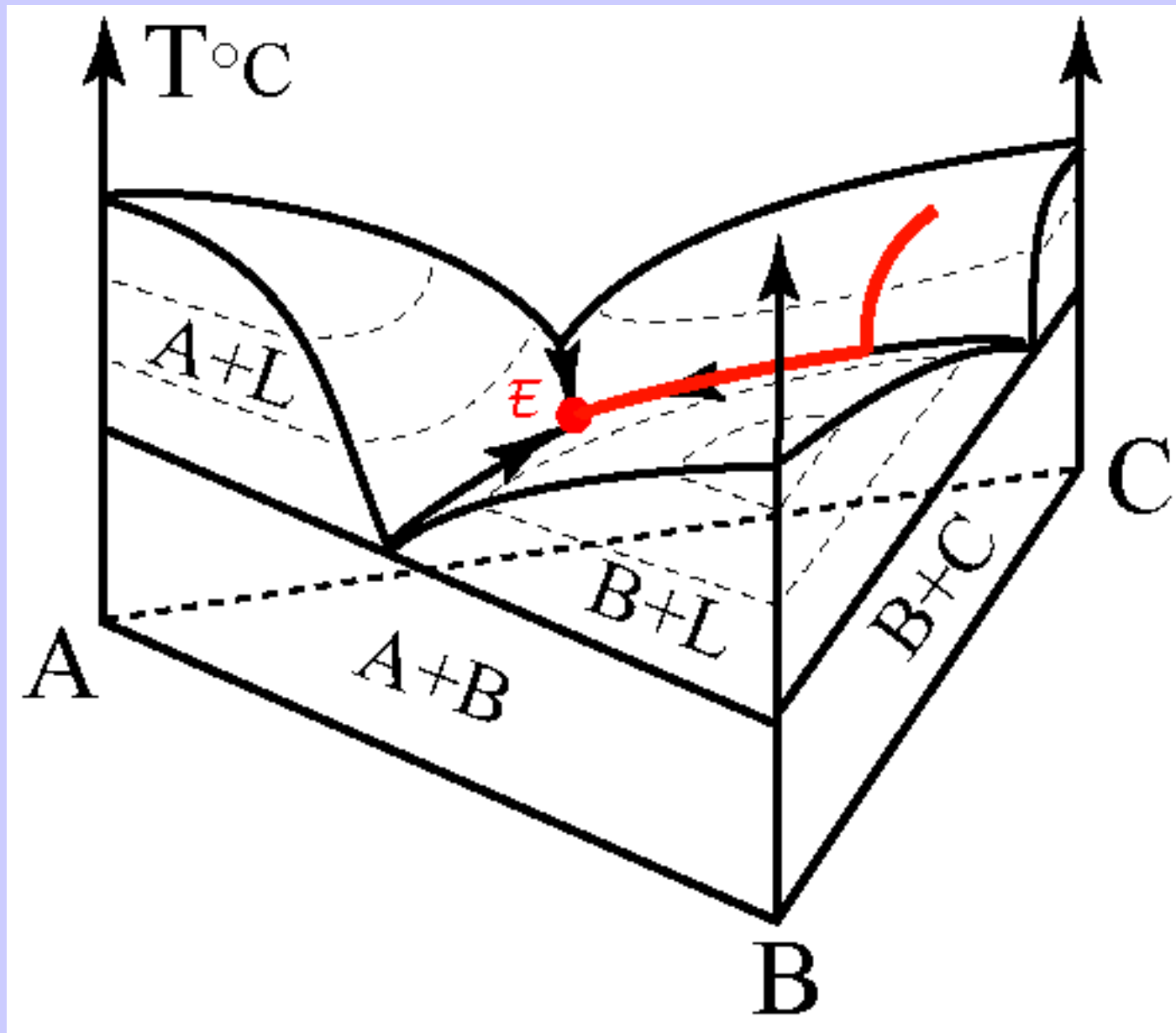


**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.

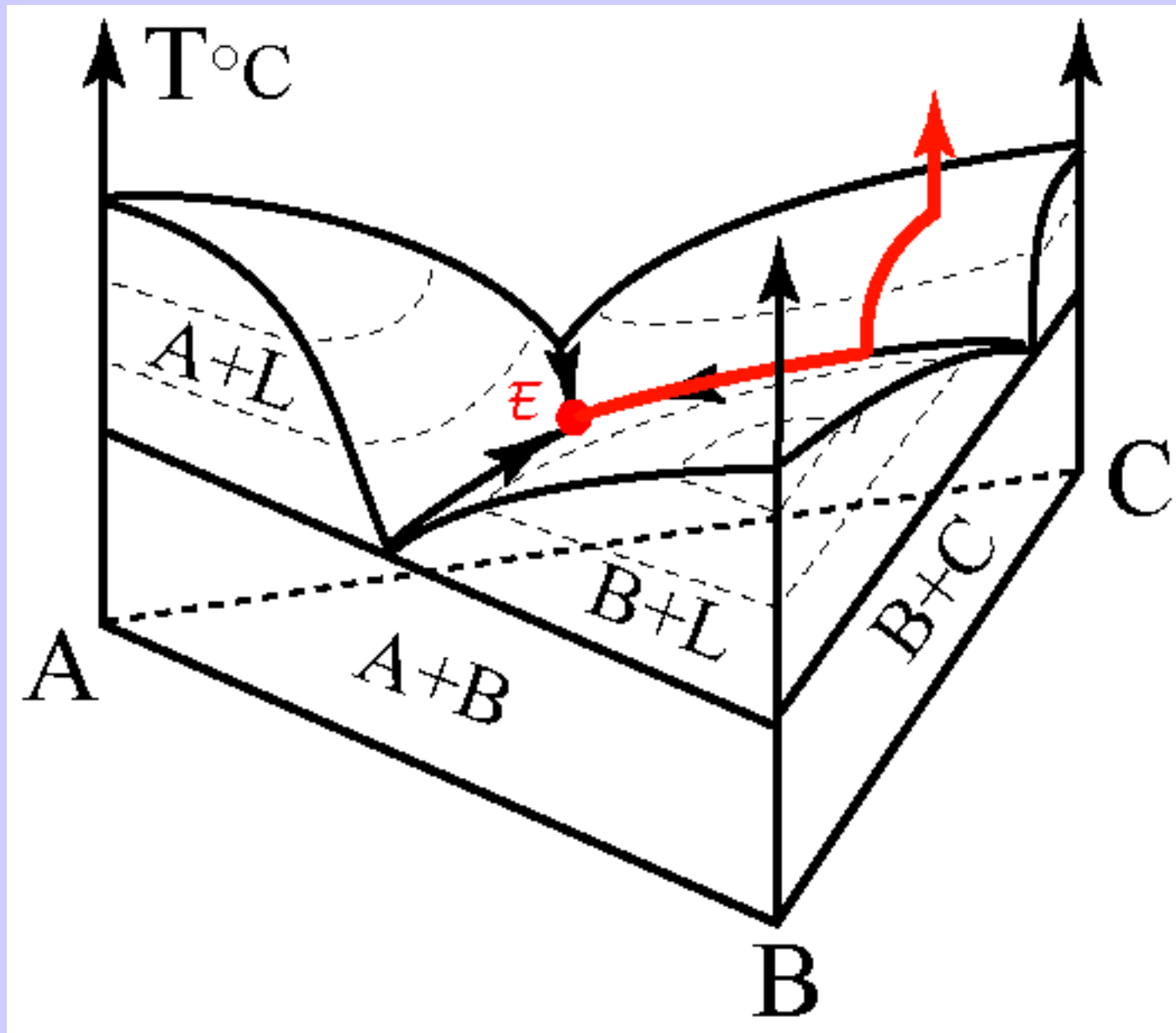




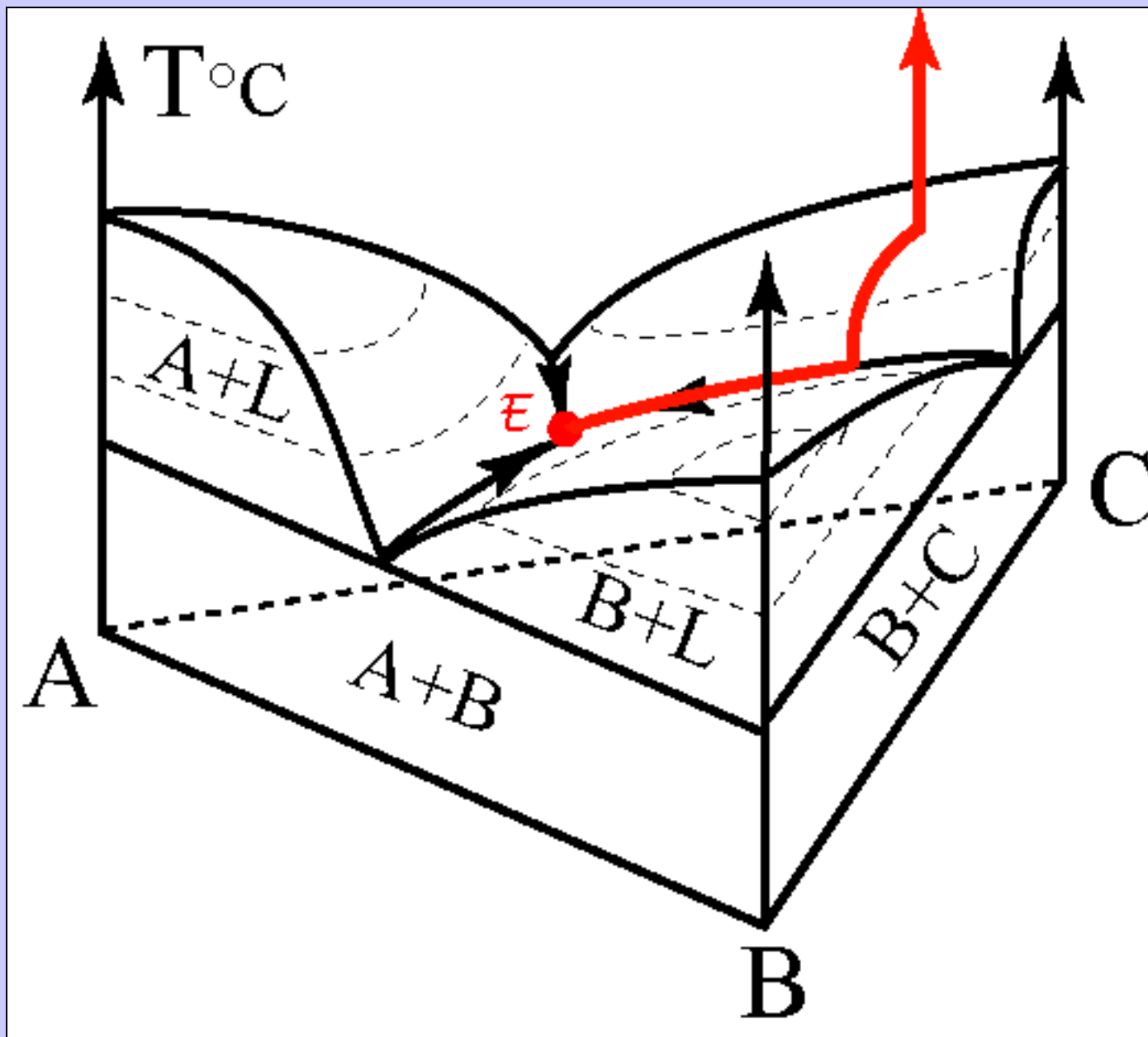
**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.



**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.



**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.



**Document 6.** Diagramme ternaire représentant la fusion d'un mélange de trois minéraux A, B et C.

# Cas de la fusion du manteau à l'origine des magmas basaltiques :



**Diopside  
(clinopyroxène)  
 $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$**



**Grenat  
(néosilicate)  
 $\text{X}_3^{2+}\text{Y}_2^{3+}[\text{SiO}_4]_3$**

**+ Olivine (forstérite  $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$ )**

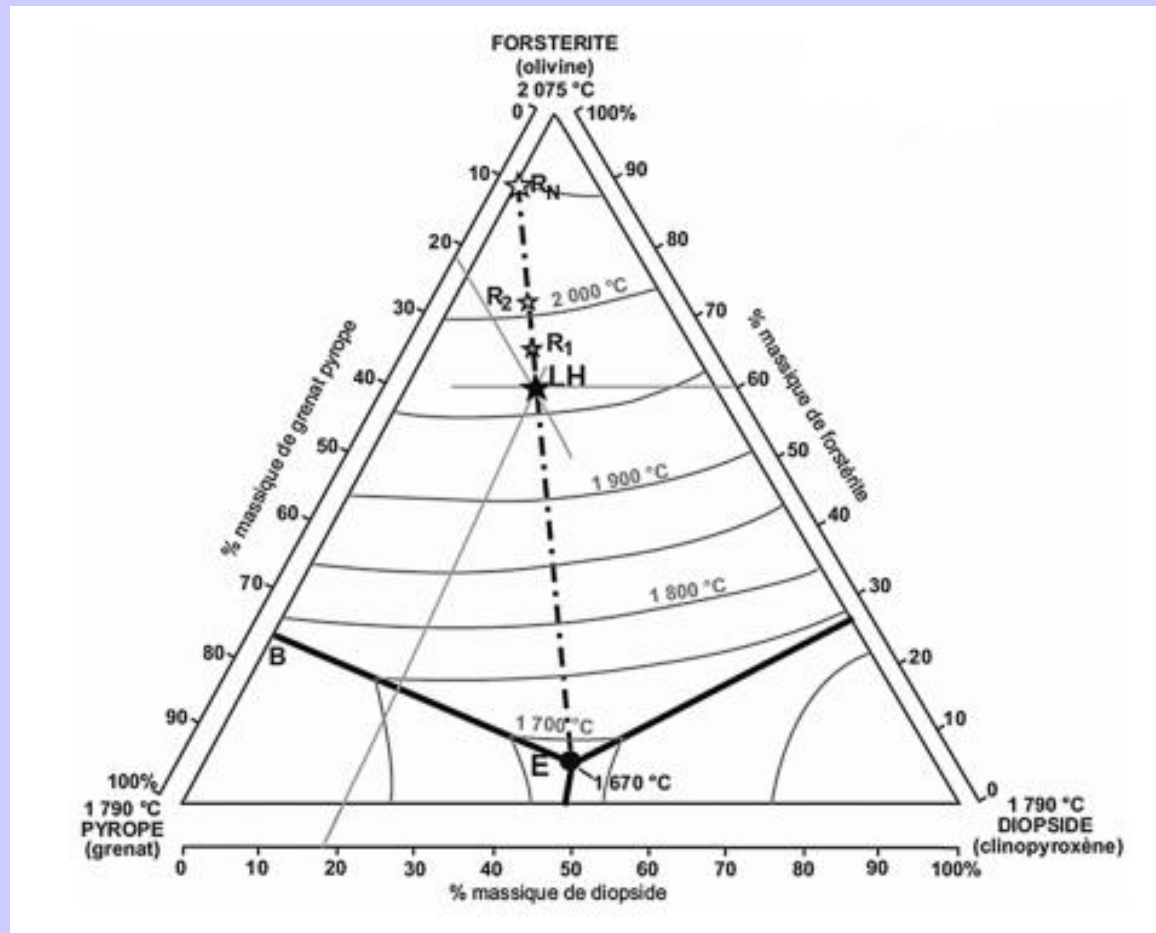
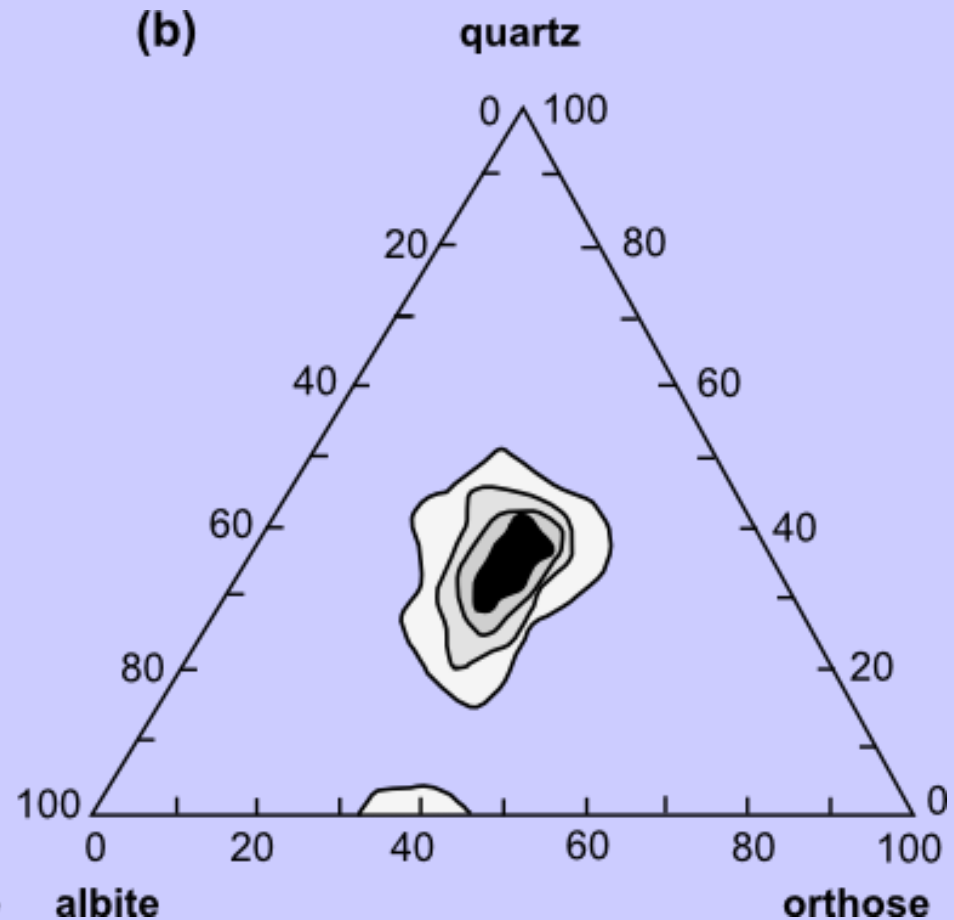
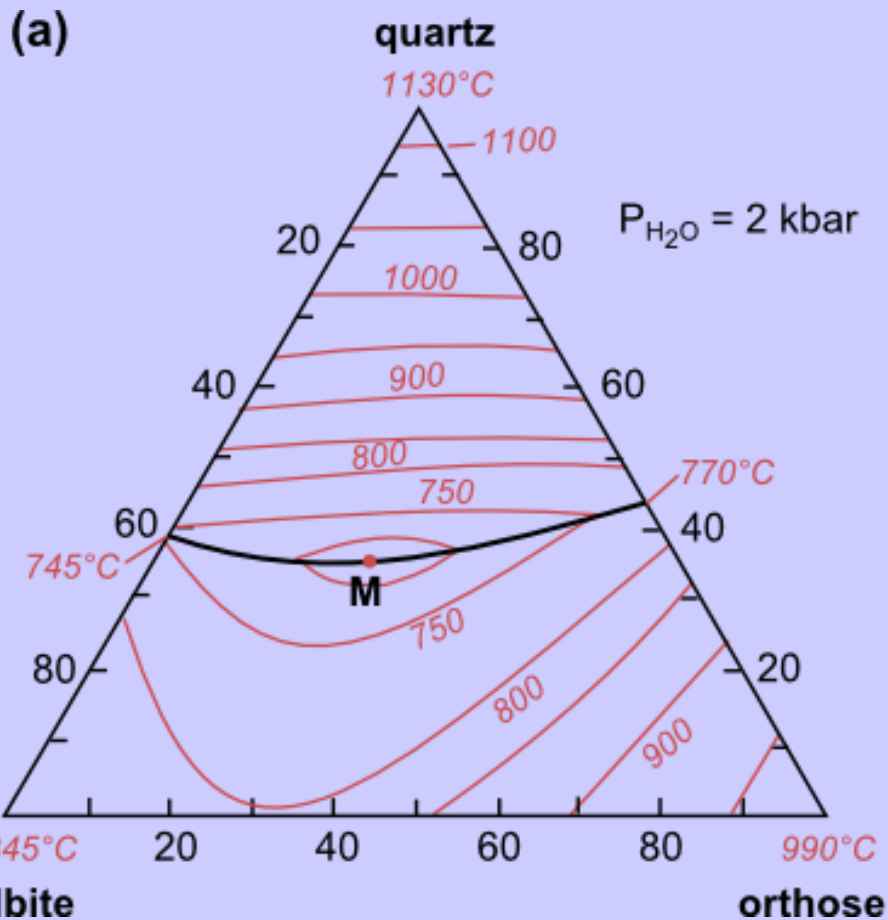


Diagramme ternaire des minéraux cardinaux de la péridotite mantellique



**Diagramme de phase d'un mélange ternaire quartz – albite – orthose (a) et proportions de minéraux clairs des granites (b)**

## Bilan

- **La composition du premier liquide formé diffère de celle de la roche mère (fusion incongruente)**
- **Le taux de FP conditionne la composition du magma**
- **L'ordre de disparition des minéraux dépend de la composition de la roche mère**
- **La composition du liquide eutectique dépend de la nature des minéraux en mélange, pas de leurs proportions**
- **On distingue les éléments magmatophiles = incompatibles des éléments compatibles**

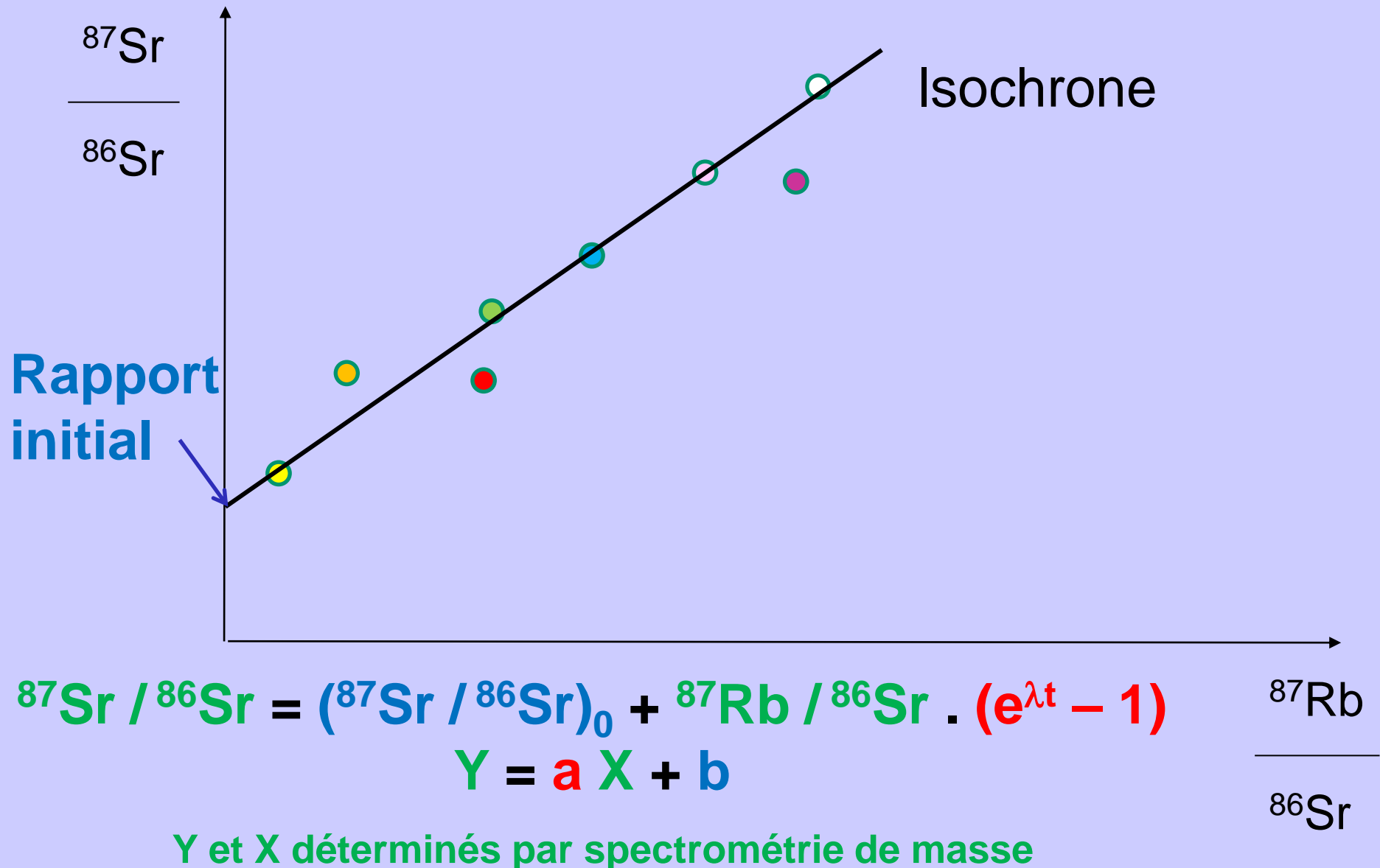


## Bilan (2)

- **La fusion partielle exerce un tri géochimique**
- **La fusion partielle des péridotites mantelliques produit un magma primaire de composition basaltique**
- **La fusion partielle de la croûte continentale (anatexie crustale) produit un liquide de composition granitique**

