

- ST-F LE MAGMATISME  
ST-F-2 LES PROCESSUS  
FONDAMENTAUX DU  
MAGMATISME
- ST-F-2-2 EVOLUTION  
DES LIQUIDES

BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2



Source : [GEOPHOTOSCAPES](http://GEOPHOTOSCAPES.com)



# Un magma cristallise au sein d'une chambre magmatique

Le liquide magmatique alimente une chambre magmatique

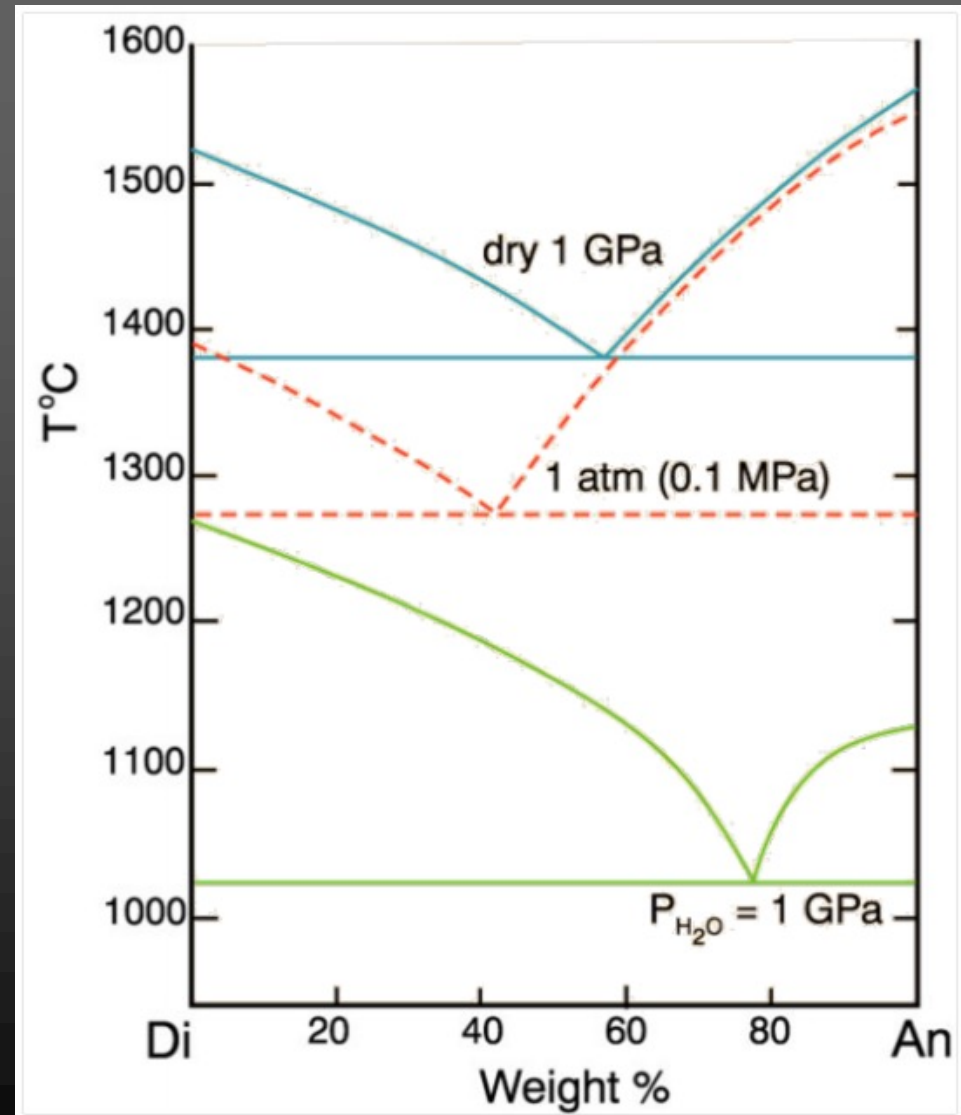
BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2



2

Source : [GEOPHOTOSCAPES](https://www.geophotoscapes.com/)

# Pression et eutectique





# Une cristallisation fractionnée

Le massif du  
Skaergaard : objet  
d'étude

BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2

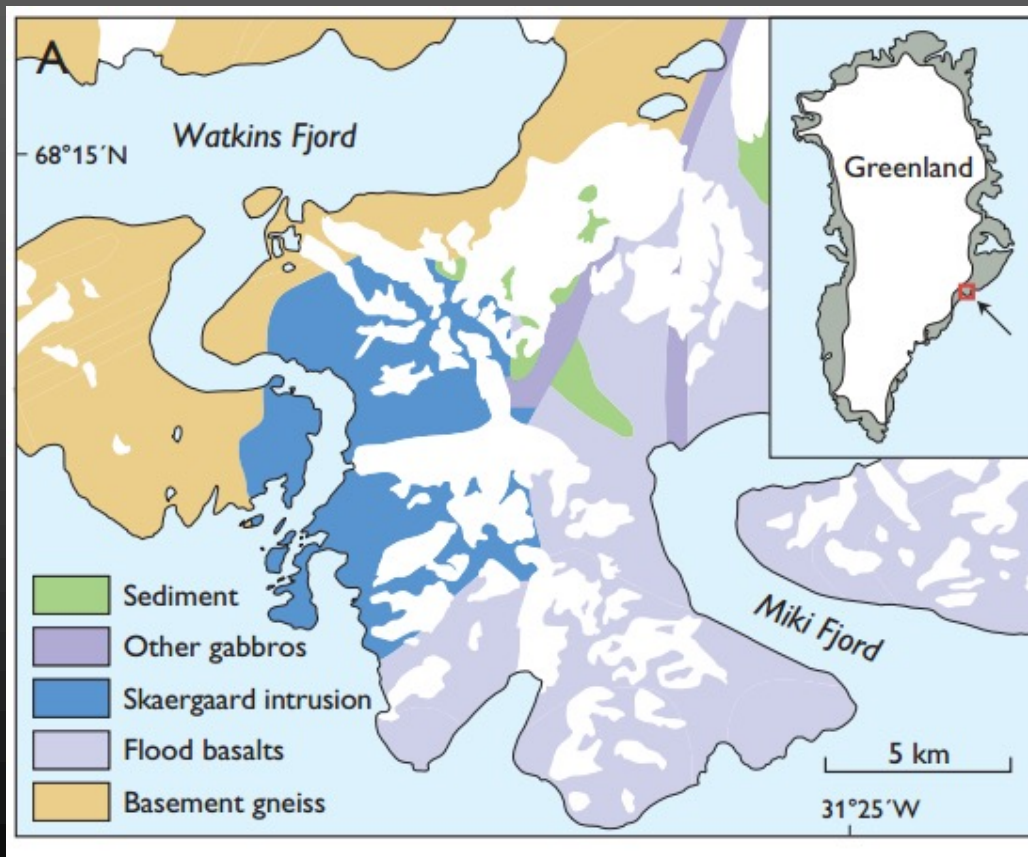


Source : [GEOPHOTOSCAPES](http://GEOPHOTOSCAPES)



La complexité des processus de cristallisation des magmas basaltiques peut être abordée par l'étude des intrusions comme celle de Shaergaard. Ce massif situé sur la côte Est du Groenland est un **complexe de 500 km<sup>3</sup> de roches grenues** (essentiellement des **gabbros**). Il s'est mis en place il y a **50 Ma**.

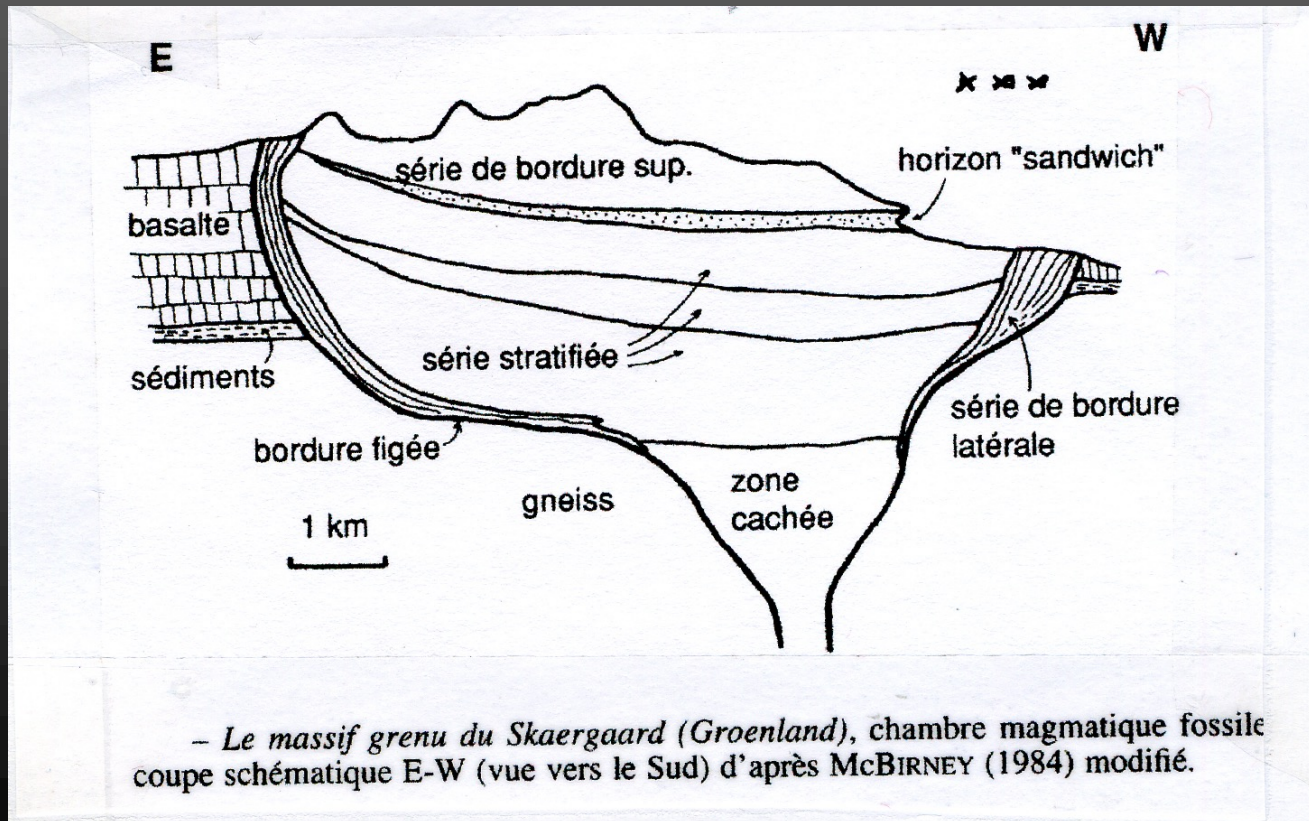
La **bordure figée** de ce massif est de **texture microgrenue** et possède la *composition d'un basalte tholéiitique (type fond océanique = MORB)*.



Deux types de cristallisation différentes, comment l'expliquer ? liens avec les conditions régnant dans la chambre magmatique ?



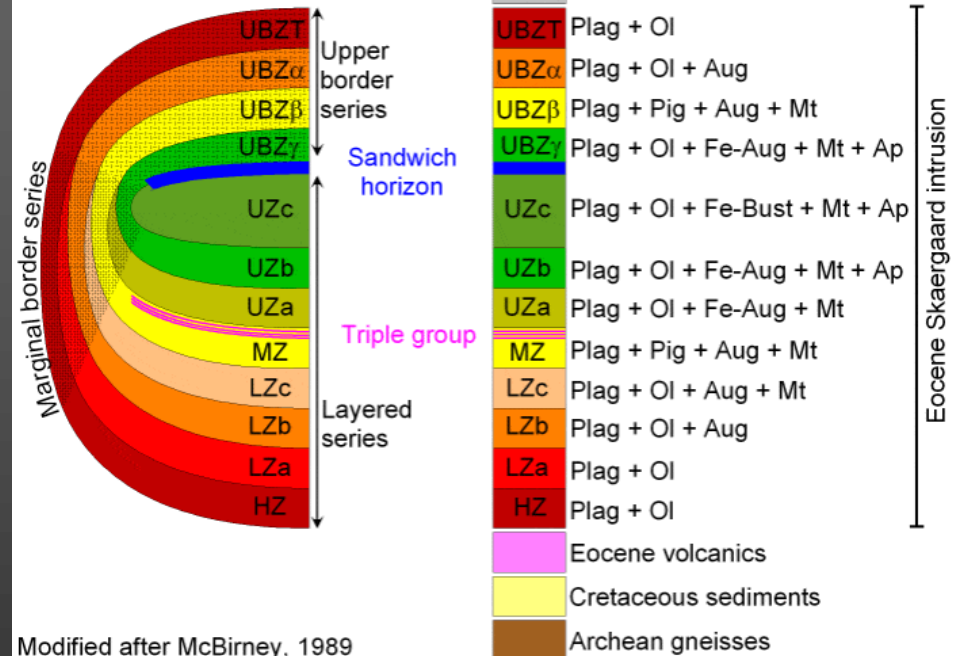
L'intrusion a été inclinée de  $20^\circ$  vers le Sud par le régime tectonique régional. Grâce à l'érosion, il existe aujourd'hui, à l'affleurement, une coupe à travers l'intrusion qui comprend le plancher, les murs et le toit de la chambre magmatique.







## Explanation of the geologic map units



UBZT: Bordure supérieure série TUBZ $\alpha$  : série de bordure supérieure alpha  
 UBZ $\beta$  : version bêta de la série Upper Border  
 UBZ $\gamma$  : gamma de la série de bordure supérieure

UZc : Zone supérieure c  
 UZb : Zone supérieure b  
 UZa : Zone supérieure a

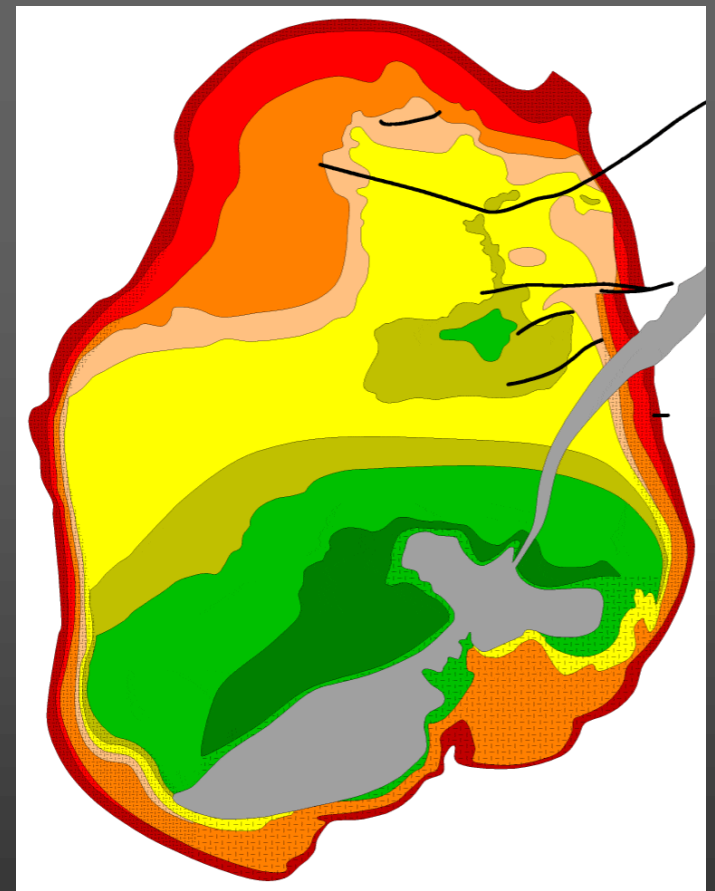
LZc : Zone inférieure c  
 LZb : Zone inférieure b  
 LZa : Zone inférieure a

MZ : zone médiane

HZ : Zone cachée\*

Plag = plagioclase; Ol = olivine; Porc = pigeonite; aug = augite ; Fe-Aug = ferroaugite ; Fe-Bust = ferrobustamite; Mt = magnétite ; Ap = apatite.





