

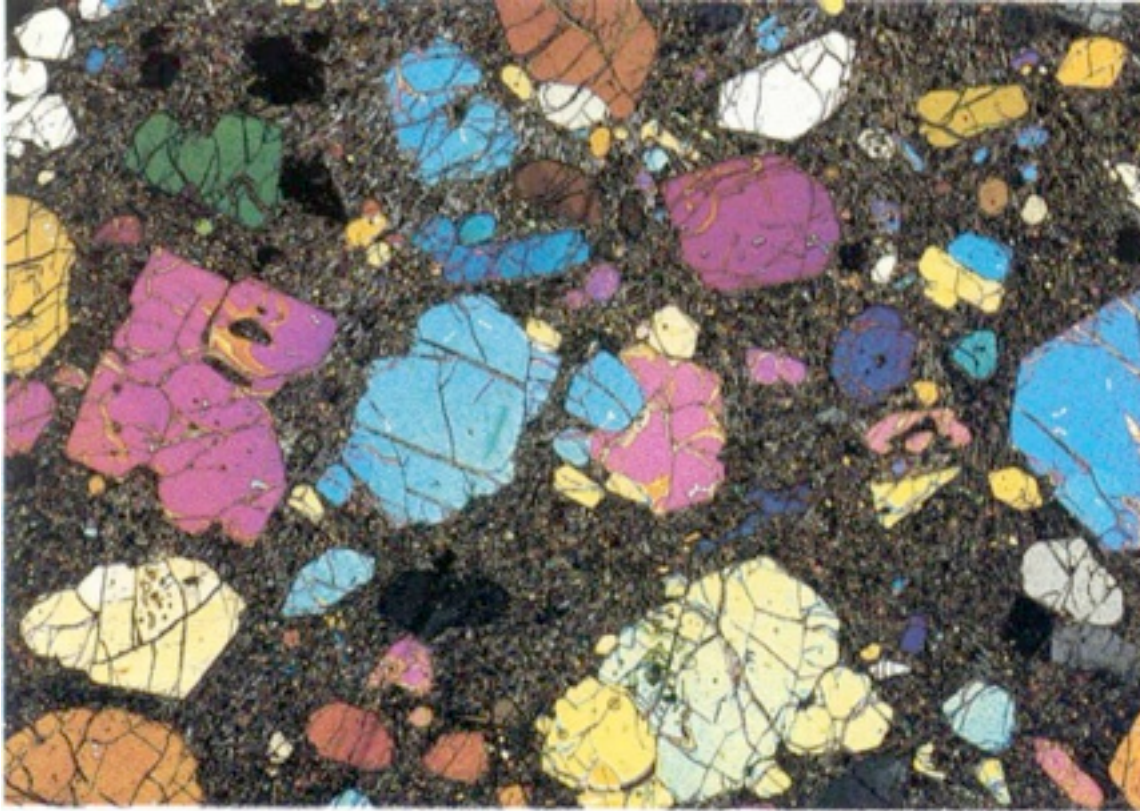
Chapitre 2

Les processus fondamentaux du magmatisme

2. Des magmas primaires aux magmas différenciés

Lame 1

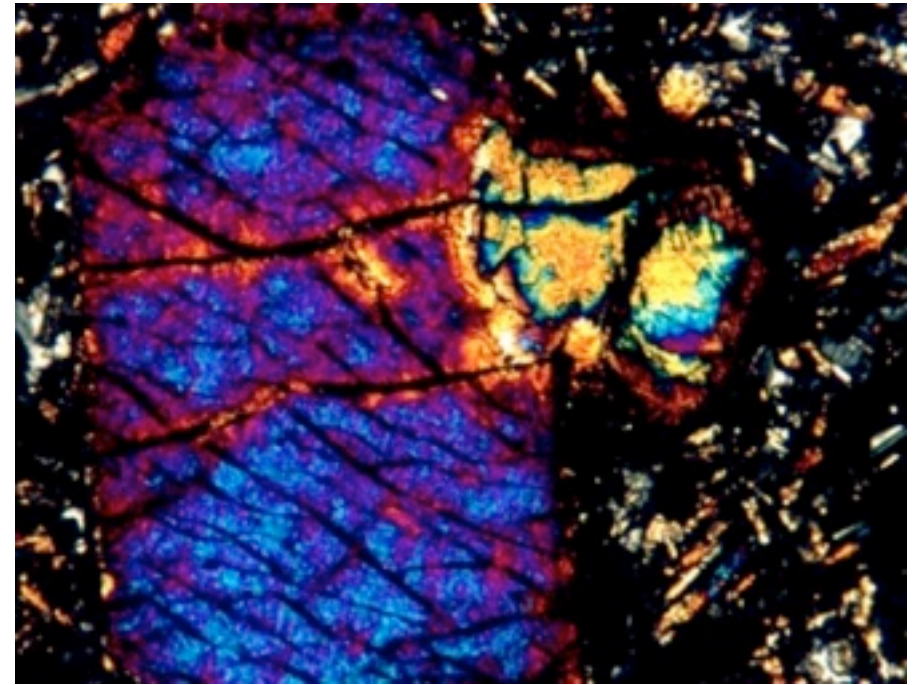
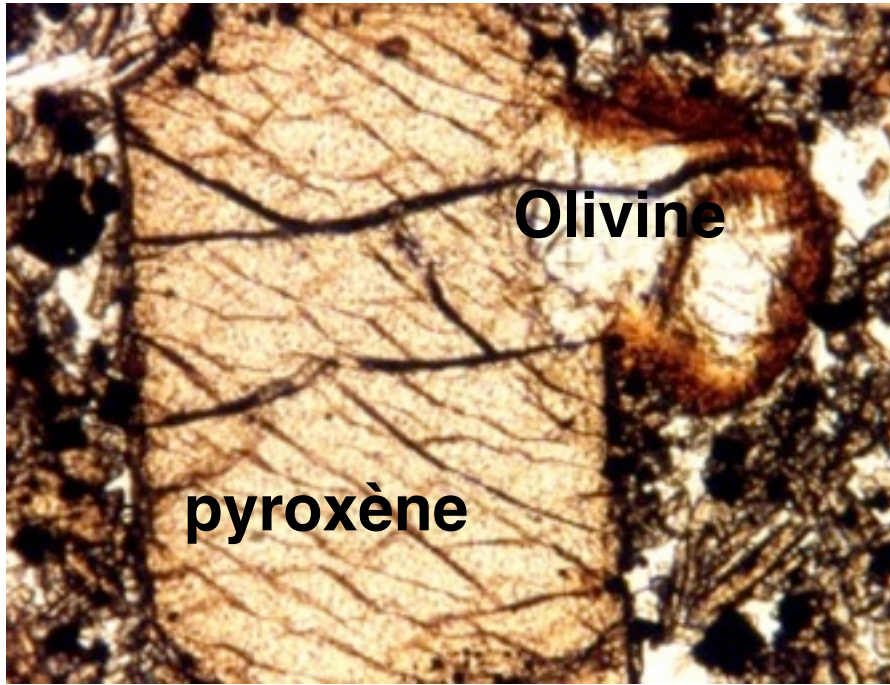
planet-terre.ens-lyon.fr



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

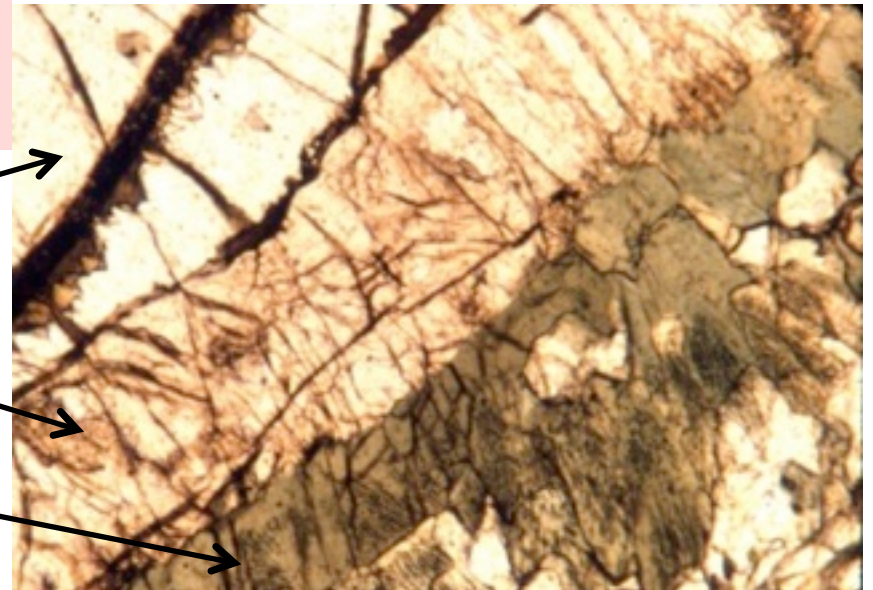
Olivines dans une pâte contenant plagioclases et pyroxènes : les olivines ont donc cristallisé avant l'éruption

Lame 2 - Olivine incluse dans un pyroxène



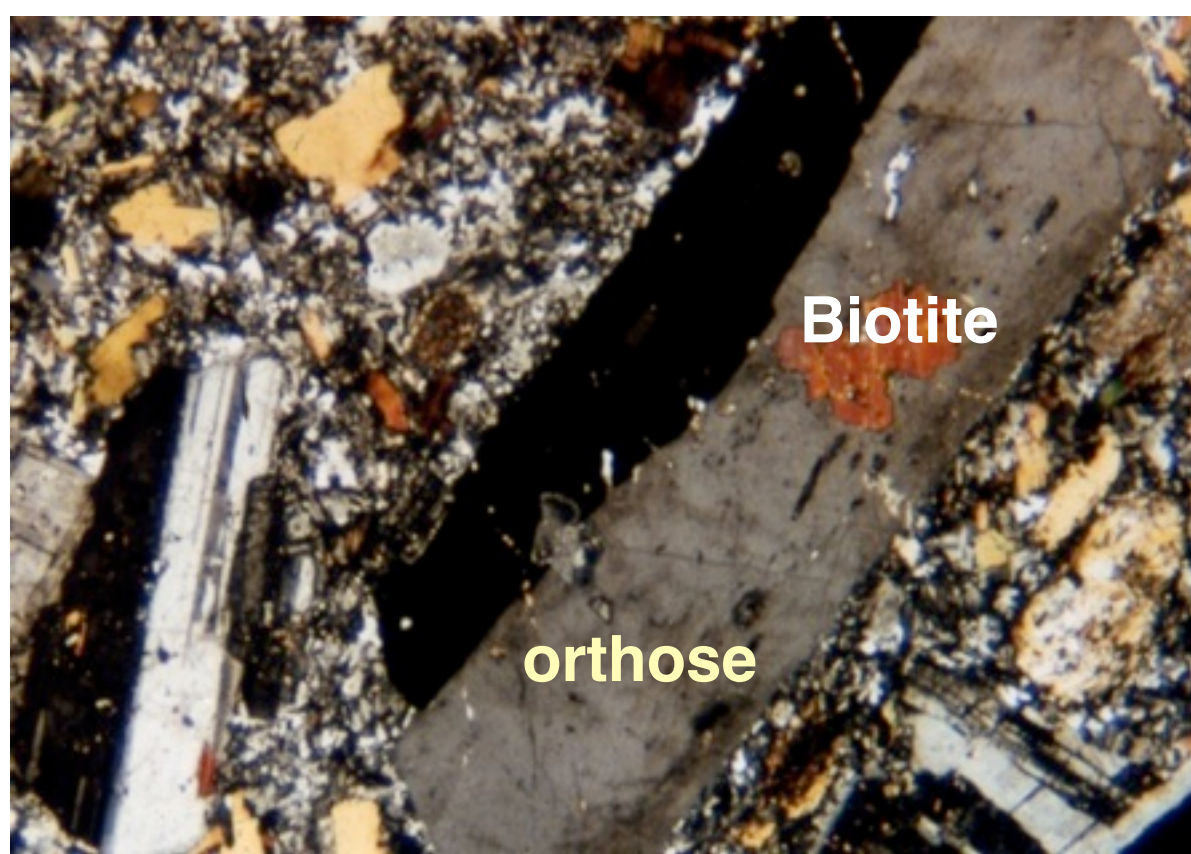
Lame 3 - Ordre de cristallisation : olivine puis pyroxène puis amphibole

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



Lame 4

Lame 5



Zonation minérale dans un plagioclase

L'angle d'extinction des plagioclases dépend des proportions Ca / Na donc la chimie du magma a évolué au cours de la cristallisation.