### 3. Facteurs influençant la composition du magma primaire

#### a. Nature de la source

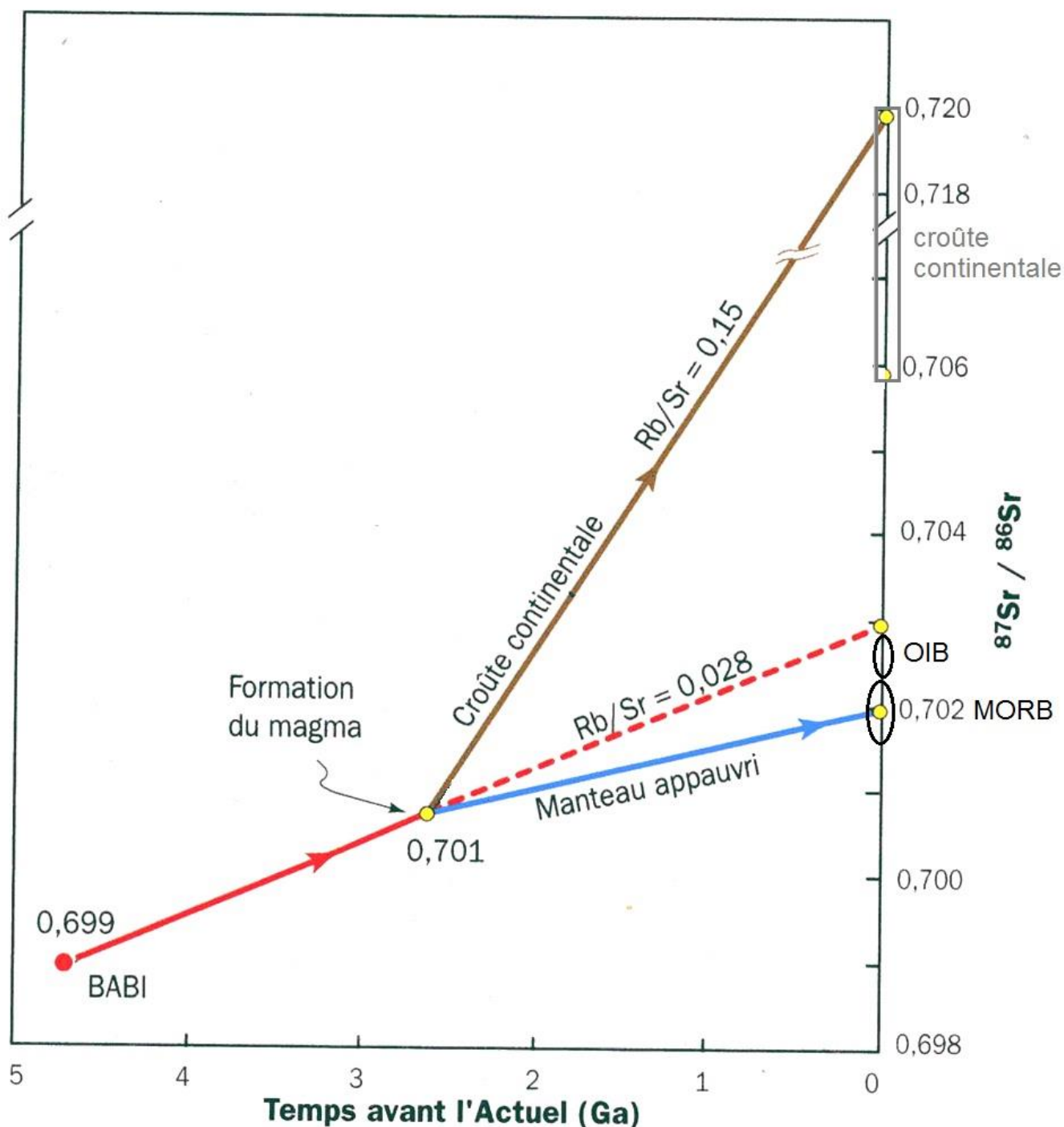


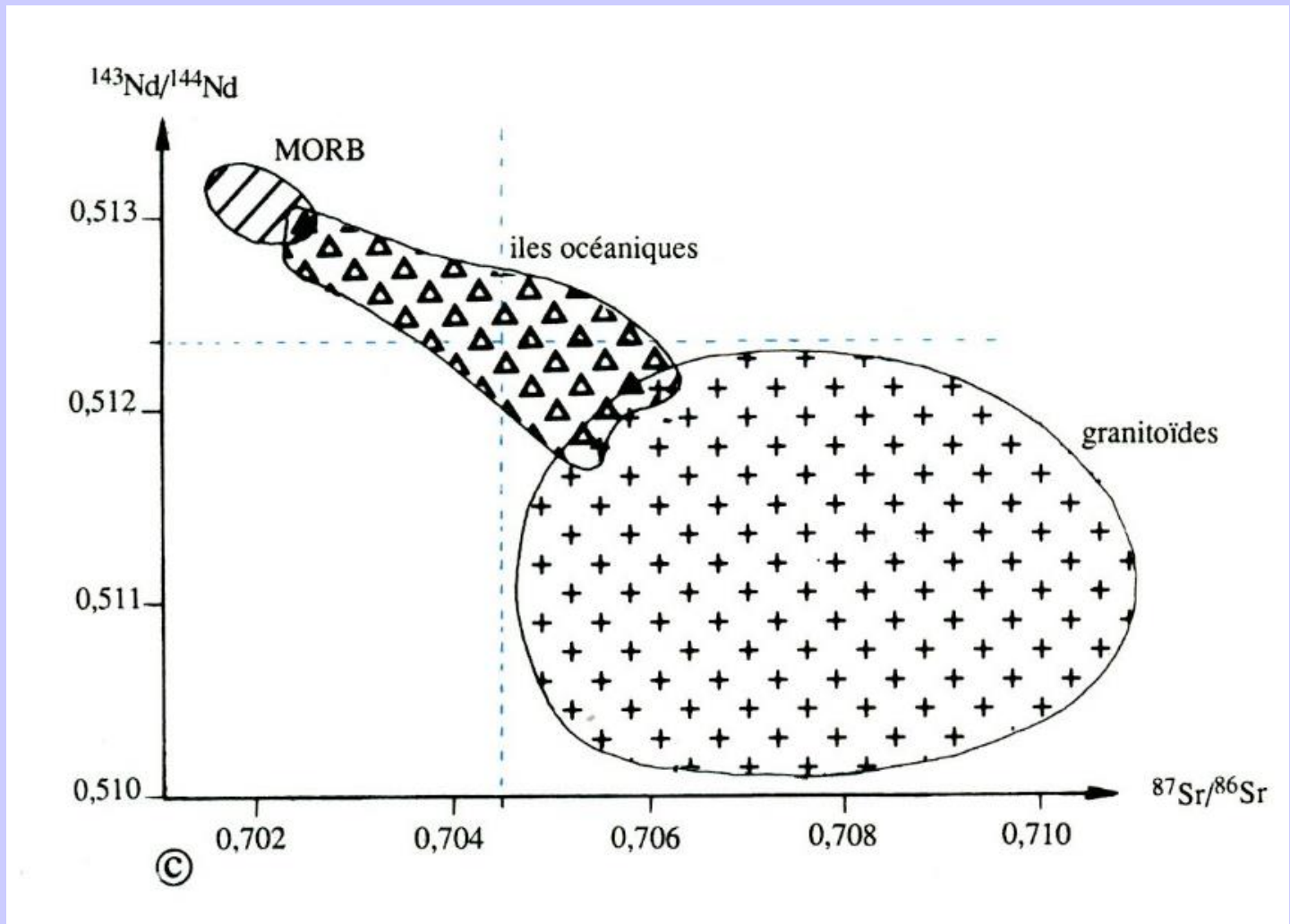
# Document 8.

Evolution isotopique du strontium dans le manteau supérieur et dans la croûte continentale avant et après formation de magma par FP.

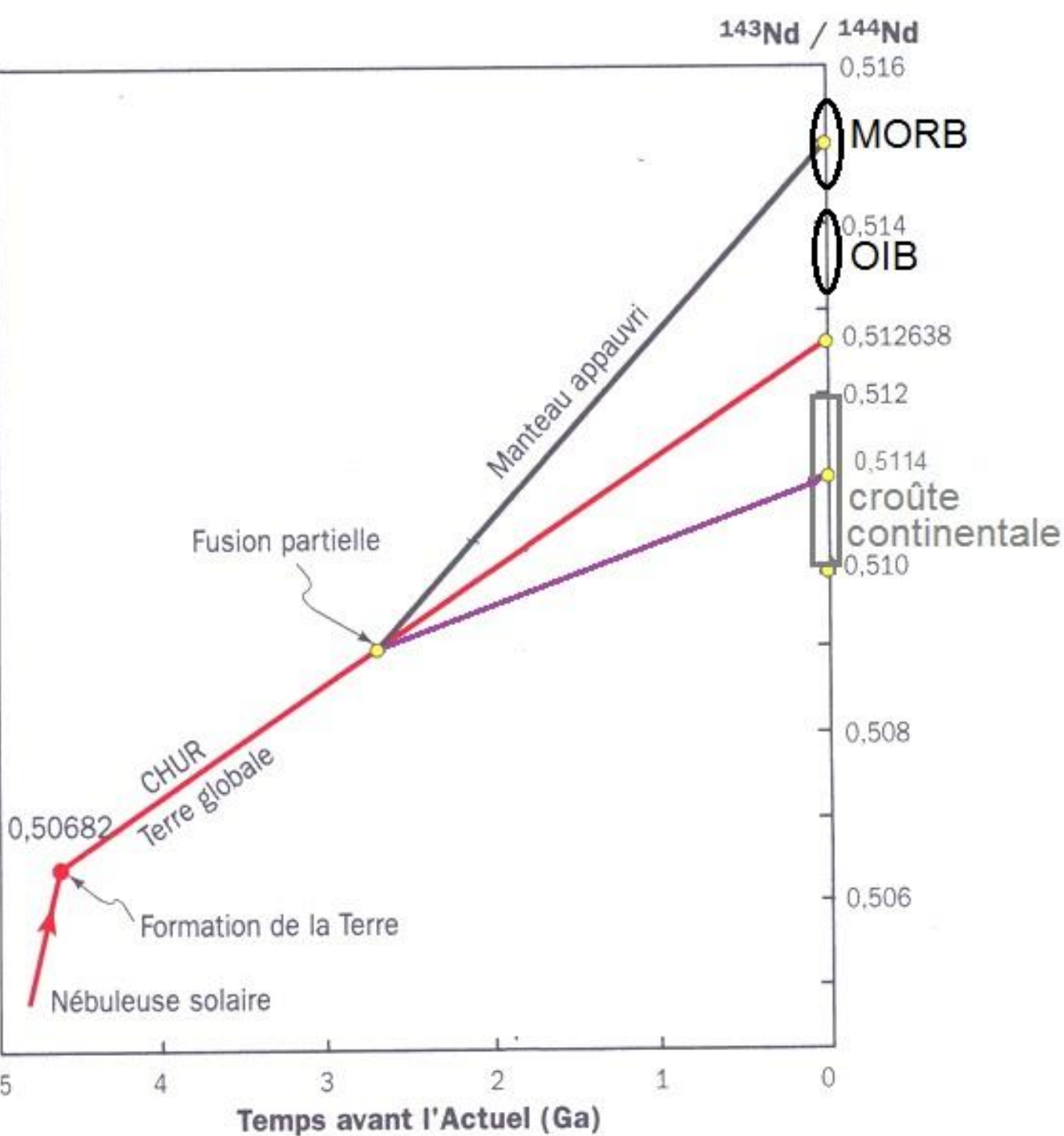
BABI = Basalt Achondrit Best Initial

Bousquet, Robert, Géosciences, la dynamique du système Terre Belin 2013





Rapports isotopiques actuels  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  et  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  des basaltes de dorsale (MORB), d'îles intra-océaniques (OIB) et de granitoïdes.



Document 9.  
 Evolution isotopique du néodyme dans différents réservoirs avant et après fusion partielle.

CHUR = réservoir chondritique uniforme.

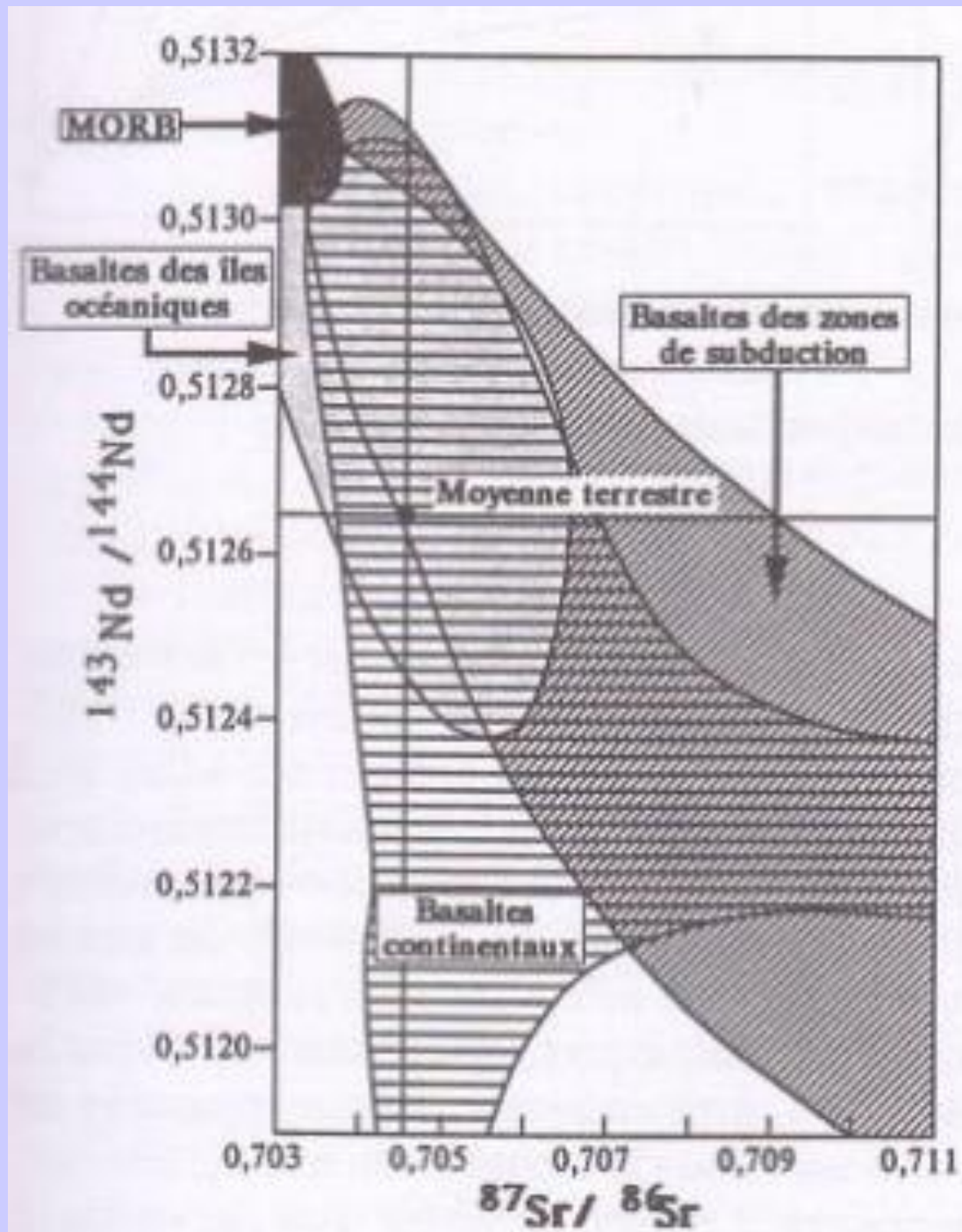
# Document 10.

## Diagramme

$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  vs

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  des

basaltes actuels.



## b. Taux de fusion partielle

Analyses chimiques représentatives de roches mantelliques et d'un basalte océanique.

	<b>Harzburgite ophiolitique</b>	<b>Lherzolite</b>	<b>Basalte océanique</b>
SiO <sub>2</sub>	42.3	45.3	47.1
TiO <sub>2</sub>	0.1	0.2	2.3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5	3.6	14.2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +FeO	7.1	7.3	11.0
MnO	0.1	0.1	0.2
MgO	49.6	41.3	12.7
CaO	0.1	1.9	9.9
Na <sub>2</sub> O	0.1	0.2	2.2
K <sub>2</sub> O	0.005	0.1	0.4

La lherzolite est le matériau source (péridotite fertile)

La harzburgite est le résidu (péridotite résiduelle)



Les komatiites sont des roches ultramafiques très rares et essentiellement d'âge archéen (2 Ga pour la plupart). Les plus récentes (Phanérozoïque) sont celles de l'île de Gorgona (Colombie). Les komatiites contiennent des olivines spinifex (minéraux en forme de baguettes), témoins d'une cristallisation extrêmement rapide.

Roche magmatique	Température	Vitesse de refroidissement	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
Basalte de l'île de Gorgone	1 250°C	1	49,8 %	13,5 %	20,1 %	10,6 %	3,5 %	0,2 %	0 %
Komatiite de l'île de Gorgone	1 600°C	1	47,1 %	11,8 %	30,8 %	9,7 %	0,8 %	0,1 %	0 %
Péridotite de l'expérience de fusion des péridotites	1 600°C	1	43,7 %	2,7 %	46 %	3 %	0,3 %	0,1 %	0 %

Données tirées de JUTEAU : *Géologie de la croûte océanique*, Dunod, Tableau II4 : Analyse de laves basaltiques de contexte intraplaque océanique (KTG et BPG).

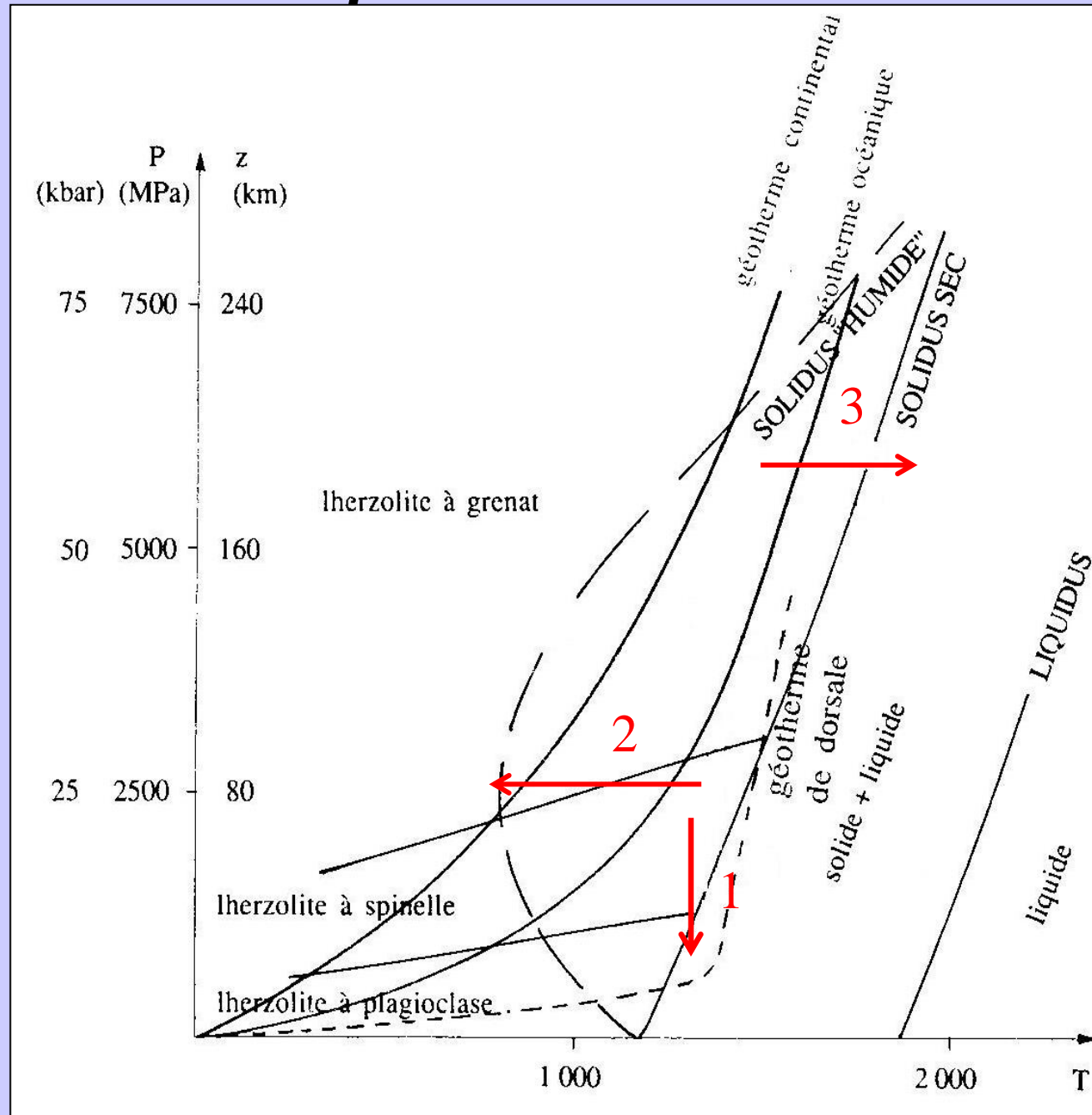
**Quelles informations permettent d'estimer le taux de fusion partielle?**



# 4. Conditions de la fusion partielle

## Document 12. Conditions de fusion partielle du manteau.

(Caron J.M. et coll., “  
Comprendre et enseigner la  
planète Terre”, Ophrys Ed.)