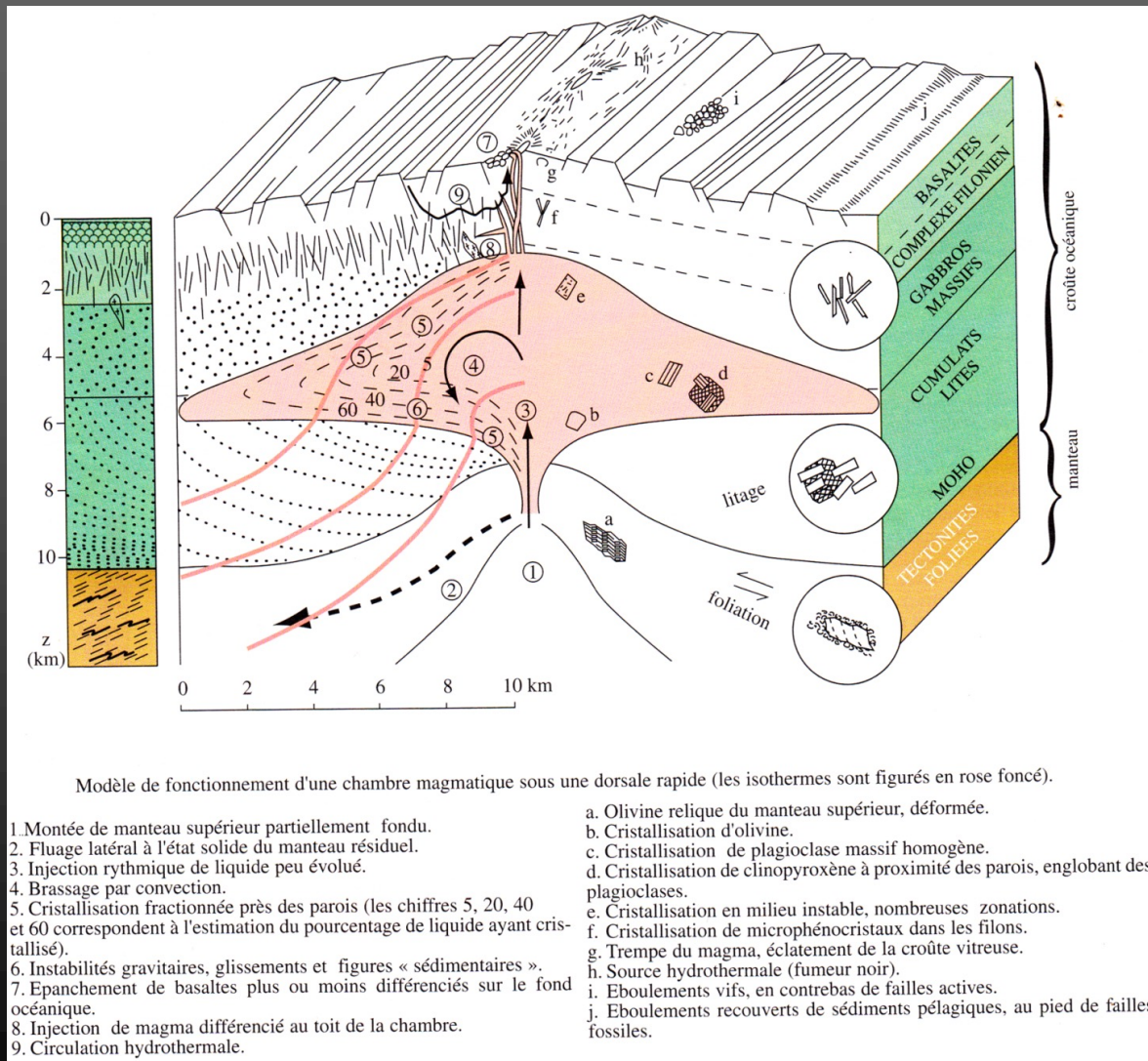
- La série la plus externe, Marginal Border Series (MBS), a cristallisé depuis les murs vers l'intérieur de la chambre.
- La Layered Series (LS), épaisse d'environ 2500m, est légèrement inclinée et a cristallisé du plancher vers le toit.
- La Upper Border Series (UBS), épaisse d'environ 1000m, a cristallisé du toit (aujourd'hui, partiellement érodé) vers le plancher.
- La limite entre la LS et l'UBS se nomme Sandwich Horizon (SH). Enfin, on suppose l'existence de roches sous les niveaux exposés de la LS, appelées Hidden Layered Series (HLS) ou Hidden Series (HS).







# Modèle de chambre magmatique





## Les conditions de la cristallisation fractionnée

BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2



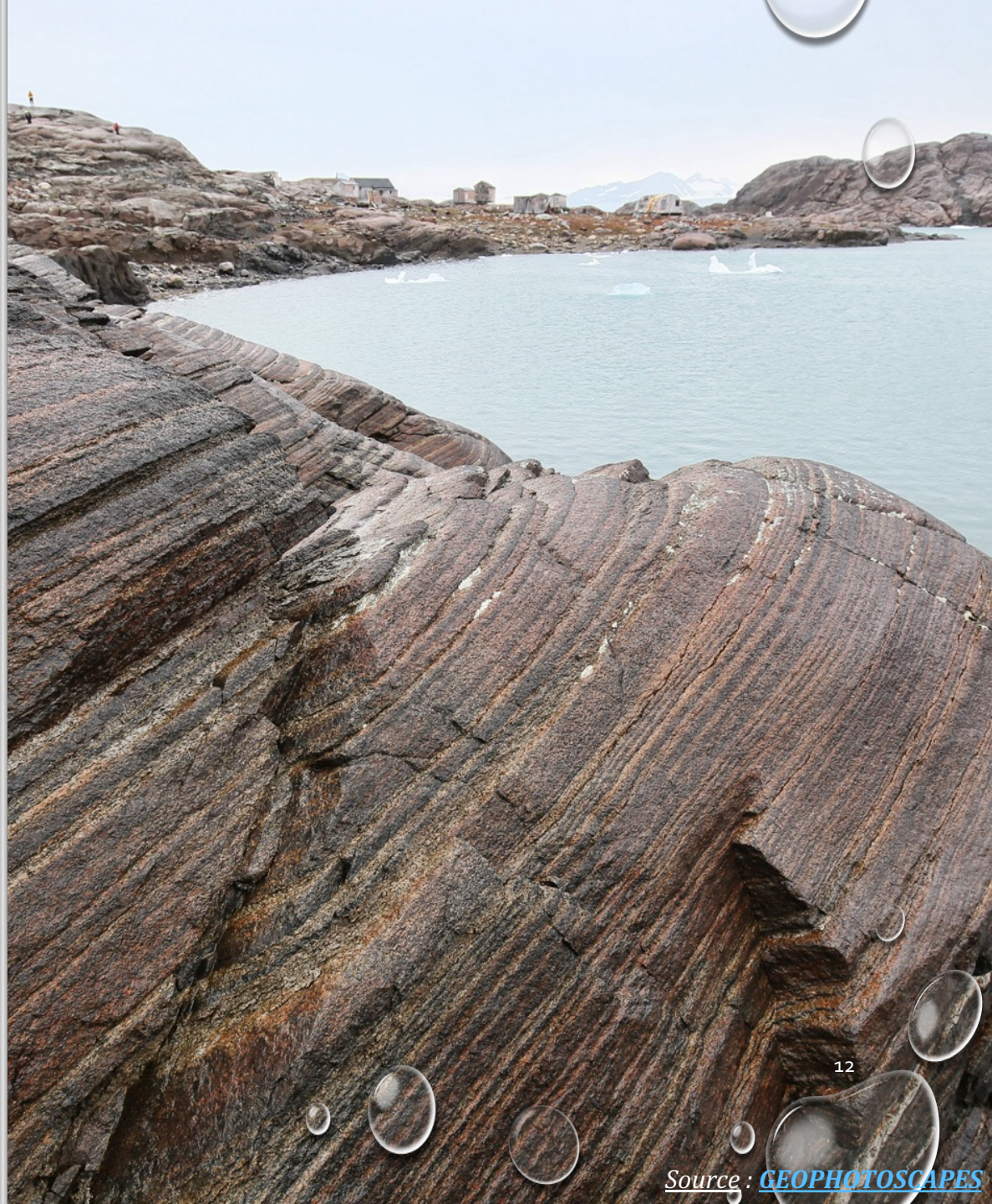
11

Source : [GEOPHOTOSCAPES](http://GEOPHOTOSCAPES.com)



## Modèles de cristallisation fractionnée

BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2



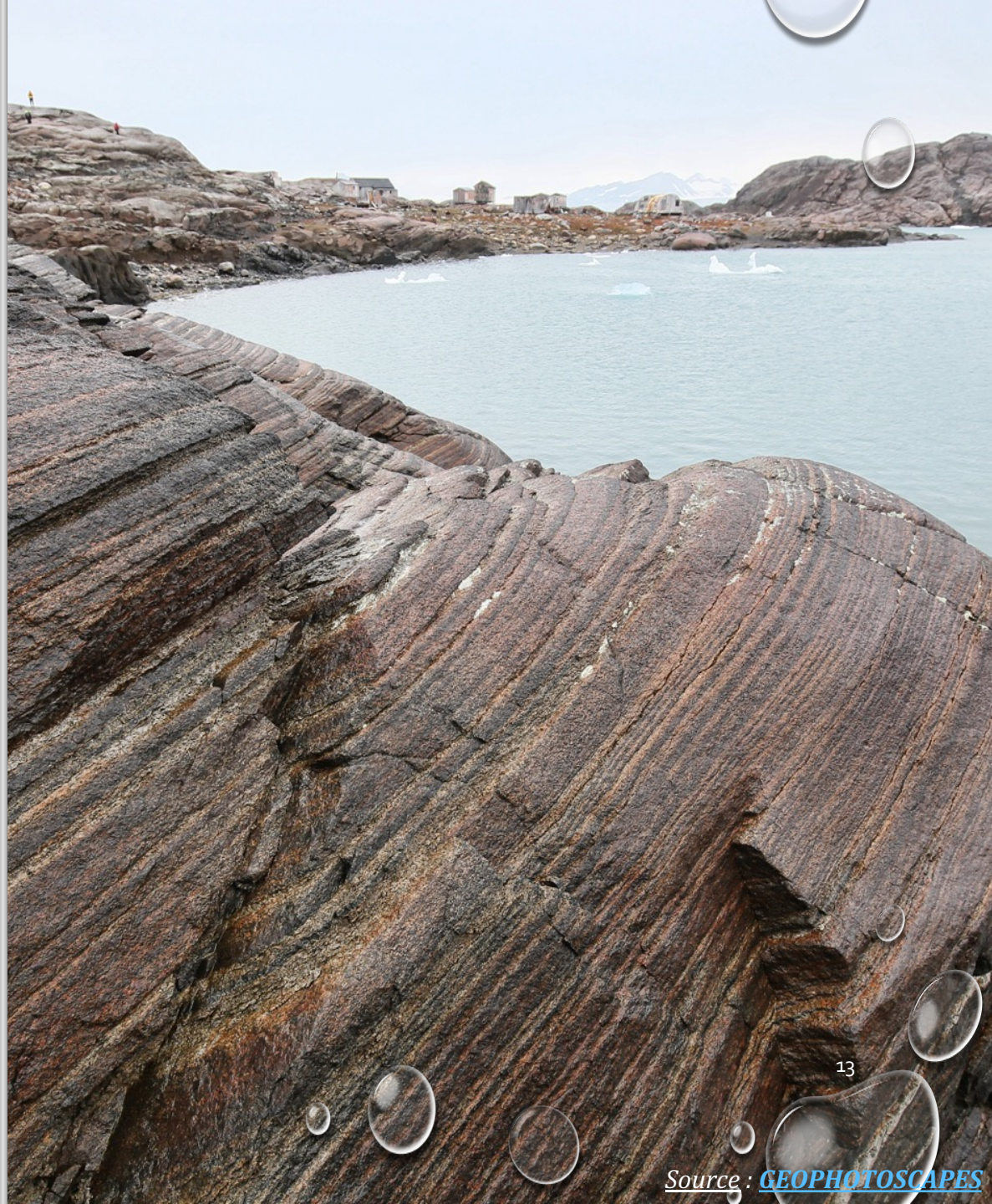
12

Source : [GEOPHOTOSCAPES](http://GEOPHOTOSCAPES.com)

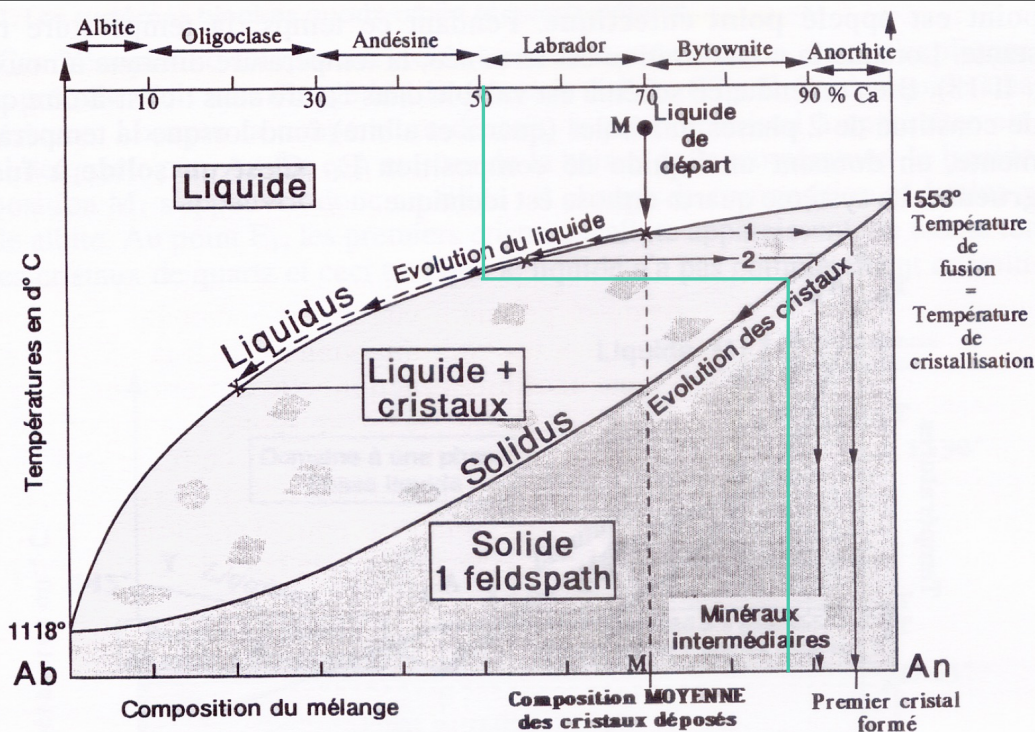


## Modèles de cristallisation fractionnée

BCPST2 - Amiens - CV- ST-F-2-2







La solution solide des plagioclases à la pression d'une atmosphère.

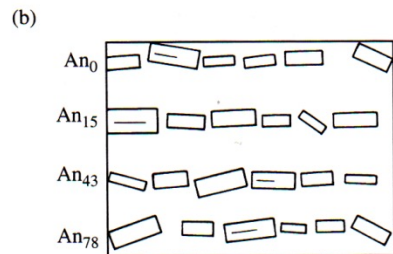
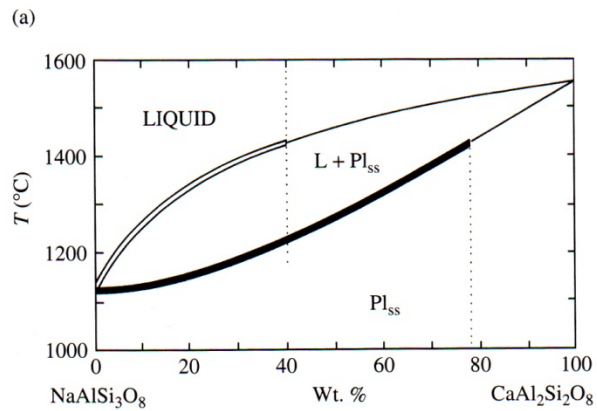
*Si les cristaux restent en équilibre avec le bain, le système évolue jusqu'à obtention d'un solide homogène de composition M ; il existe en effet des phénomènes de diffusion atomique entre le cristal nouvellement formé et le bain résiduel, de sorte que des échanges plus ou moins importants ont lieu entre Na et Ca ; si le temps le permet, les échanges sont complets et on obtient un cristal homogène qui a la composition du liquide de départ ; si le temps est trop court, les échanges sont incomplets et on obtient un plagioclase zoné. Si on extrait du bain les cristaux formés au fur et à mesure de leur cristallisation, on obtient des cristaux tous différents (cas où ils sont protégés du bain par d'autres cristaux).*

Quelle est la composition du magma du départ ? →

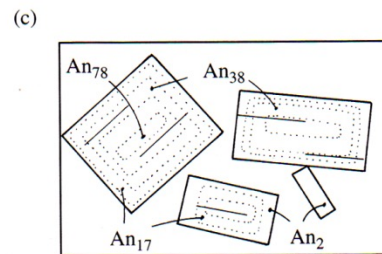
A la  $T^{\circ}1$  quelle sera la composition du premier cristal formé ? →

D'un point de vue relatif, qu'en déduire de la teneur en anorthite du liquide résiduel ? →

En plaçant un liquide de départ 50An/50Al, que remarque-t-on ?



Fractional crystallization by gravitative settling

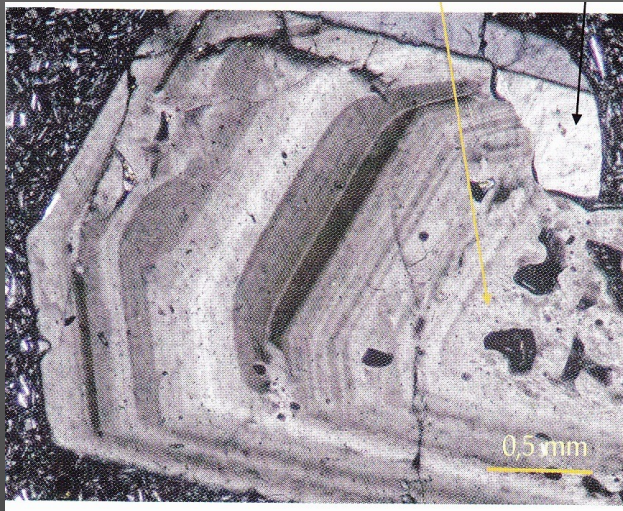


Fractional crystallization by incomplete chemical reaction forming zoned crystals