Évolution des volcans de la chaîne des Puys

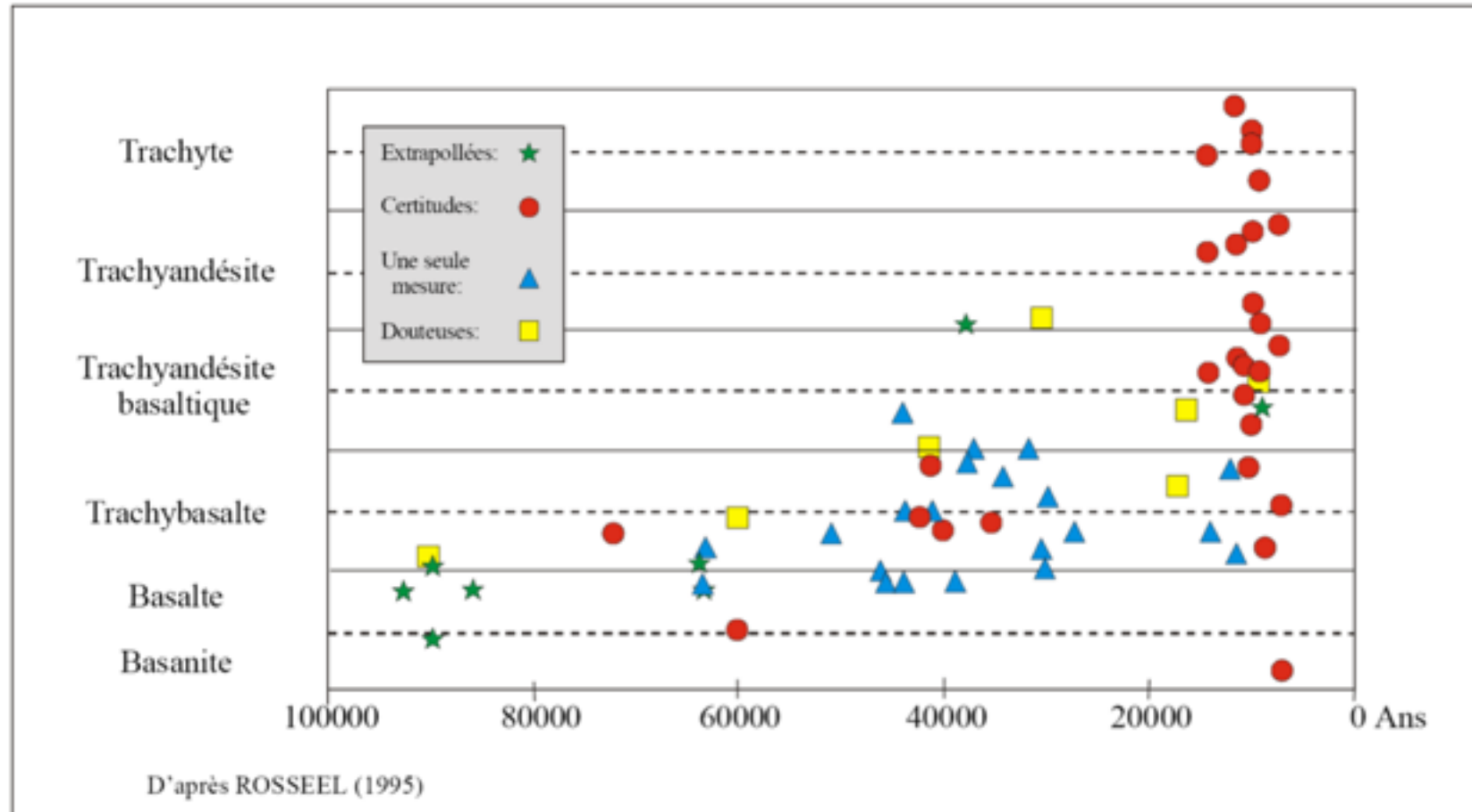
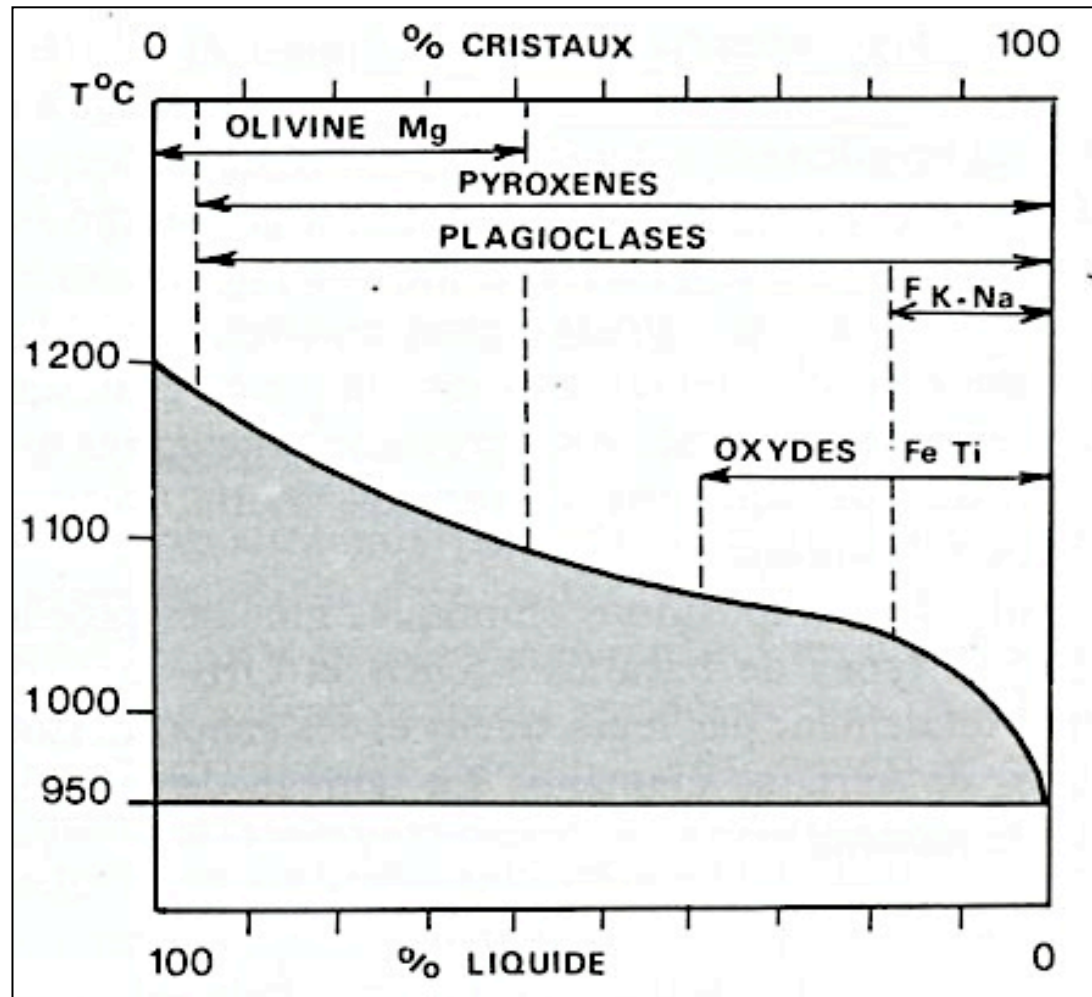


Figure 11 – Diagramme montrant l'ensemble des âges des produits volcaniques de la Chaîne des Puys en relation avec leur chimisme (d'après Rosseel, 1996 et de Goër, 1997). Un examen attentif des périodes d'activité montre clairement l'alternance de périodes d'activité et de périodes d'arrêt du volcanisme. 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.

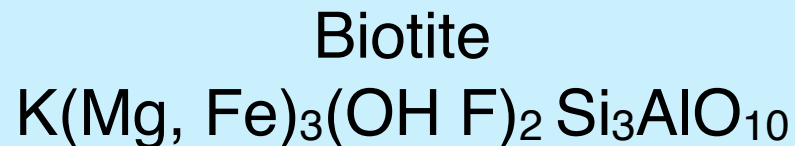
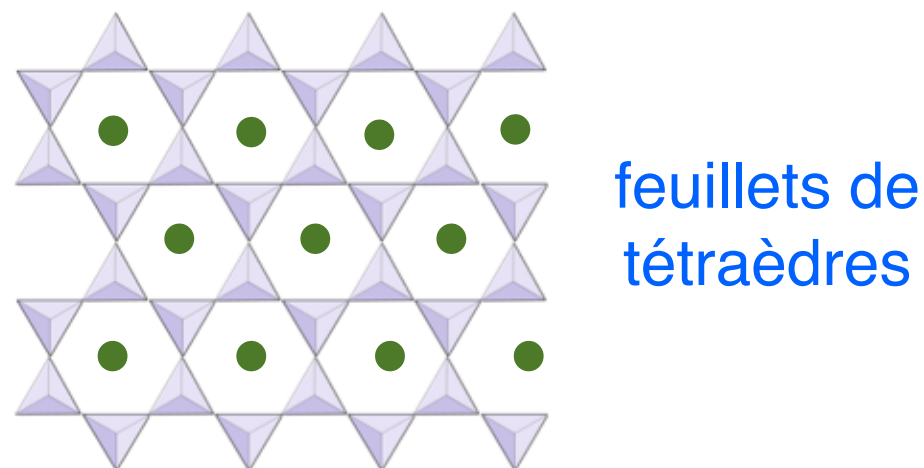
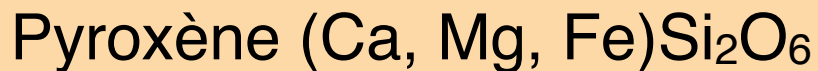
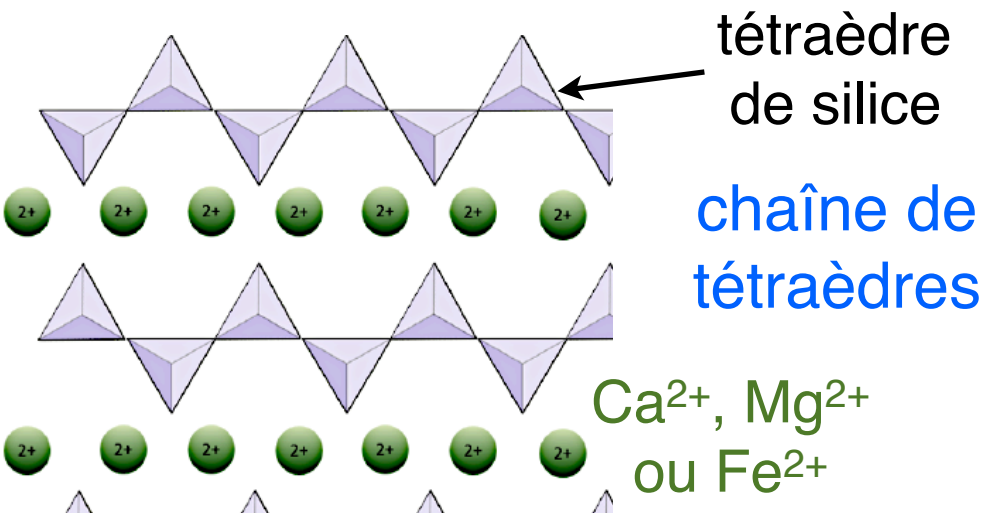
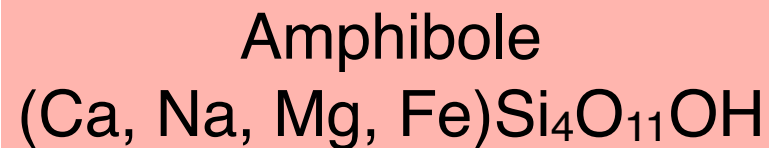
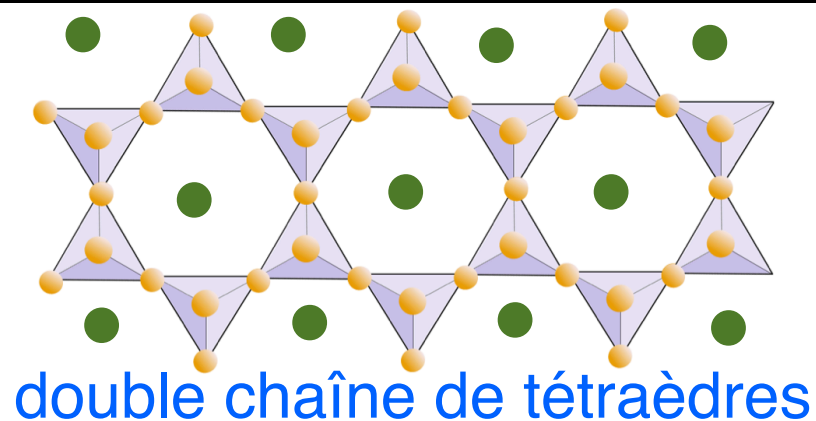
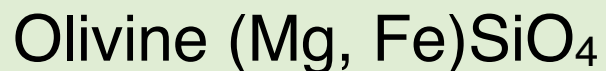
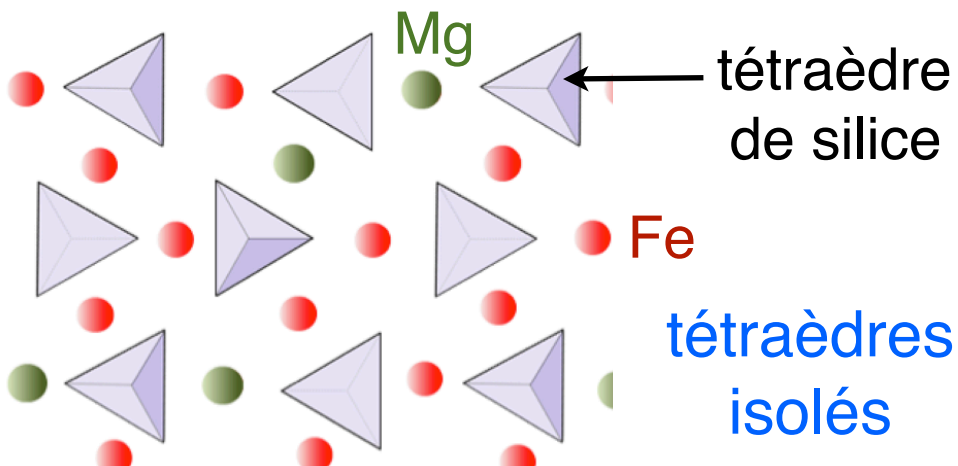
Ordre d'apparition des minéraux