# II. Des magmas primaires aux magmas différenciés

## 1. *La différenciation magmatique*

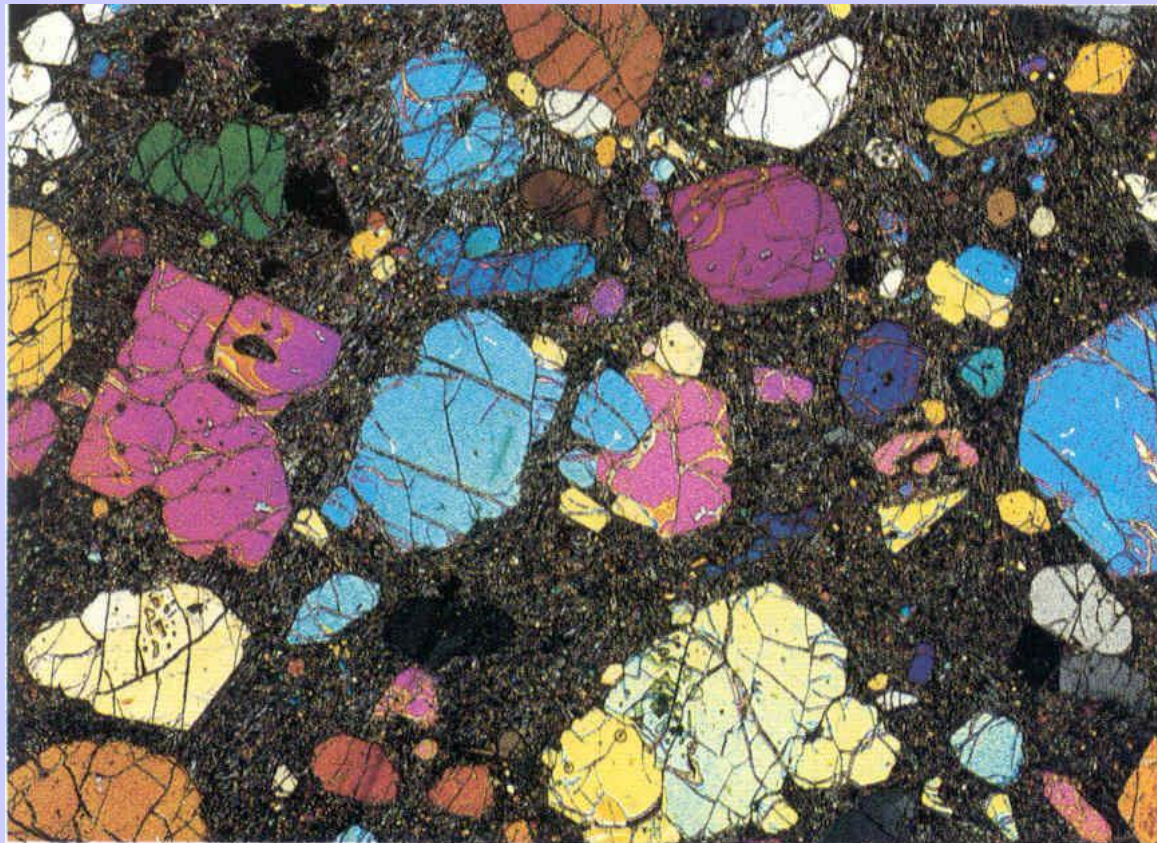
### a. Par cristallisation fractionnée

*α. Mise en évidence de la cristallisation fractionnée*

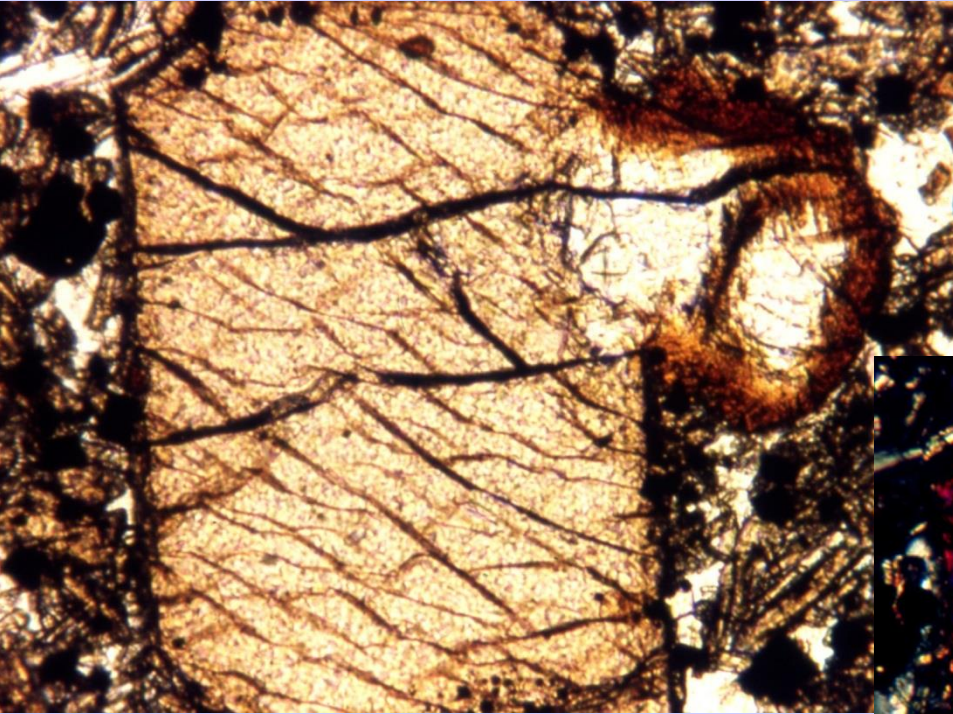
#### ➤ **Observation en lame mince des relations entre minéraux**

**Basalte alcalin,  
coulée de la  
Vache,  
Lassolas. MO,  
LPA**

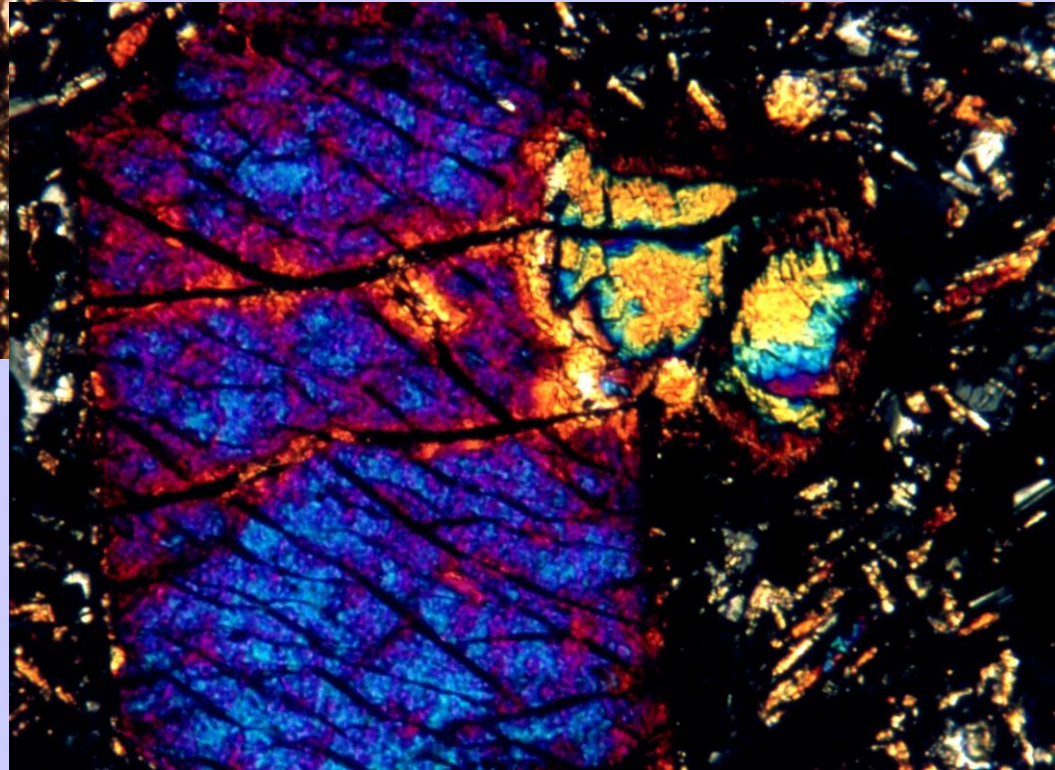
[planet-terre.ens-lyon.fr](http://planet-terre.ens-lyon.fr)



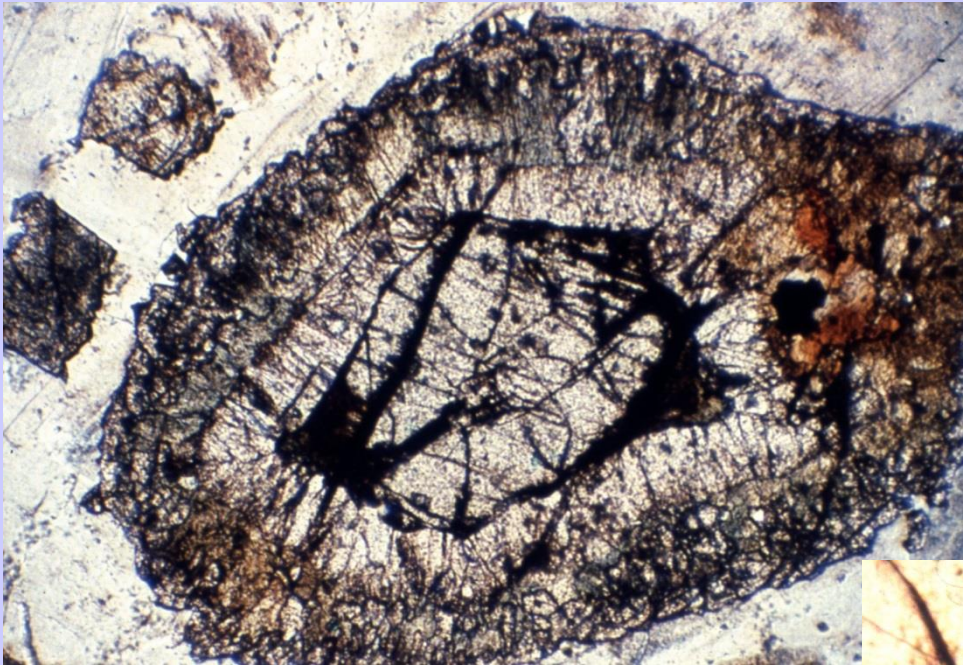
➤ Observation en lame mince des relations entre minéraux



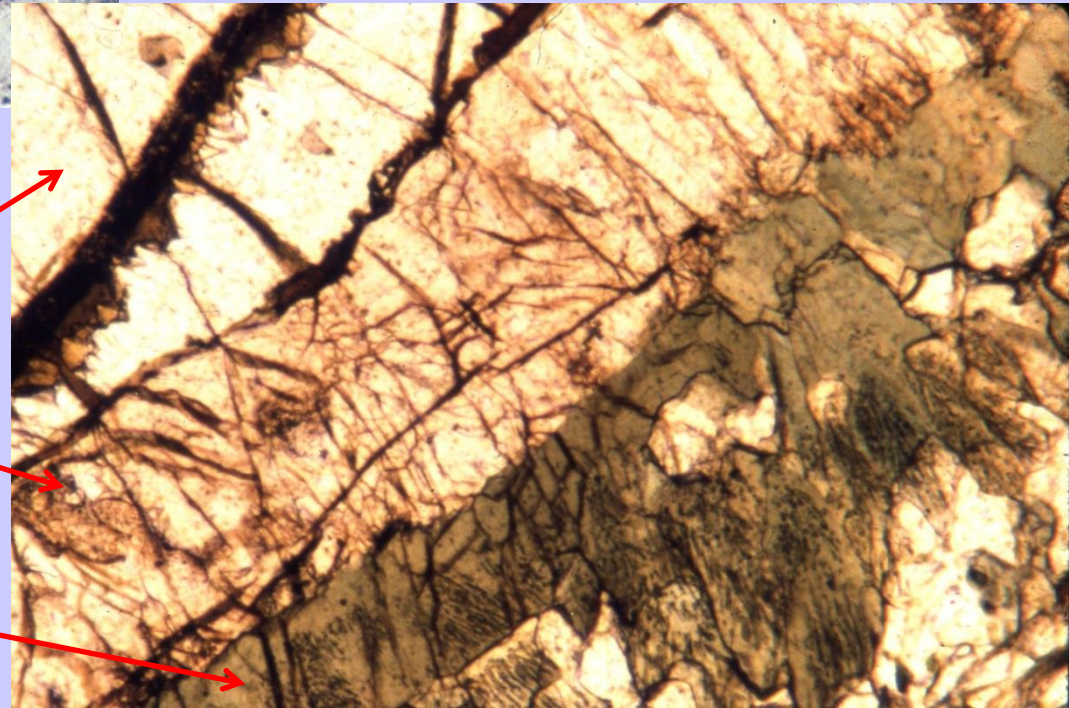
Olivine « incluse » dans un pyroxène



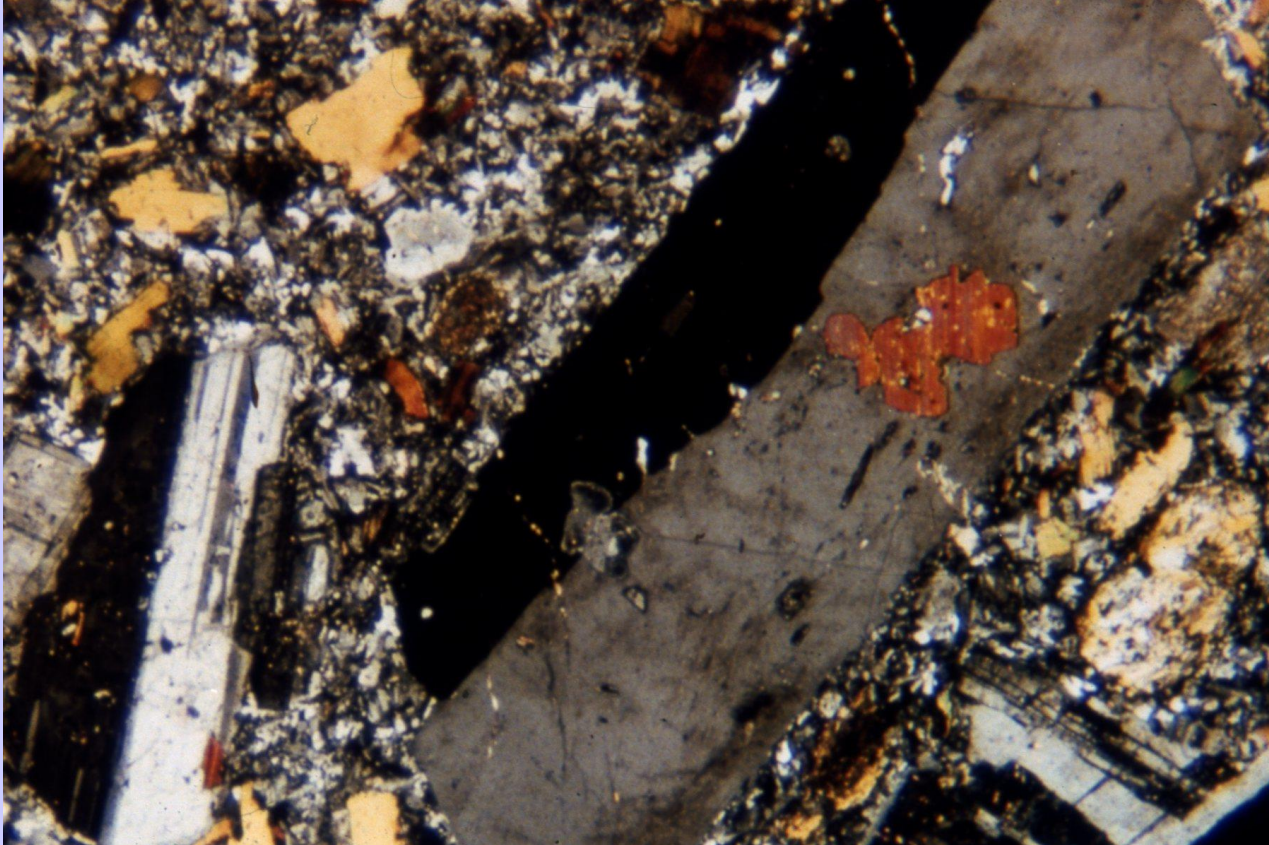
## ➤ Observation en lame mince des relations entre minéraux



Olivine « blindée »  
par un pyroxène,  
lui-même entouré  
d'amphibole



➤ Observation en lame mince des relations entre minéraux

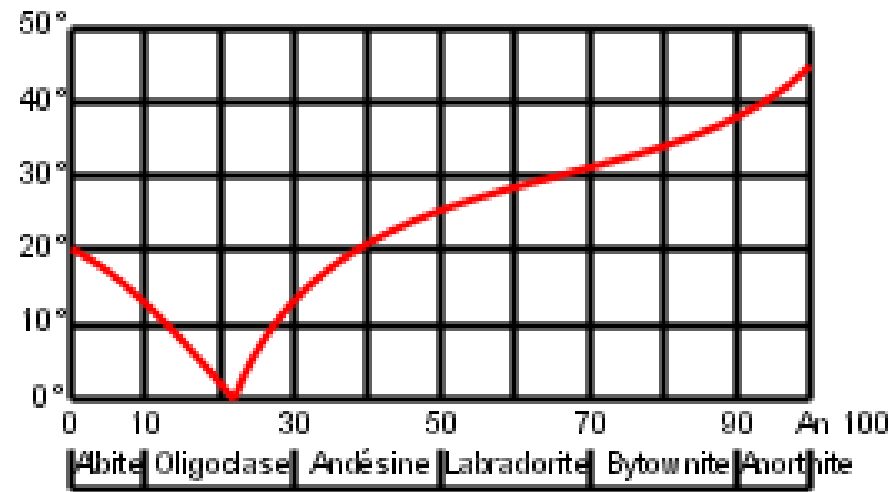
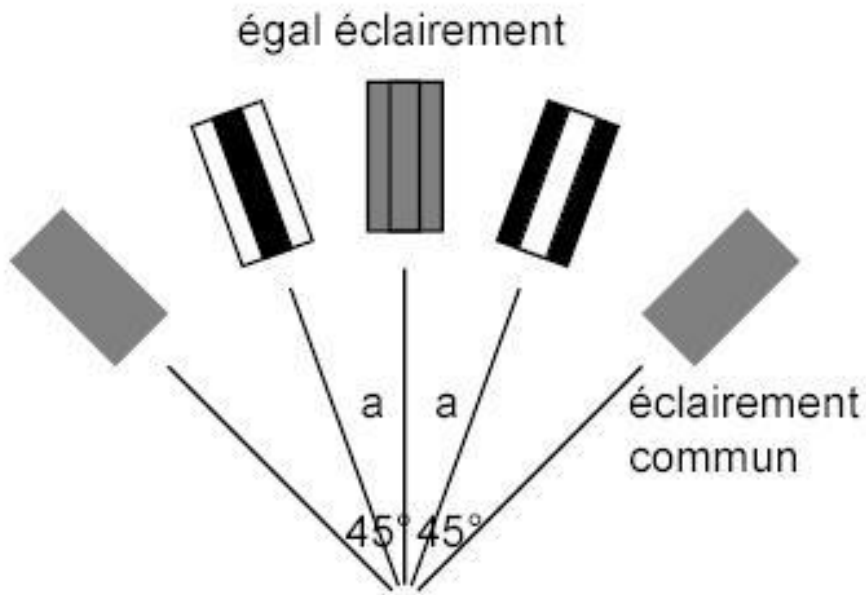


Biotite « incluse » dans un cristal d'orthose

➤ Observation en lame mince des relations entre minéraux



Zonation minérale dans un plagioclase



Angle d'extinction des plagioclases

L'angle d'extinction des plagioclases dépend des proportions Ca / Na



→ La zonation indique un changement dans la composition du plagioclase, donc du magma résiduel.

# ➤ Observation de terrain : âge et nature des roches produites

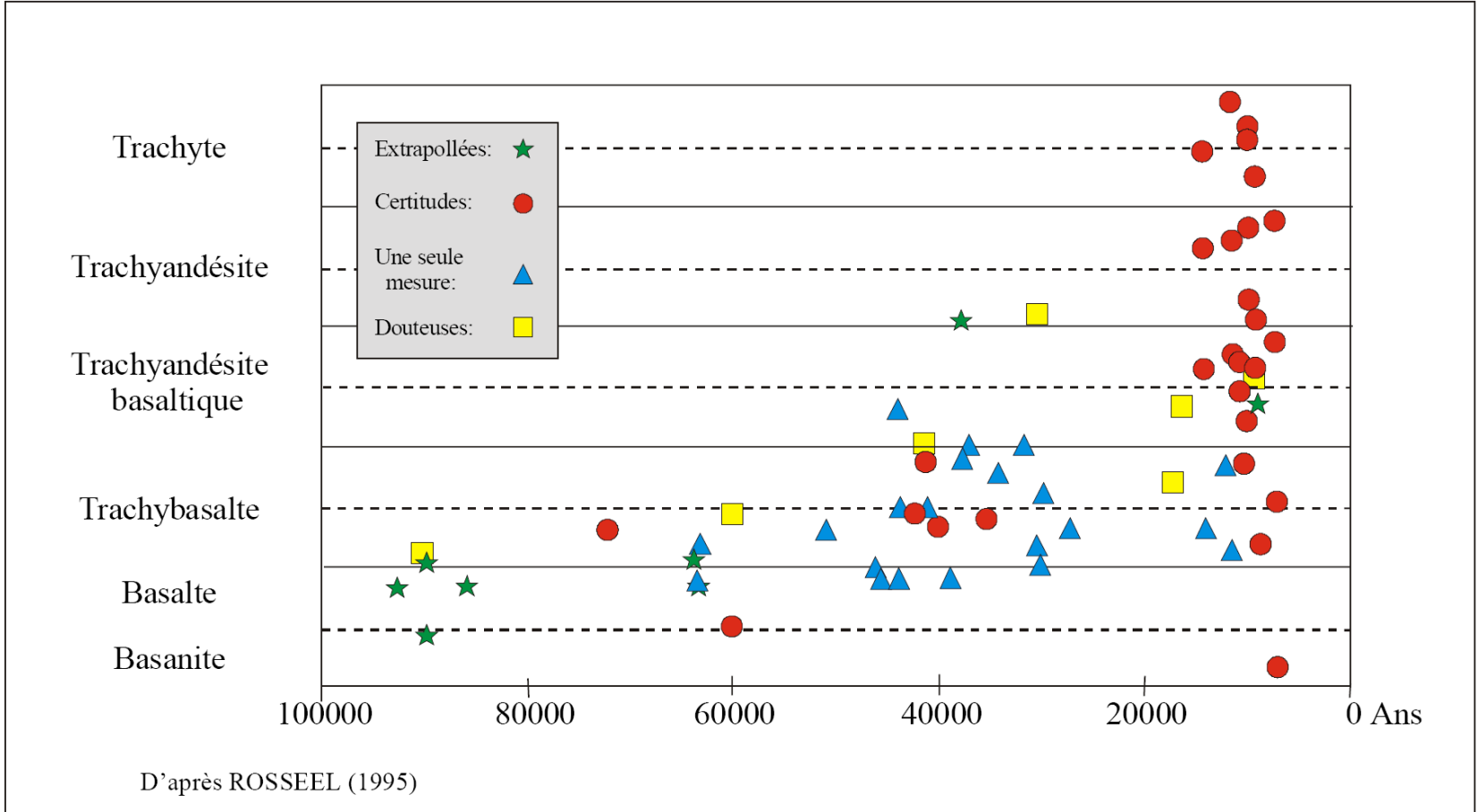
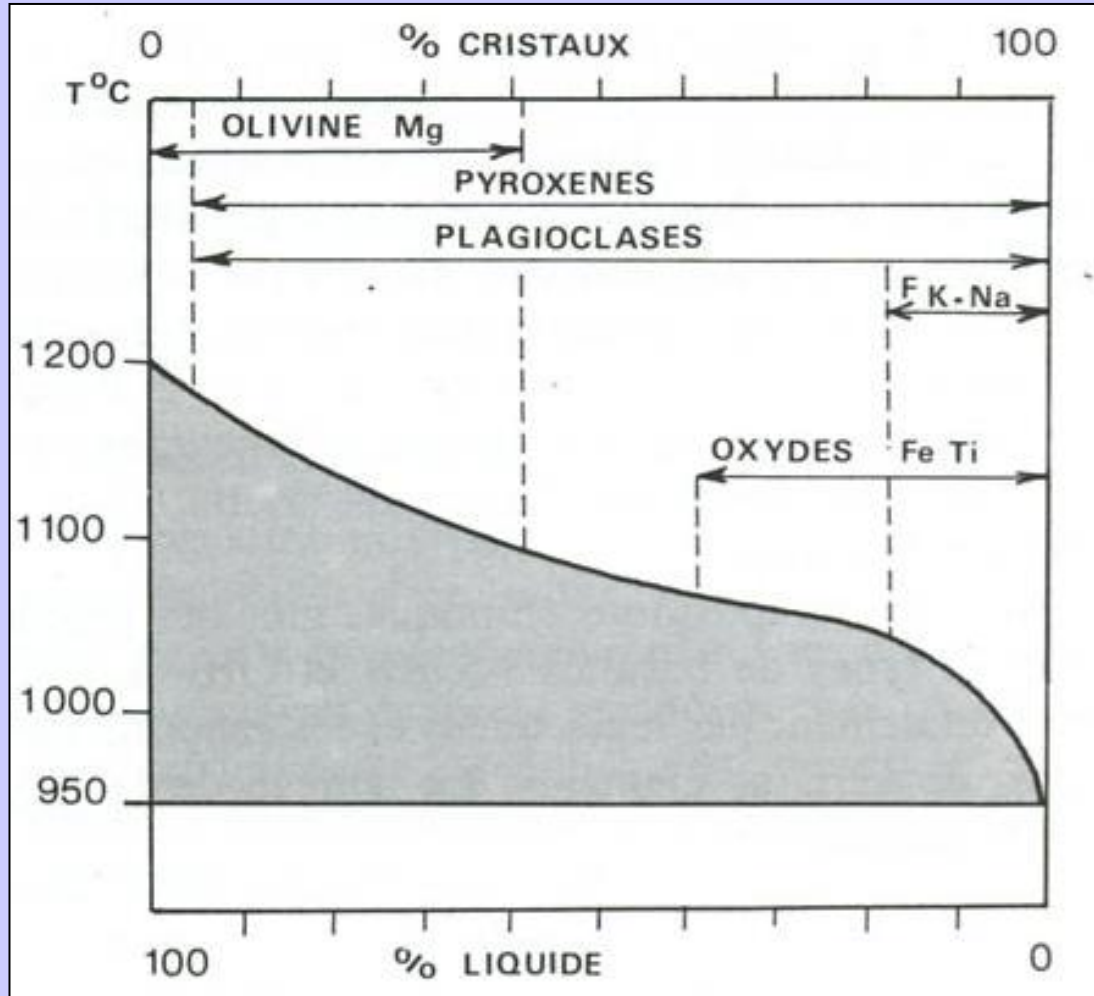


Figure 11 – Diagramme montrant l'ensemble des âges des produits volcaniques de la Chaîne des Puys en relation avec leur chimisme (d'après Rosseel, 1996 et de Goër, 1997). Un examen attentif des périodes d'activité montre clairement l'alternance de périodes d'activité et de périodes d'arrêt du volcanisme. Certaines de ces périodes de repos sont plus longues que celle qui nous sépare des dernières éruptions volcaniques (7000 ans). Ceci suggère qu'une reprise de l'activité volcanique est possible. Il est cependant impossible de savoir quand : dans 2 mois ou dans 2000 ans. Par contre l'évolution chimique et volcanologique passée des éruptions de la Chaîne des Puys indiquent une évolution marquée vers des produits de plus en plus riches en silice et par conséquent un dynamisme de plus en plus explosif.