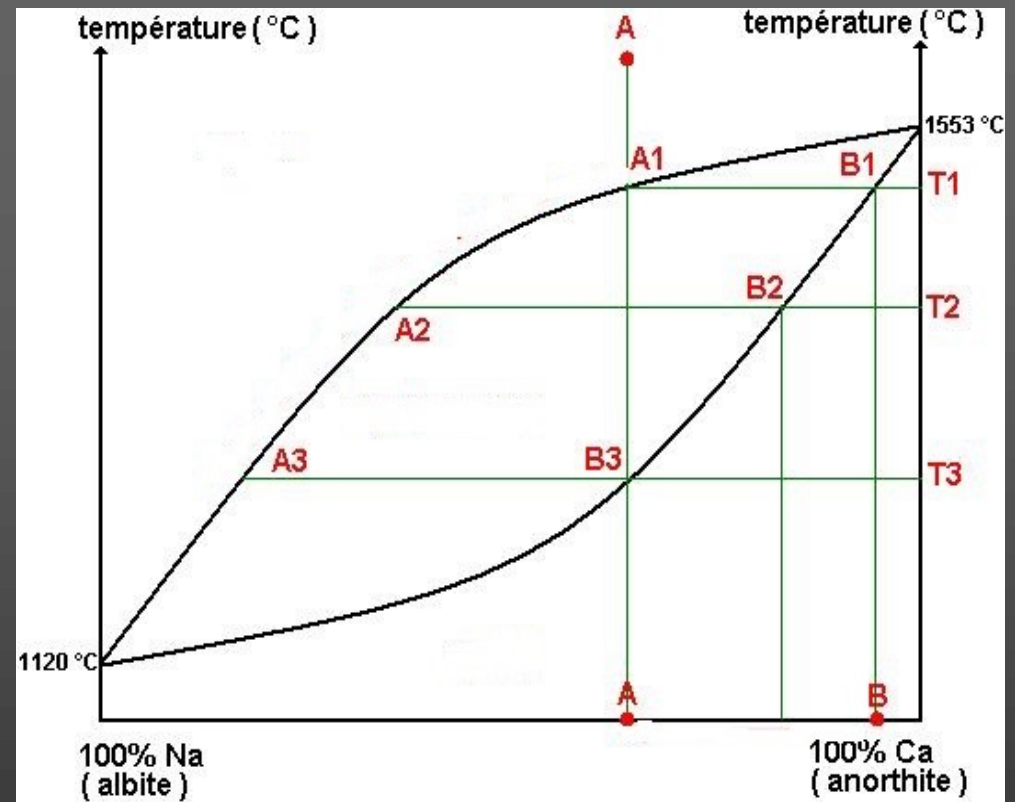
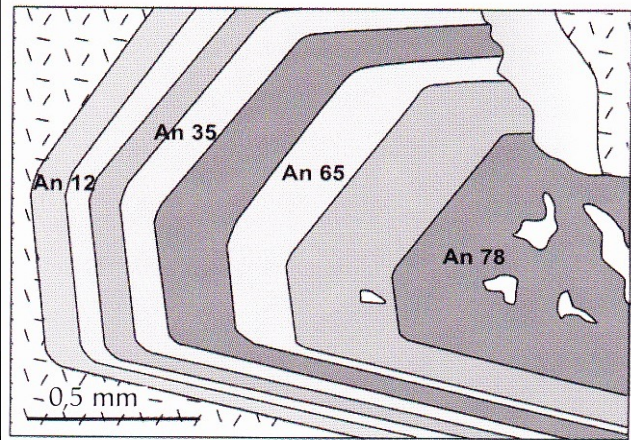


C. Nicollet





Pourcentages massiques en anorthite des différentes zones du plagioclase



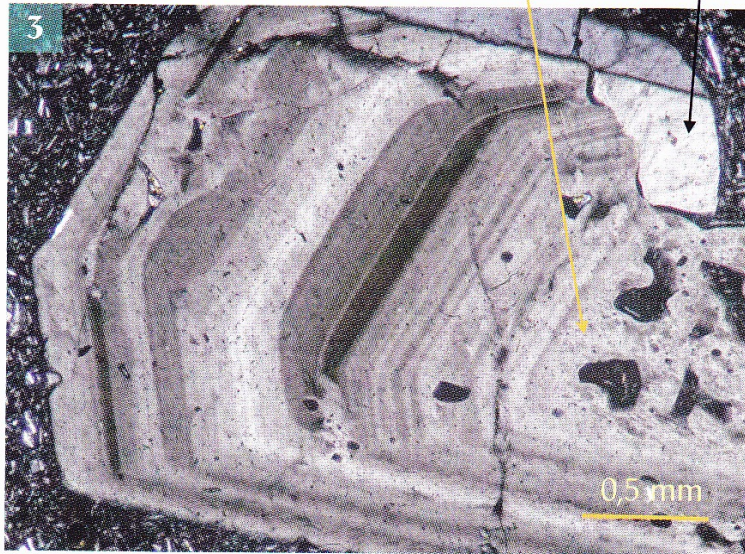
- 1) Rappeler comment un cristal se forme : préciser la zone formée en 1er puis en second...
- 2) Analyser les résultats obtenus grâce à la microsonde électronique.
- 3) Légender complètement le diagramme binaire des plagioclases ci-dessous.
- 4) À l'aide de ce diagramme, expliquer comment un tel plagioclase a pu se former.



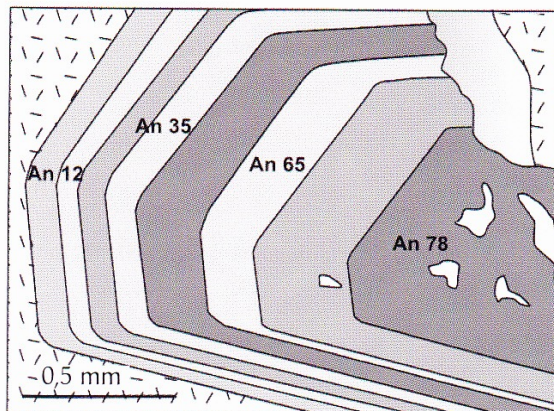
zones de cristallisation de plus en plus tardives ← LPA

cœur du cristal

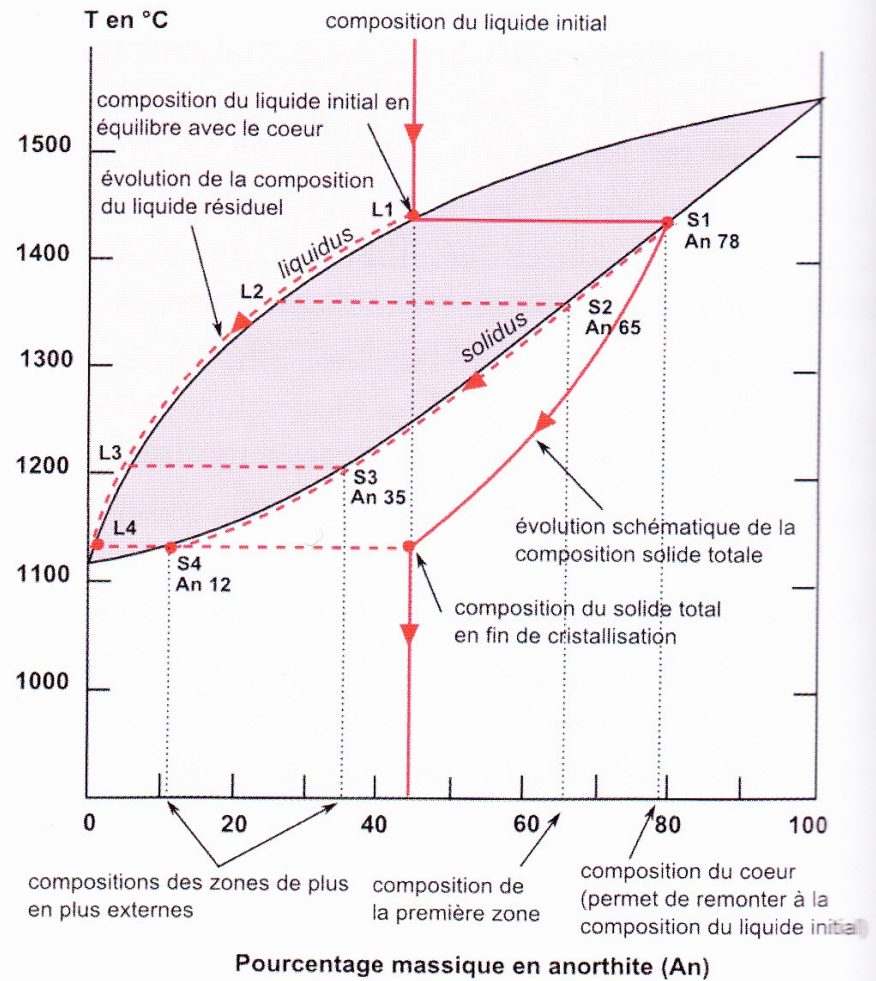
quartz



#### 4 Pourcentages massiques en anorthite des différentes zones du plagioclase

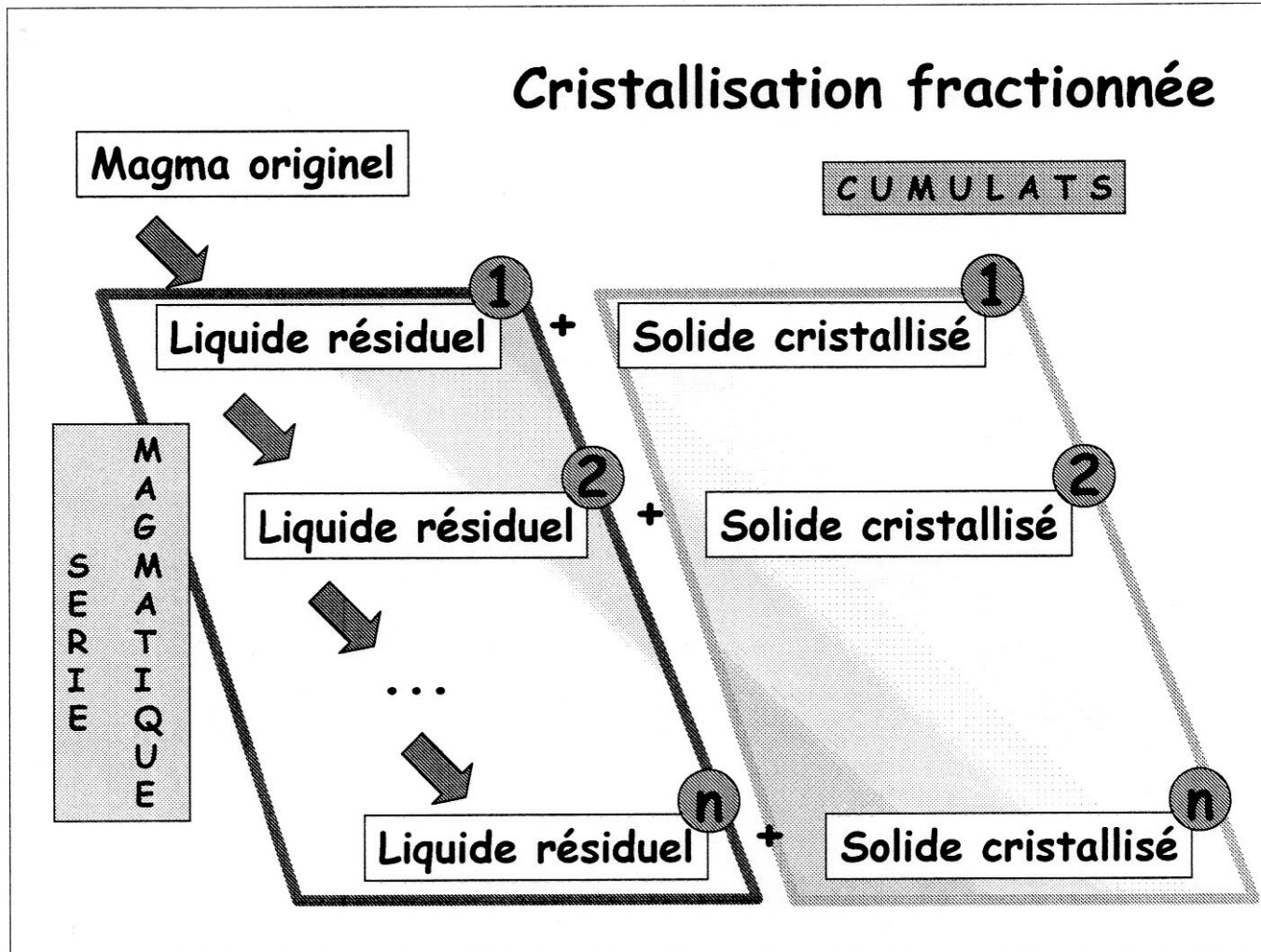


#### 5 Reconstitution de la cristallisation





## Cristallisation fractionnée

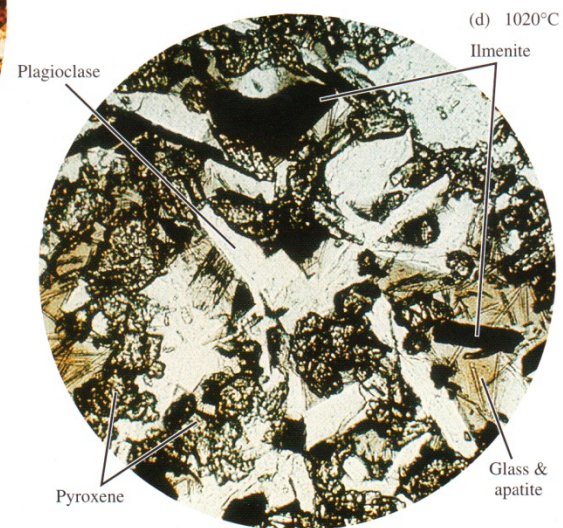
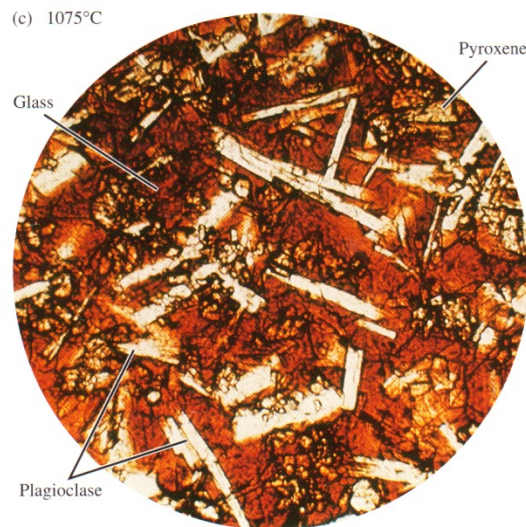
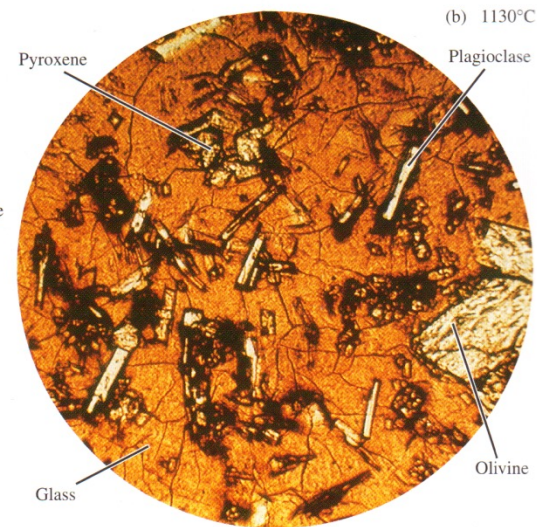
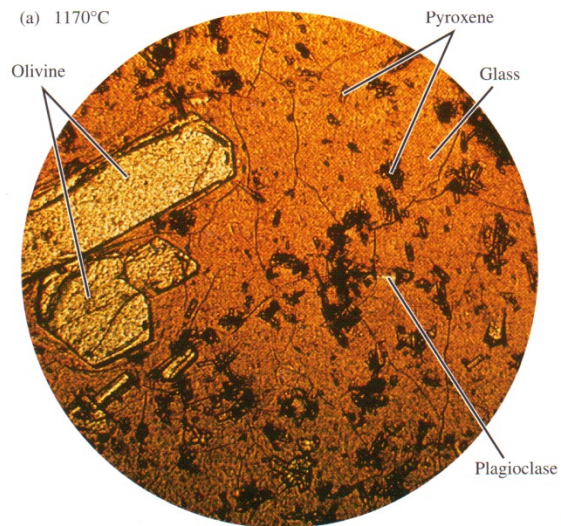
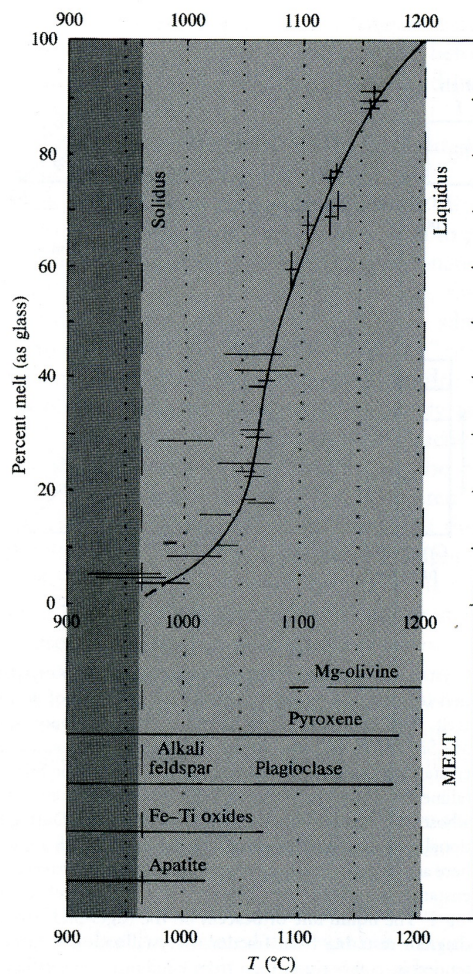