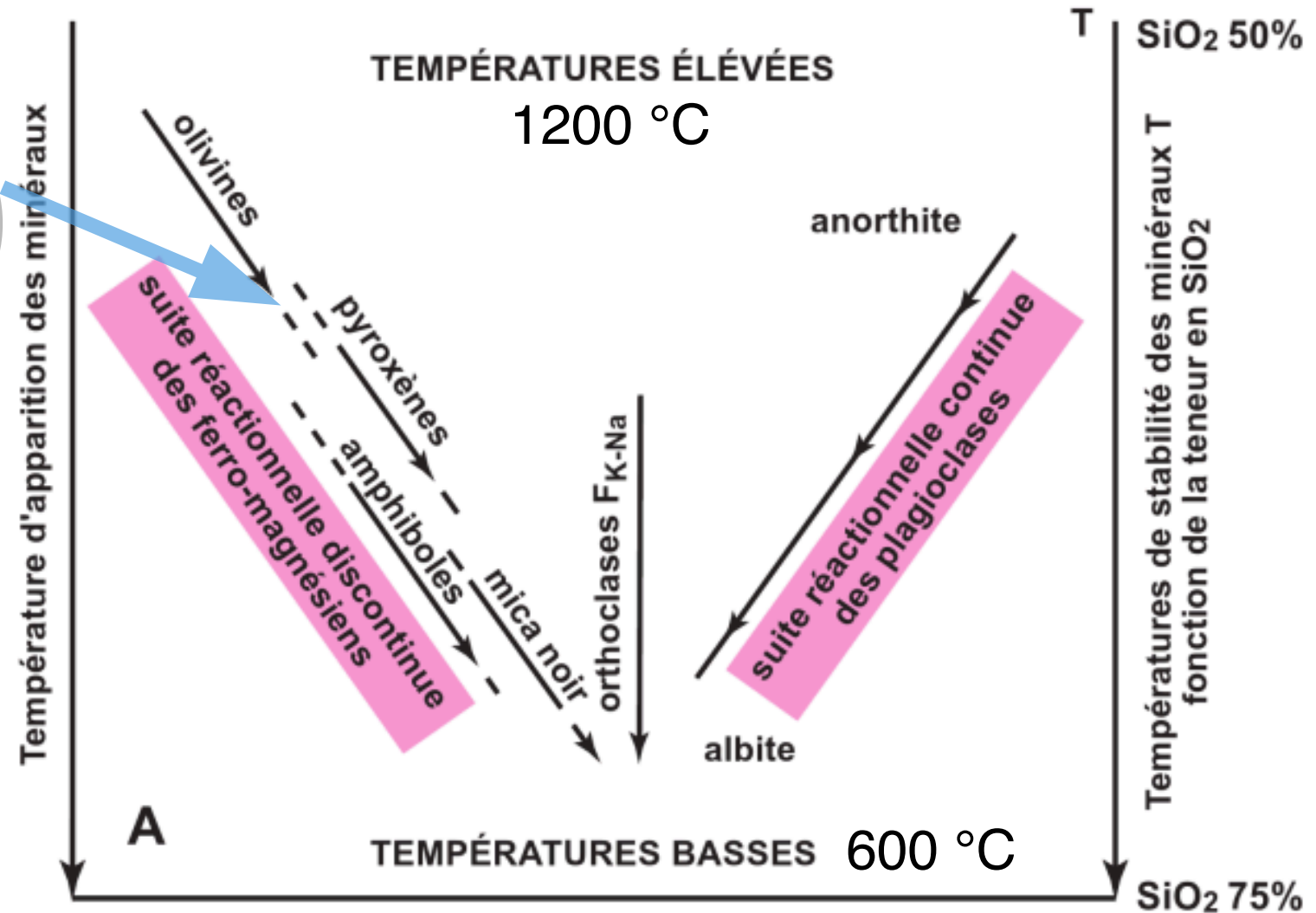
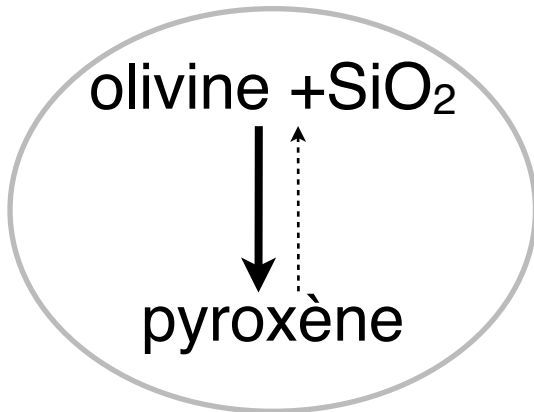
Ordre d'apparition des minéraux lors de la cristallisation lente d'une coulée de basalte d'Hawaï.

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

Quelques silicates pour les pros

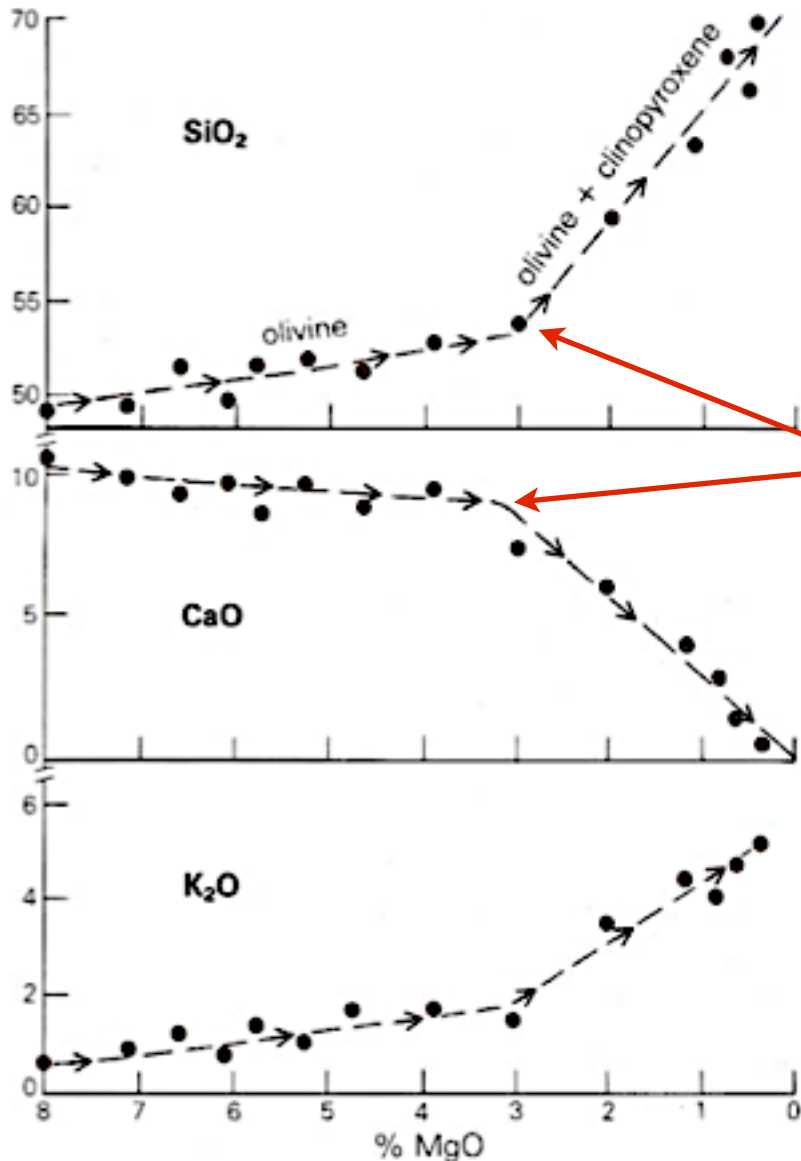


Suite réactionnelle de Bowen



Diagrammes de Harker

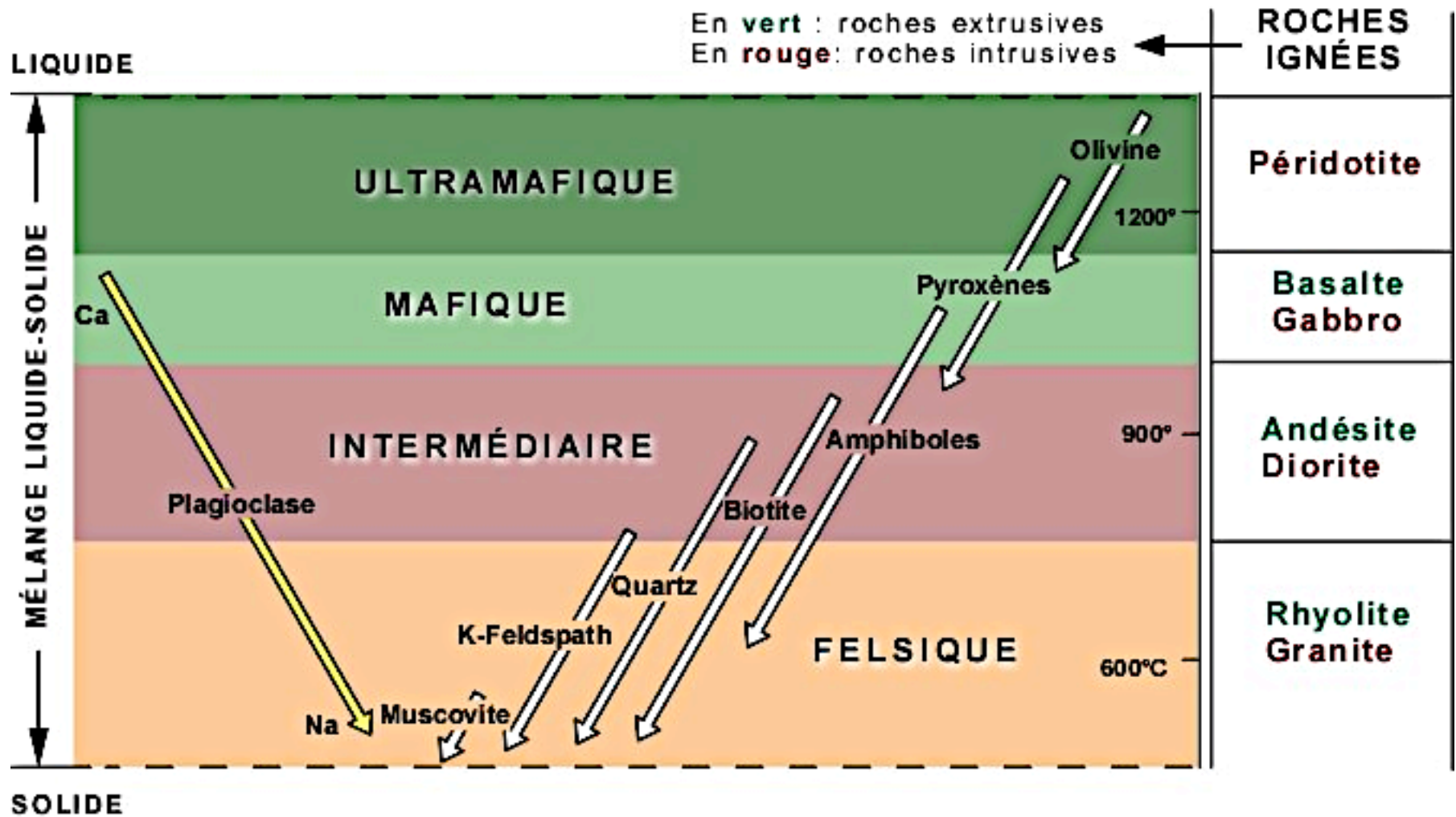
Evolution chimique du magma lors de la cristallisation : suite de roches volcaniques cogénétiques résultant de la cristallisation d'olivine, clinopyroxène et magnétite.



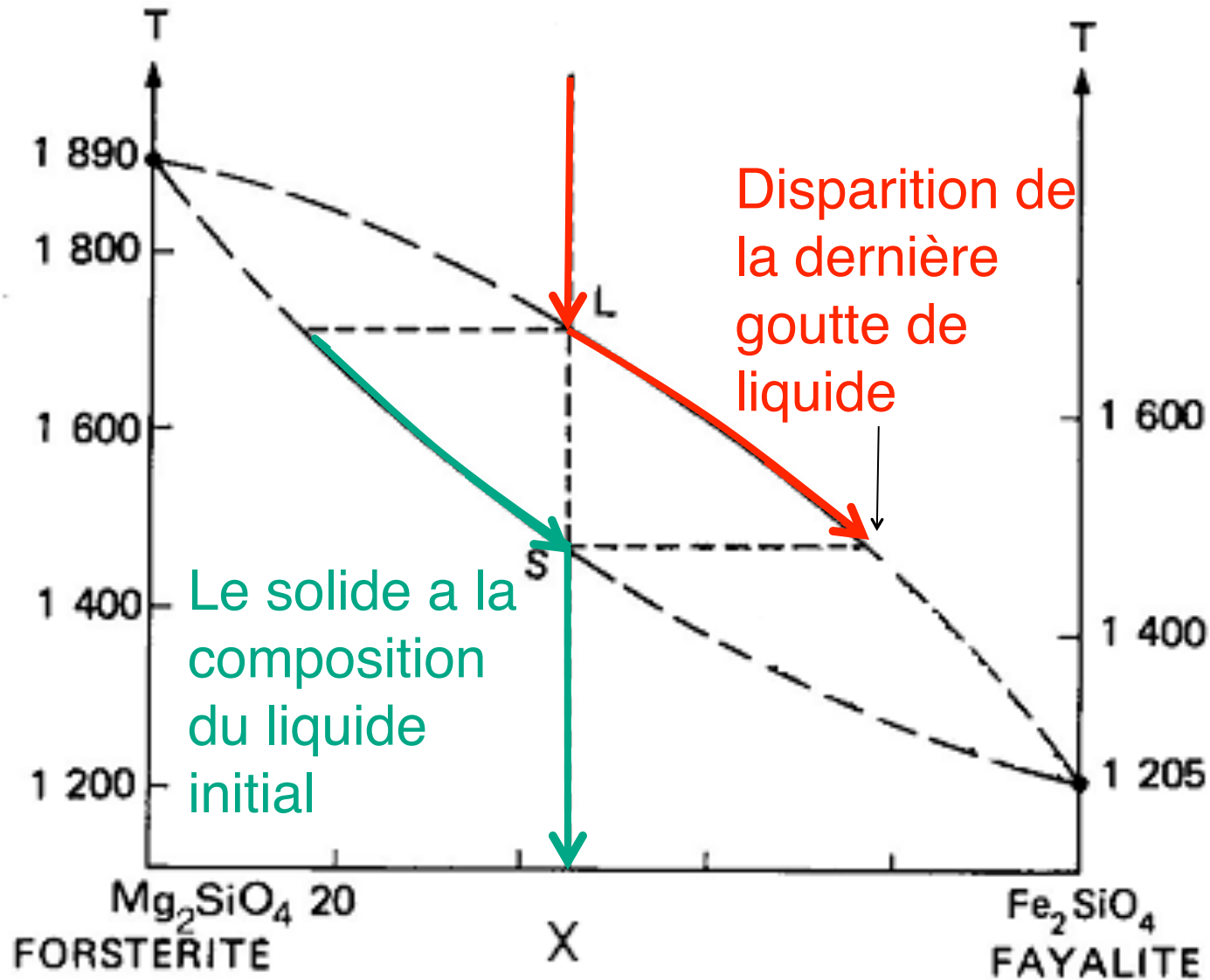
rupture de pente
interprétée comme
l'apparition d'un nouveau
minéral qui cristallise et
modifie la chimie du
magma restant