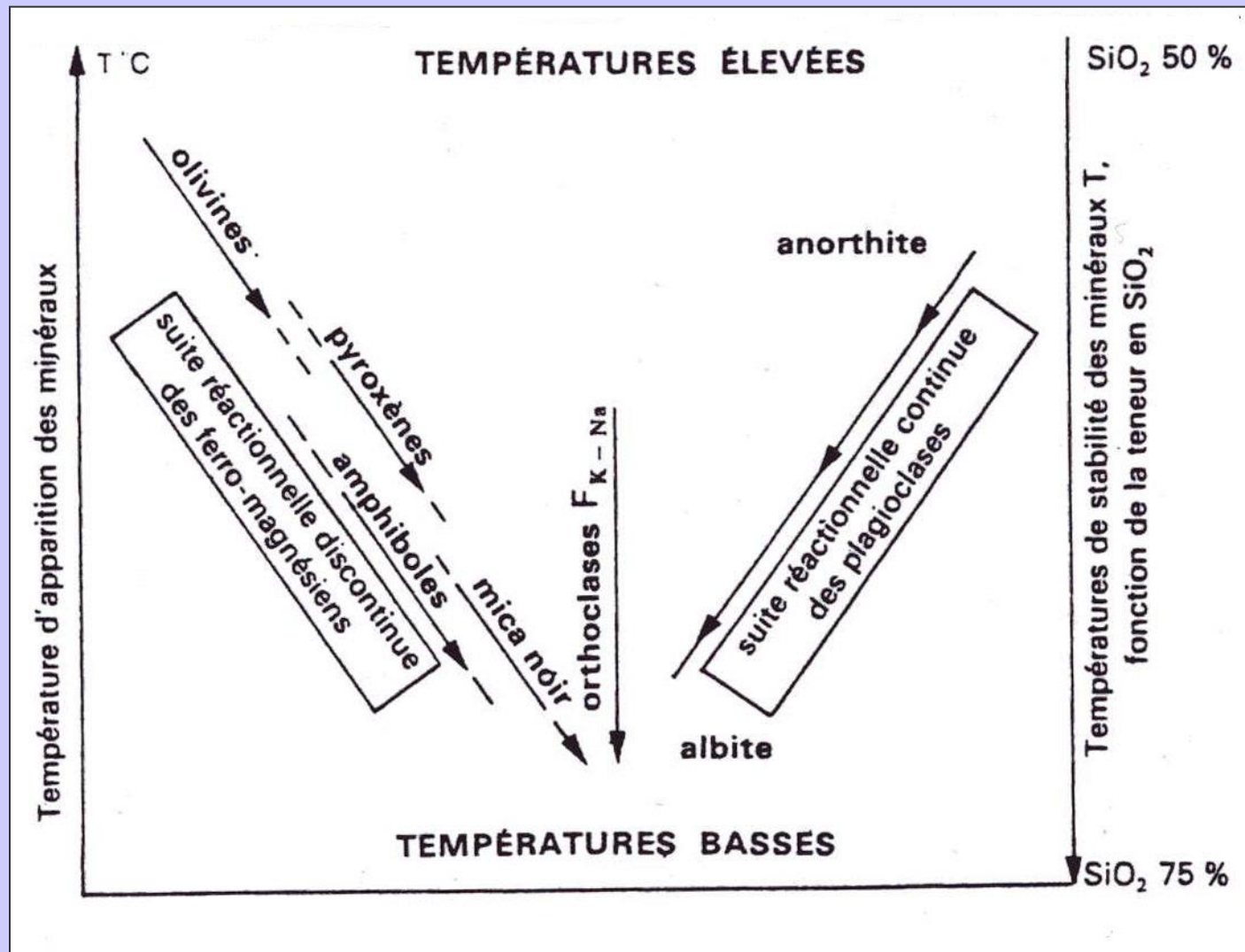
## ➤ Observation d'un ordre d'apparition des minéraux



### **Document 13. Ordre d'apparition des minéraux lors de la cristallisation lente d'une coulée de basalte d'Hawaï.**

Le pourcentage de liquide est apprécié d'après celui des verres des laves solidifiées. A 900 °C, la lave est solide.

## *β. Approche expérimentale : les travaux de Bowen*



### **Document 14. Les suites réactionnelles de Bowen.**

(Dercourt J., Paquet J., "Géologie : objets et méthodes", Dunod Ed.).

- **Suite réactionnelle des ferro-magnésiens :**

Cas d'un magma peu riche en silice :

Liquide  $\rightarrow$  olivine + liquide

Olivine + liquide  $\rightarrow$  olivine + pyroxène

Cas d'un magma un peu plus riche en silice :

Liquide  $\rightarrow$  olivine + liquide

Olivine + liquide  $\rightarrow$  liquide

Liquide  $\rightarrow$  pyroxène + liquide

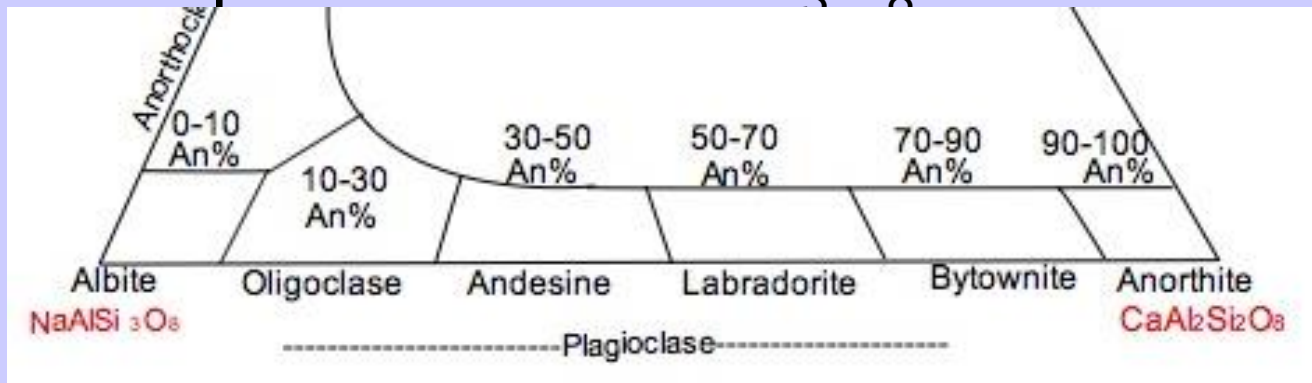
Pyroxènes + liquide  $\rightarrow$  amphiboles

Amphiboles + liquide  $\rightarrow$  mica

Mica + liquide  $\rightarrow$  quartz

- **Suite réactionnelle des plagioclases :**

- Suite continue (albite et anorthite ont la même structure cristalline)
- Pôle calcique : anorthite  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
- Pôle sodique : albite  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$

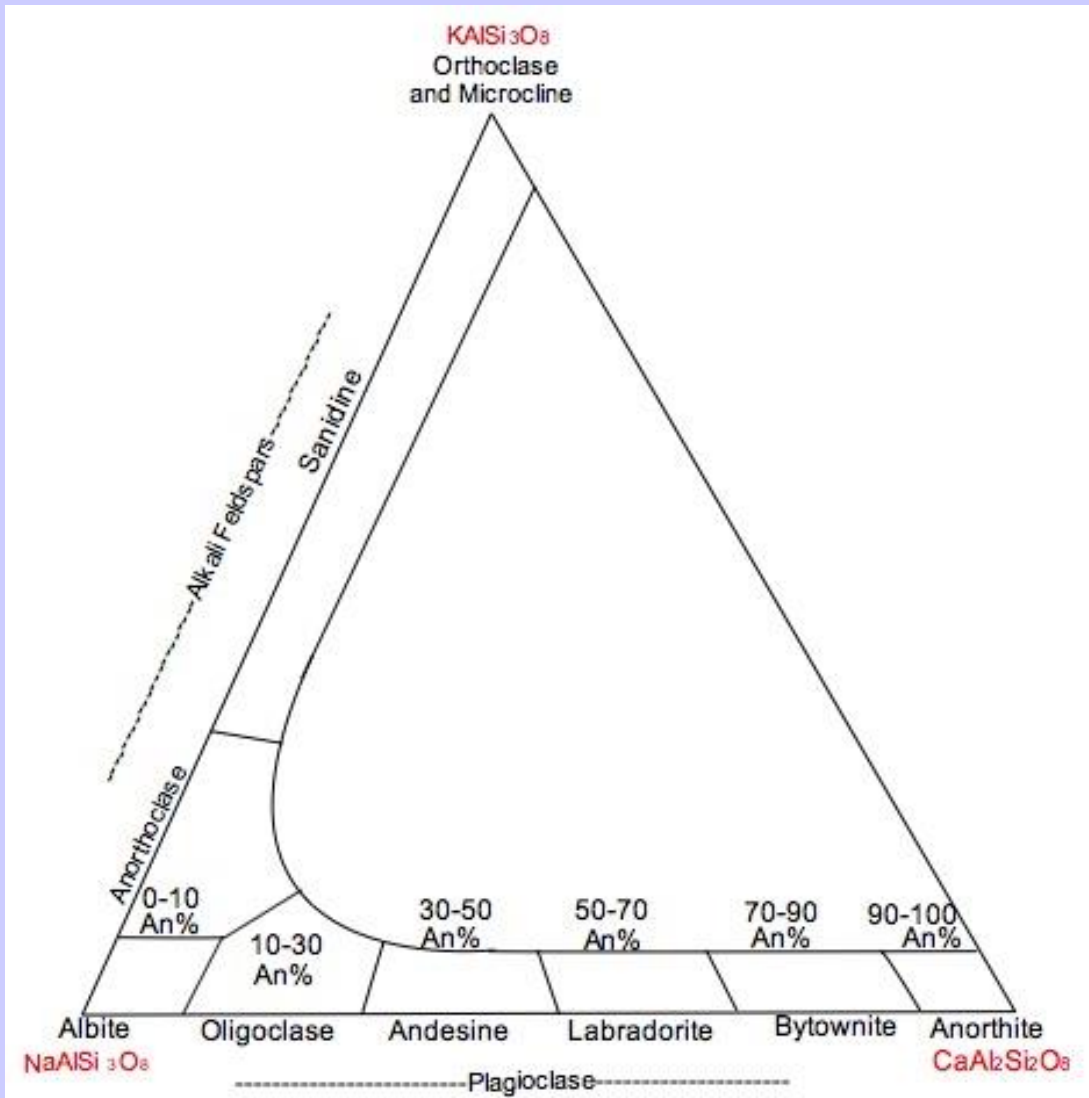


Lorsque la température diminue :

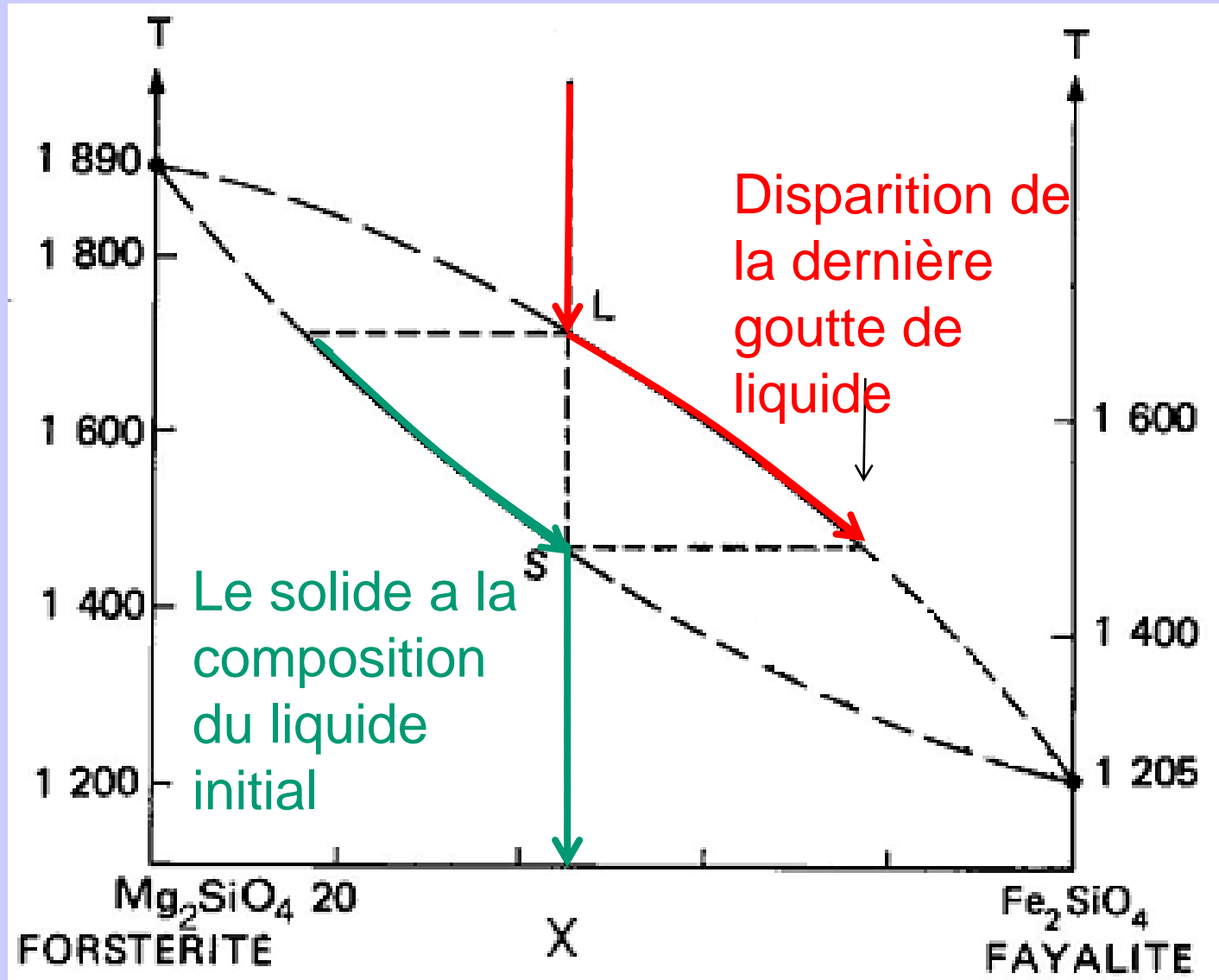
Plagioclase riche en Ca (anorthite) + liquide →  
plagioclase un peu moins riche en Ca (bytownite) +  
liquide

# Suite réactionnelle des feldspaths potassiques :

Sanidine → anorthose → orthose → quartz  
ou feldspathoïde

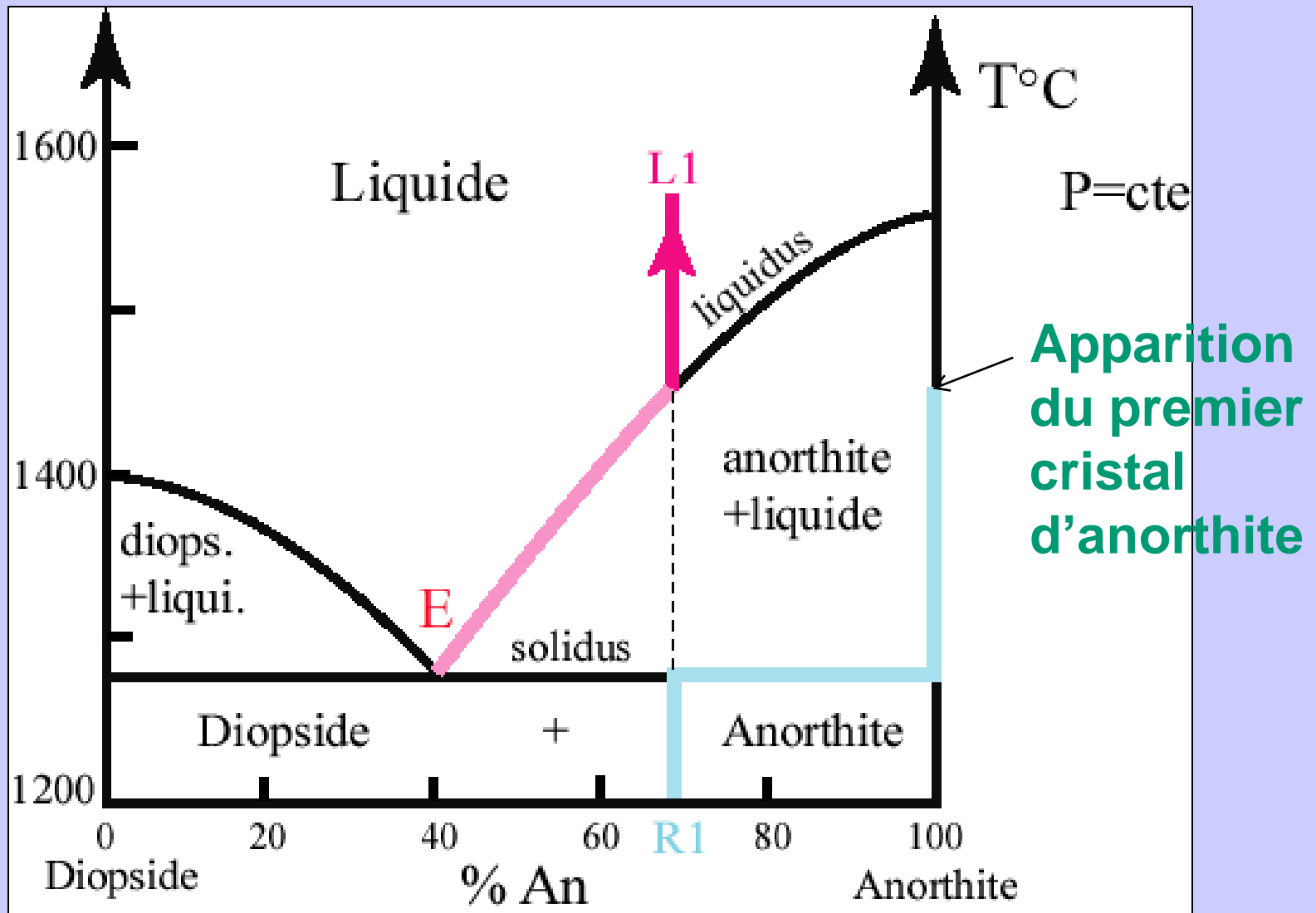


## $\gamma$ . Ordre d'apparition des minéraux dans les diagrammes étudiés



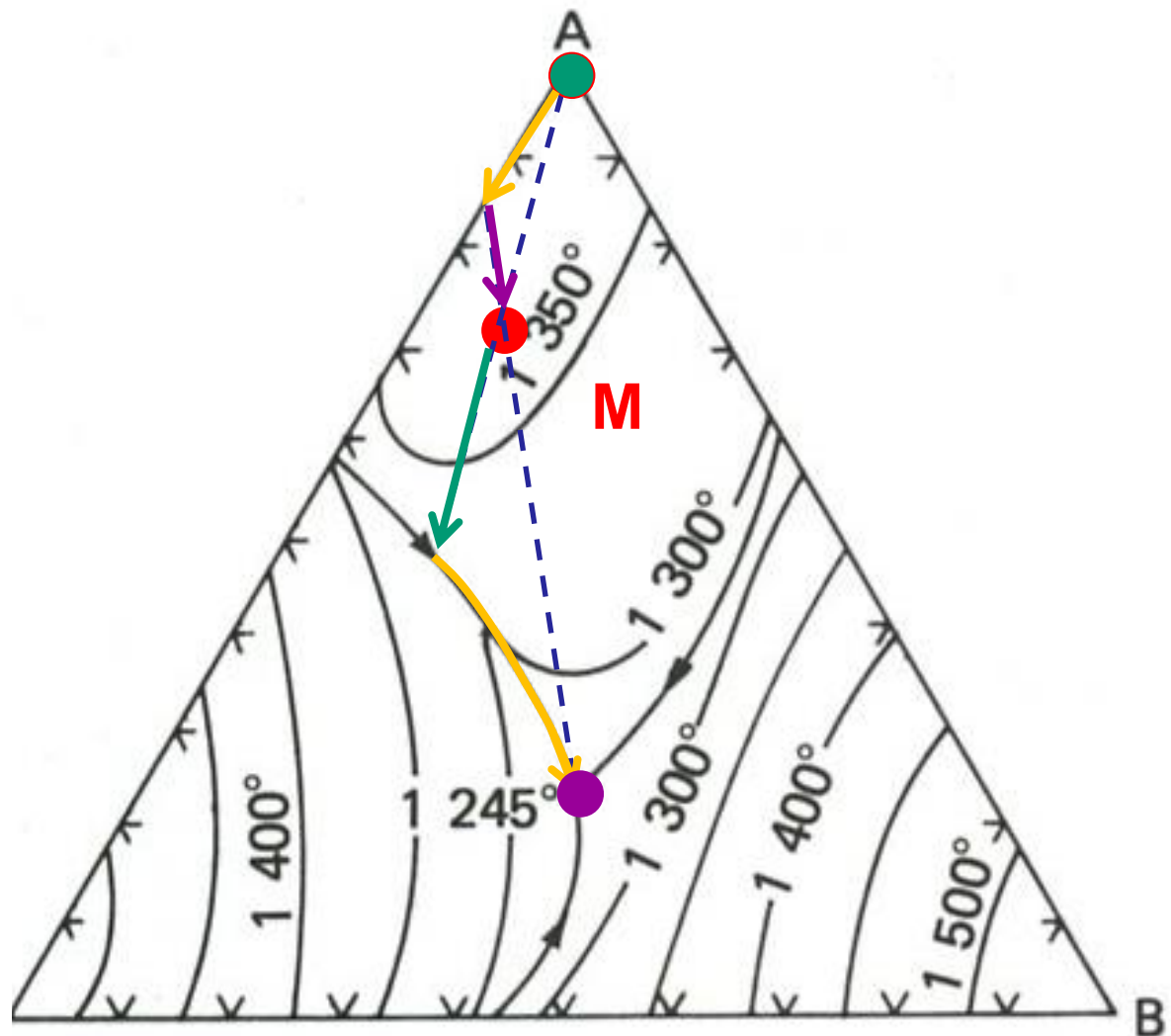
**Cristallisation fractionnée dans un diagramme binaire (ex. olivine).**

(Dercourt J., Paquet J., " Géologie : objets et méthodes ", Dunod Ed.).