## Ordre de cristallisation des minéraux : les séries réactionnelles de Bowen

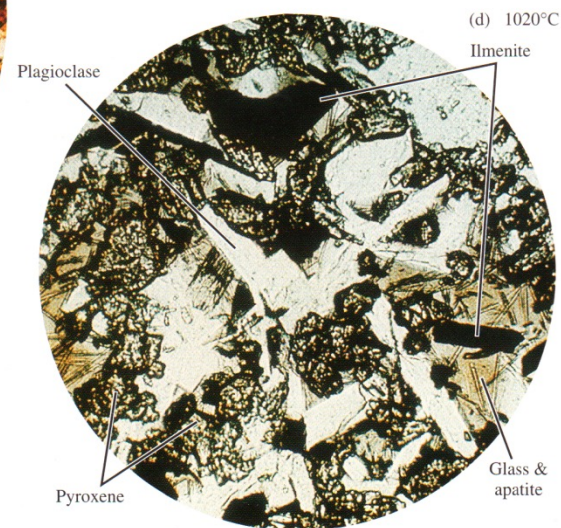
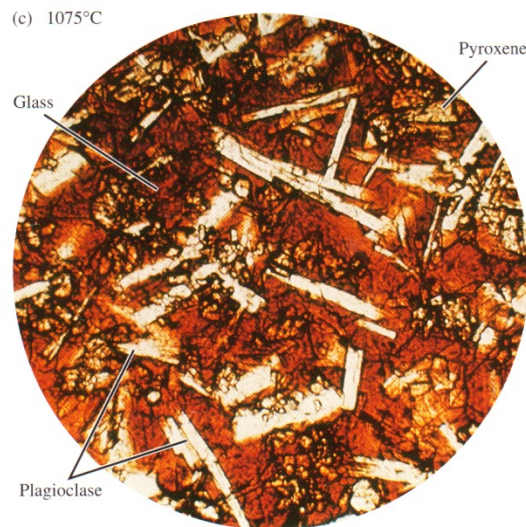
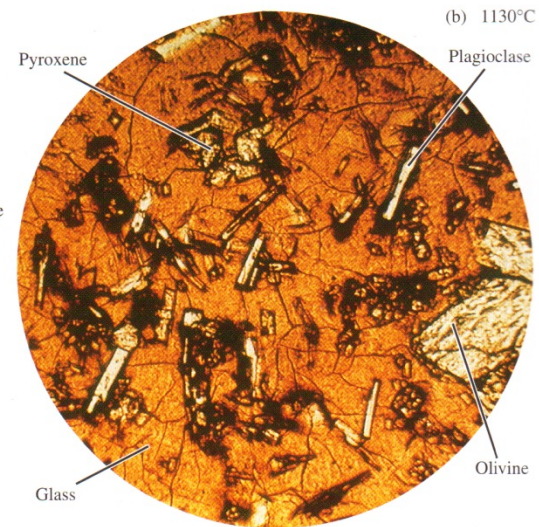
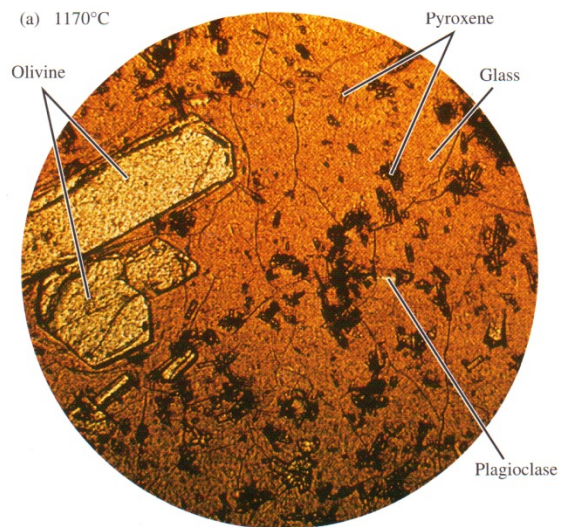
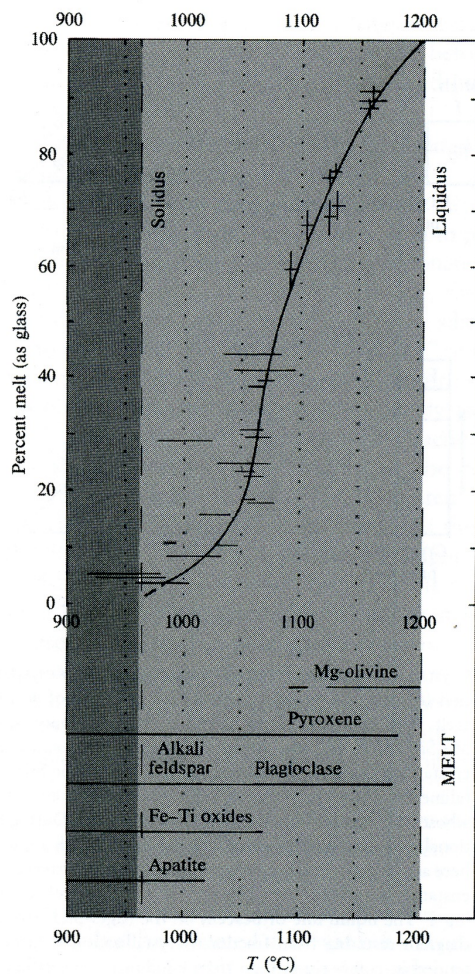
Suivi de la cristallisation d'un  
magma













# Ordre de cristallisation des minéraux : les séries réactionnelles de Bowen

La série discontinue des  
ferromagnésiens





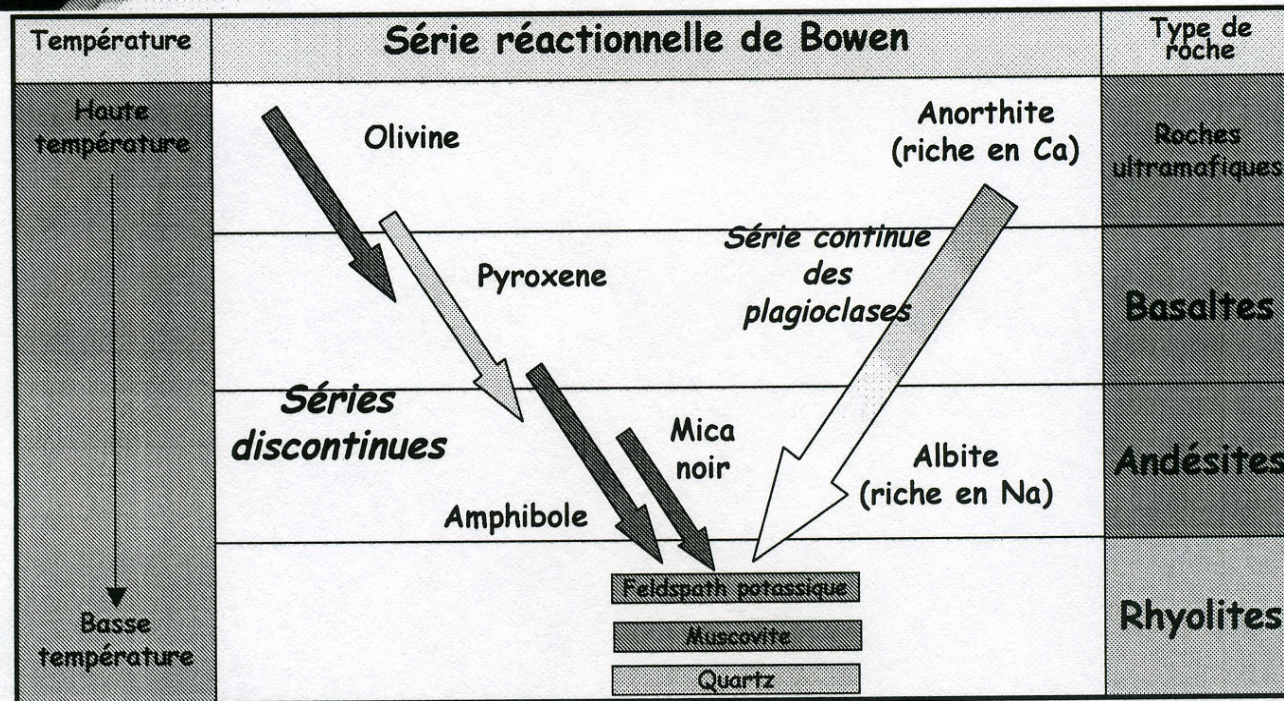
# Travaux de Bowen



N.L. Bowen  
(1887-1956)

## Les séries réactionnelles

(dites aussi *séries de Bowen*)





# Ordre de cristallisation des minéraux : les séries réactionnelles de Bowen

La série continue des  
plagioclases





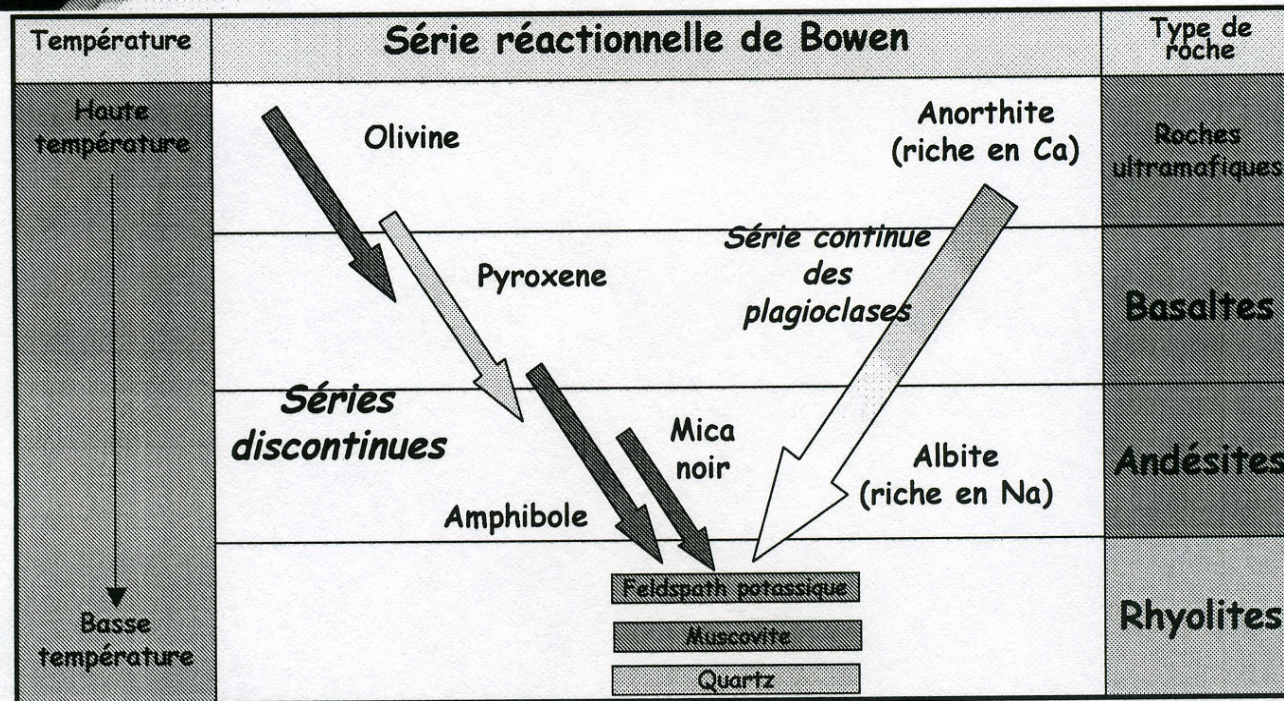
# Travaux de Bowen



N.L. Bowen  
(1887-1956)

## Les séries réactionnelles

(dites aussi *séries de Bowen*)



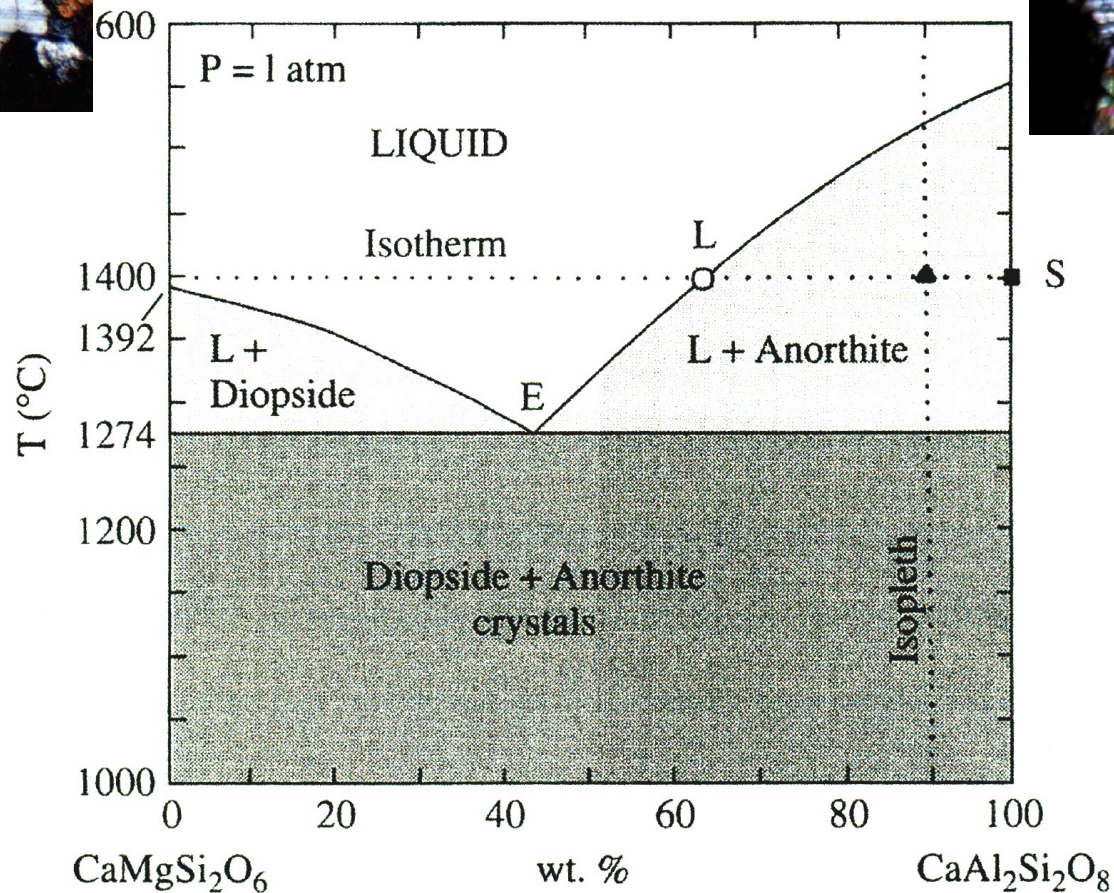
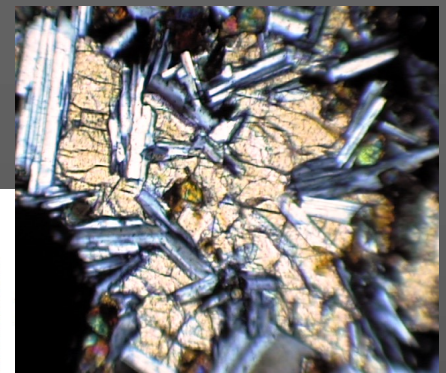
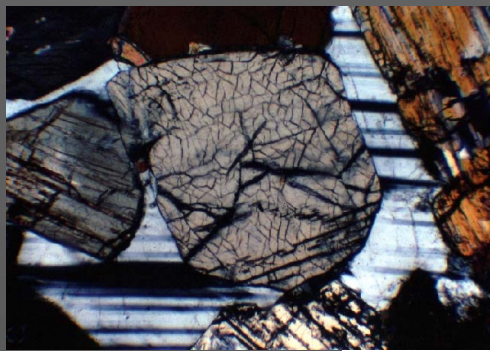


## Ordre de cristallisation des minéraux : les séries réactionnelles de Bowen

La composition du  
liquide primaire  
influence l'ordre de  
cristallisation des  
minéraux

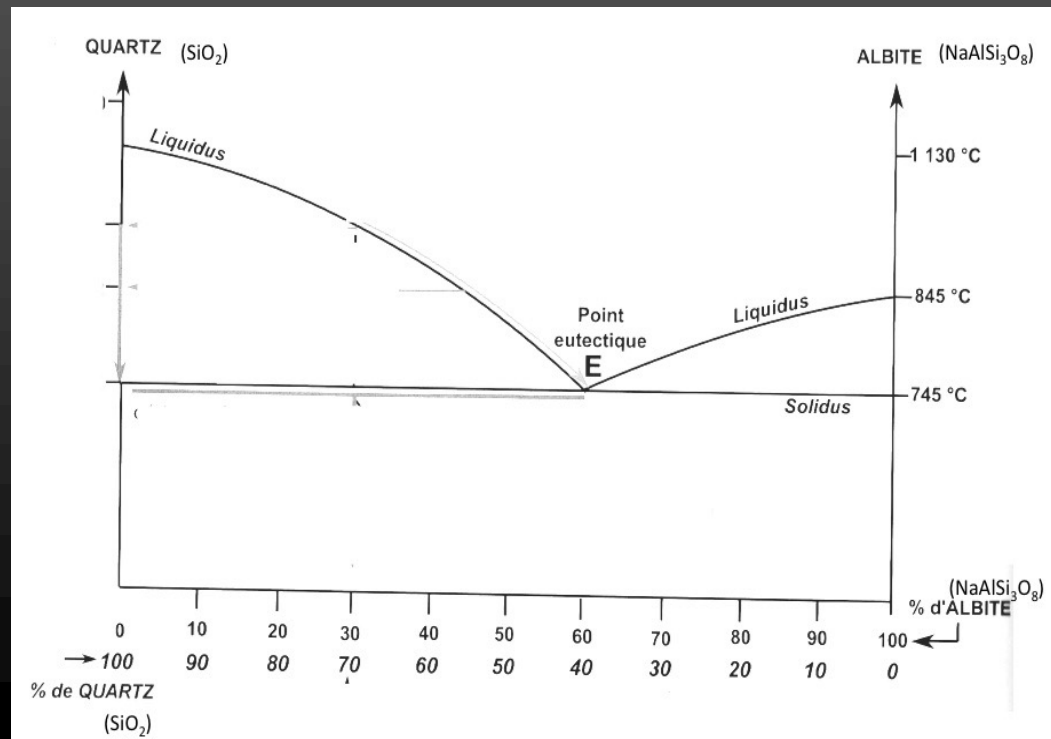
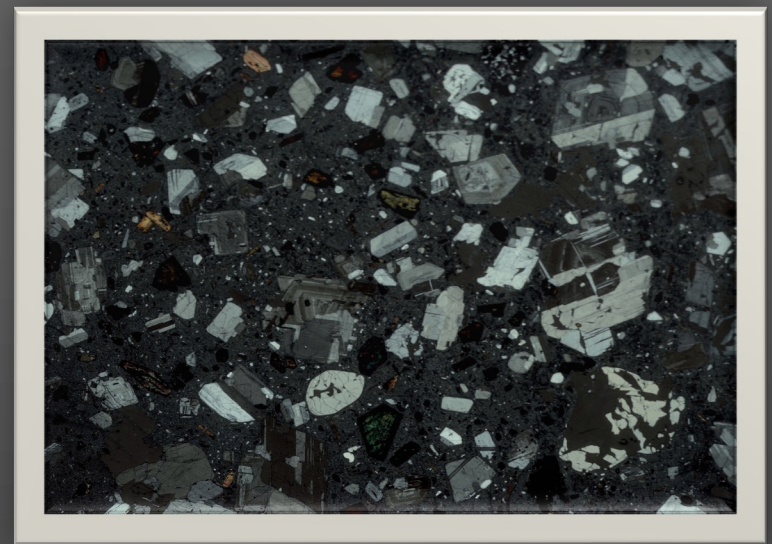
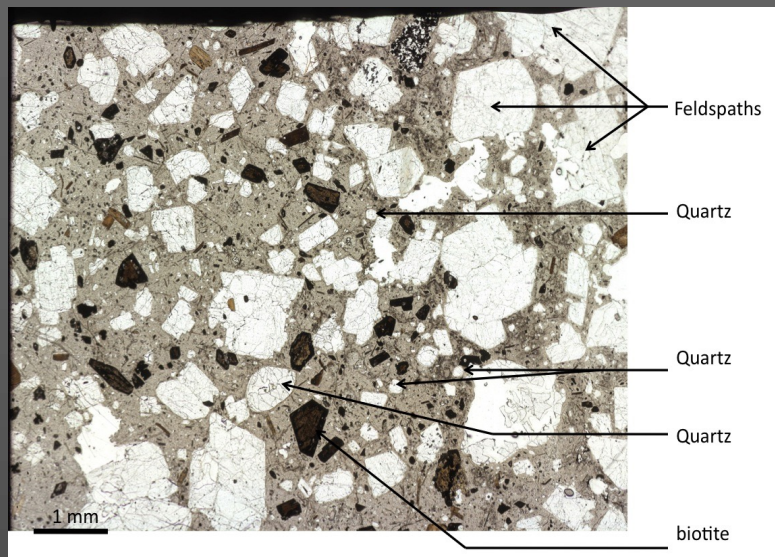