Globalement : le taux de Si et
des alcalins augmente alors
que les quantités de Fe, Mg et
Ca diminuent

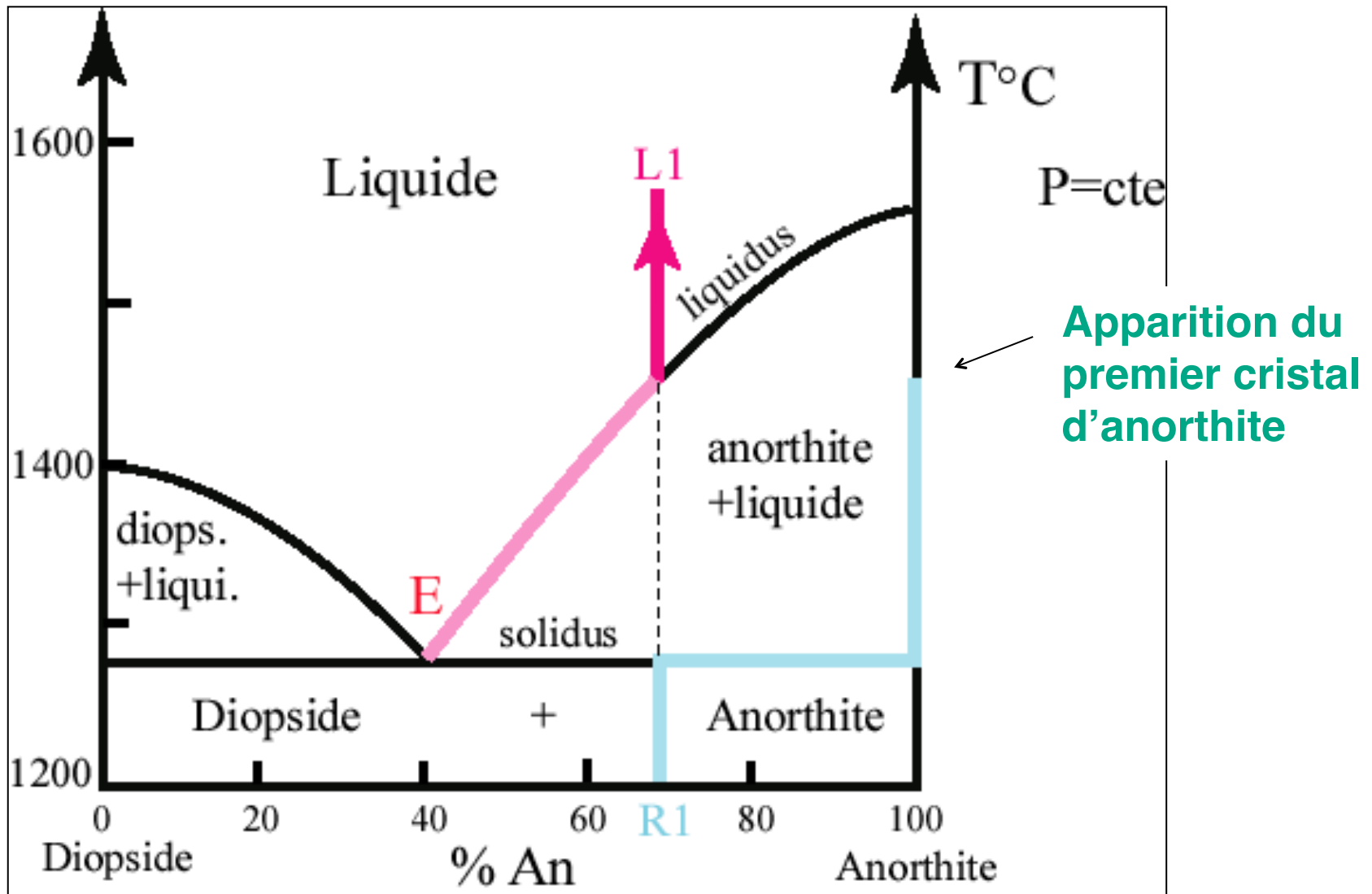
Série de Bowen



Cristallisation fractionnée dans un diagramme binaire



Cristallisation fractionnée dans un diagramme binaire avec eutectique



(inverser le sens de la flèche sous L1).

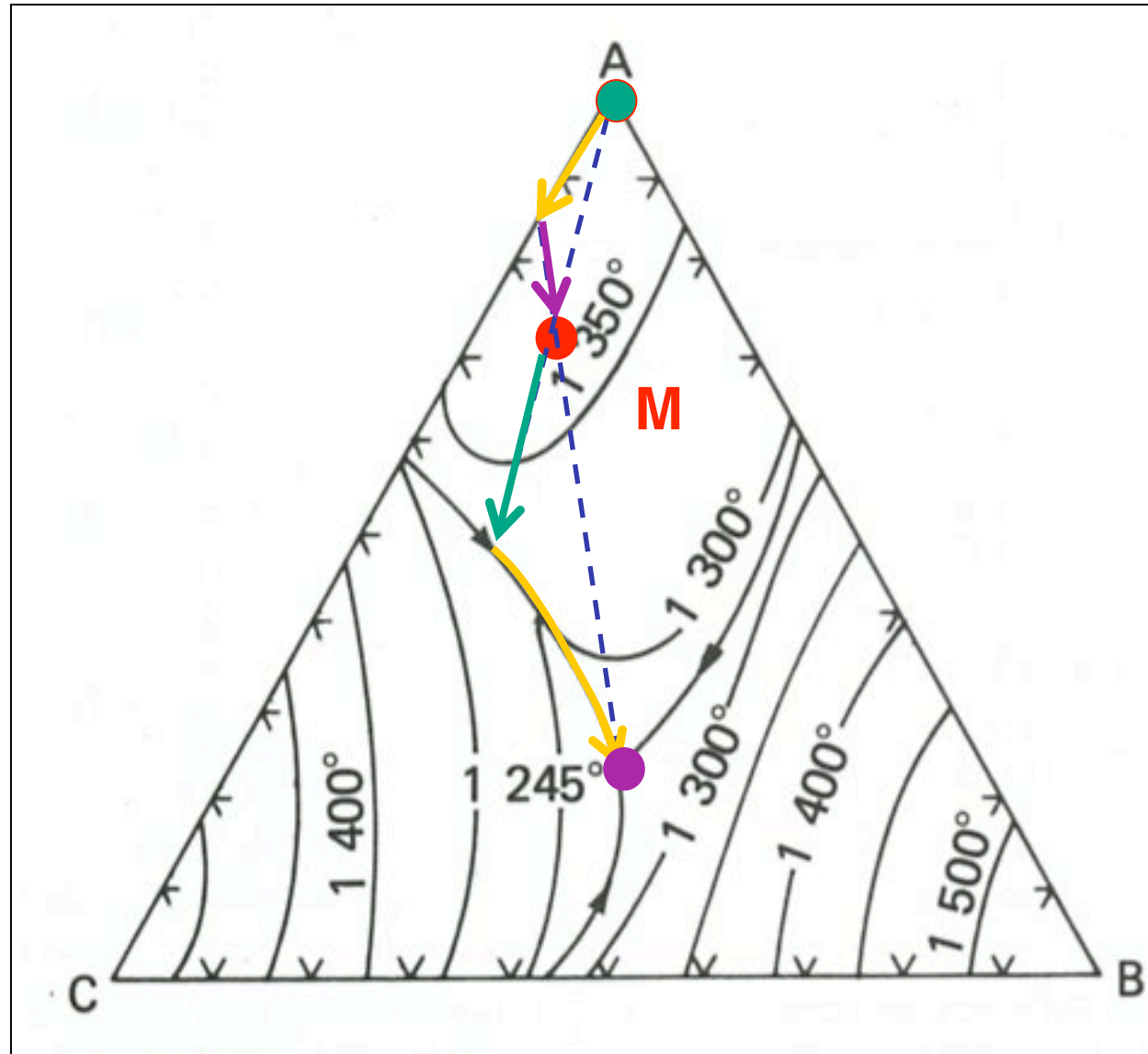
Cristallisation d'un mélange ternaire

A cristallise, la composition du liquide résiduel évolue en « descendant » la surface liquidus jusqu'à la ligne cotectique A+C+liquide

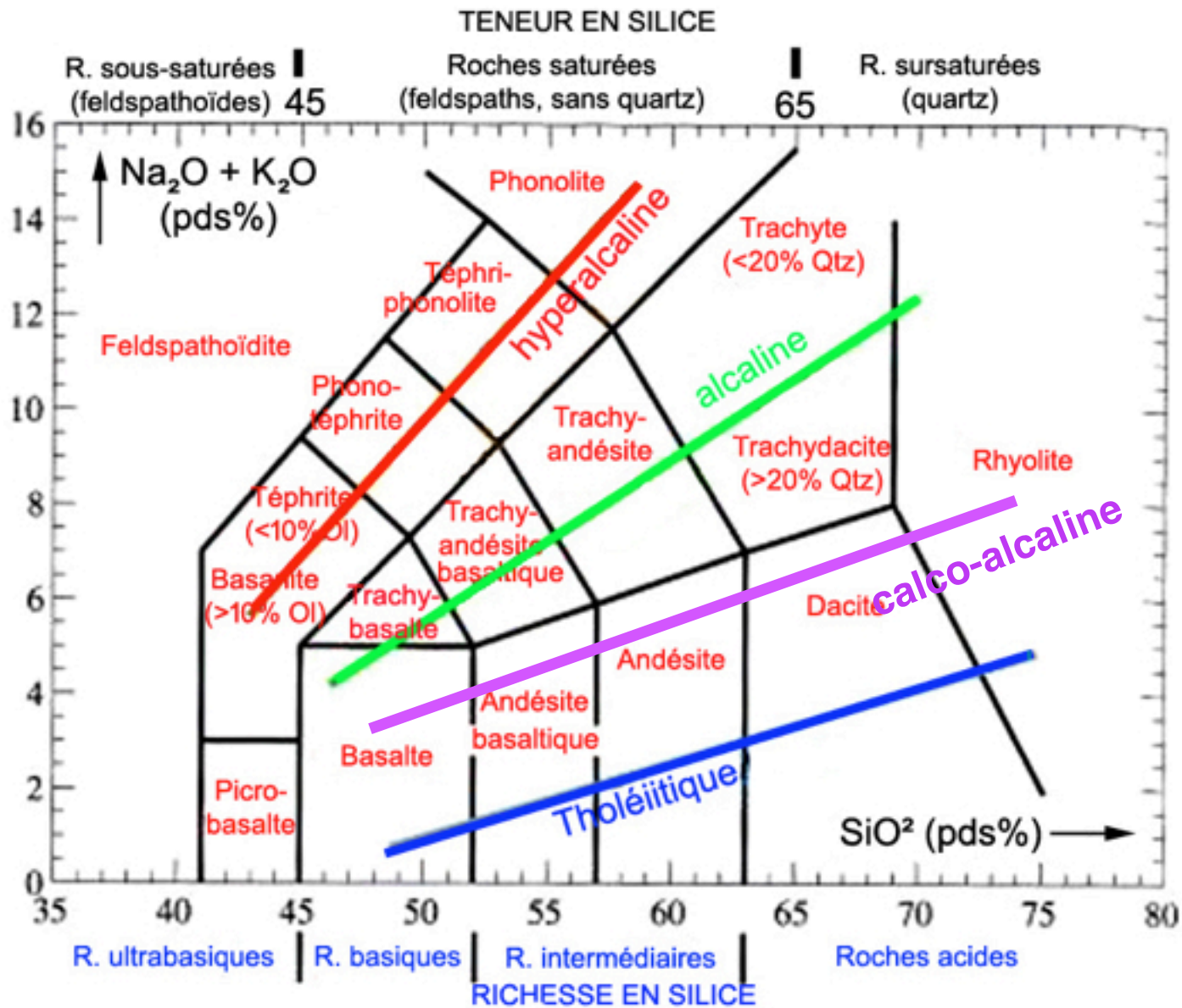
A + C cristallisent, la composition du liquide résiduel suit la ligne cotectique jusqu'au puits eutectique