**Cristallisation fractionnée dans un diagramme binaire avec eutectique (inverser le sens de la flèche sous L1).**

**A cristallise, la composition du liquide résiduel évolue en « descendant » la surface liquidus jusqu'à la ligne cotectique A+C+liquide**  
**A + C cristallisent, la composition du liquide résiduel suit la ligne cotectique jusqu'au puits eutectique**  
**A + B + C cristallisent, le liquide a la composition de l'eutectique, jusqu'à ce qu'il n'en reste plus**  
**A la fin, le solide a la même composition M que le liquide initial**



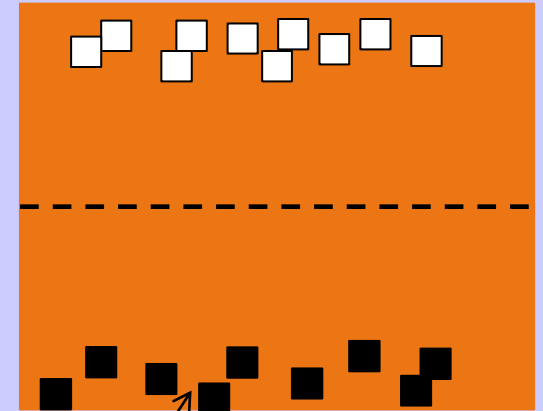
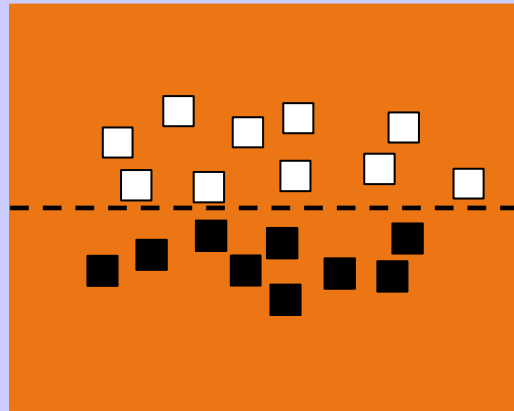
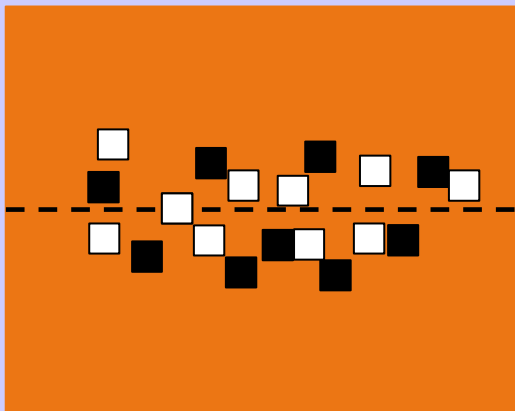
**Document 15. Cas du refroidissement d'un liquide de composition M.**  
Cette projection représente la surface du liquidus.



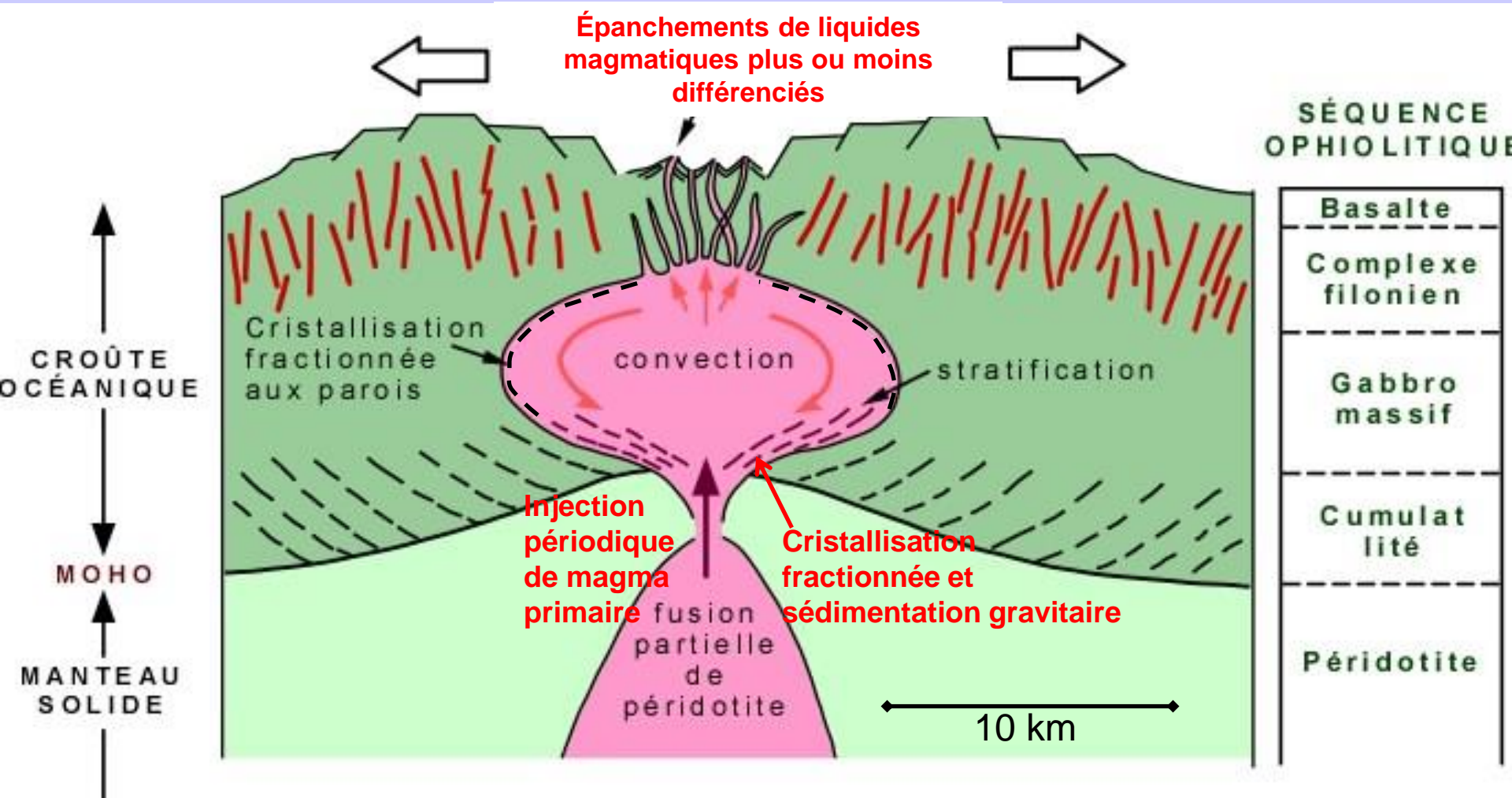
*$\delta$ . Séparation solide / liquide dans la chambre magmatique et différenciation des magmas*

➤ **La sédimentation gravitaire**

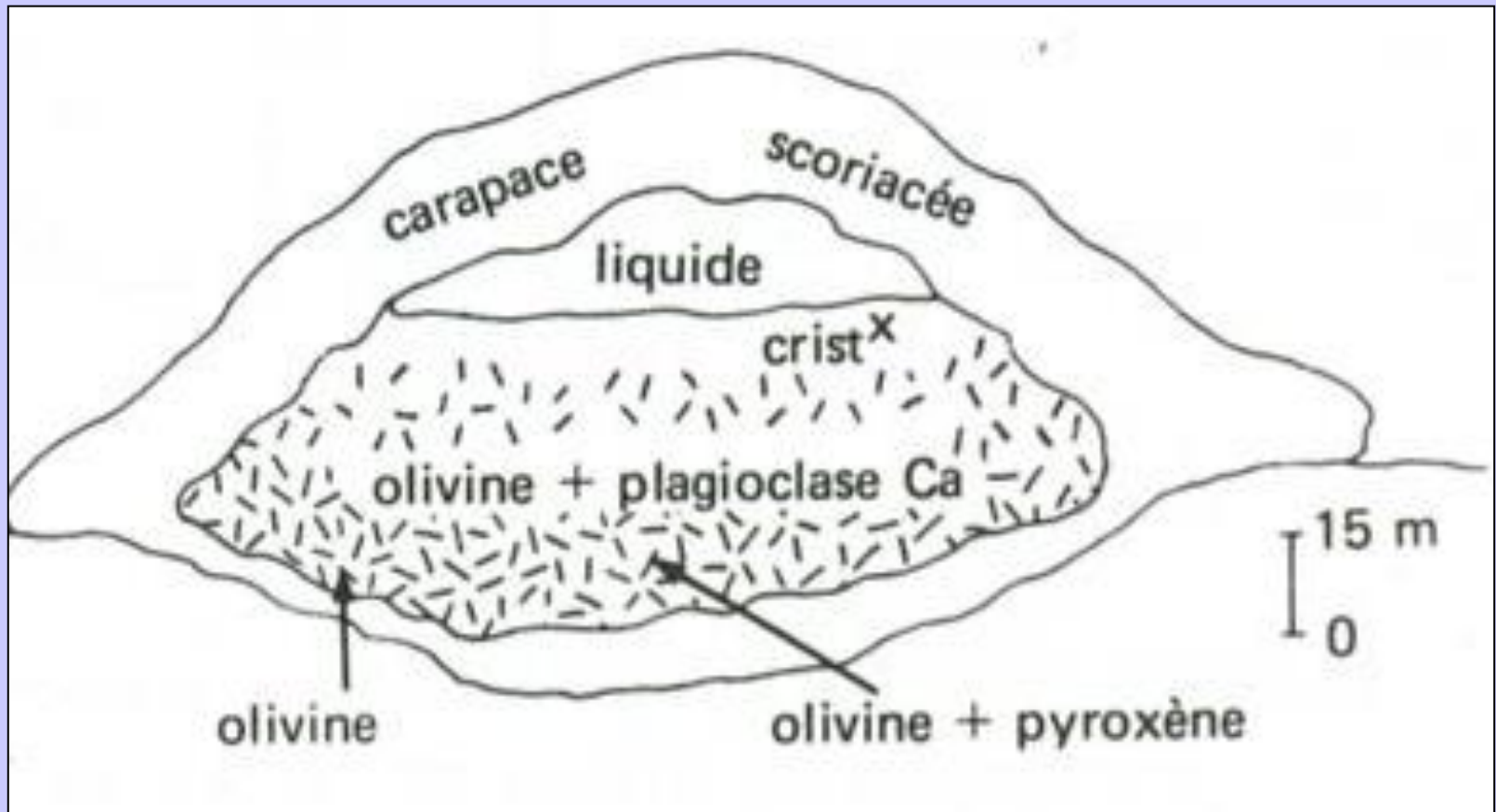
Séparation des minéraux selon leur densité :



schlieren



**Document 16. Différenciation magmatique dans une chambre magmatique (cas d'une dorsale rapide).**



**Document 17. Mécanisme de “ sédimentation ” des cristaux les premiers formés dans un culot basaltique en cours de refroidissement.**

(Dercourt J., Paquet J. “ Géologie, objets et méthodes ”, Dunod Ed.).

## ➤ La cristallisation aux parois

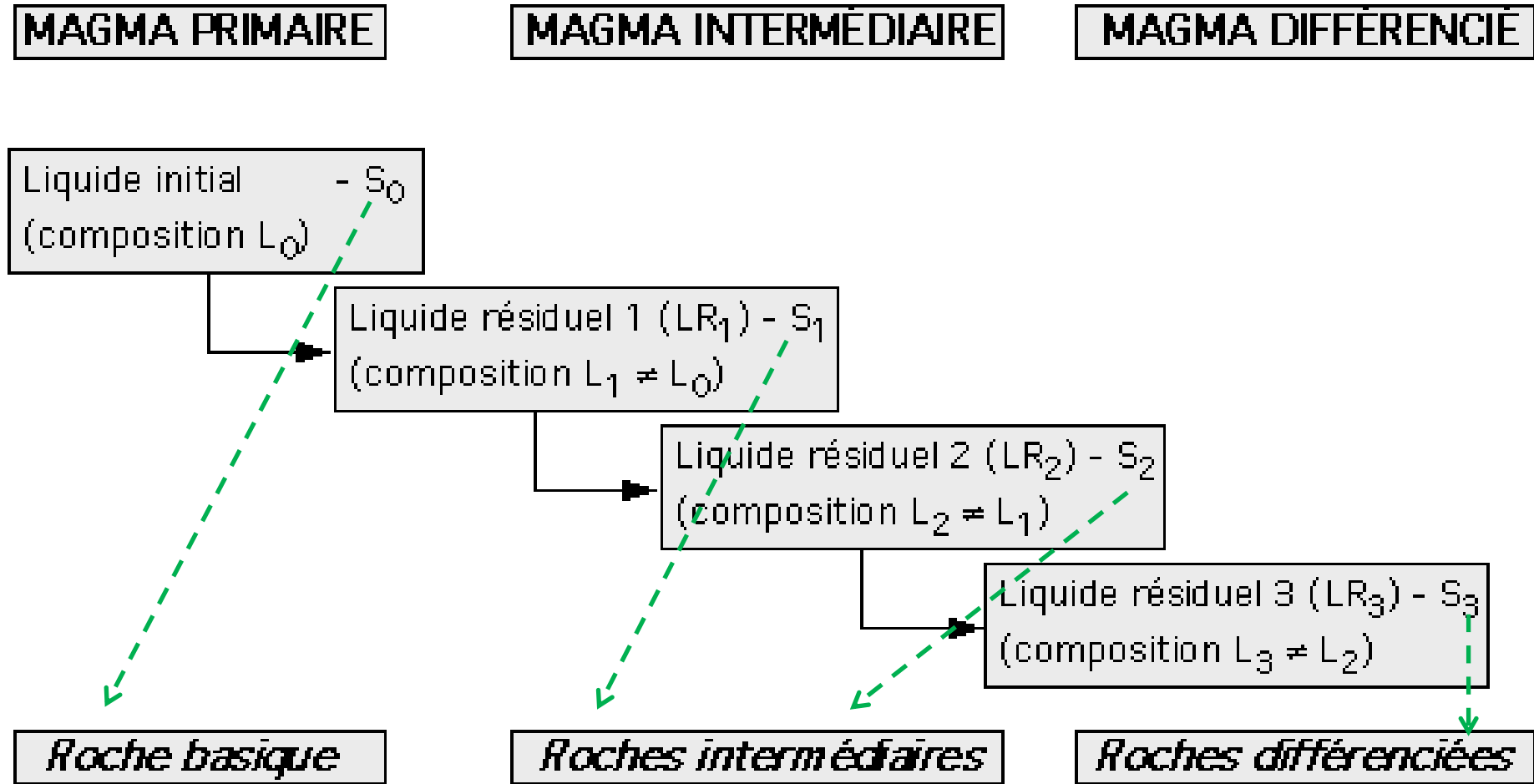
Différence de température entre le cœur de la chambre magmatique et les parois → croissance cristalline sur les parois et liquide résiduel au cœur

## ➤ Le filtre – presse

Lorsque la phase solide est importante par rapport à la phase liquide :

Compaction des cristaux → liquide interstitiel chassé

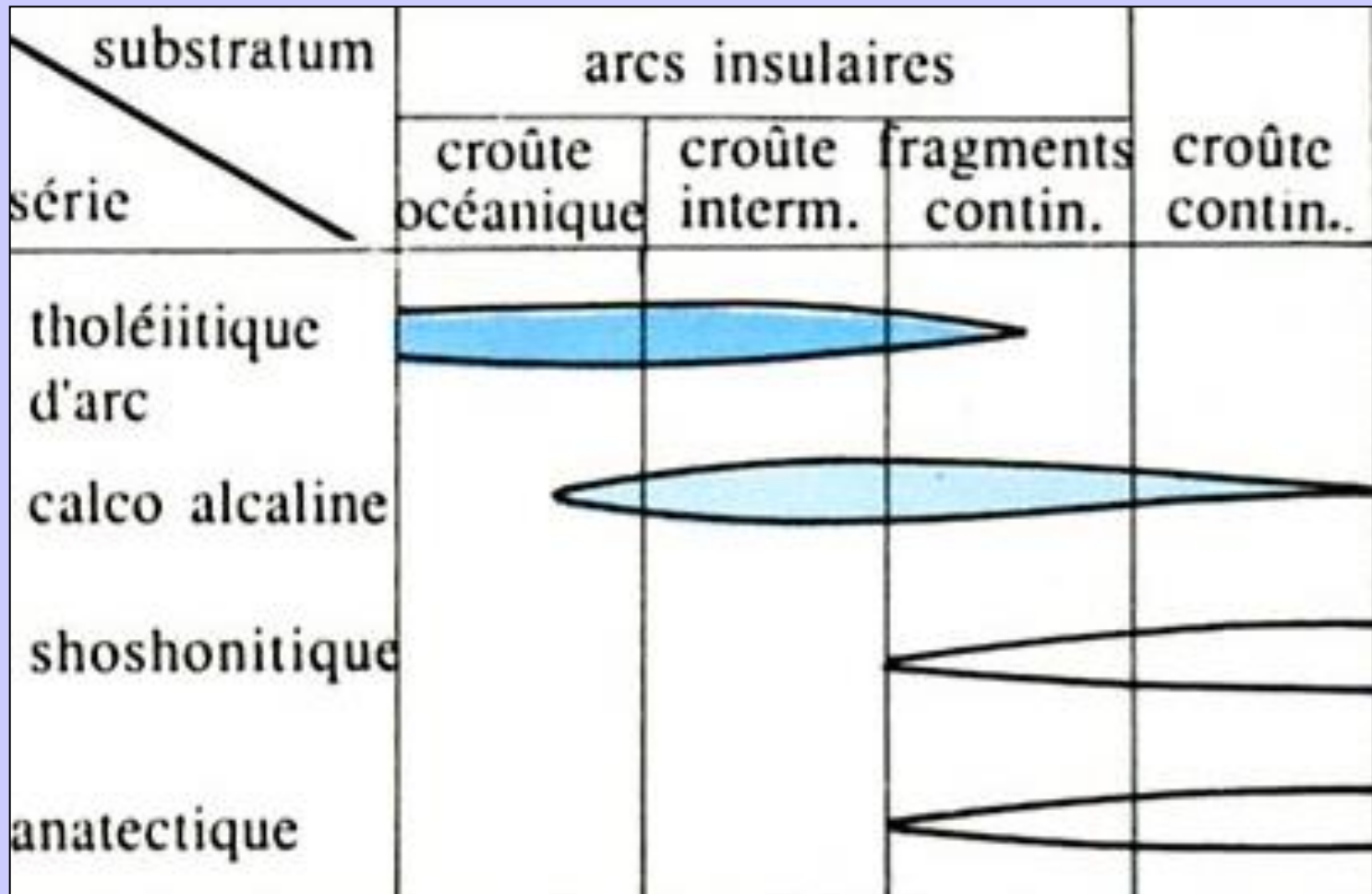
# Document 18. Principe de la cristallisation fractionnée.



**Différenciation magmatique** : tout processus permettant à un magma (primaire) d'évoluer vers un magma différent.

**Nécessité d'une séparation cristaux / phase liquide**

## b. Mélanges, contamination par la croûte chevauchante



### **Document 19. Distribution des séries volcaniques orogéniques dans différents types de zones de subduction.**

(Caron J.M. et coll., " Comprendre et enseigner la Planète Terre ", Ophrys Ed.).

# Mélange de deux magmas de compositions chimiques différentes

<http://planet-terre.ens-lyon.fr/image-de-la-semaine/lmg333-2010-11-29.xml>



Photographie : Pierre Thomas



Photographie : Florence Kalfoun

Enclaves basiques  
(gabbro à grain fin)  
dans un granite rose.  
Baie de Sainte-Anne,  
Trégastel (Côtes  
d'Armor).



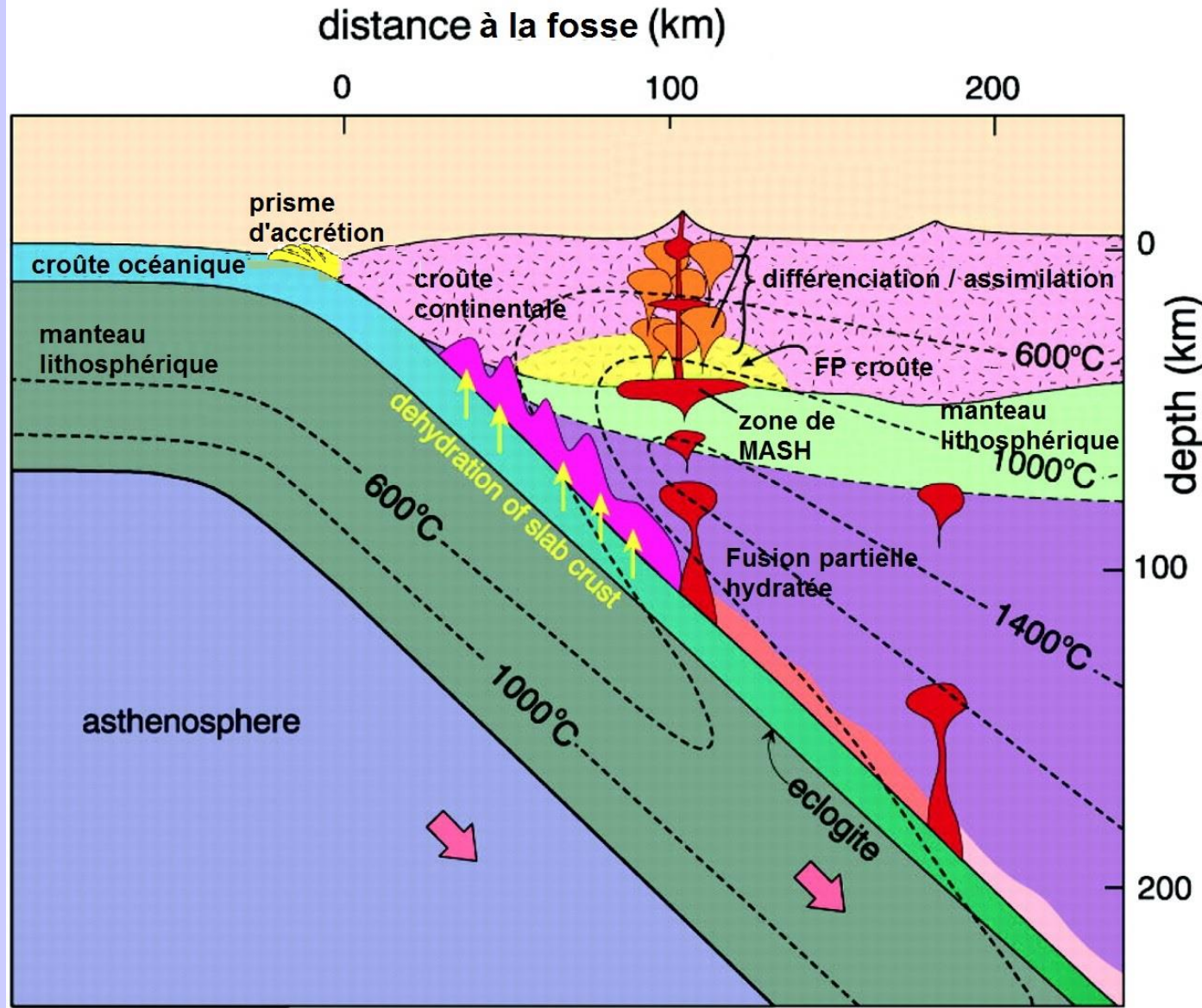
Enclaves de gabbro  
contenant des orthoses.  
Baie de Sainte-Anne,  
Trégastel (Côtes d'Armor).