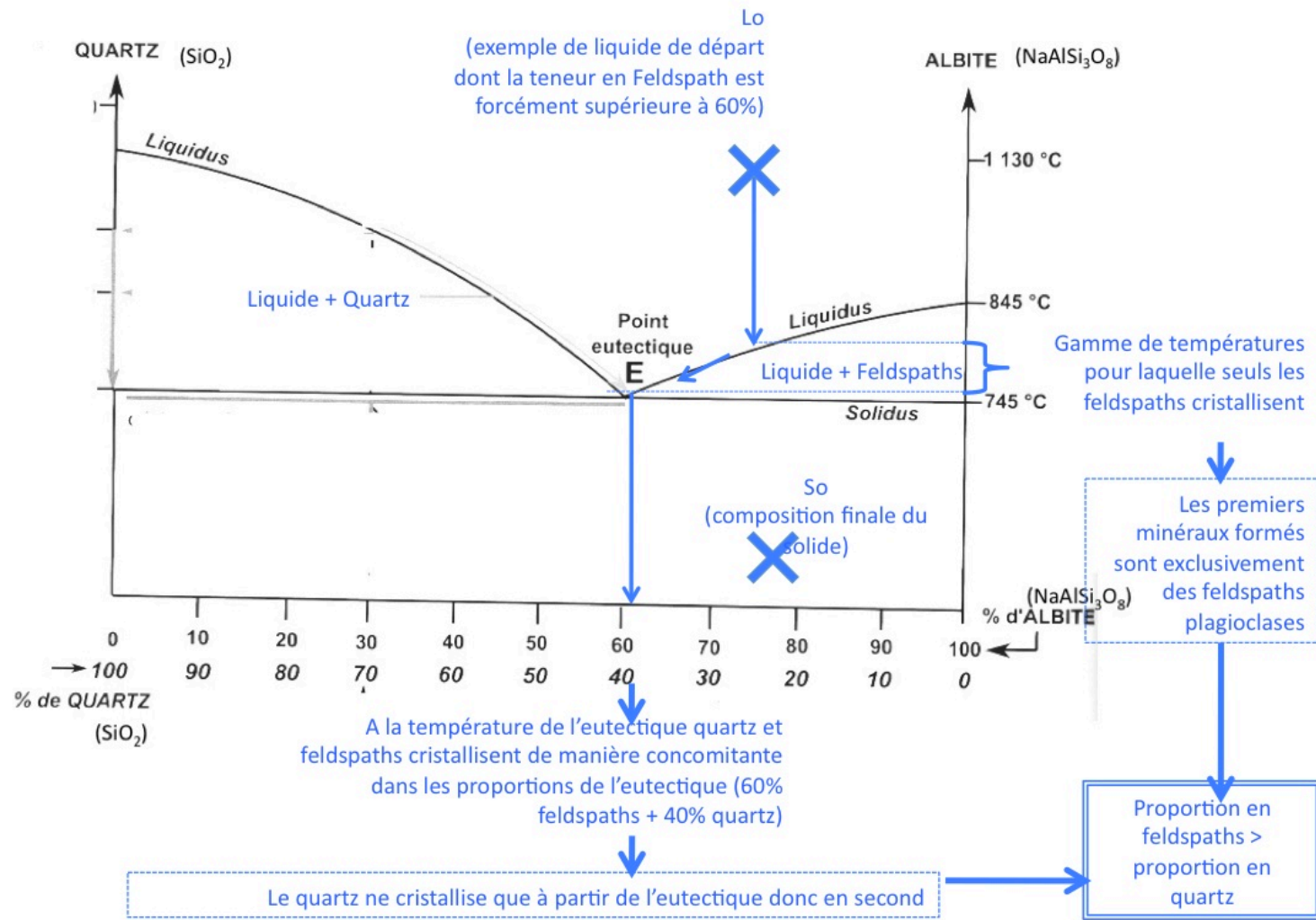


# Diagramme binaire Di/An

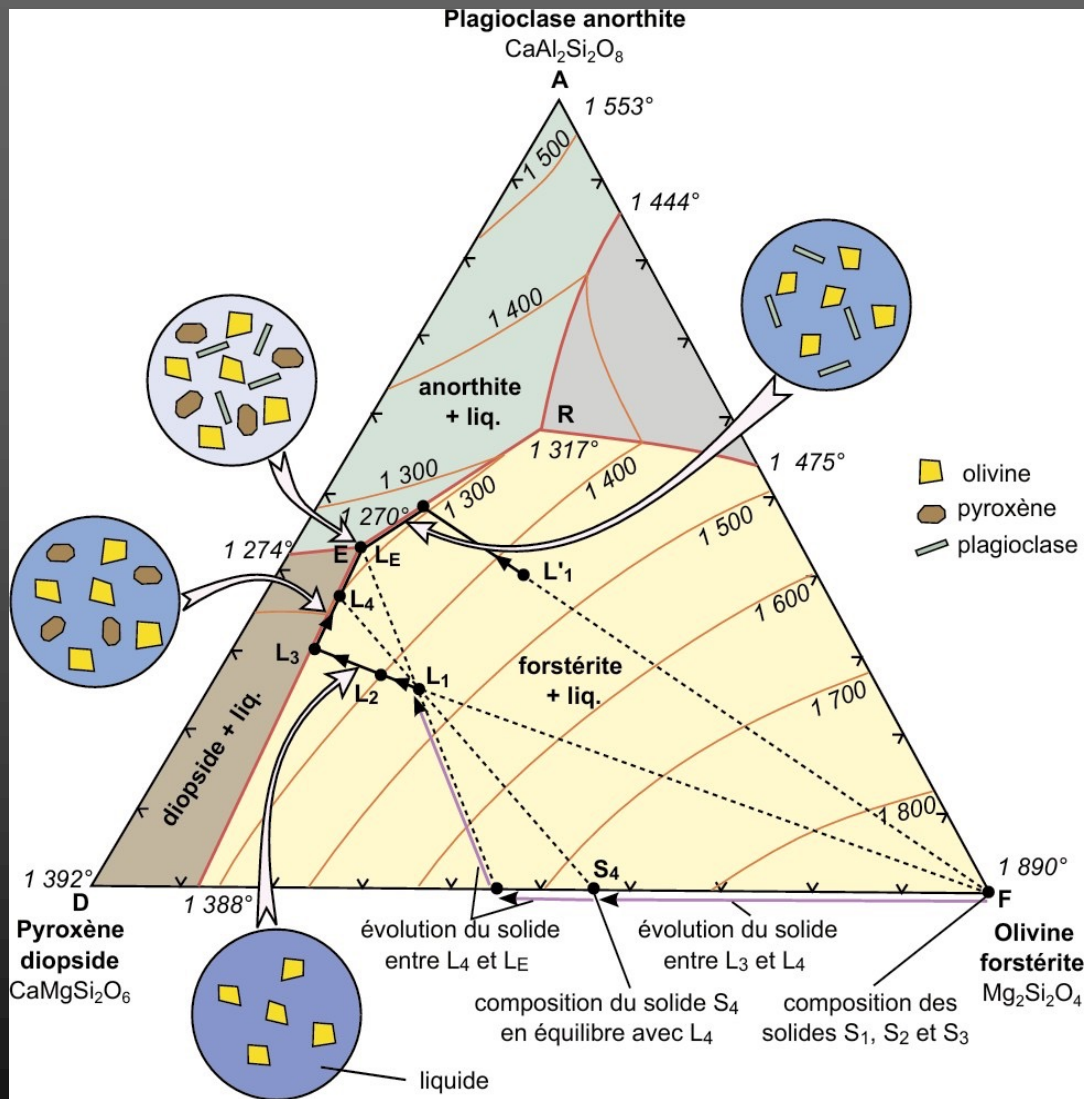








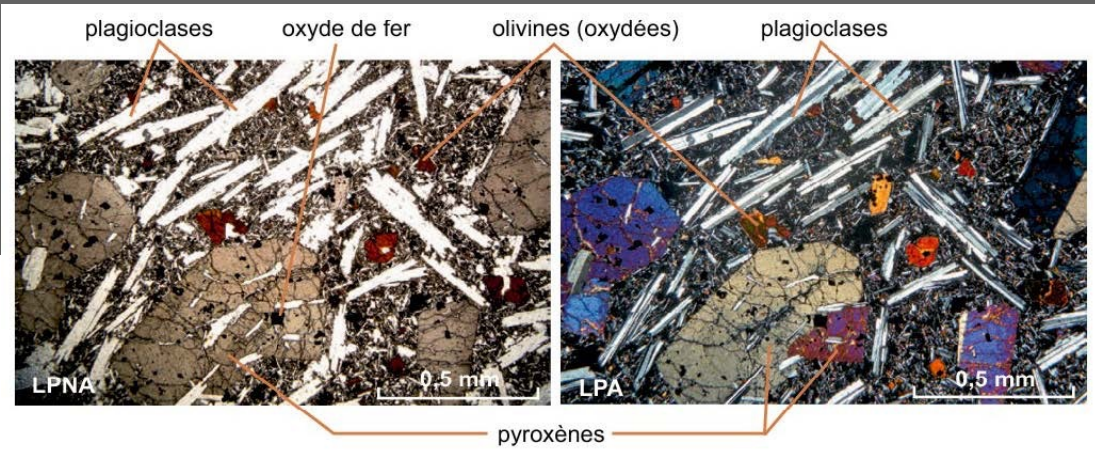
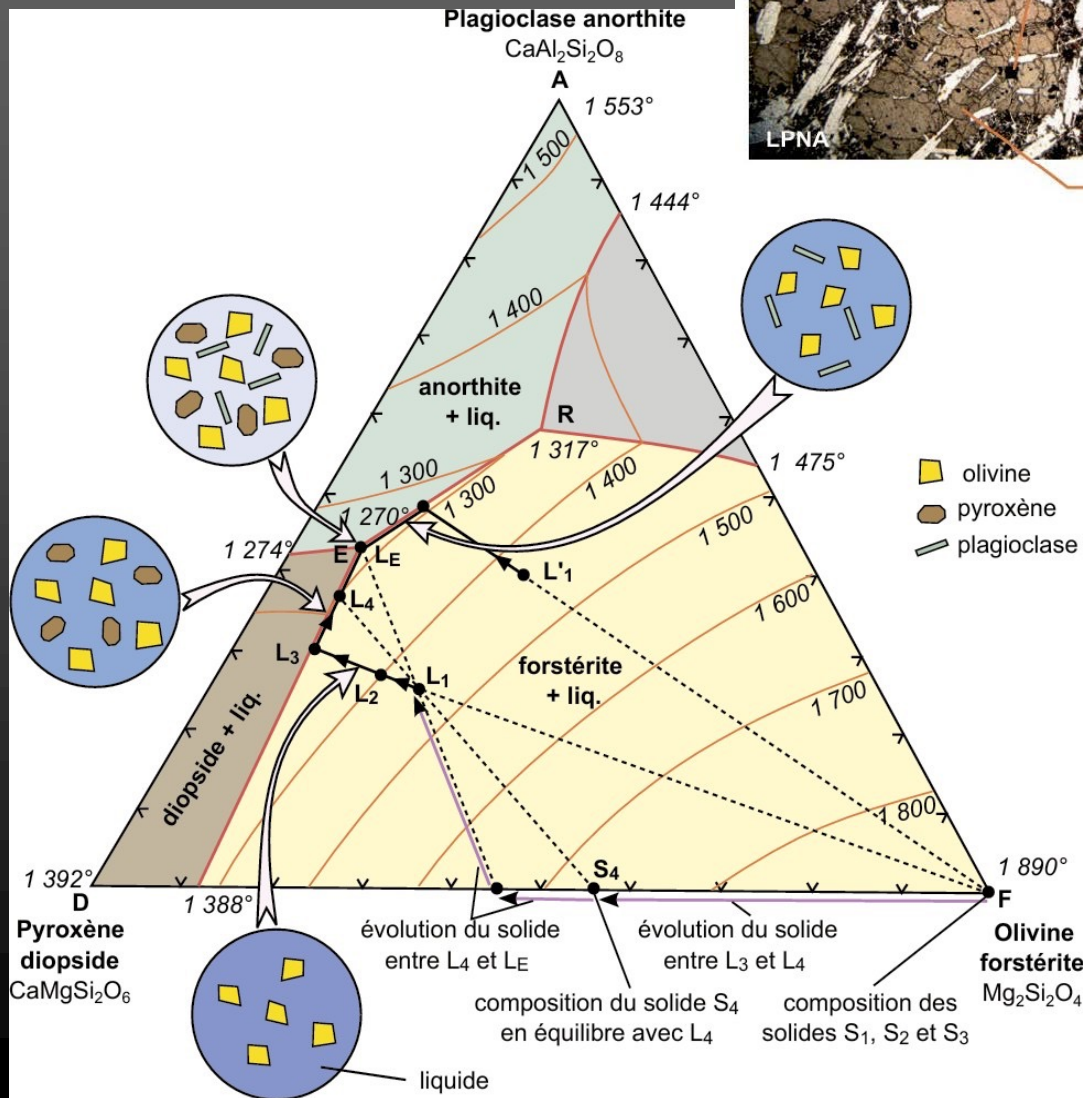




L4 est un liquide situé entre L3 et L'E. Relevez sur le diagramme quelle est la composition du solide en équilibre L4. Quelles sont alors les proportions de solide et de liquide ? ➔

Quel serait l'ordre de cristallisation pour un liquide initial de composition L'1. ➔





Dans quel champ se  
situerait le liquide initial  
du basalte ci-dessous ?



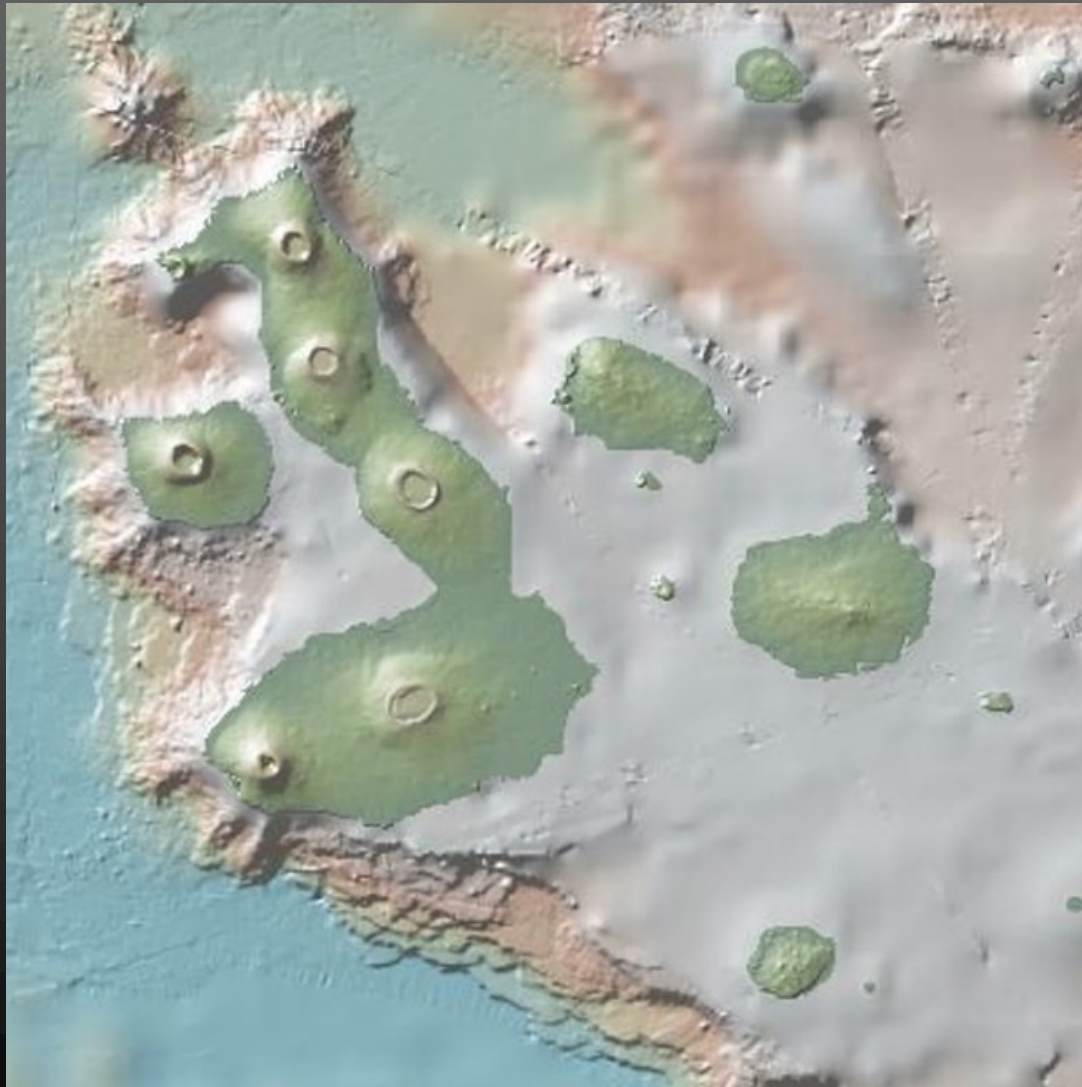
# La différenciation dans une série magmatique → mise en évidence des séries