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



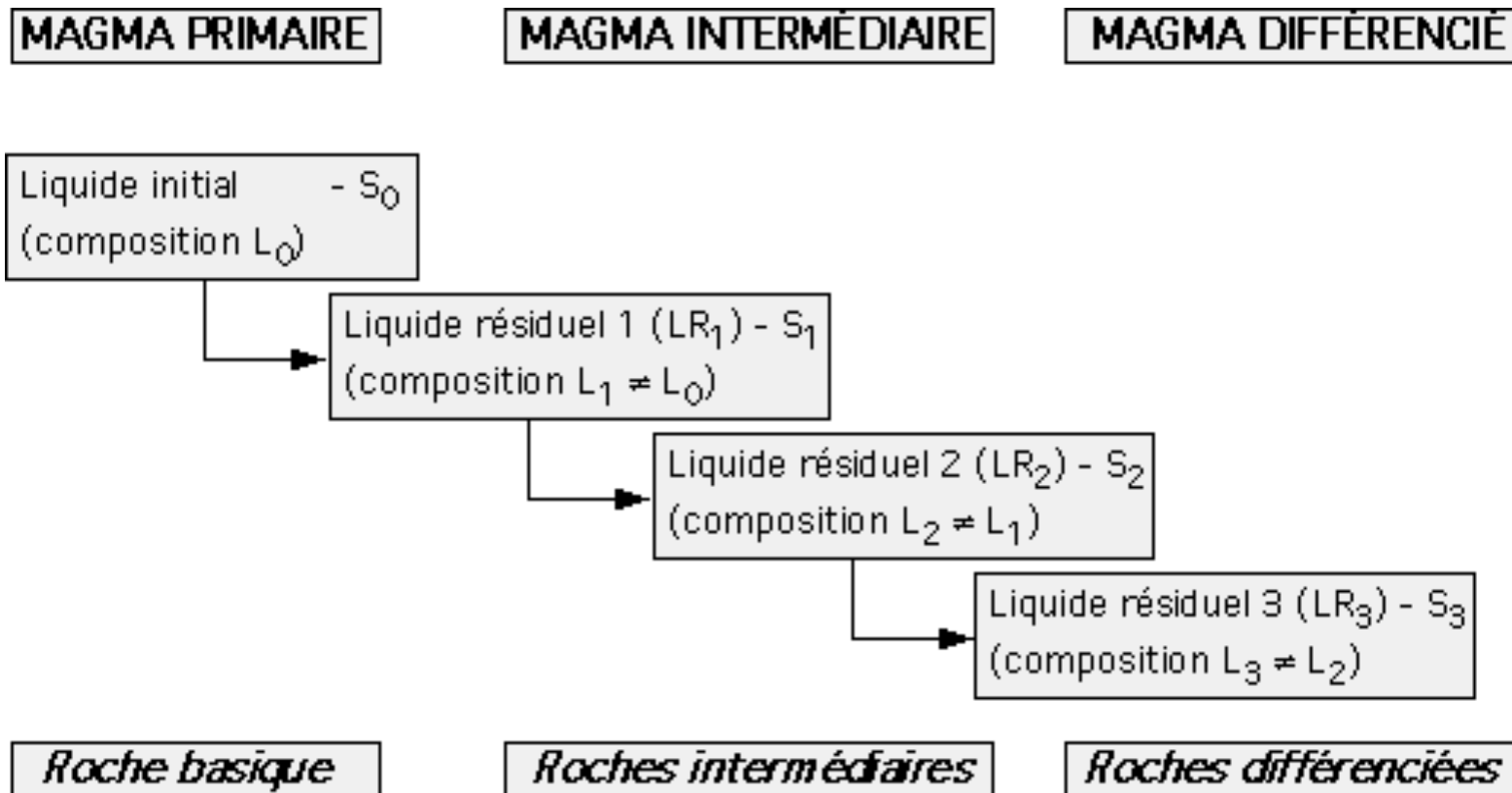
Les séries en diagramme de Harker (TAS)



(diagramme alcalin-silice ou TAS (=Total Alkali vs. silica))

(D'après "Géologie, roches et géochimie" (2011). A. Pruvost et C. Langlois. Dunod. ed.)

Evolution par cristallisation fractionnée



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

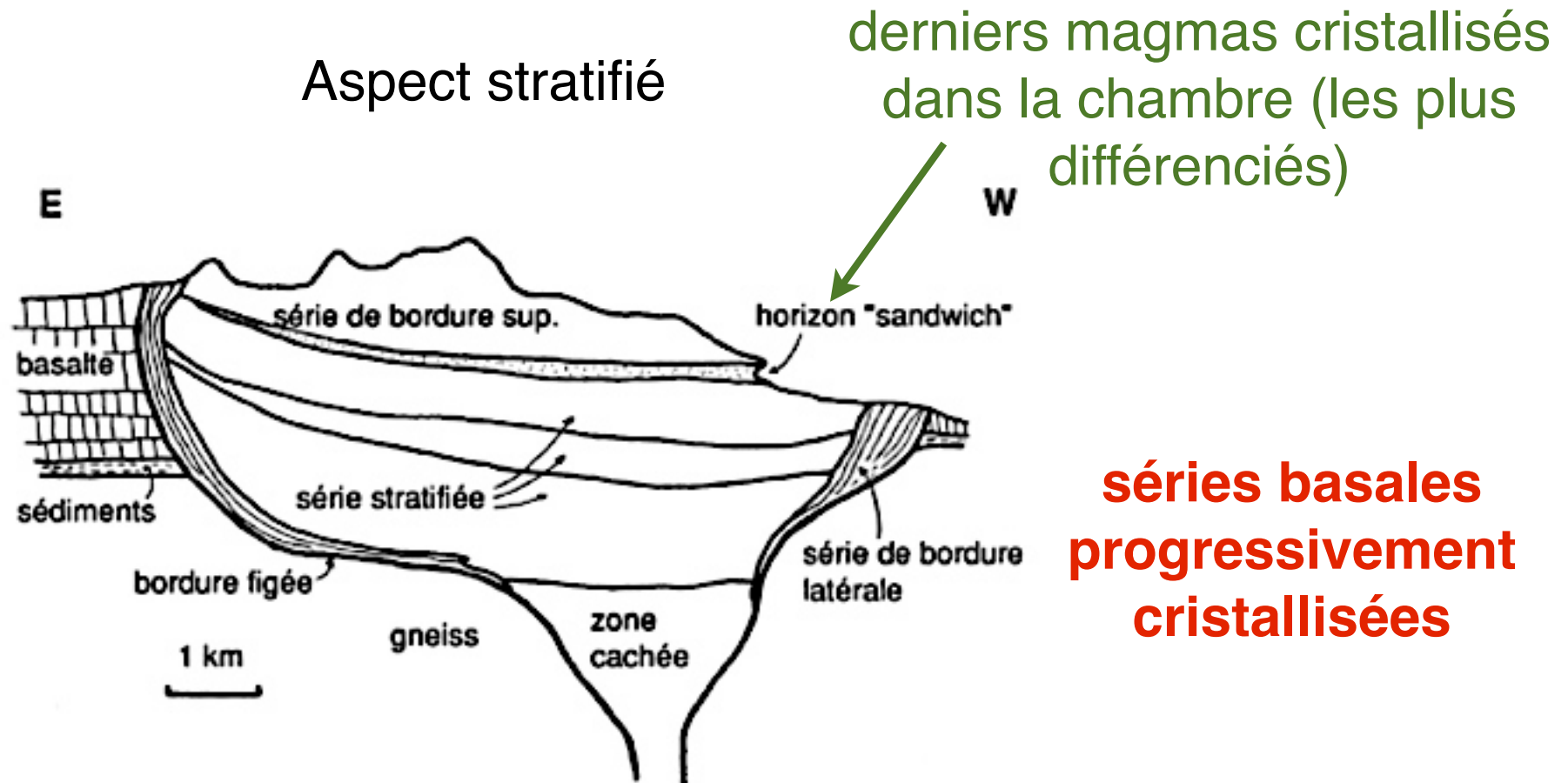
Nécessité d'une séparation cristaux / phase liquide par sédimentation ou vidange partielle (éruption, migration du liquide)

Gabbros lités du Skaergaard

Chambre magmatique fossile du Groenland



Le Skaergaard, chambre magmatique fossile

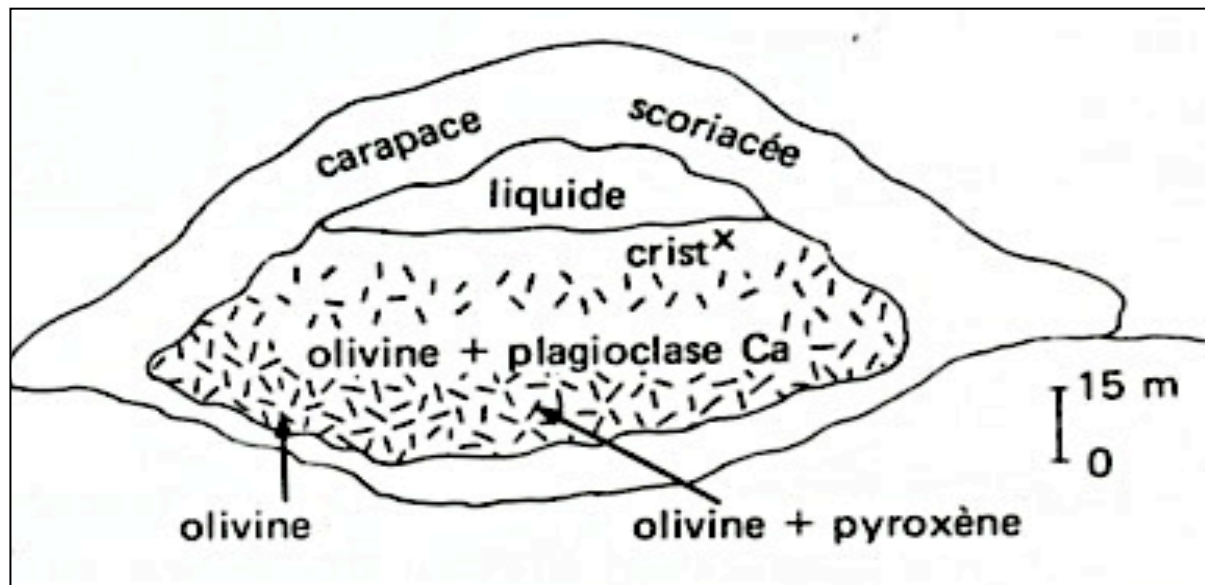
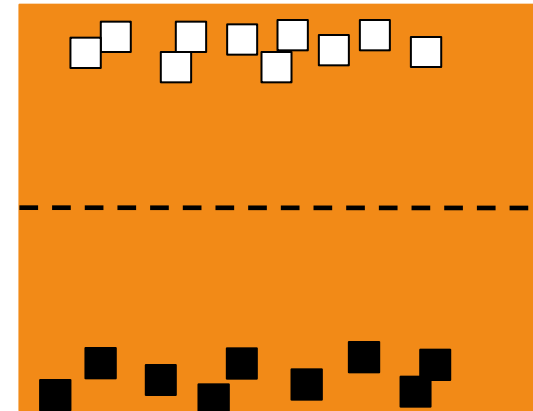
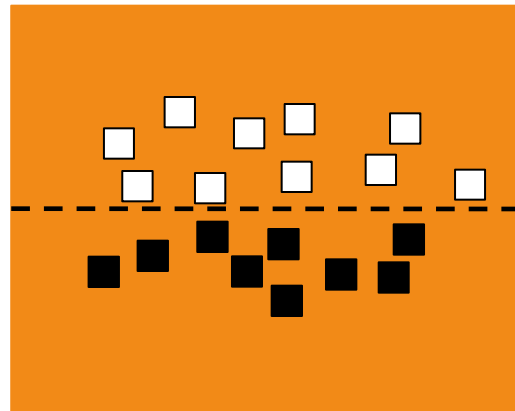
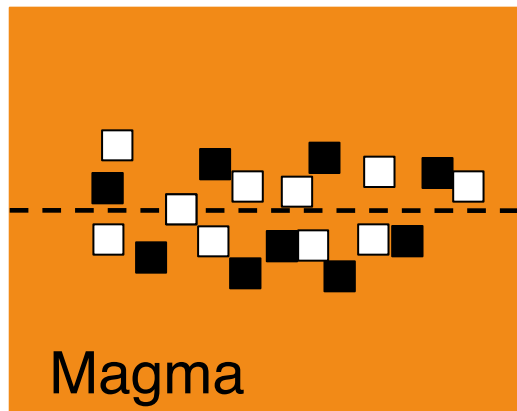


Le massif grenu du Skaergaard (Groenland), chambre magmatique fossile : coupe schématique E-W (vue vers le Sud) (d'après McBIRNEY, 1993, modifié).