Orthose dans une enclave  
de gabbro.

L'orthose est entourée d'un  
liseré blanc, preuve d'une  
réaction entre orthose et  
gabbro. Cette auréole claire est  
constituée de plagioclase (une  
telle structure est nommée  
texture rapakivi).

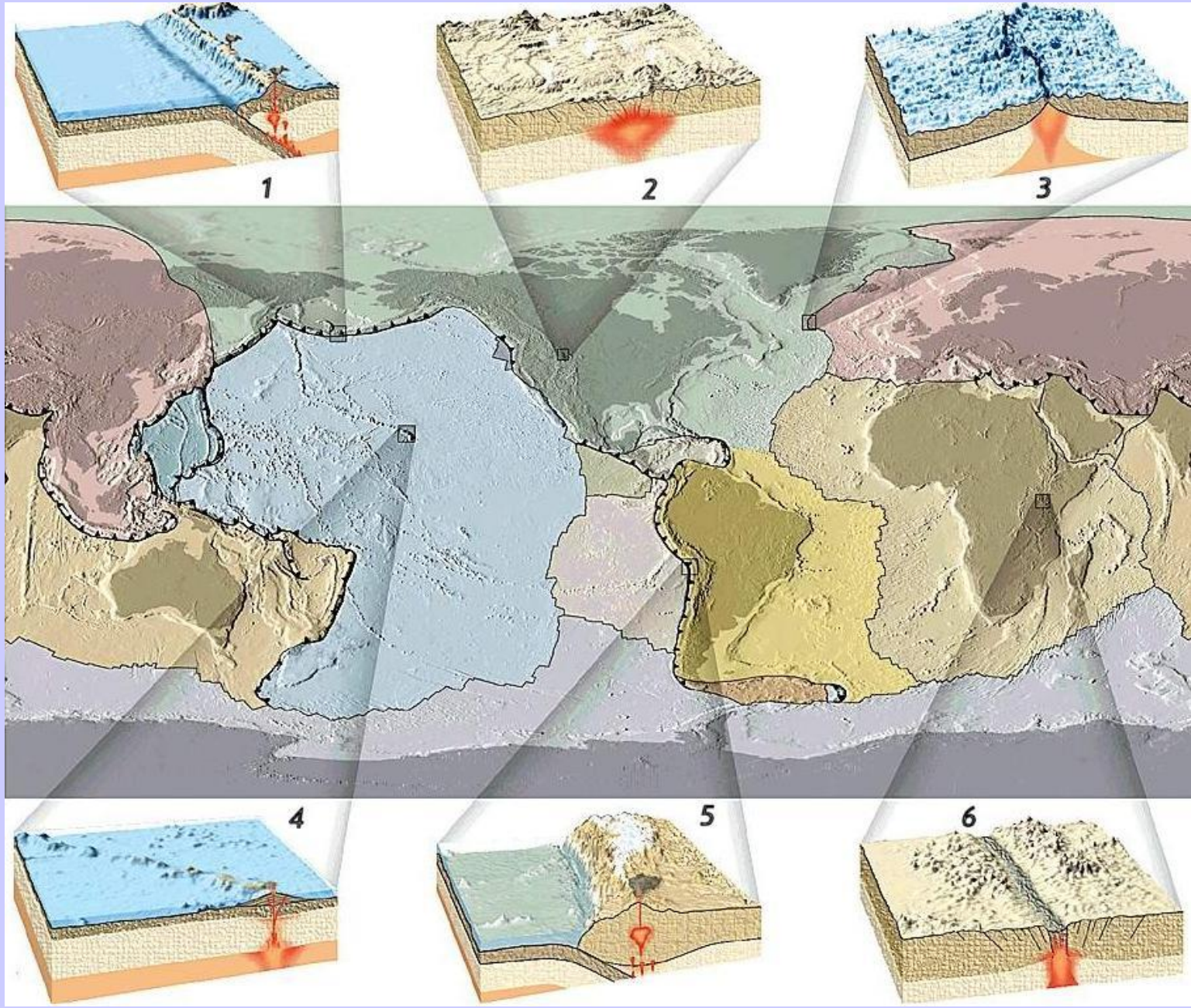






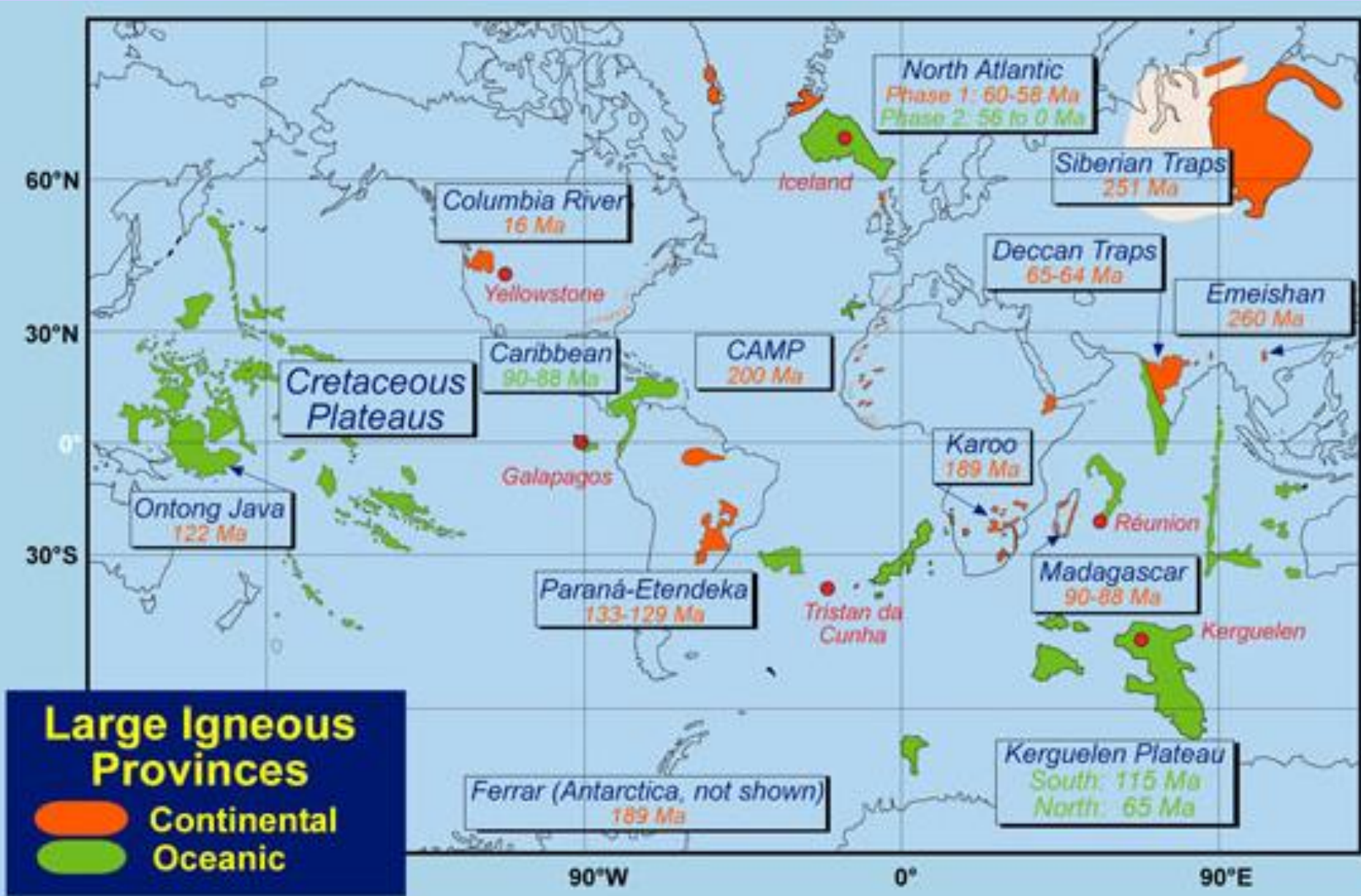
**Document 20. Modèle de formation des magmas dans une zone de subduction MASH.**

## 2. Principales séries et contextes géodynamiques



# Document 21. Bilan : Magmatisme et contextes géodynamiques

Contexte géodynamique	Source du magma	Conditions de la fusion partielle	Profondeur FP	Taux FP	Nature et chimie magma I	Roches magmatiques et série correspondantes
<b>Dorsales</b>	Manteau asthénosphérique	Décompression adiabatique	Débute vers 75 km 20 – 30 km	20 – 25 %	Basalte tholéitique Assez riche en SiO <sub>2</sub> : 47-49 % pauvre en alcalins : K <sub>2</sub> O < 0,5 % Na <sub>2</sub> O ≈ 2,5 %	basalte MORB gabbro <b>Série tholéitique</b>
<b>Points chauds</b>	Manteau inférieur ? (700 à 2900 km)	Augmentation de T° consécutive à panache mantellique ascendant	Débute vers 300 km ? 50 – 100 km	5 % (peut atteindre 20 %)	Basalte alcalin Pauvre en SiO <sub>2</sub> : 44 – 47 % Riche en alcalins : K <sub>2</sub> O 1 % Na <sub>2</sub> O 3 - 4 %	basalte OIB, trachyte (alcaline) rhyolite (alcaline) <b>Série alcaline</b>
<b>Subduction</b>	Manteau asthénosphérique et/ou manteau lithosphérique	Hydratation consécutive au métamorphisme HP-BT de la LO subduite	100 – 150 km	10 %	Basalte alumineux Saturé en SiO <sub>2</sub> : 48 - 53 % Riche en Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> > 16 % Riche en eau Assez riche en alcalins	andésite granodiorite rhyolite granite <b>Série calco-alcaline</b>



## Large Igneous Provinces

- Continental
- Oceanic

Ferrar (Antarctica, not shown)  
189 Ma

Kerguelen Plateau  
South: 115 Ma  
North: 65 Ma

Madagascar  
90-88 Ma

Réunion

Kerguelen

Tristan da Cunha

Paraná-Etendeka  
133-129 Ma

Galapagos

Cretaceous Plateaus

Caribbean  
90-88 Ma

CAMP  
200 Ma

Deccan Traps  
65-64 Ma

Emeishan  
260 Ma

Siberian Traps  
251 Ma

Iceland

Columbia River  
16 Ma

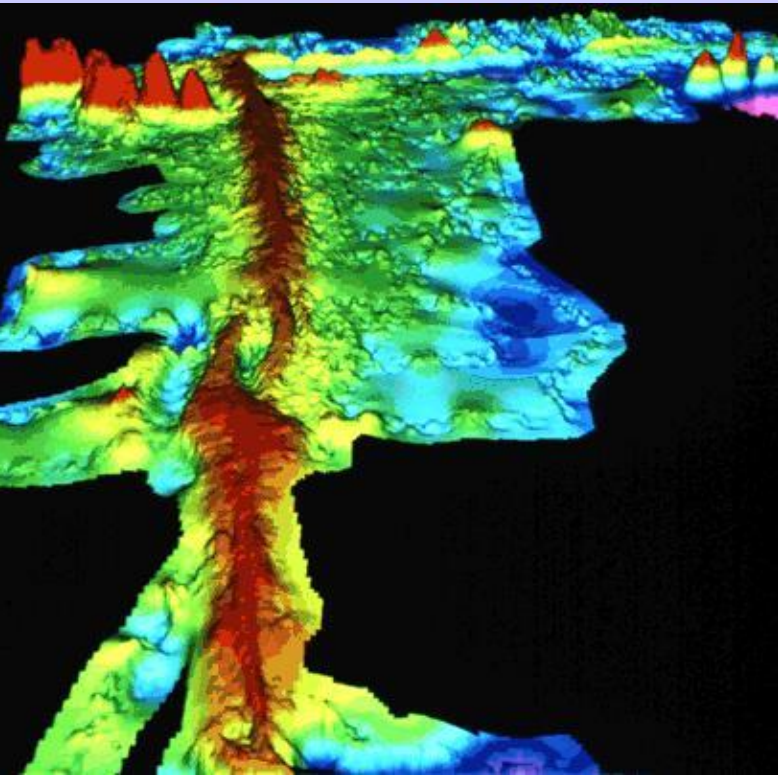
Yellowstone

North Atlantic  
Phase 1: 60-58 Ma  
Phase 2: 56 to 0 Ma

# III. Des magmas aux roches magmatiques

## 1. Dans le cas du volcanisme

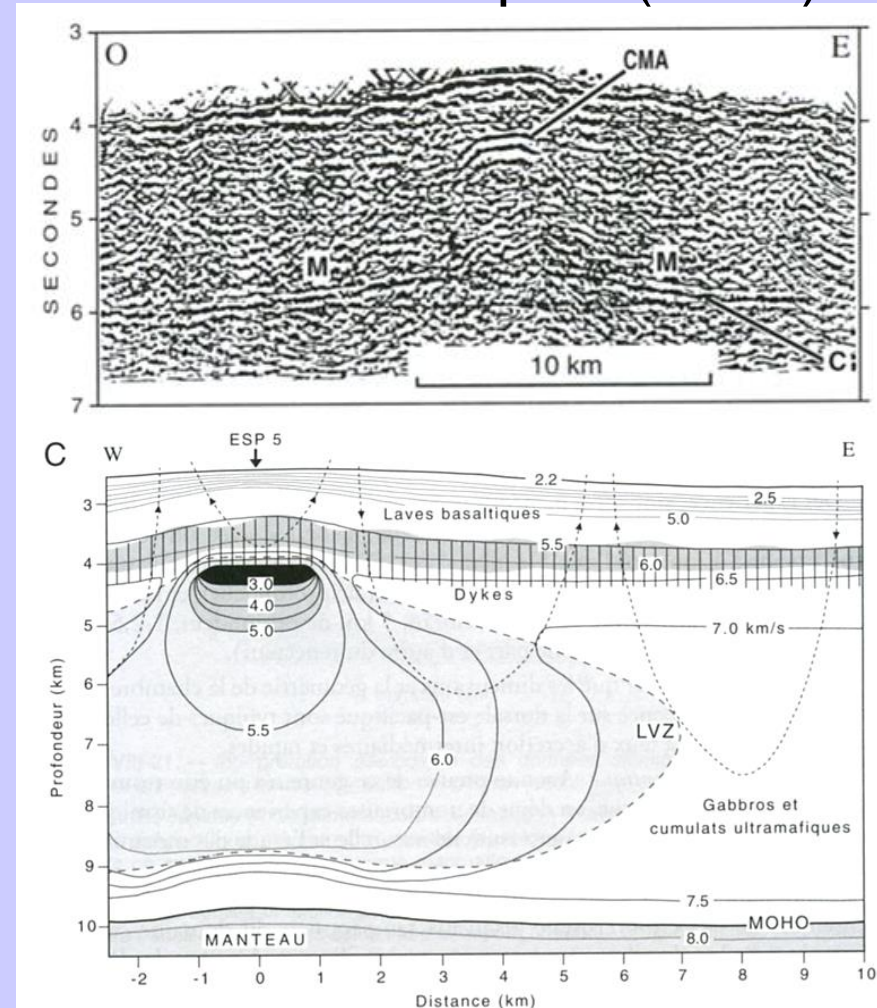
### a. Accrétion océanique au niveau des dorsales

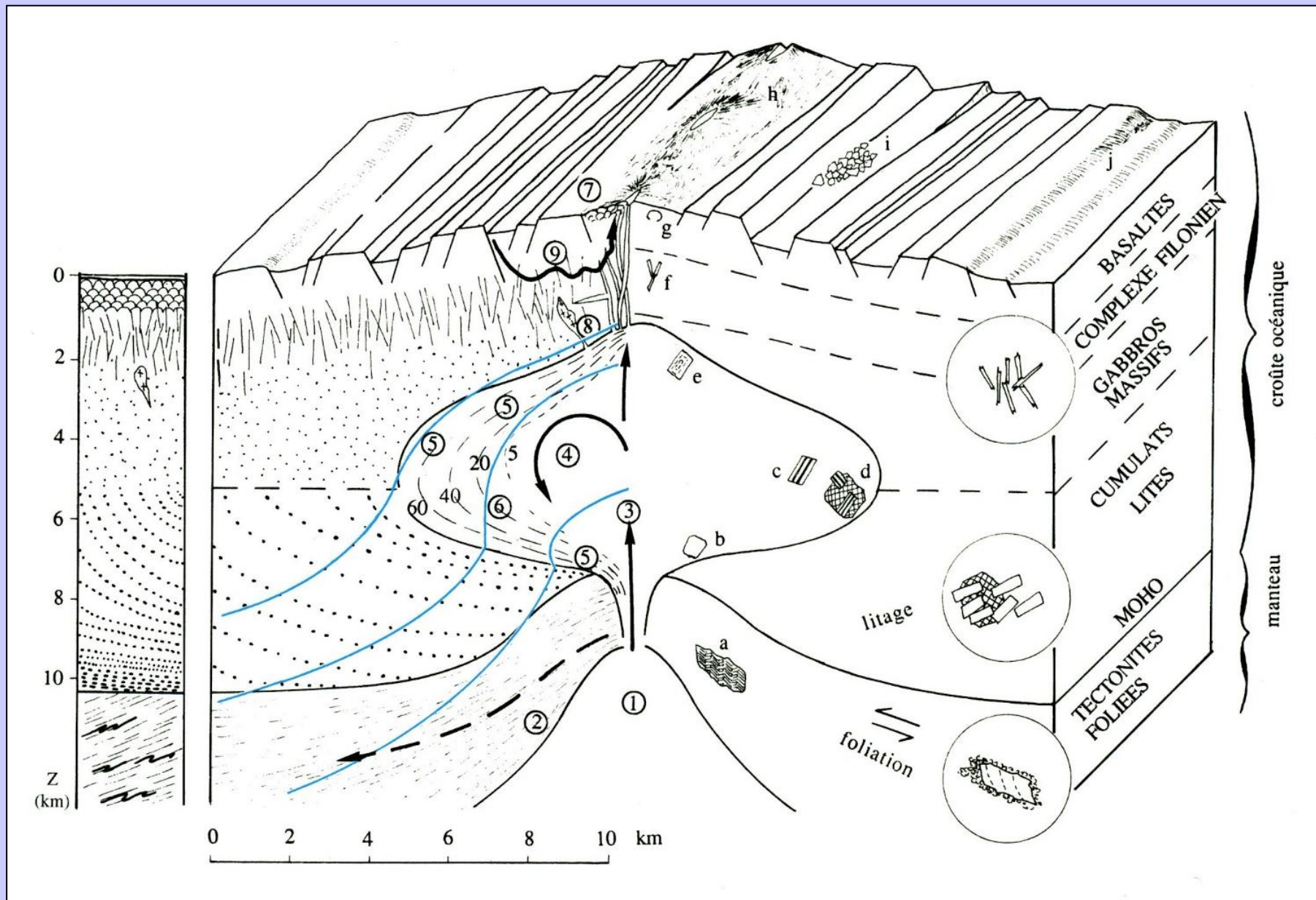


Carte topographique numérique d'un segment de la dorsale est-Pacifique.

<http://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/topomap.html>

### Données sismiques (cf TP)





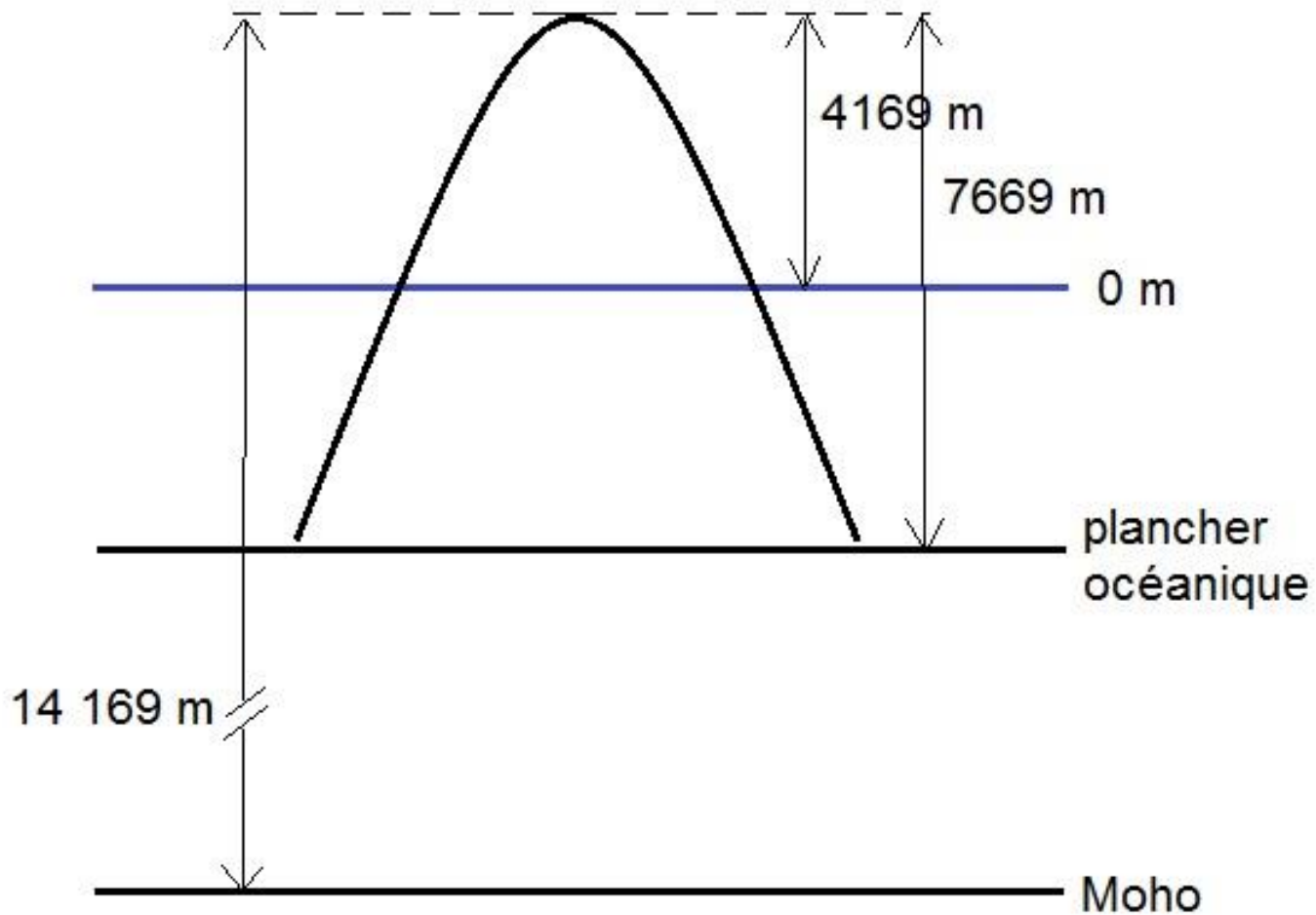
## **Document 22. Modèle de fonctionnement d'une chambre magmatique.**

(Caron J.M. et coll., " Comprendre et enseigner la Planète Terre ", Ophrys Ed.).