La série tholéiitique :  
l'exemple des  
Galapagos  
Caractéristiques de la série  
tholéiitique





# Les îles Galapagos



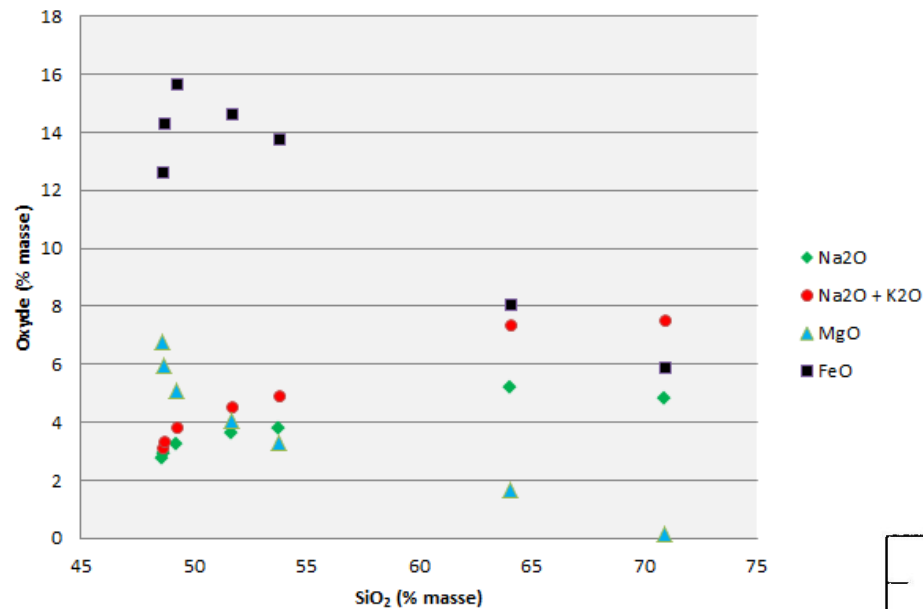


Type	BM	BE	FB	FA	IC	RD	RH
Phénoc.	PL + OL+ CPX	PL + OL + CPX	PL + CPX+ OL	PL + CPX + OL + MT	PL + CPX + MT	PL + CPX+ MT + AP	PL + CPX + MT + AP
SiO <sub>2</sub>	48,61	48,66	49,21	51,70	53,78	64,05	70,92
TiO <sub>2</sub>	2,60	3,25	3,72	3,11	2,76	0,97	0,42
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,18	13,70	13,40	13,39	12,90	13,67	13,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,62	14,30	15,70	14,65	13,77	8,07	589,00
MnO	0,17	0,20	0,23	0,23	0,22	0,17	0,15
MgO	6,79	5,99	5,08	4,07	3,29	1,66	0,14
CaO	11,27	10,80	9,73	7,77	6,76	3,38	1,73
Na <sub>2</sub> O	2,75	2,90	3,27	3,63	3,81	5,20	4,83
K <sub>2</sub> O	0,41	0,45	0,59	0,90	1,11	2,20	2,69
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,35	0,60	0,86	0,53	0,24	0,06
P.Feu	< 0,01	< 0,01	0,35	0,14	< 0,01	0,62	< 0,01
Total	99,62	100,61	100,73	100,44	98,95	99,35	99,87
Rb	6	–	10	18	30	44	63
Ba	51	95	115	15	183	30	399
Nb	17	20	25	37	47	66	88
La	12,7	14,9	17,9	29,1	33,4	48,5	60,6
Ce	29,4	38,2	47,5	68,9	78,3	109	132,7
Sr	347	290	320	311	328	174	123
Nd	19,5	23,6	30,3	44,4	48,2	59,1	68,1
Zr	161	185	240	336	521	670	893
Eu	1,83	2,2	2,57	3,65	3,8	3,92	3,56
Tb	0,85	1,12	1,35	1,8	1,87	2,19	2,55
Y	30	28	36	63	70	85	102
Yb	2,39	2,98	3,57	4,88	5,62	7,2	8,93

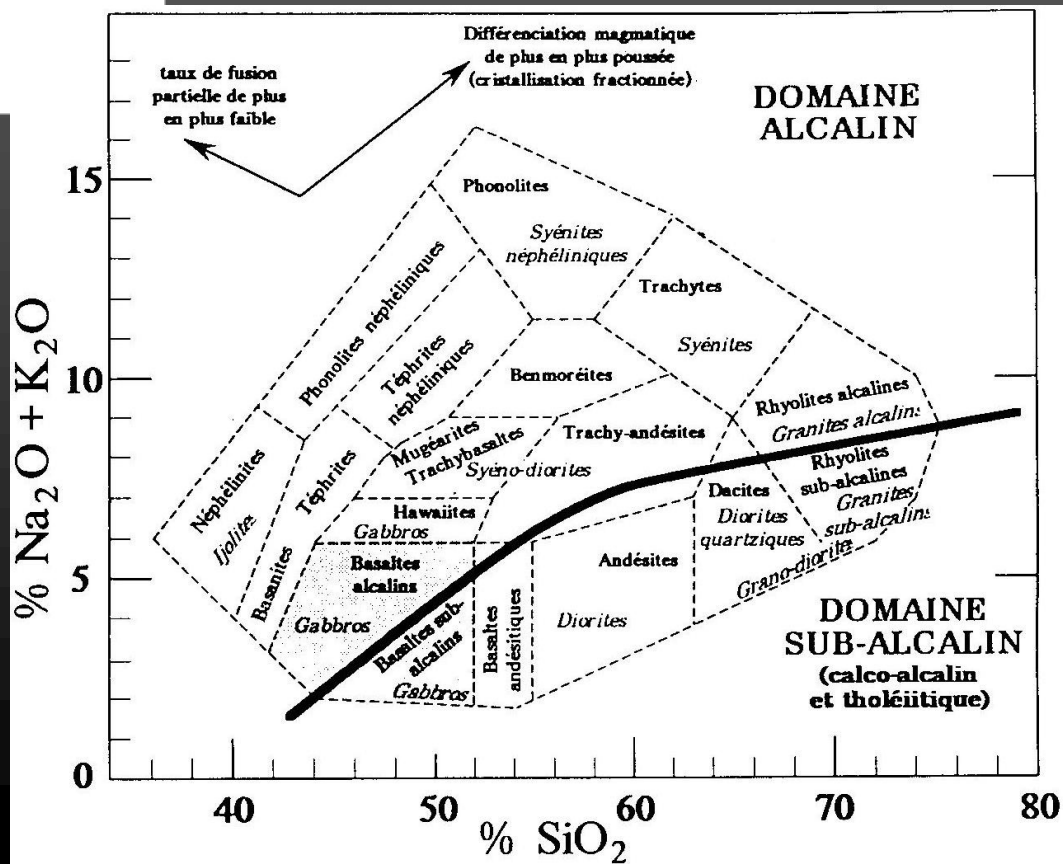
#### Analyses de laves d'une série tholéiitique.

Exemple de la série enrichie (à tendance transitionnelle) du volcan Alcedo, île d'Isabela, Galapagos (Geist *et al.*, 1995). BM : basalte magnésien ; BE : basalte évolué (pauvre en Mg) ; FB : ferrobasilte ; FA : ferroandésite ; IC : icelandite ; RD : rhyodacite ; RH : rhyolite tholéiitique. La terminologie équivalente pour des roches plutoniques est : gabbro riche en olivine ; gabbro pauvre en olivine ; ferrogabbro ; ferrodiorite ; monzonite ; monzogranite ; granite tholéiitique (plagiogranite). Abréviations utilisées pour les phénocristaux : AP : apatite ; CPX : clinopyroxène calcique ; MT : titanomagnétite ; OL : olivine ; OPX : orthopyroxène ; PL : plagioclase.





## Diagramme de Harker





# La différenciation dans une série magmatique → mise en évidence des séries

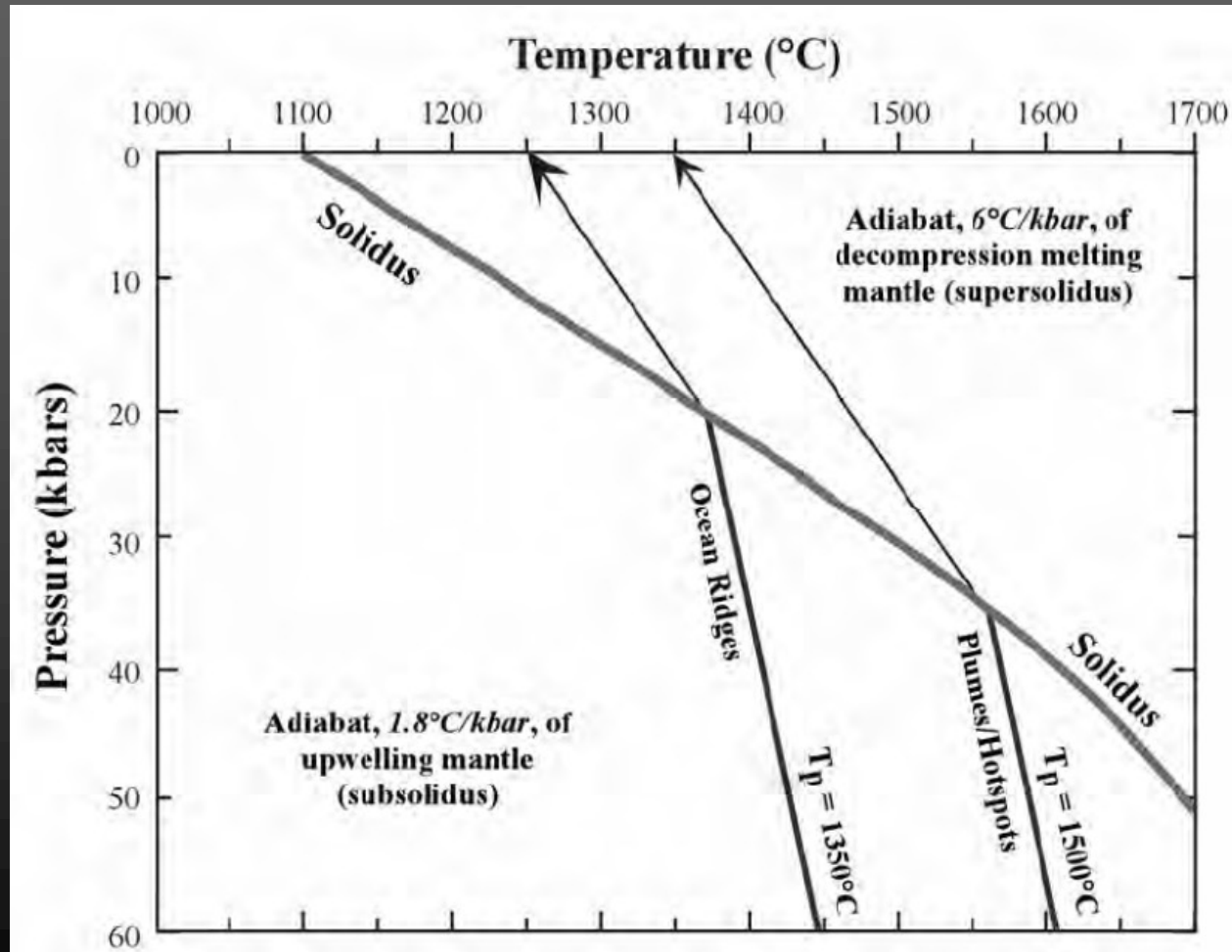
## La série tholéiitique : l'exemple des Galapagos

Une série rarement complète  
au niveau des dorsales



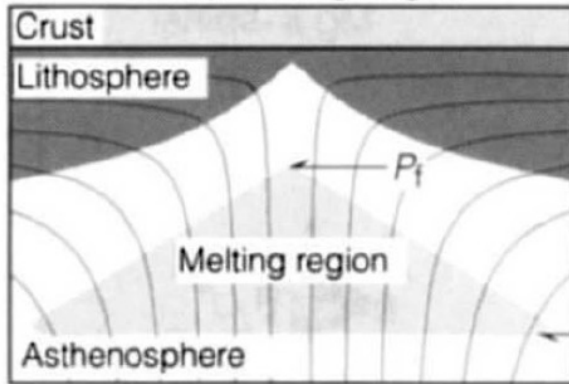


# Origine des magmas sous les dorsales et les points chauds

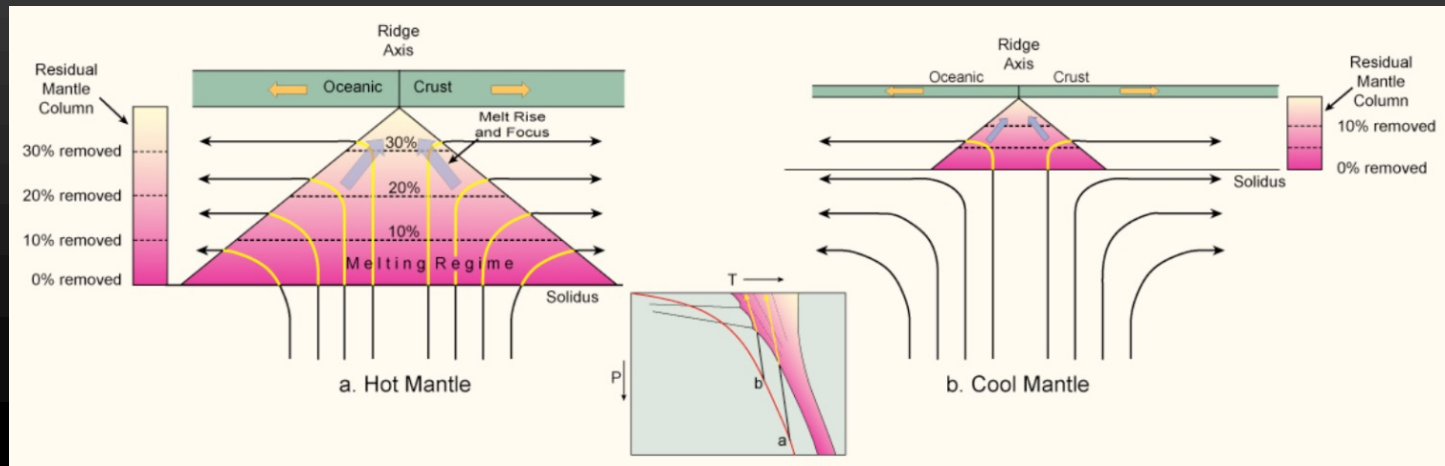
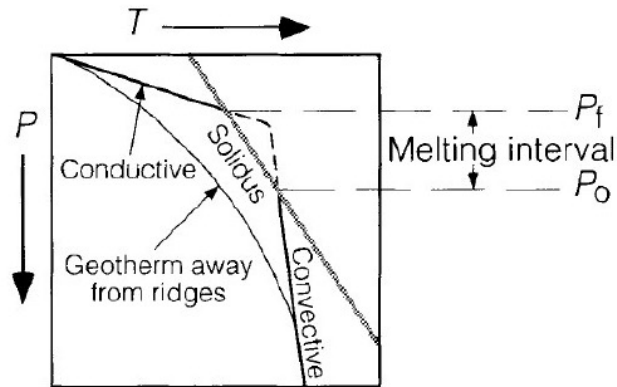
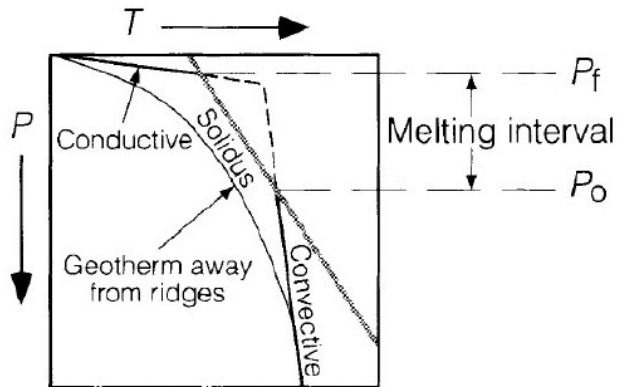
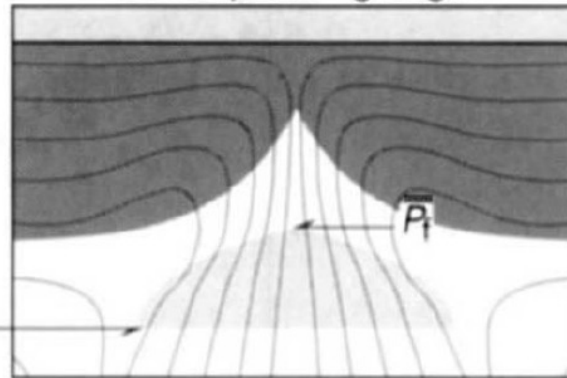




## Fast-spreading ridges



## Slow-spreading ridges





# La différenciation dans une série magmatique → mise en évidence des séries

La série alcaline :  
l'exemple de la chaîne  
des Puys





	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7
SiO <sub>2</sub>	47,25	48,50	52,20	53,21	57,10	60,20	69,35
TiO <sub>2</sub>	2,25	2,16	1,81	1,49	1,12	0,83	0,39
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,85	16,56	16,90	17,60	17,89	17,90	15,55
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>T</sup>	12,08	11,86	9,84	11,75	6,83	4,69	2,38
MnO	0,17	0,18	0,20	0,20	0,19	0,22	0,18
MgO	6,62	5,28	3,89	2,48	1,94	1,07	0,36
CaO	9,86	9,21	7,55	5,89	4,53	3,10	1,25
Na <sub>2</sub> O	3,70	3,92	4,45	5,00	5,42	5,58	5,60
K <sub>2</sub> O	1,68	1,80	2,47	2,71	3,40	3,82	4,88
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,61	0,72	0,73	0,31	0,55	0,31	0,09
D.I.	36,31	40,61	51,74	56,78	67,01	75,45	90,86