Phénomène de sédimentation dans la chambre magmatique

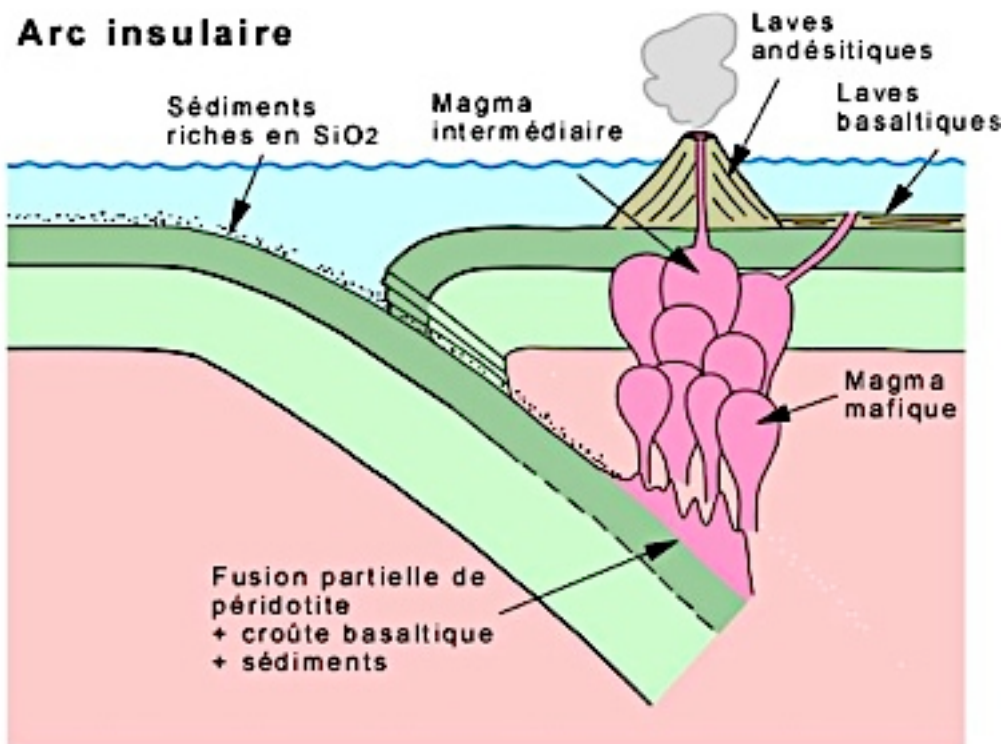
Effet de sédimentation des minéraux

Sédimentation de minéraux de densités différentes => apparition de lits de minéraux différents.



Contamination crustale

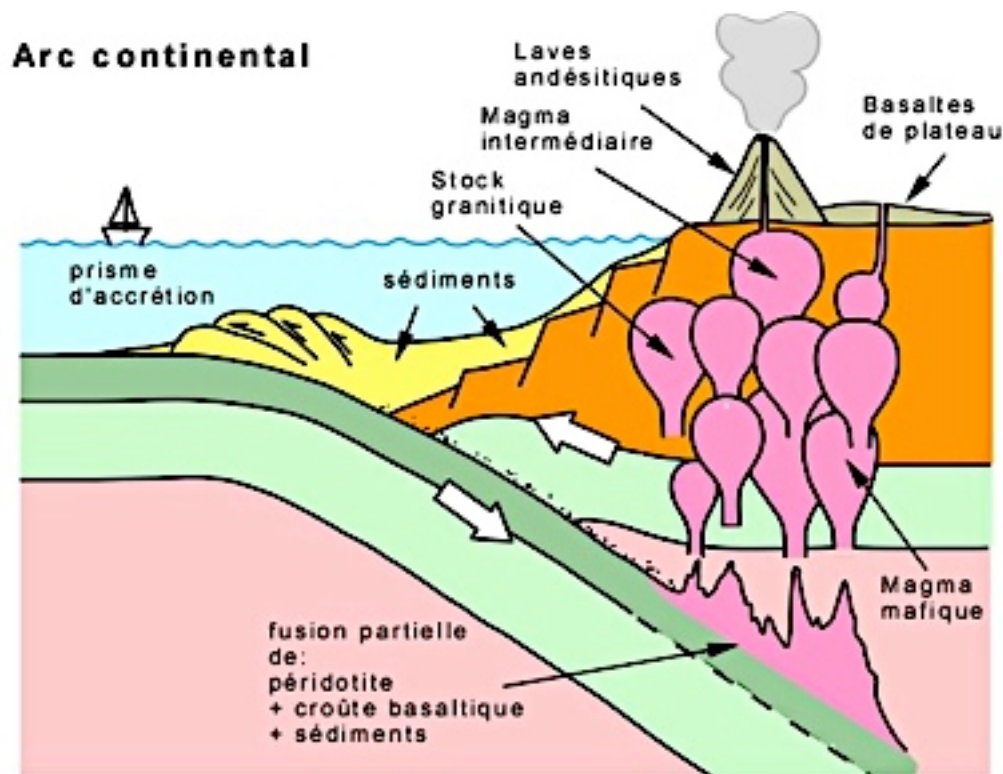
Arc insulaire



Zone de subduction entre 2 plaques océaniques

Le magma obtenu est riche en ferro-magnésiens issus de la participation de la fusion de la lithosphère océanique chevauchante => volcanisme basaltique possible.

Arc continental



Zone de subduction sous une plaque continentale

Le magma obtenu est moins riche en ferro-magnésiens mais plus siliceux à cause de la participation de la fusion de la croûte continentale => andésites et rhyolites dominant.

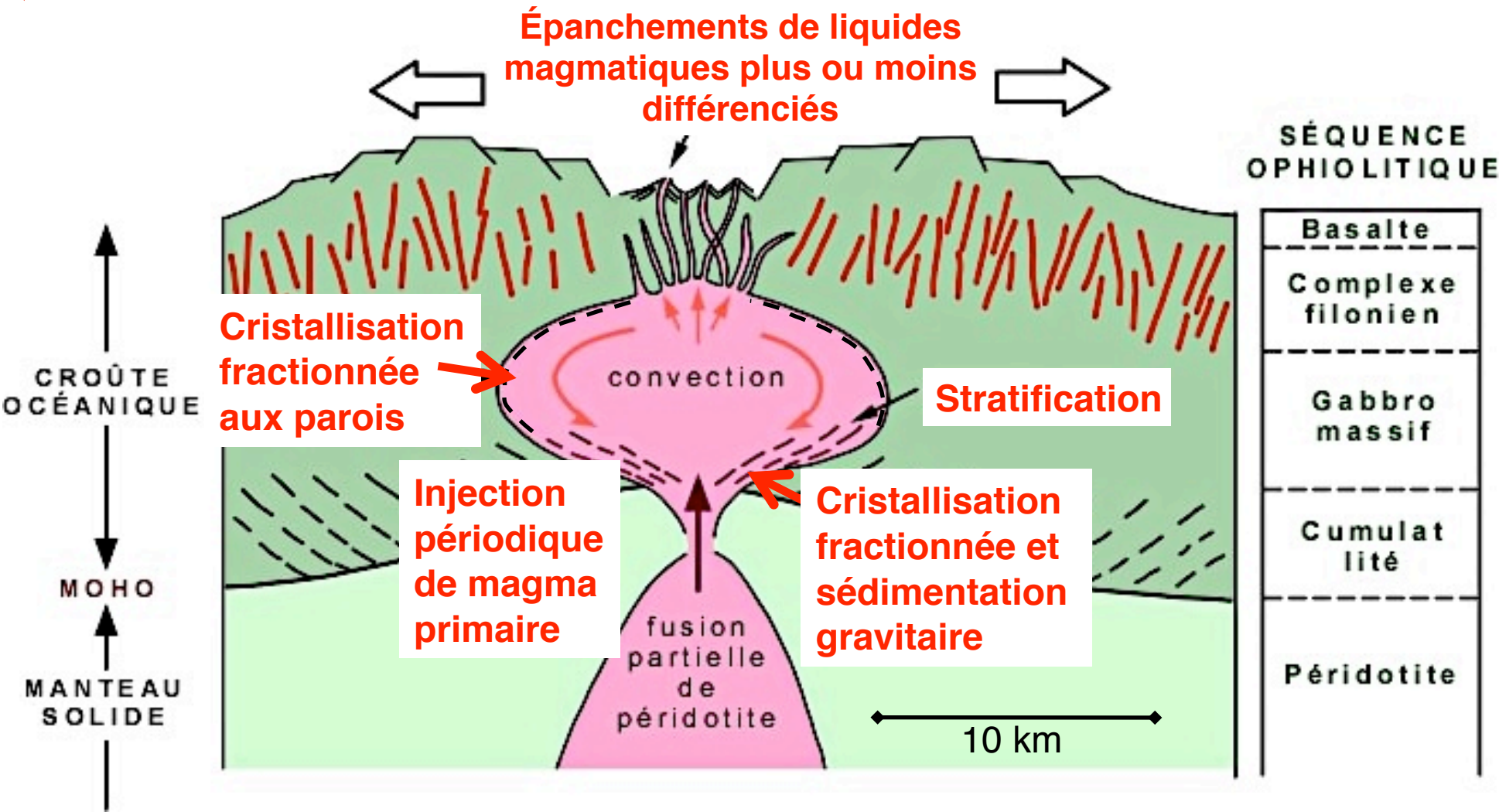
Hybridation magmatique



Baie de Sainte-Anne,
Trégastel (Côtes d'Armor).



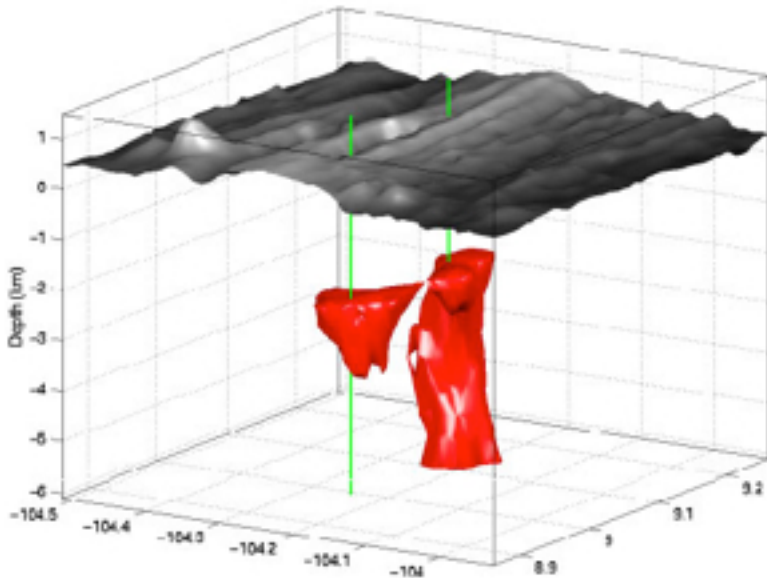
Bilan



3. Des magmas aux roches magmatiques

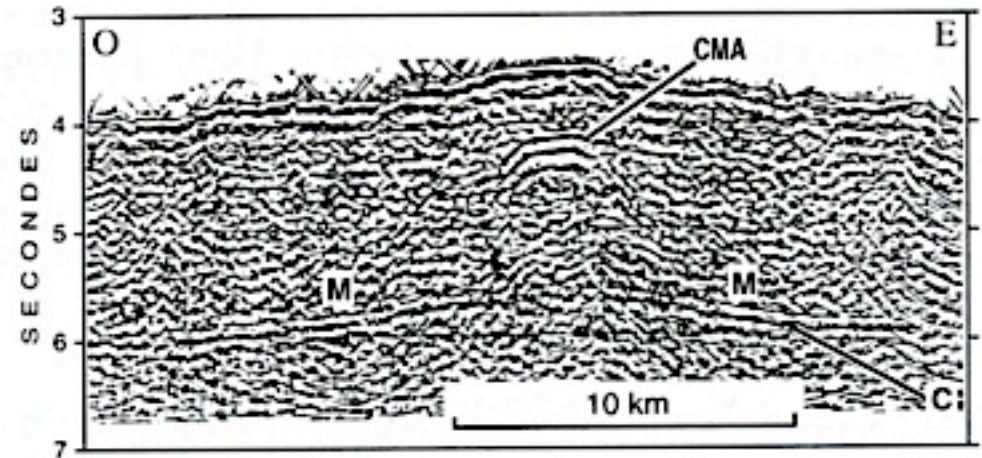
La dorsale océanique

Visualisation 3D de la chambre magmatique (zone à faible vitesse en rouge)

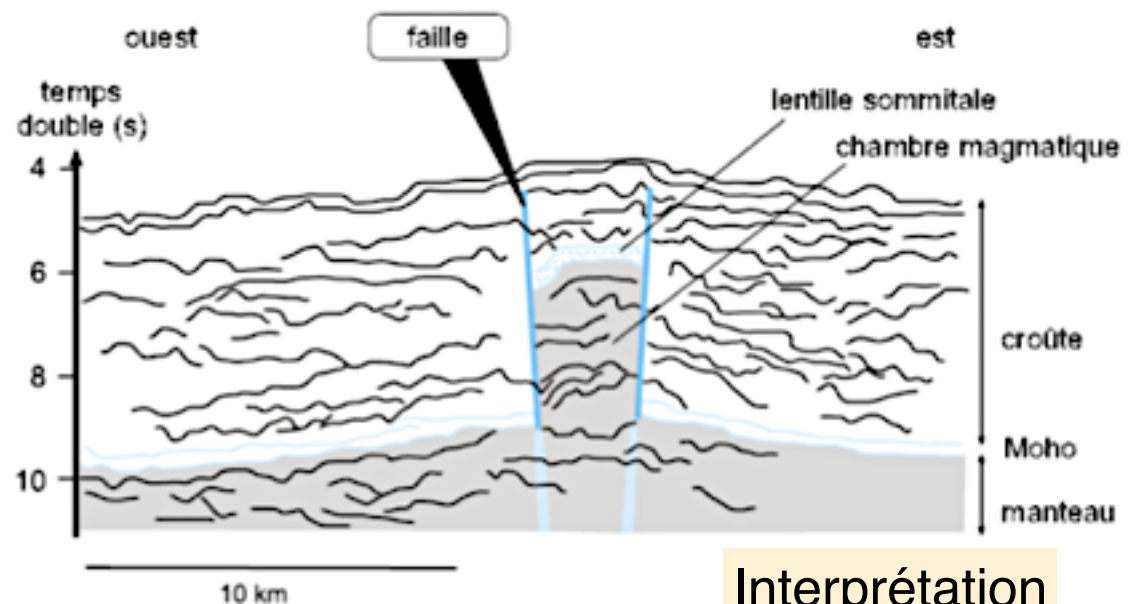


http://www.ipgp.fr/~bazin/sitewebsara_old/interest

Analyse par sismique réflexion



CMA = réflecteur correspondant au toit de la chambre magmatique
M = réflecteur du Moho.