## b. Dans le cas du volcanisme intraplaque



**Fontaine de lave du Pu 'u O 'o à Hawaï, octobre 1983.**  
La hauteur d'une telle fontaine varie de 10 à 100 m,  
mais peut occasionnellement atteindre 500 m.



## Cas du Mauna Loa

2<sup>e</sup> plus haut sommet d'Hawaï, c'est le plus grand volcan du Monde



## Pression au dessus du plancher océanique :

$$P = \rho g z$$

$\rho = 2,7$  (magma basaltique)  $\text{g/cm}^3$

$z = 7669$  m (au-dessus du plancher océanique)

$g = 10$   $\text{m/s}^2$  ou  $\text{N/kg}$

$1/10^5$  pour avoir un résultat en bar ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar}$ )

$$P = 2,7 \times 10 \times 7669 \times 1/10^5 = 2,07 \text{ kbar}$$

## Pression au dessus du Moho :

Même calcul avec  $z = 14\ 169$  m  $\rightarrow P = 3,83$  kbar

C'est la **surpression magmatique  $\Delta P$**

liée à la différence entre  $\rho$  magma et  $\rho$  encaissant (= manteau)

**De la surpression**  
**à la profondeur de la fusion partielle :**

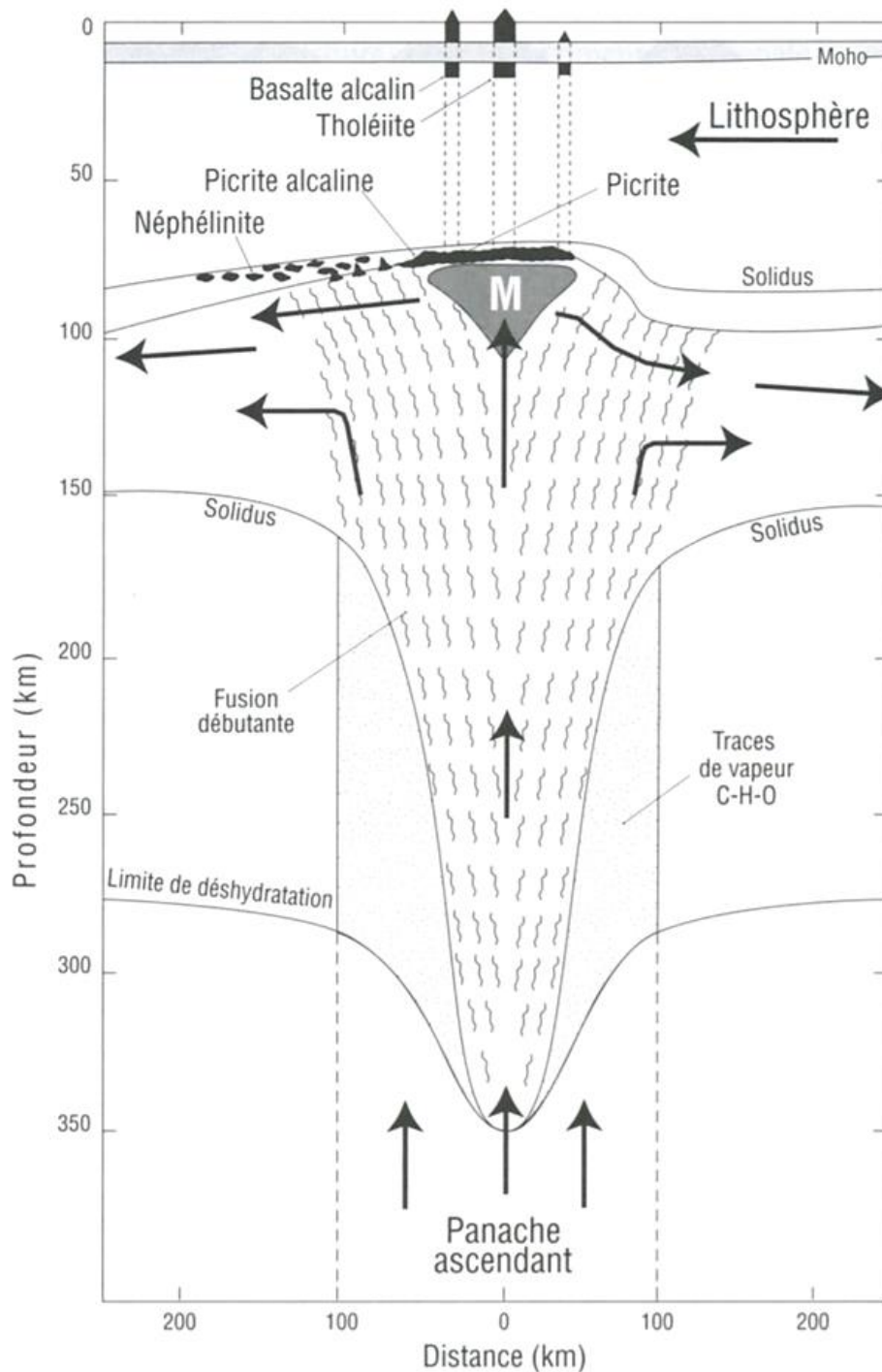
$$\Delta P = \Delta \rho g z$$

Avec  $\Delta \rho = \rho_{\text{manteau}} - \rho_{\text{magma}} = 3,3 - 2,7 = 0,6 \text{ g/cm}^3$

$$z = \Delta P / \Delta \rho g = 3,83 / (0,6 * 10) \times 10^5 = 63\ 833 \text{ m}$$

(x10<sup>5</sup> car pression donnée en bar)

→ **Le magma est formé 64 km sous le Moho,  
Soit à 74 km sous le niveau de la mer**



## **Document 23. Modèle de production de magma dans un panache mantellique ascendant.**

M : zone de stockage des magmas près du sommet du panache.

(Juteau T., Maury B, " Géologie de la croûte océanique ", Dunod Ed.).

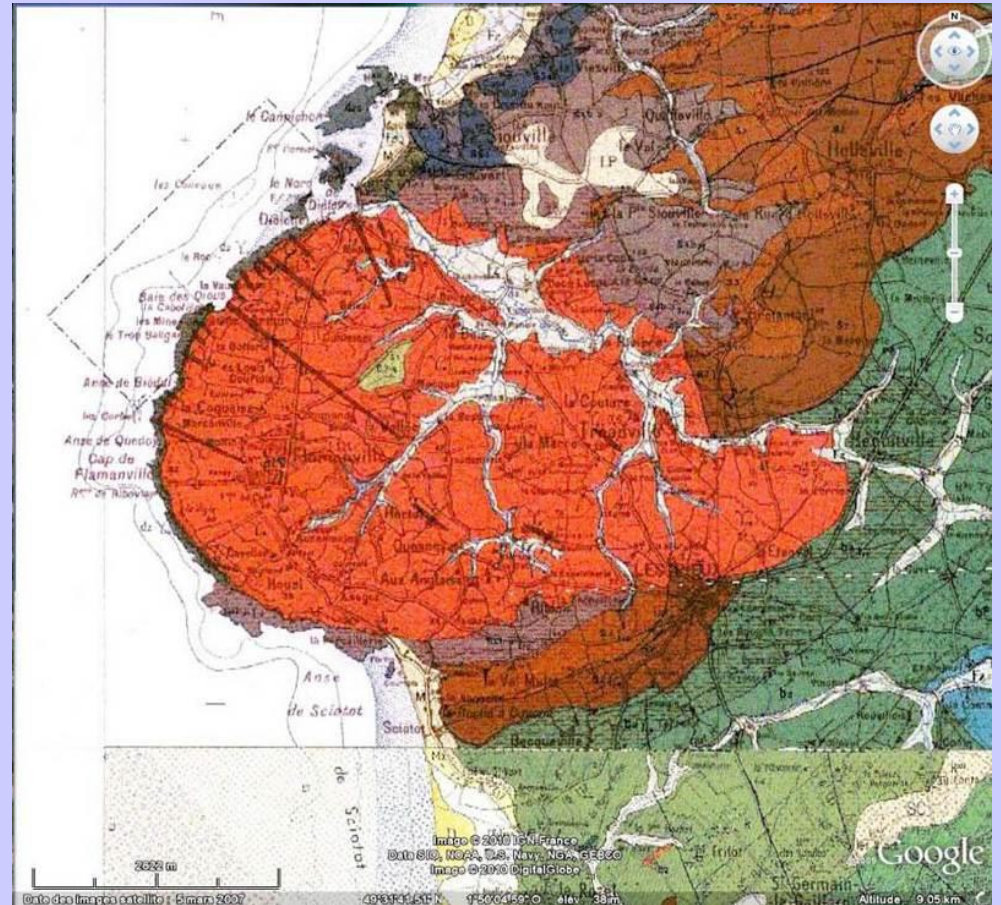
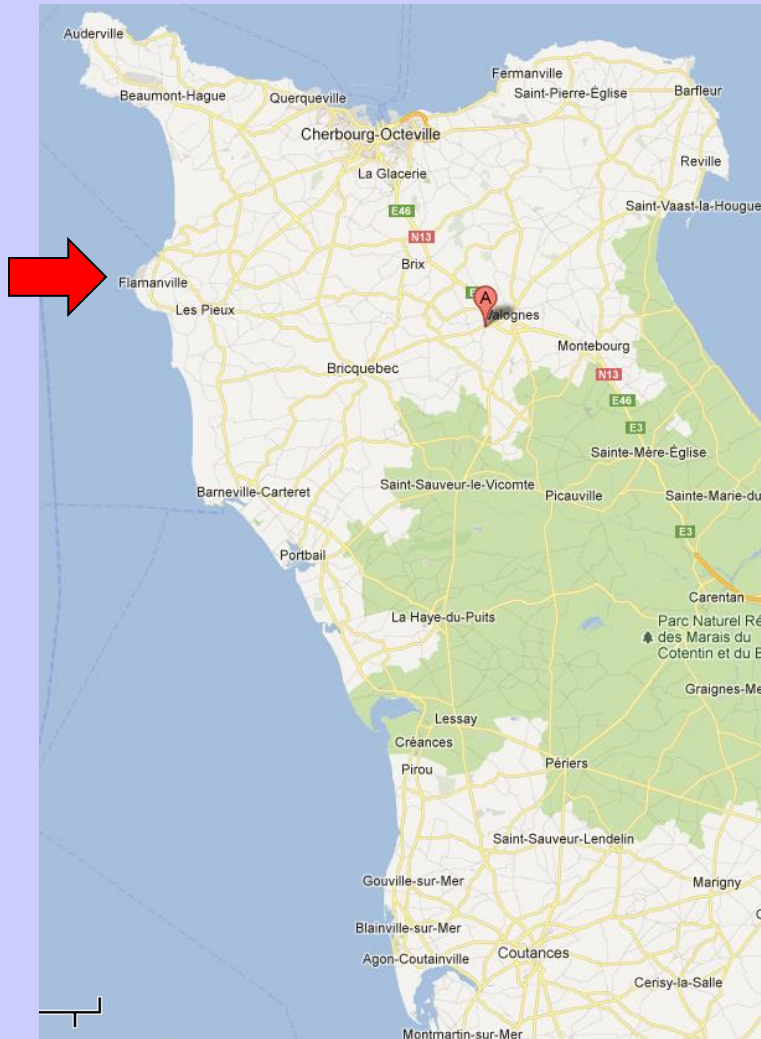
c. Dans le cas du volcanisme des zones de subduction

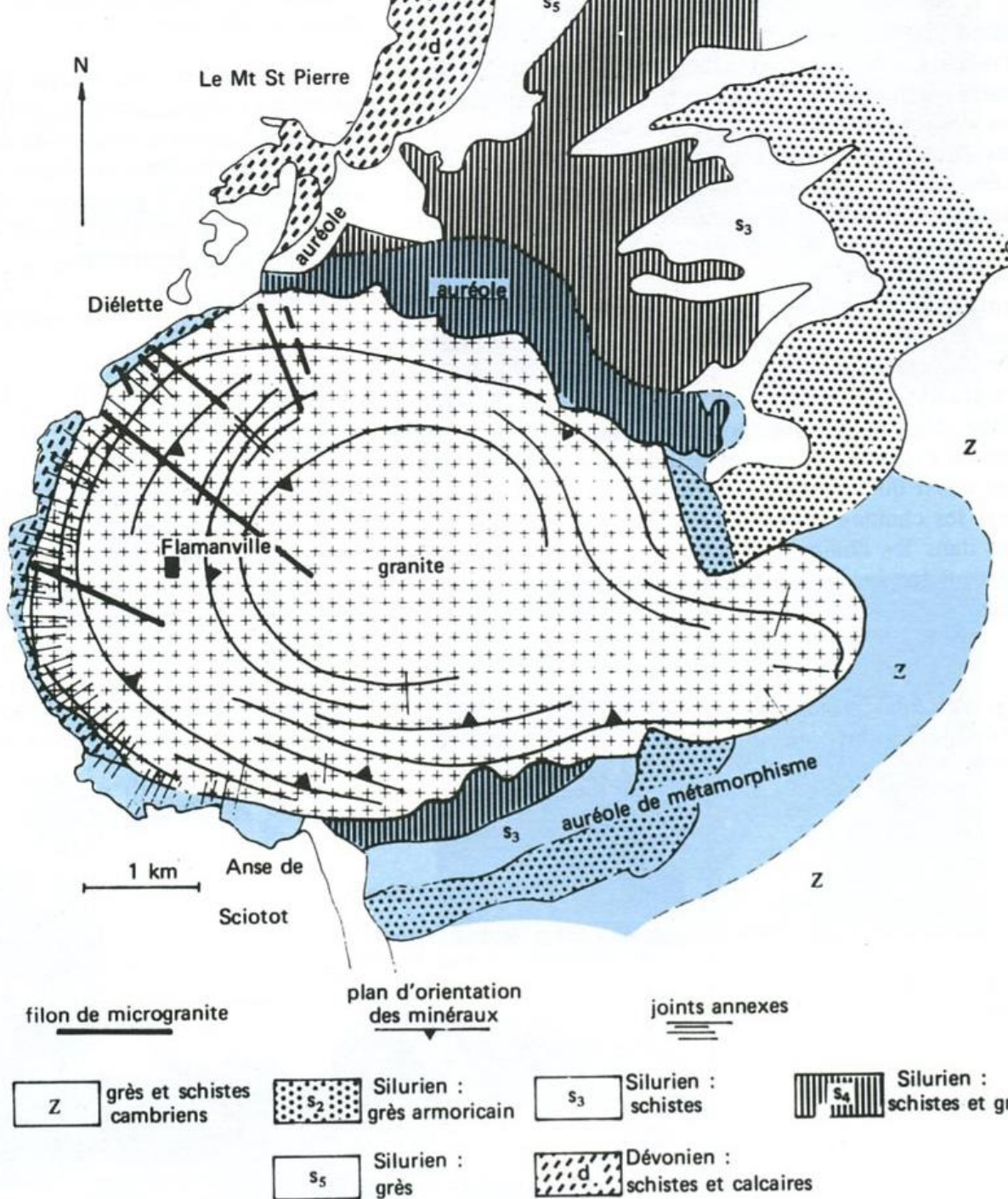
**Eruption du Mount  
Saint Helens le 22  
juillet 1980.**



## 2. Dans le cas du plutonisme

### a. Le granite de Flamanville (région de Cherbourg, Cotentin)



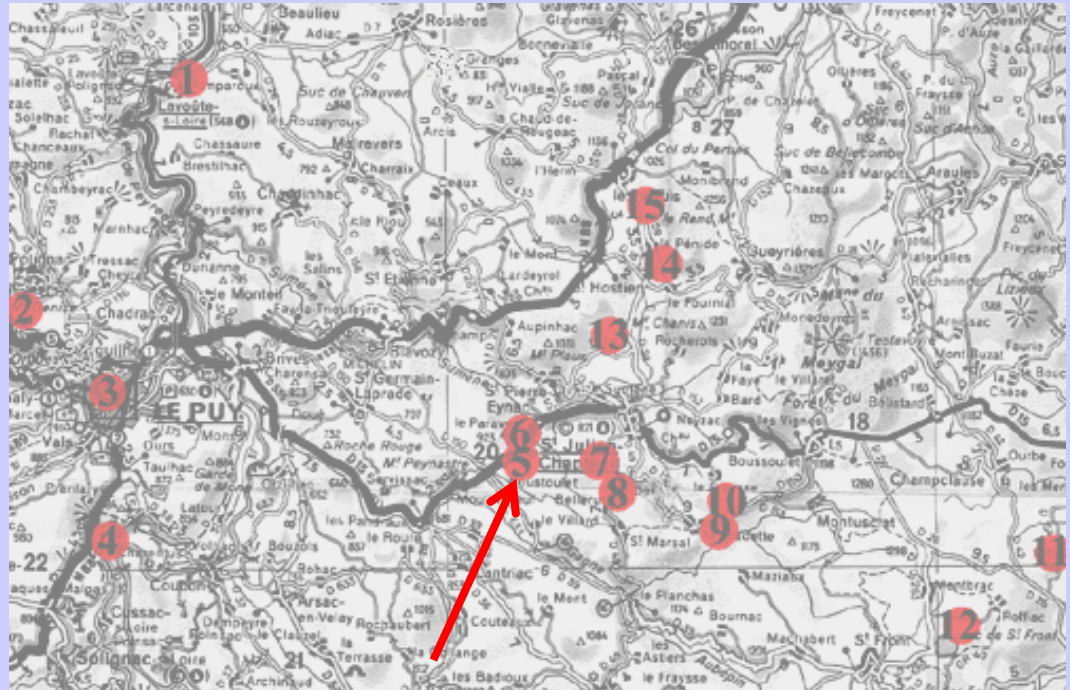
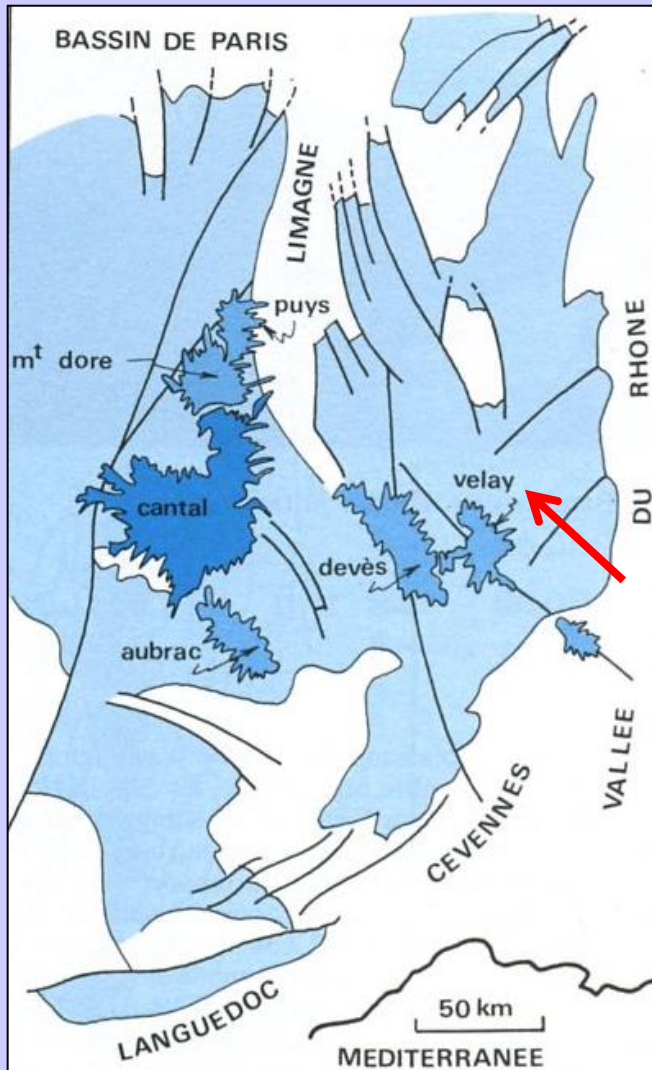


Orthose dans le granite de Flamanville : texture porphyroïde.

**Document 24.**  
**Carte géologique schématique du massif de Flamanville.**

(Dercourt J., Paquet J. " Géologie, objets et méthodes ", Dunod Ed.).

## b. Le granite à cordiérite du Velay



### **Itinéraire géologique dans le Velay**

5 : granite à biotite et à cordiérite.

**Localisation des principaux édifices volcaniques récents du Massif Central français.**

(Dercourt J., Paquet J., "Géologie : Objets et méthodes" Dunod Ed.).



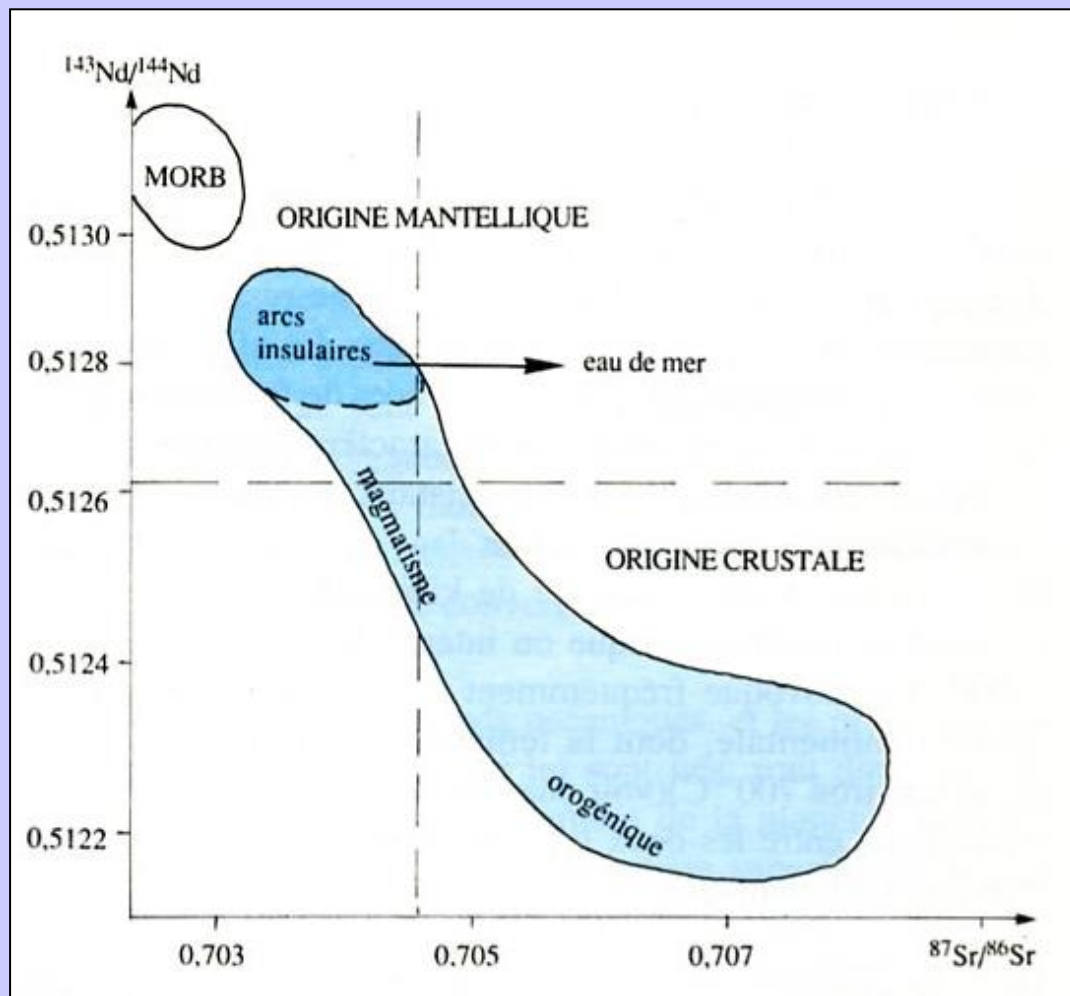
**A gauche en haut : Granite du Velay à biotite et cordiérite.**

**A gauche en bas : migmatite (= anatexite) du Velay.** Remarquer l'alternance de niveaux clairs (magmatiques granitiques) et de niveaux sombres (métamorphiques, à texture planaire conservée).