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>T</sup> = fer total sous forme de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

CP1. basalte alcalin, Cheire d'Aydat, sous le Château de Saint-Saturnin

CP2. hawaïte = "labradorite", coulée de la vallée de la Tiretaine, Pont des Soupis

CP3. mugéarite, coulée du Puy de Louchadière, Pontgibaud

CP4. mugéarite, coulée du Pariou, Bonnabry près d'Orcines

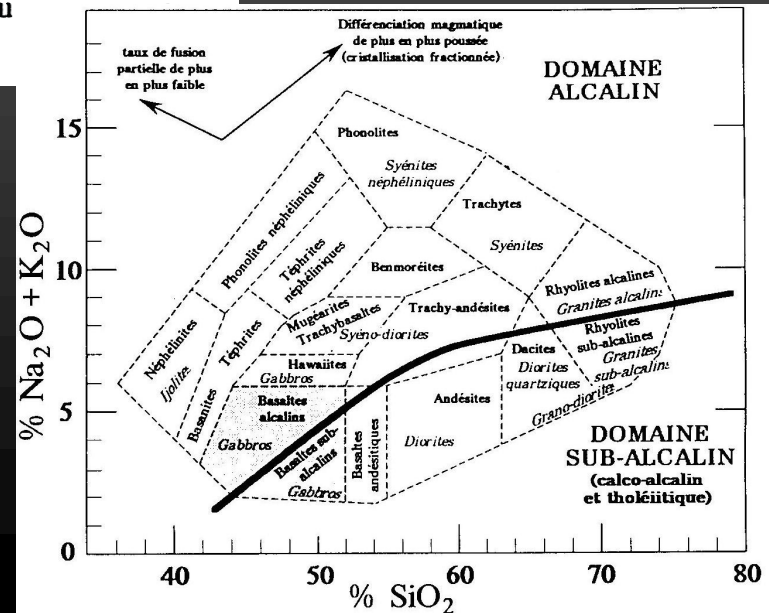
CP5. benmoréite = "pierre de Volvic", coulée du Puy de la Nugère, Le Cratère (Volvic)

CP6. benmoréite = "dômite à amphibole", sommet du dôme du Clerzou

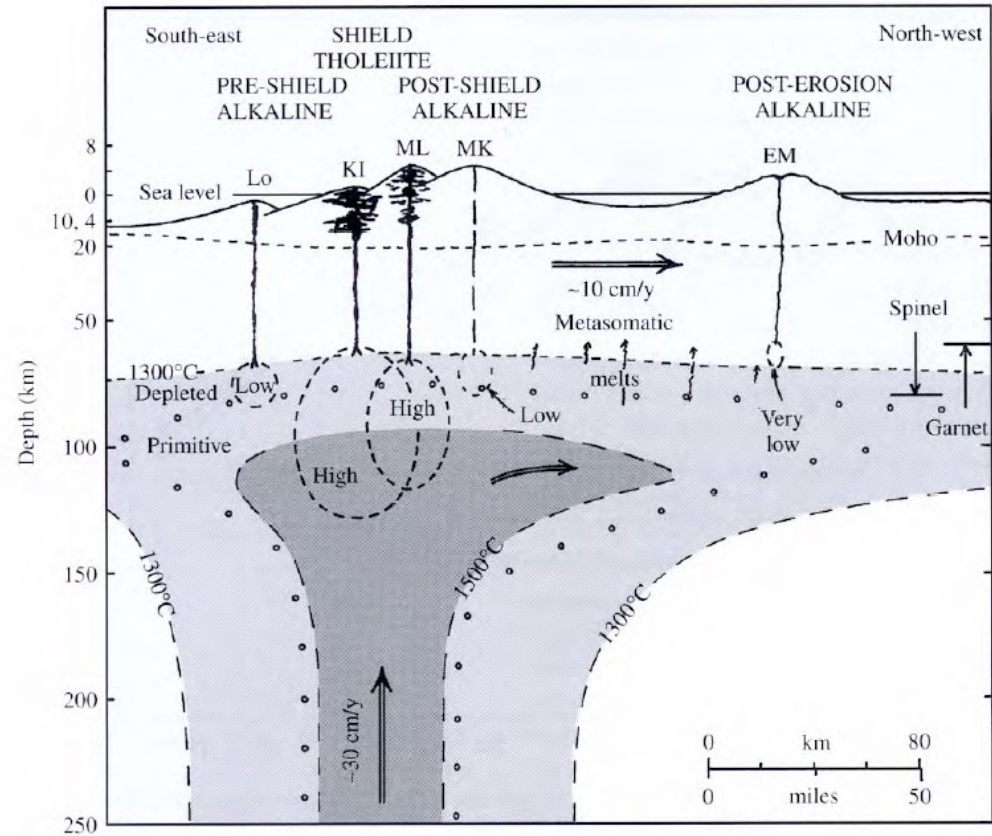
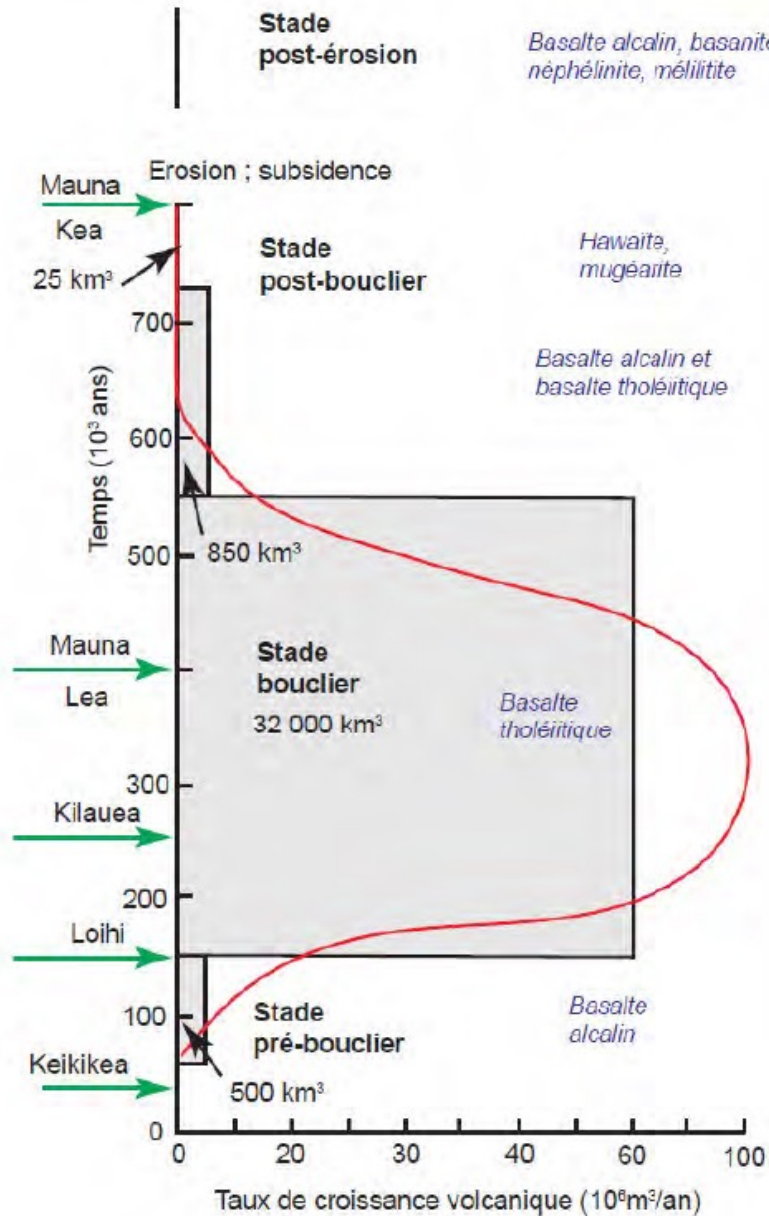
CP7. trachyte = "dômite à biotite" base sud du dôme du Puy de Dôme

Trachy-  
andésites

## La chaîne des Puys







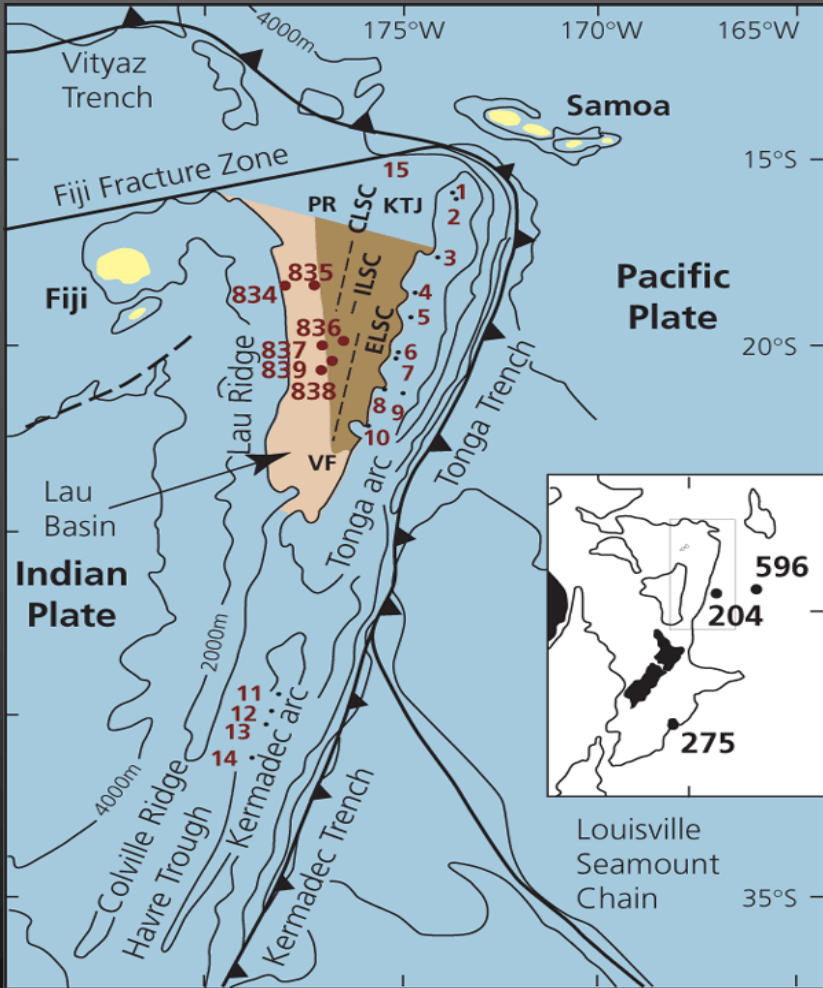


# La différenciation dans une série magmatique → mise en évidence des séries

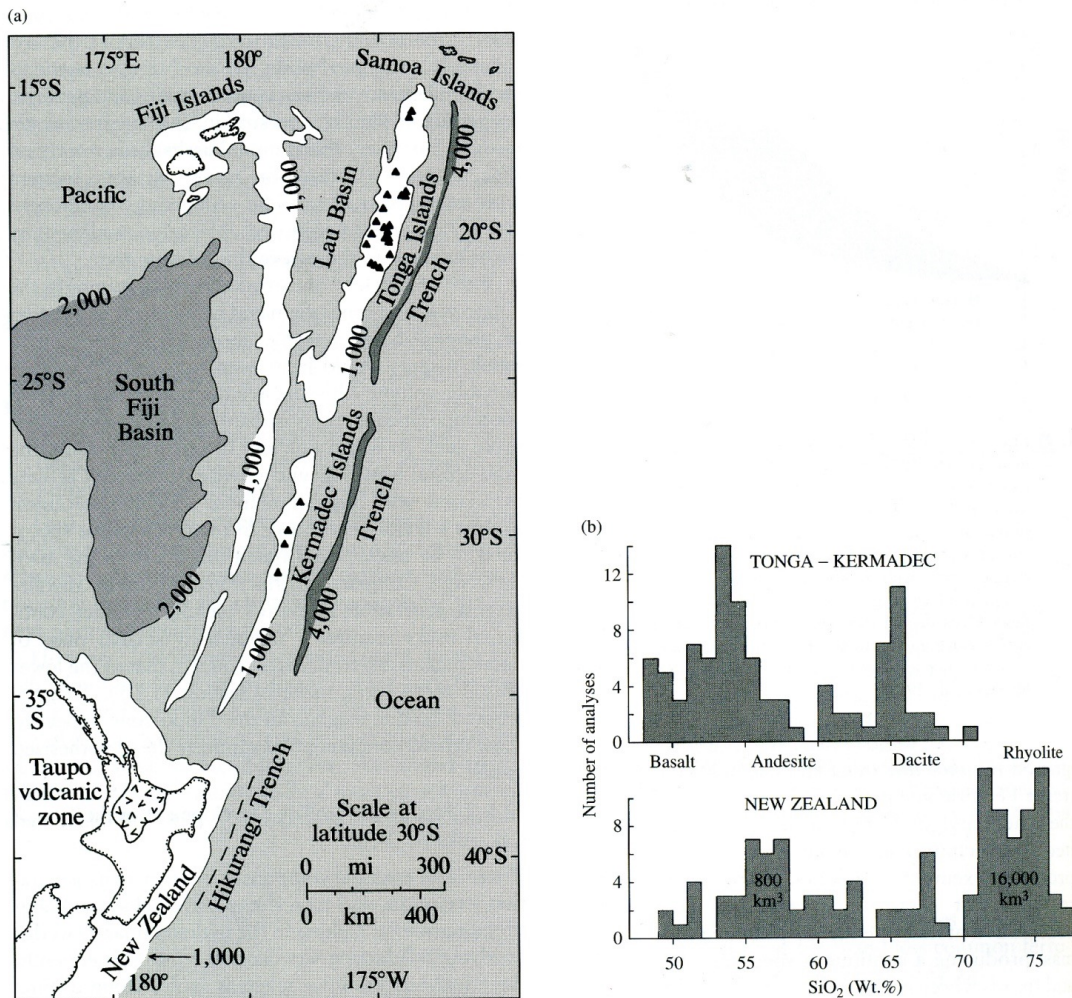
La série calco-alcaline  
Le magmatisme des zones  
de subduction



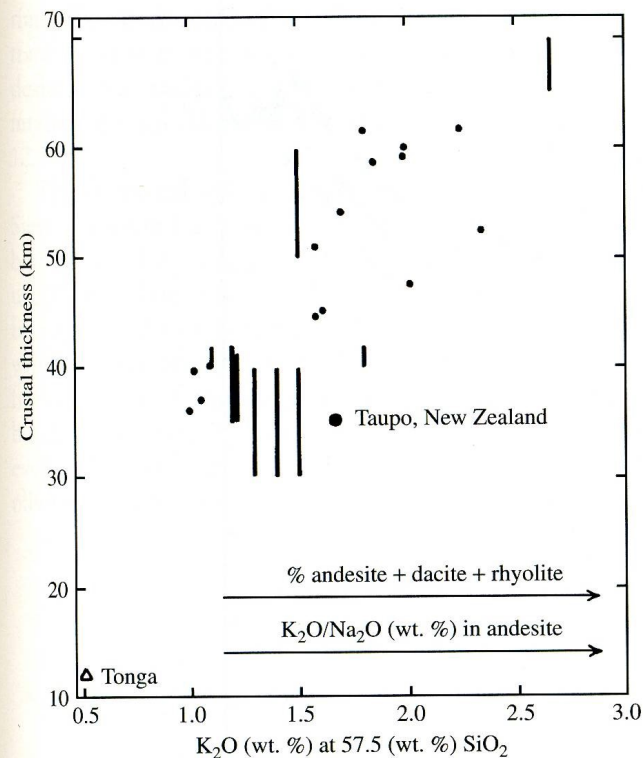
# La zone Tonga-Kermadec







**12.26** Tonga-Kermadec-New Zealand volcanic arc and arc rocks in the southwestern Pacific. (a) Volcanic islands indicated by filled triangles. Bathymetric contours are in fathoms (1 fathom = 1.83 m). For a more detailed, larger-scale map of the North Island of New Zealand see Figure 13.27. (b) Frequency distribution of silica in analyzed rocks from the Tonga-Kermadec island arc and from the North Island of New Zealand. Tonga is chiefly basalt and andesite; sparse dacite is overrepresented. In New Zealand, rhyolite is estimated to be about 20 times more voluminous than andesite. (Redrawn from Ewart et al., 1977.)



**12.27** Correlation between thickness of continental crust (>30 km) and compositional parameters. The graphed parameter is the concentration of  $K_2O$  at 57.5 wt.%  $SiO_2$  from a best-fit line through a  $K_2O$  versus  $SiO_2$  wt.% variation diagram for a rock suite; for example, values of  $K_2O$  at 57.5 wt.%  $SiO_2$  for the New Zealand suite and, for comparison, the Tonga suite are taken from Figure 2.18. Bars in diagram indicate variable crustal thickness for the  $K_2O$  value. Two other parameters not graphed also show a positive correlation with crustal thickness; these are the  $K_2O/Na_2O$  in andesite (57–63 wt.%  $SiO_2$ ) and the proportion of andesite + dacite + rhyolite to basalt. (Data from Leeman, 1983; Hildreth and Moorbath, 1988.)