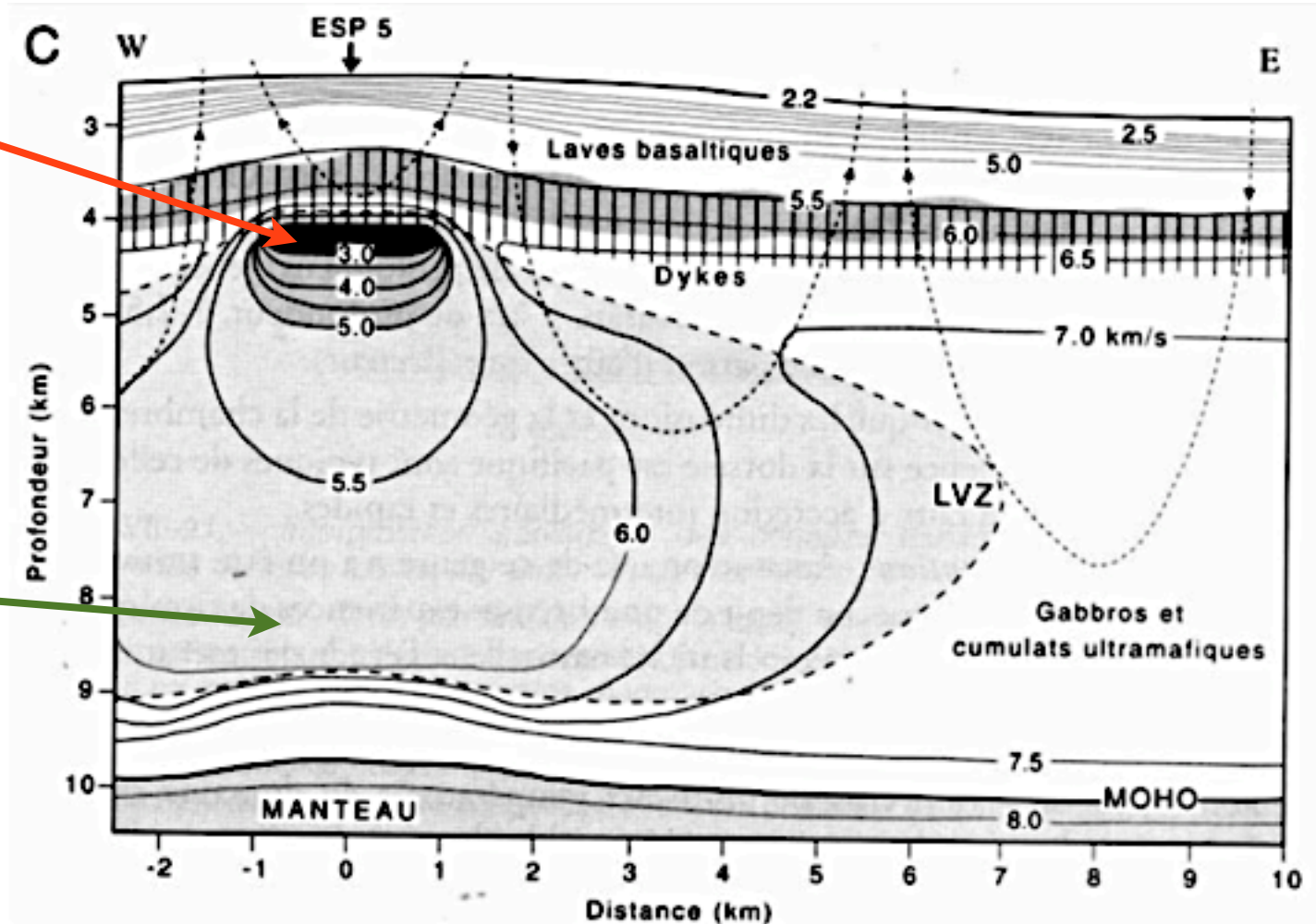
Interprétation

http://elecoix.free.fr/paf/M1%20ESPE%202013/confs/06B_Divergence%20lithospherique.pdf

Modèle de structure de vitesse sur un profil

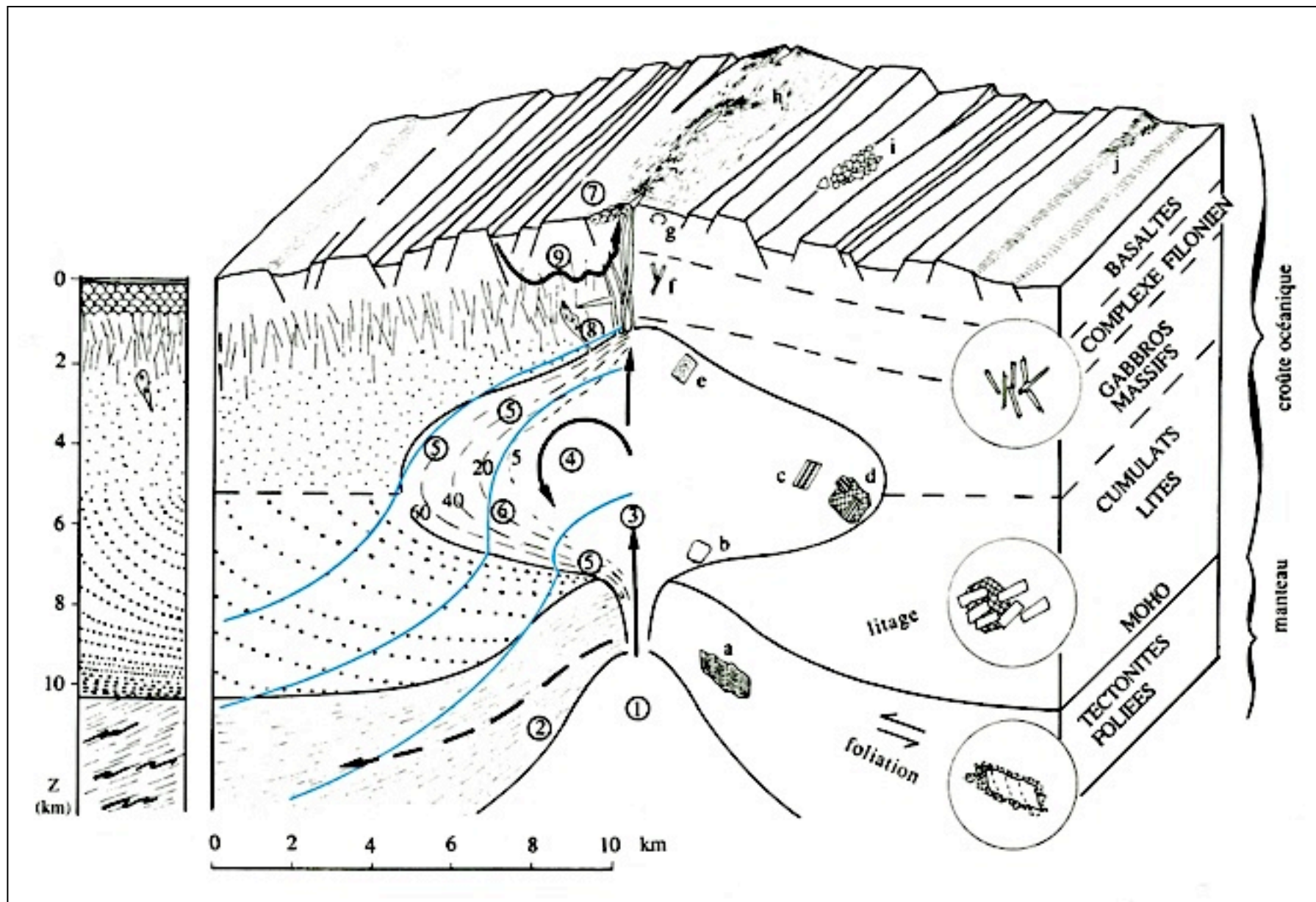
À son sommet, les ondes S n'y sont pratiquement plus transmises, ce qui suggère un état quasi liquide

état quasi solide



L'étude sismique au niveau des dorsales rapides révèle l'existence d'une zone au sein de la croûte où les vitesses des ondes P sont très atténuées.