**A droite : Orthogneiss constituant le toit du granite du Velay.**







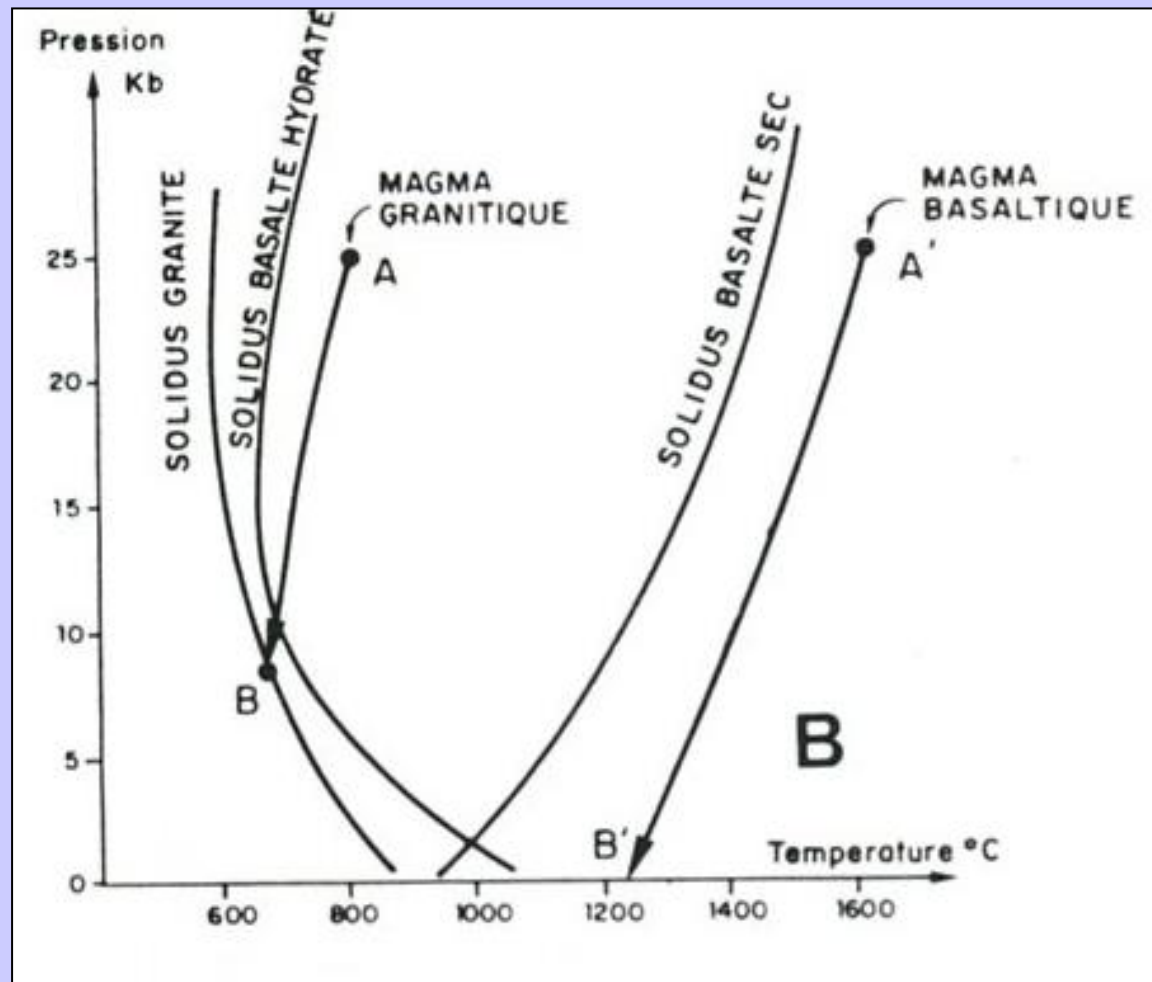
## **Document 25. Traceurs géochimiques du magmatisme orogénique.**

L'origine mantellique du magmatisme orogénique est attestée par les faibles valeurs de  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$  et les fortes valeurs de  $^{143}\text{Nd} / ^{144}\text{Nd}$  (quadrant en haut à gauche).

L'influence crustale se traduit par des points en bas à droite du diagramme.

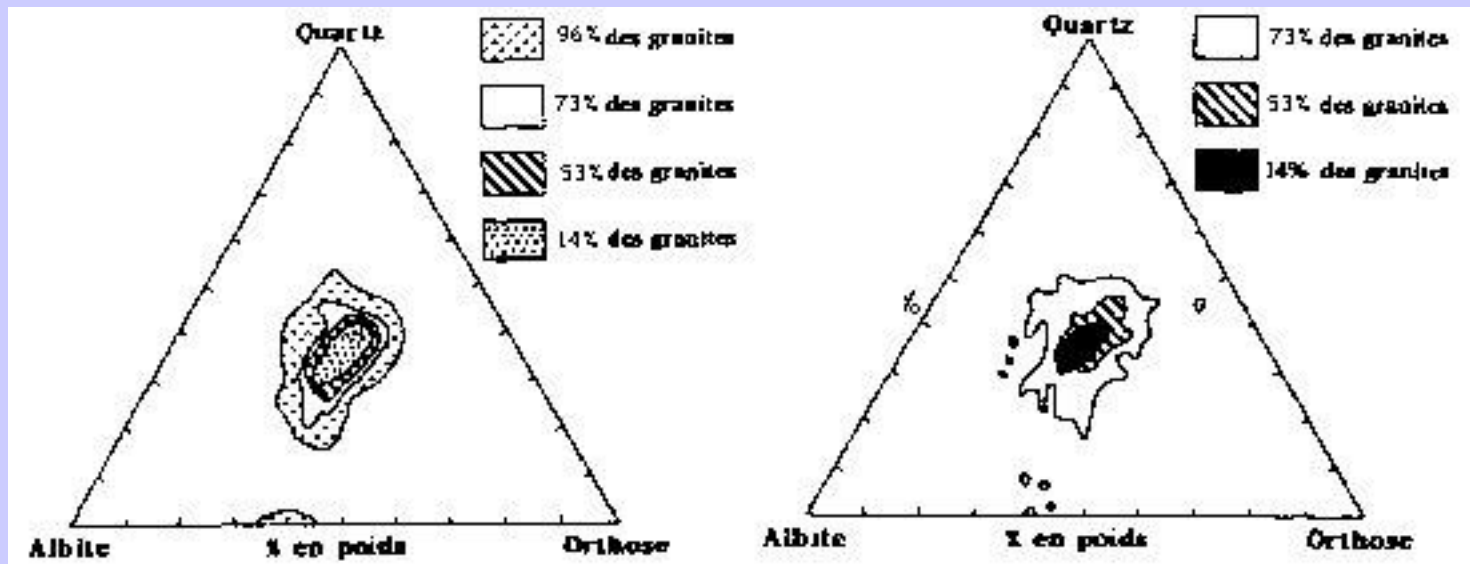
(Caron J.M. et coll., " Comprendre et enseigner la Planète Terre ", Ophrys Ed.).

## c. Généralisation : mise en place des magmas granitiques

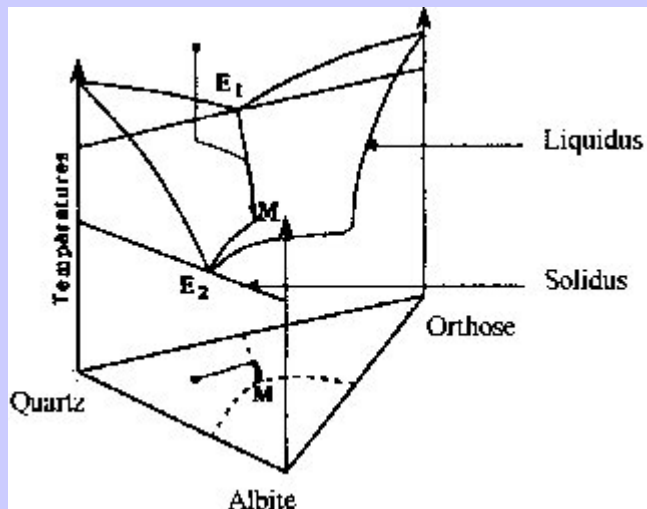


**Document 26. Courbes solidus – liquidus pour un magma basaltique anhydre et pour un magma hydraté. Comparaison avec le solidus d'un magma granitique.** La droite AB représente l'évolution d'un magma granitique lors de sa remontée. La droite A'B' celle d'un magma basaltique.

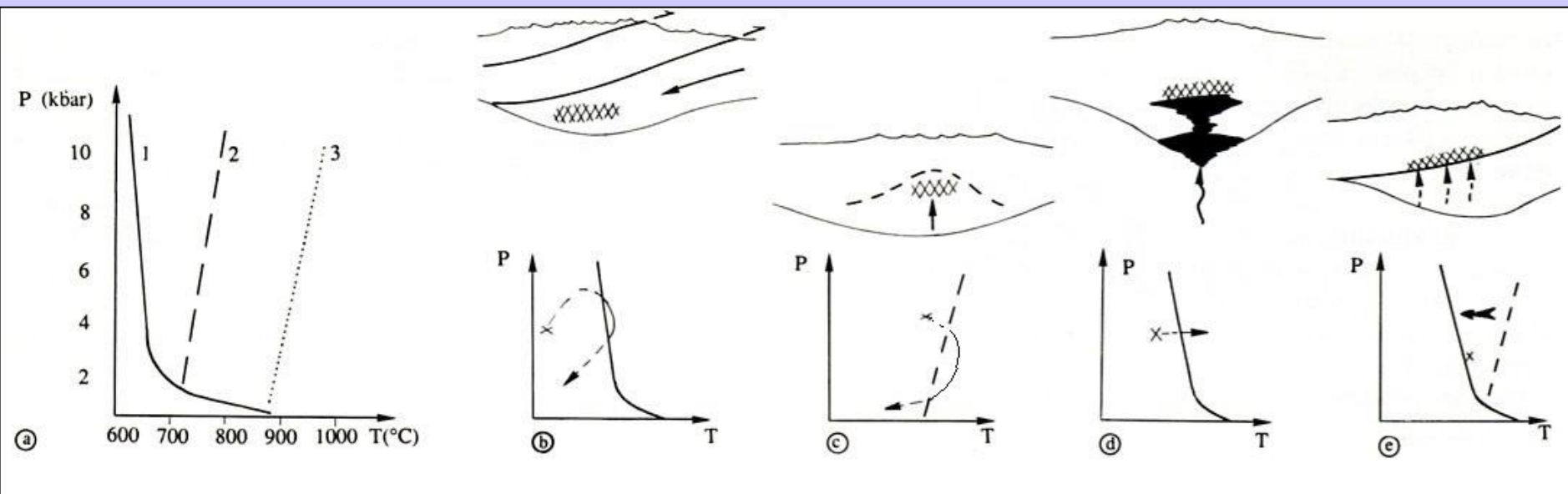
(Pomerol C. Renard M. "Eléments de géologie", Masson Ed.).



Le minimum thermique du système quartz, albite et orthose correspond à la composition d'un granite



→ La fusion partielle de croûte continentale donne un magma granitique



## **Document 27. Circonstances de l'anatexie crustale.**

a. Solidus de différents magmas granitiques : mélange Q-Al-Or en présence d'eau (1) ; granite sec (2) ; mélange Q-Al-Or sec (3).

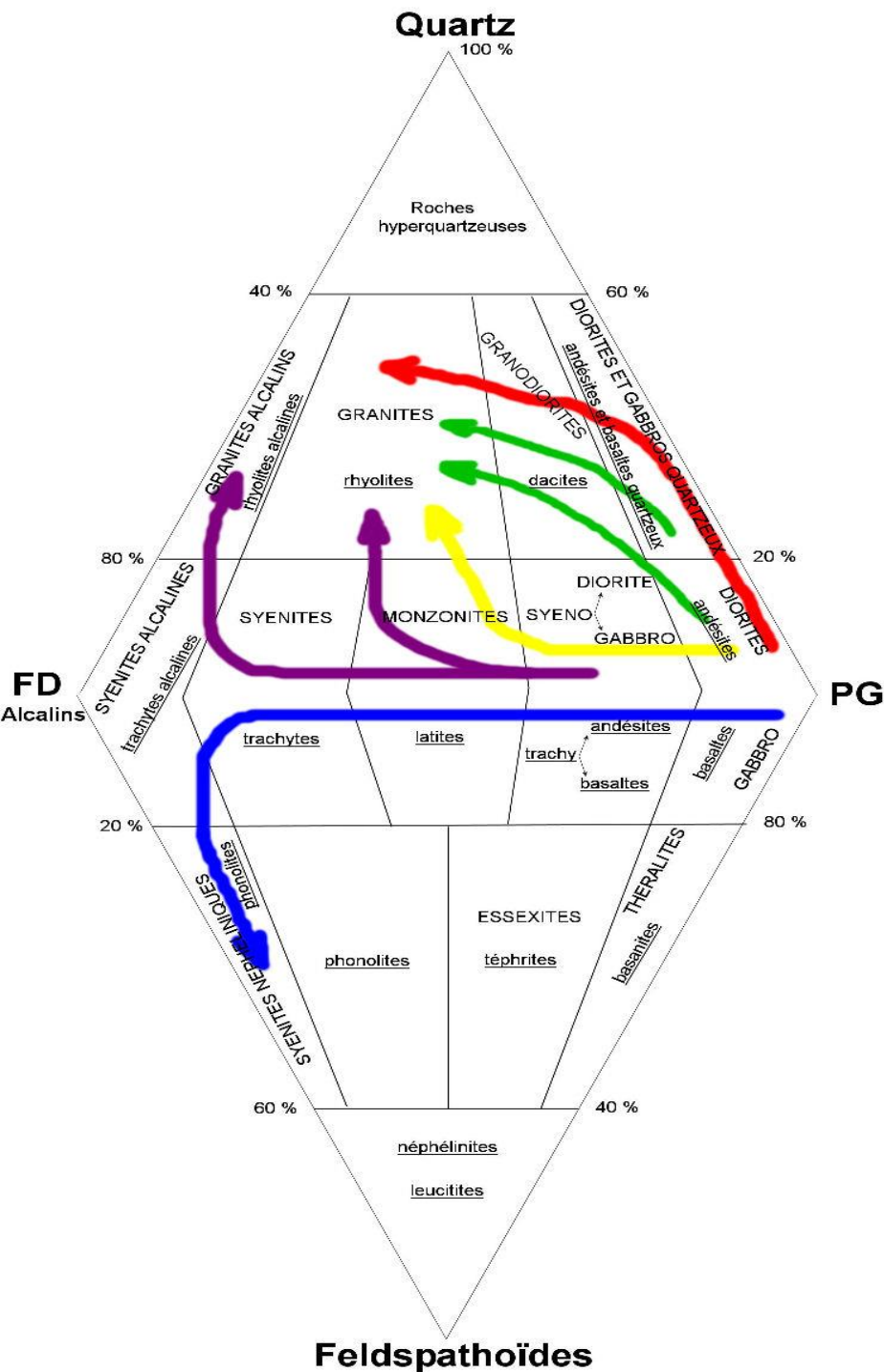
b. Enfouissement tectonique, réchauffement puis remontée isostatique liée au décapage par l'érosion.

c. Décompression liée à l'érosion et l'extension post-orogénique, réchauffement (richesse en éléments radiogènes).

d. Réchauffement par l'apport magmatique d'origine mantellique.

e. Déshydratation par métamorphisme de l'unité inférieure qui hydrate l'unité chevauchante.

(D'après : Caron J.M. et coll., « Comprendre et enseigner la Planète Terre », Ophrys Ed.).

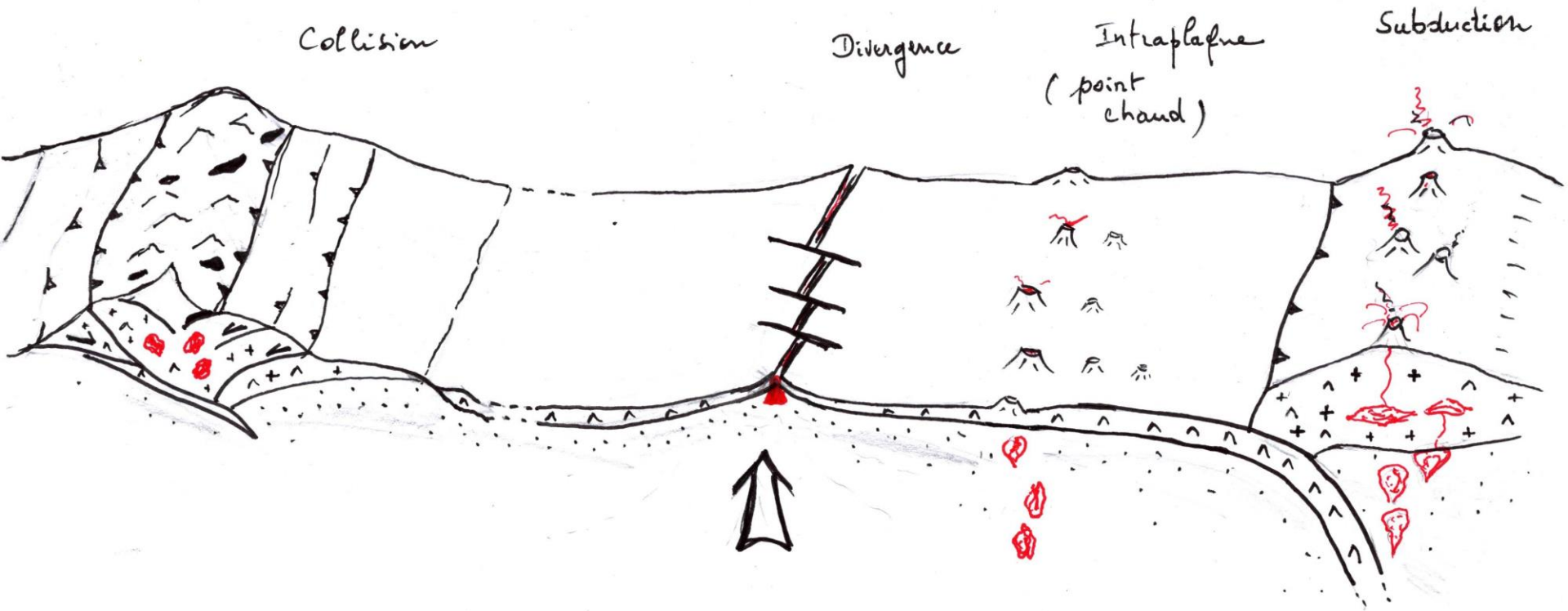


## Document 28. Principales séries magmatiques dans la diagramme de Streckeisen.

- 1 (rouge). Série tholéiitique.
- 2 (vert). Série calco-alcaline
- 3 (violet). Série alcaline saturée en silice
- 4 (bleu). Série alcaline sous-saturée en silice.

<i>Contexte géodynamique</i>	Divergence	Intraplaque	Subduction (convergence)	Collision (post-convergence)
<i>Matériau source</i>				
<i>Série magmatique</i>				
<i>Edifices associés</i>				
<i>Dynamiques Eruptives</i>				
<i>Conditions thermodynamiques de la fusion partielle</i>				
<i>Profondeur de la fusion partielle</i>				
<i>Roches caractéristiques</i>				
<i>Exemples :</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>En France</i></li> <li>• <i>Dans le monde</i></li> </ul>				
<i>Ressources géologiques associées</i>				

<i>Contexte</i>	<i>Divergence</i>	<i>Intraplaque</i>	<i>Subduction</i> (convergence)	<i>Collision</i> (post-convergence)
<i>Matériau source</i>	Manteau lherzolitique asthénosphérique	Manteau supérieur voir inférieur	Manteau supérieur	Croûte continentale
<i>Série magmatique</i>	tholéitique	Alcaline	Calco-alcaline	Pas de différenciation
<i>Edifices associés</i>	Basalte en coussins Complexes filoniens Gabbros massifs ou lités Filons hydrothermaux	Volcans boucliers, coulées, trapps Monts sous-marins	Volcaniques : Stratovolcans, cônes stromboliens, dômes, Plutoniques : batholite, granite intrusif, filons	Vastes ensembles plutoniques souvent mal délimités,
<i>Dynamique</i> <i>Eruptive</i>	Effusif, fissurale  (jamais observées au niveau des dorsales)	Effusif  Laves peu visqueuses	Explosif  Laves riches en fluides (H2O, CO2) et pouvant être visqueuses	
<i>Conditions thermodynamiques de la fusion partielle</i>	Décompression adiabatique	Augmentation de température	Adjonction d'un « fondant » : l'eau	- Diminution de pression - Augmentation de température - Ajout d'eau
<i>Profondeur de la fusion partielle</i> <i>Taux de fusion partielle</i>	Début vers 80 kms  Chambres magmatiques très superficielles (crustales) quand elles existent  FP : 15 à 25%	Début vers 250-300 kms    FP : 5 à 10%	Début vers 100 kms environ    15% environ	Dépend énormément du contexte de l'anatexie  (inférieure à 50 km toutefois)  FP : Très variable
<i>Roches caractéristiques</i>	MORB, gabbros, dolérites  (riches en fer)	Basaltes alcalins essentiellement, trachytes voire phonolite pour la série sous saturée du Velay (riches en Na et K)	Basaltes, andésites, trachytes, rhyolites, granodiorite et granite calcoalcalin (riches en Ca, Fe, H2O)	Granites à 2 micas, leucogranites, migmatites, granite d'anatexie  (riches en Al)
<i>Exemples :</i>  • <i>En France</i> • <i>Dans le monde</i>	Aucun exemple actuel en France  Ophiolites alpine et calédonienne  Dorsale Pacifique, Indienne, Atlantique    Hawaï	La Réunion       Hawaï	Antilles françaises (Martinique, Guadeloupe)       Cordillère andine, Rocheuses	Granite du Velay       Appalaches
<i>Ressources géologiques associées</i>	Nodules polymétalliques (Mn, Fe S, Cu S, ...)	Hydrothermalisme,  Filons hydrothermaux  géothermie	Hydrothermalisme,  Filons hydrothermaux  géothermie	Hydrothermalisme,  Filons hydrothermaux



Magmatisme et contexte géodynamique.

$\begin{matrix} \wedge & \wedge \\ \wedge & \wedge \end{matrix}$  lithosphère océanique.

$\begin{matrix} \wedge & + \\ + & \wedge \end{matrix}$  lithosphère continentale.

$\begin{matrix} \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \end{matrix}$  asthénosphère.

$\blacktriangleright$  lambeau ophiolitique



Roches correspondantes	$\nu$ (viscosité) poise seuille = 1 Pa.s
granite sec 800 °C	$10^{11}$
granite saturé en H <sub>2</sub> O 800 °C, 2kbar	$2,5 \cdot 10^6$
granite saturé en H <sub>2</sub> O 1 200 °C, 5kbar	$0,5 \cdot 10^3$
basalte à 1 200 °C, P atmosphérique	$10^2$
andésite à 1 200 °C, P atmosphérique	$10^3$
rhyolite à 1 200 °C, P atmosphérique	$10^5$

**Figure 5.1.** Quelques données de viscosité de magmas.