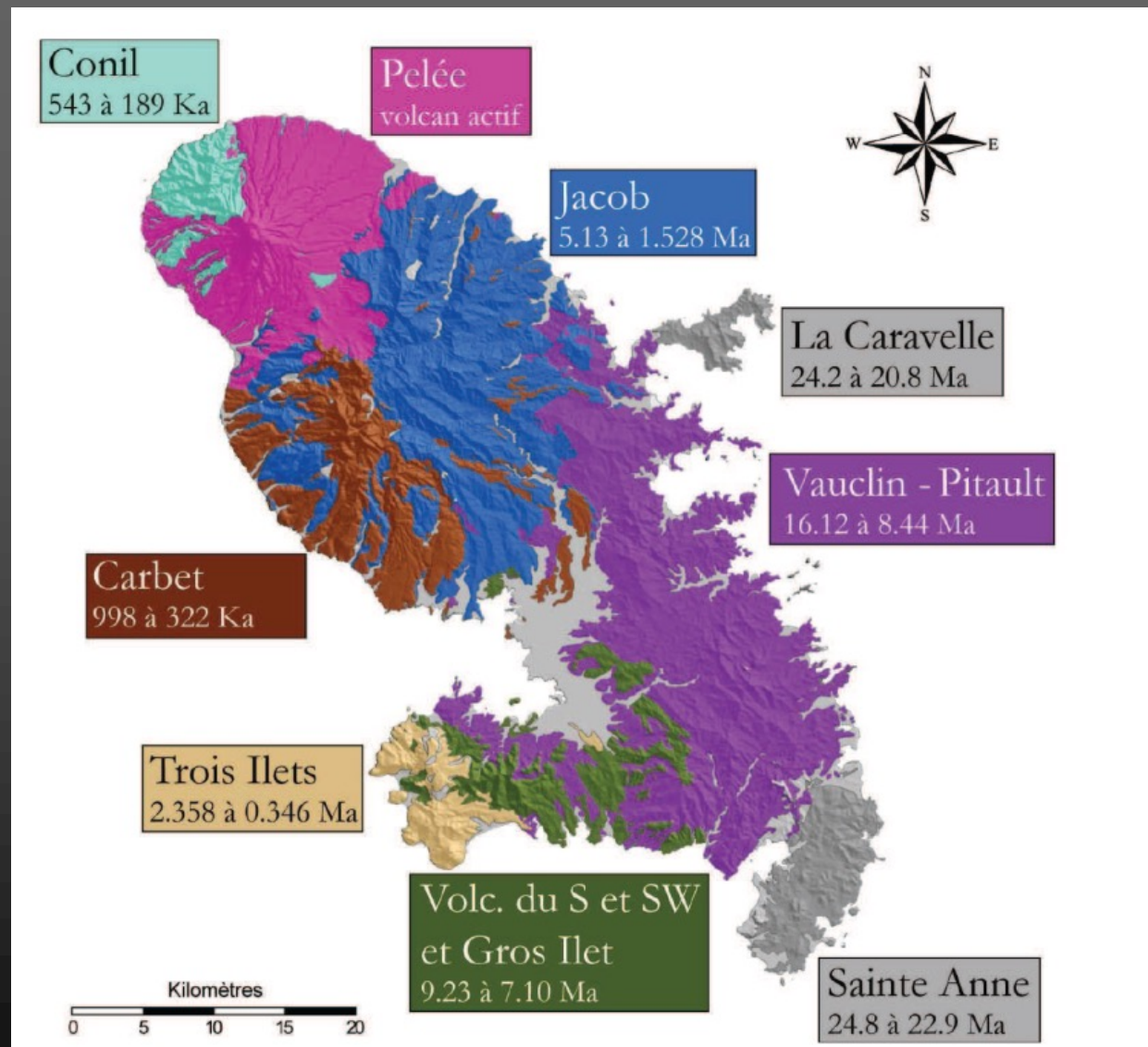
# La différenciation dans une série magmatique → mise en évidence des séries

## La série calco-alcaline

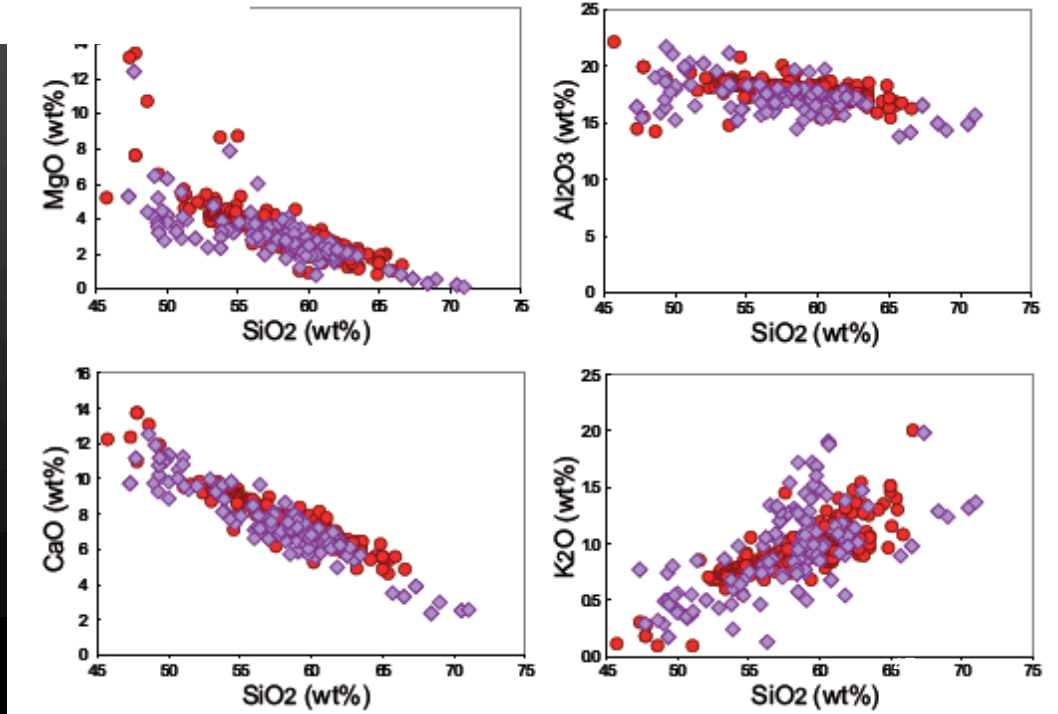
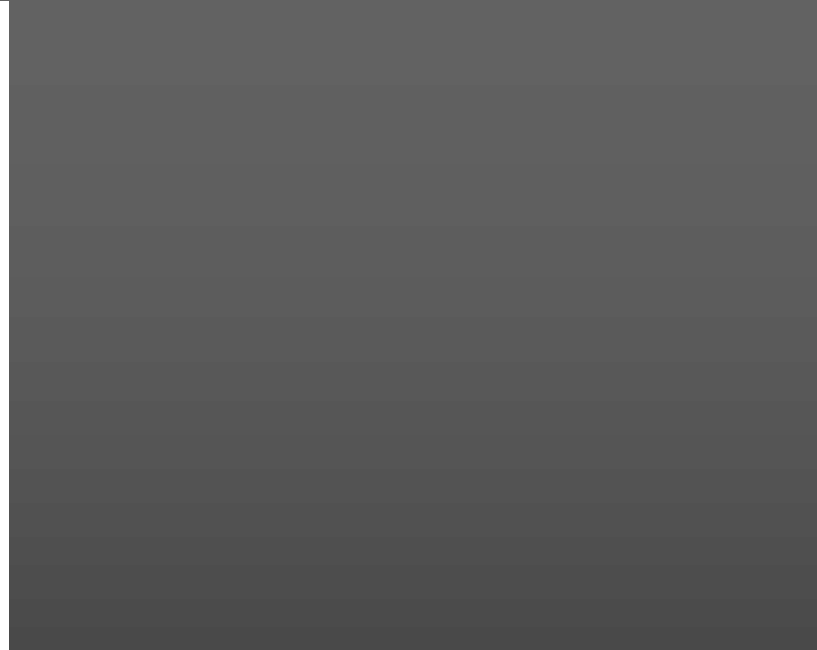
Une diversité des processus de  
contamination : l'exemple de  
la Martinique

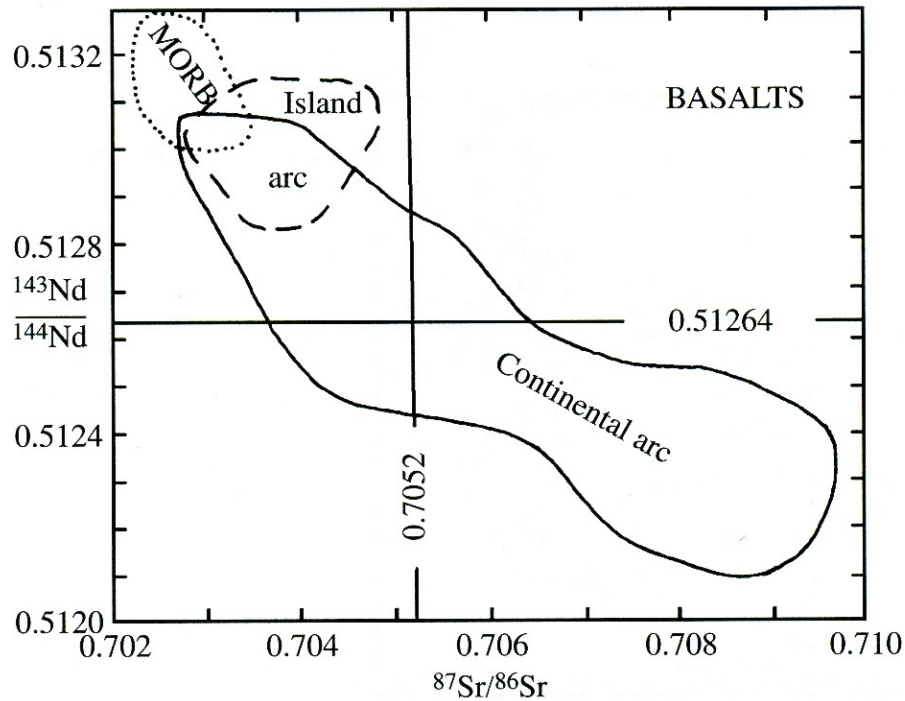




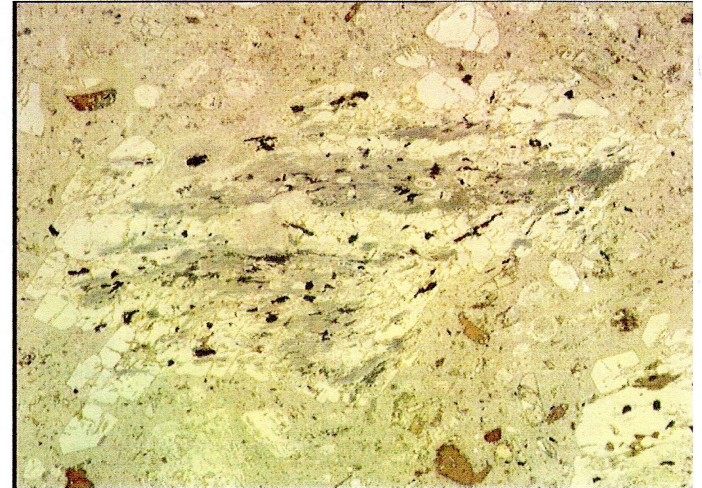






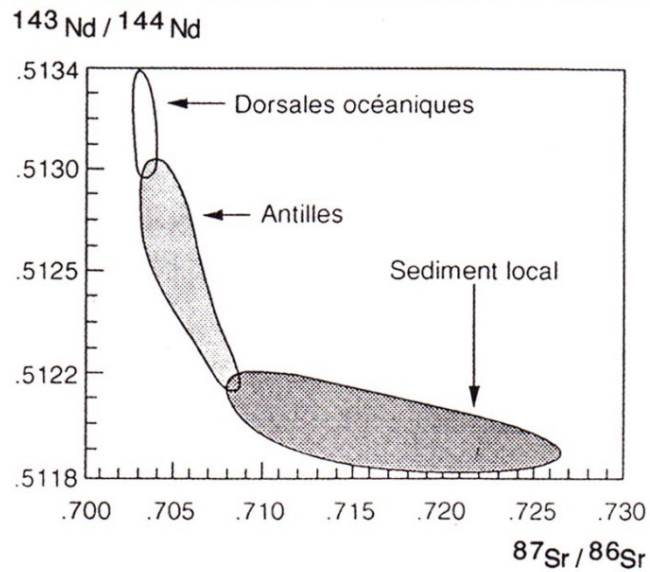


Nd and Sr isotope ratios in arc basalts compared to MORB. Basalts from western Pacific island arcs are slightly more radiogenic than MORB because of the slab-derived aqueous fluid component, whereas continental arc basalts (Japan, Philippines, New Zealand, Ecuador, Central America, Lesser Antilles) range to much more radiogenic ratios because of interaction with highly radiogenic old continental crust in which  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  can be 0.510 and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  0.900. (Redrawn from Tatsumi and Eggins, 1995.)



Enclave de socle partiellement assimilée dans une dacite (arc d'Ambon, Indonésie)



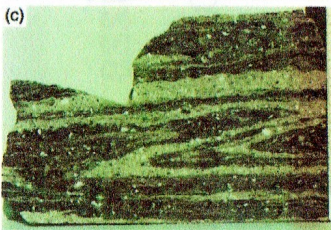


Dans ce diagramme, les basaltes antillais se situent entre les sédiments océaniques du prisme d'accrétion et les basaltes des dorsales : cette position intermédiaire atteste d'une contamination par les sédiments subductés (d'après B. Dupré)

**Dacite sombre**



**Dacite claire**

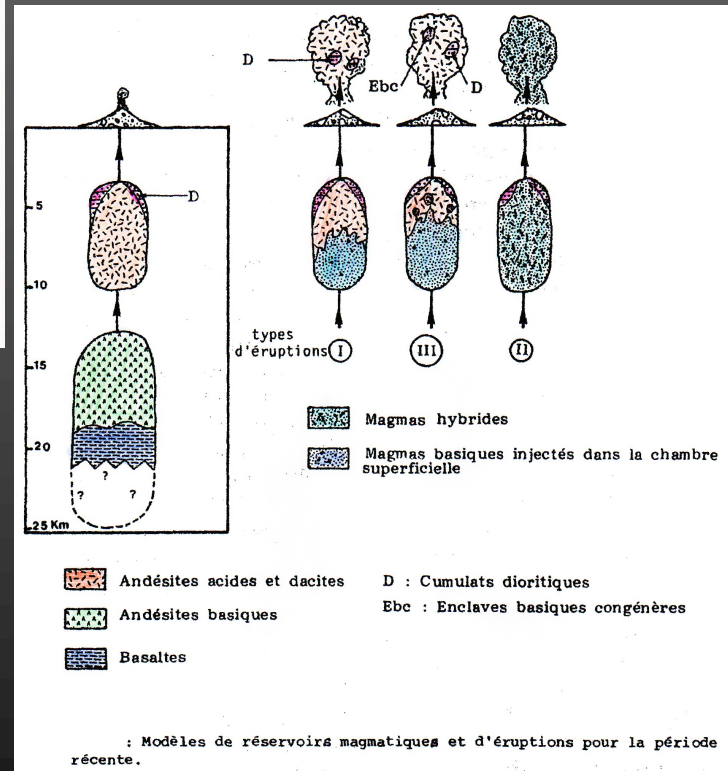


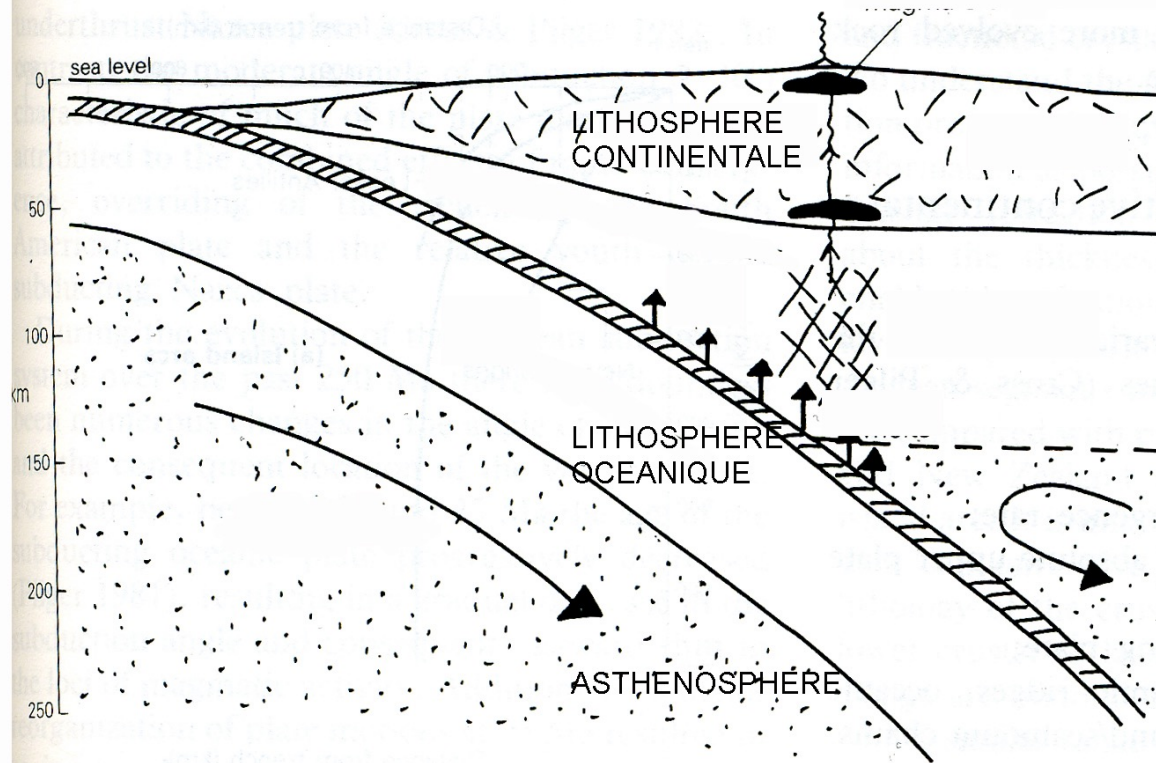
**Roche rubannée**



**Andésite basique**

D'après Clyne, 1999





CHAMBRE MAGMATIQUE  
CRISTALLISATION  
FRACTIONNEE

CONTAMINATION

ZONE DE FUSION  
PARTIELLE

CONTAMINATION  
PAR LES FLUIDES  
DE LA PLAQUE SUBDUITE