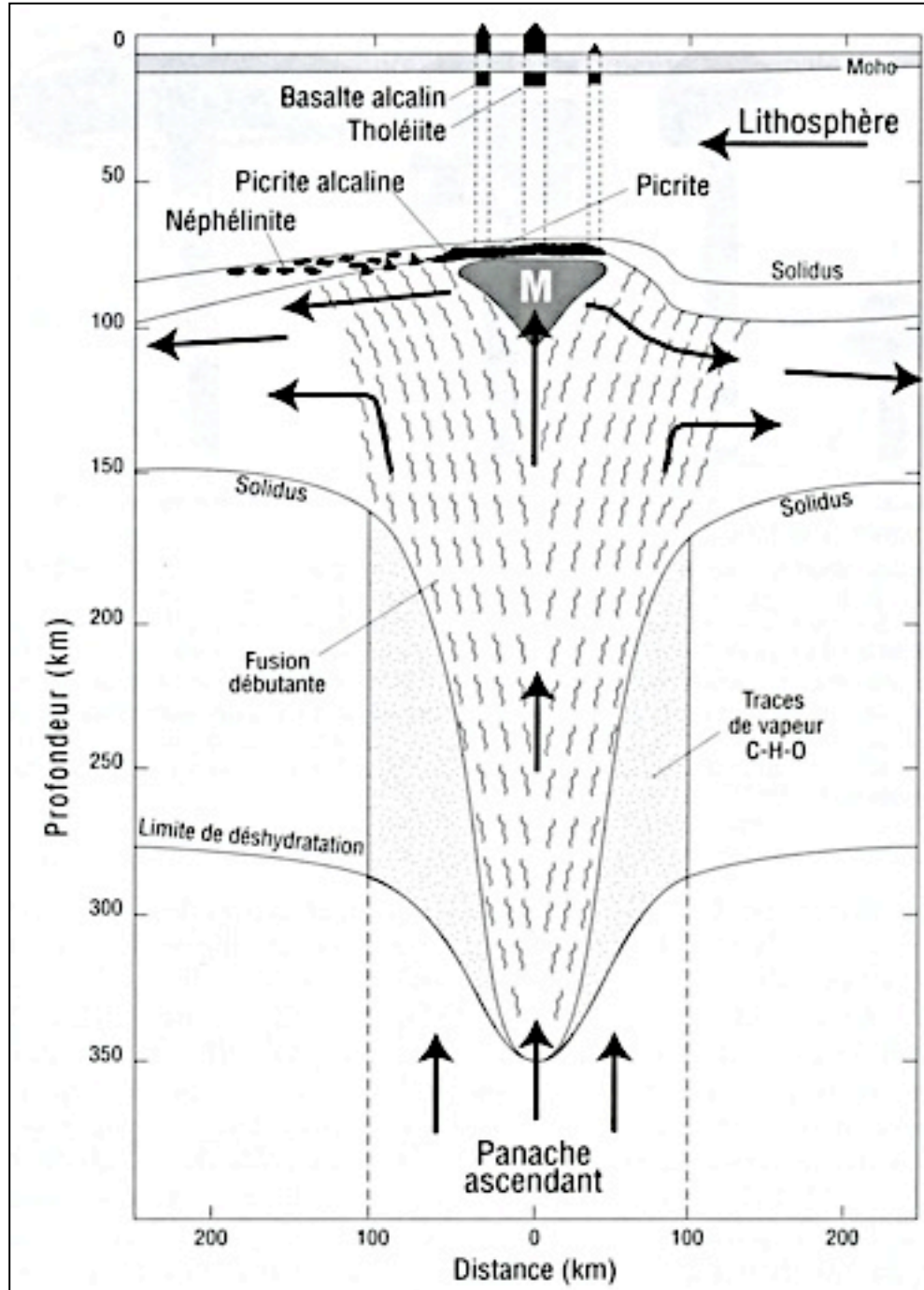
Une superposition de roches



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

Modèle de fusion dans le cas d'un point chaud

M : chambre magmatique

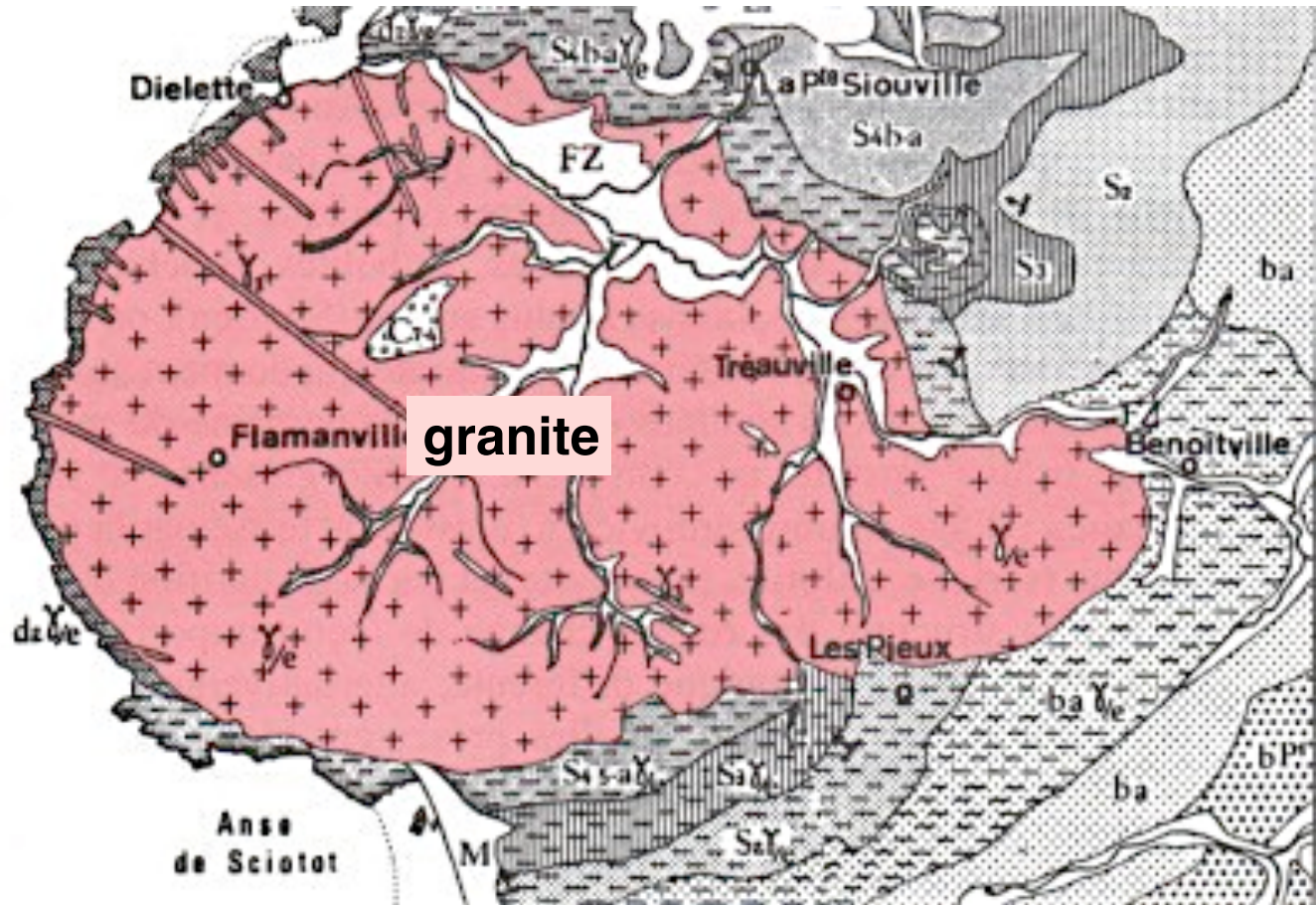


(Juteau T., Maury B., "Géologie de la croûte océanique", Dunod Ed.).

Un pluton intrusif



--- auréole de
--- métamorphisme



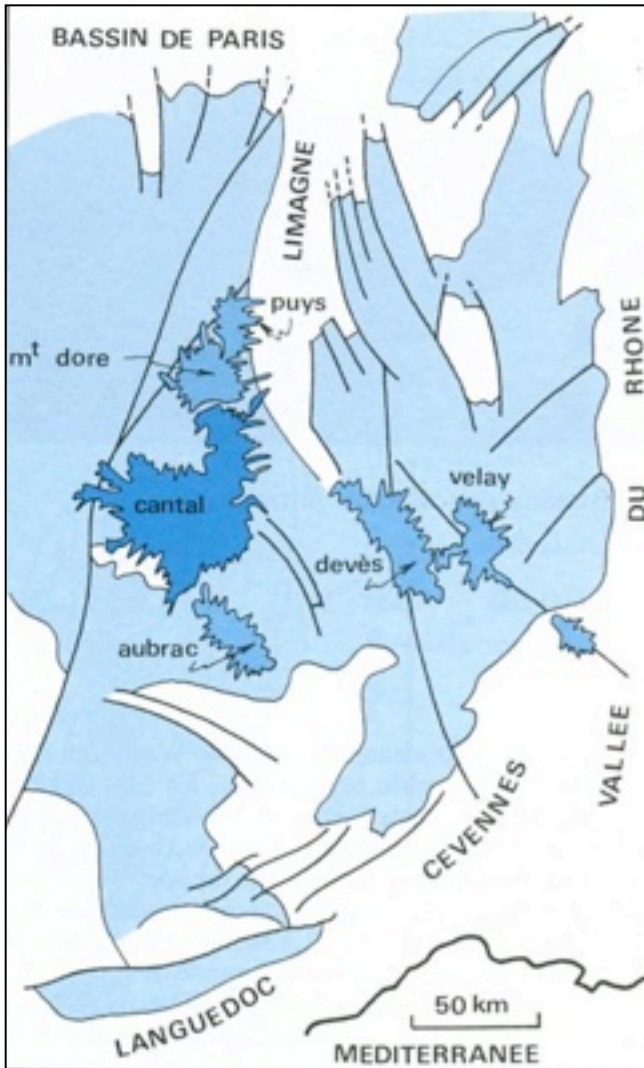
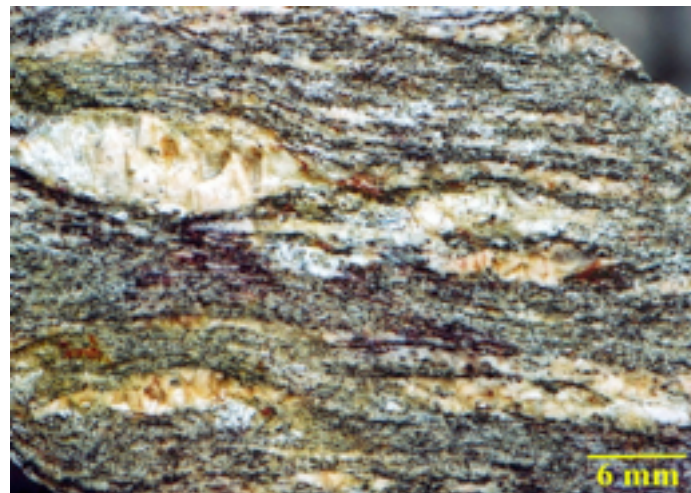
Le granite autochtone du Velay

Au cœur du massif : granite du Velay à biotite et cordiérite.

**Zone intermédiaire
Migmatite : lits clairs de
granite dans un gneiss**



**Autour du pluton
Orthogneiss constituant
le toit du granite du Velay.**

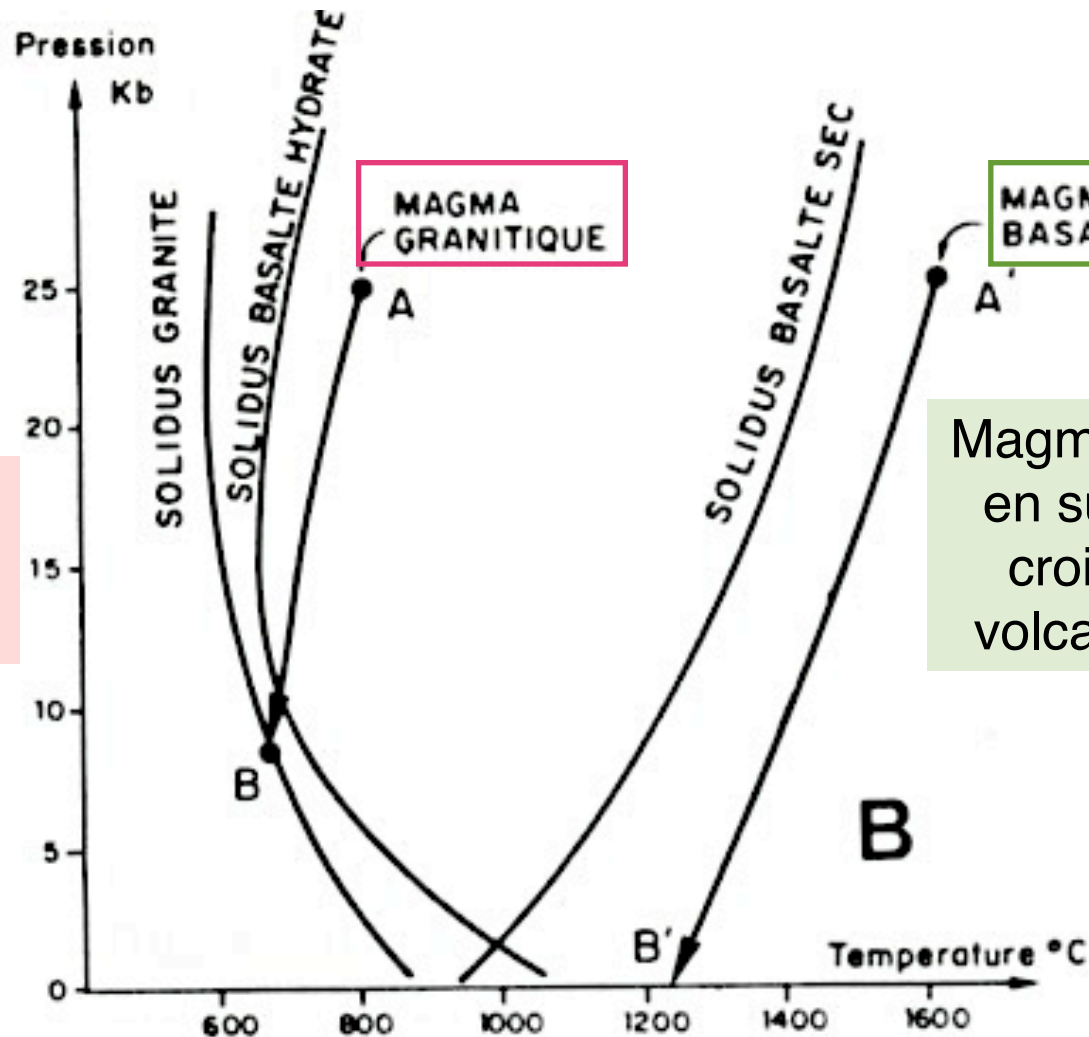


gros batholithe

Evolution comparée de 2 magmas

80 km =

Magma moins chaud qui croise le solidus vers 25 km => pluton



Magma chaud qui arrive en surface sans avoir croisé le solidus => volcanisme basaltique

Viscosité des magmas

Roches correspondantes	ν (viscosité) poiseuille = 1 Pa.s
granite sec 800 °C	10^{11}
granite saturé en H ₂ O 800 °C, 2kbar	$2,5 \cdot 10^6$
granite saturé en H ₂ 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.

Remontée plus lente des magmas granitiques de viscosité très importante

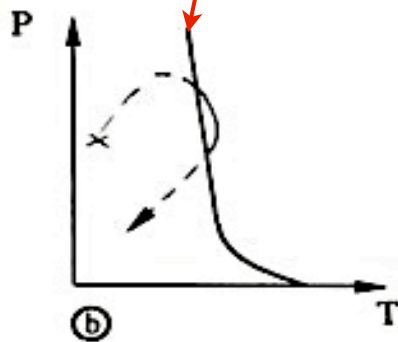
Circonstances de l'anatexie crustale

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

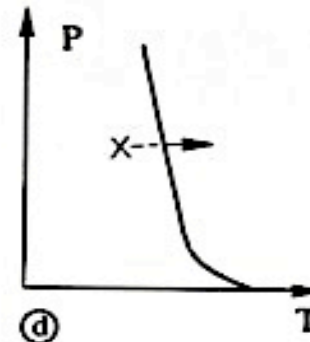
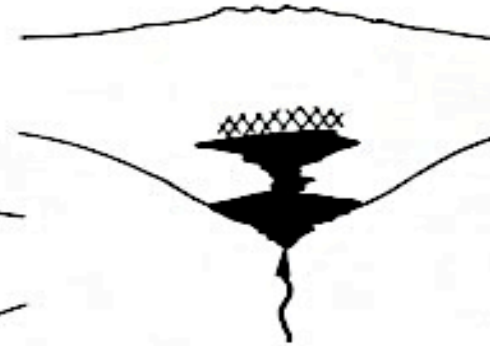
e. Déshydratation par métamorphisme de l'unité inférieure qui hydrate l'unité chevauchante.



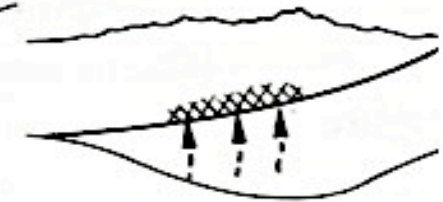
solidus hydraté



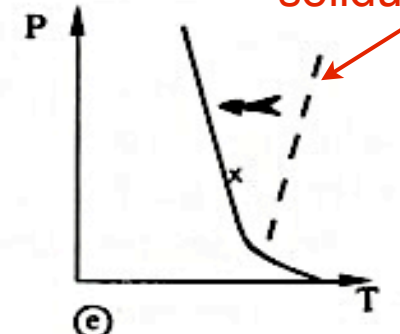
b. Enfouissement tectonique, réchauffement puis remontée isostatique liée au décapage par l'érosion.



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



solidus sec



Conclusion



Contexte géodynamique	Source du magma	Conditions de la fusion partielle	Profondeur FP	Taux FP	Nature et chimie magma I	Roches magmatiques et série correspondantes
Dorsales	Manteau asthénosphérique	Décompression adiabatique	Début vers 75 km 20 – 30 km	20 – 25 %	Basalte tholéitique Assez riche en SiO_2 : 47-49 % pauvre en alcalins : $\text{K}_2\text{O} < 0,5 \%$ $\text{Na}_2\text{O} \approx 2,5 \%$	basalte MORB gabbro Série tholéitique
Points chauds	Manteau inférieur ? (700 à 2900 km)	Augmentation de T° consécutive à panache mantellique ascendant	Début vers 300 km ? 50 – 100 km	5 % (peut atteindre 20 %)	Basalte alcalin Pauvre en SiO_2 : 44 – 47 % Riche en alcalins : $\text{K}_2\text{O} 1 \%$ $\text{Na}_2\text{O} 3 - 4 \%$	basalte OIB, trachyte (alcaline) rhyolite (alcaline) Série alcaline
Subduction	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_2 : 48 - 53 % Riche en $\text{Al}_2\text{O}_3 > 16 \%$ Riche en eau Assez riche en alcalins	andésite granodiorite rhyolite granite Série calco-alcaline