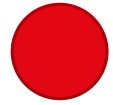




Roches magmatiques



Les **roches magmatiques** (ou roches ignées) comprennent les **roches intrusives** et les **roches extrusives**.

- **Les roches intrusives** ou **roches plutoniques** se forment à partir d'un magma qui refroidit lentement à de profondeurs (3 à 35 km) dans la croûte terrestre
- En conséquence, les cristaux ont le temps de bien se former et la roche présente une texture grenue.

Exemples : granite, gabbro



Granite



Les **roches magmatiques** (ou roches ignées) comprennent les **roches intrusives** et les **roches extrusives**.

- **Les roches extrusives** ou **roches volcaniques** sont issues d'un magma qui refroidit rapidement à la surface de la croûte terrestre.
- En conséquence, les cristaux n'ont pas le temps de bien se former et la roche est à grain très fin.
- Exemples : basalte, rhyolite, andésite



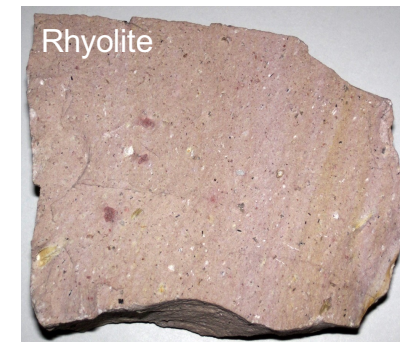
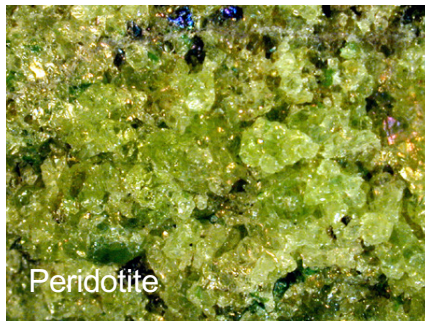
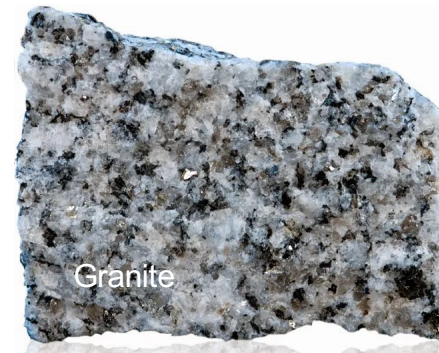
Basalte

Roches magmatiques



Les **roches magmatiques** (ou roches ignées) comprennent les **roches intrusives** et les **roches extrusives**.

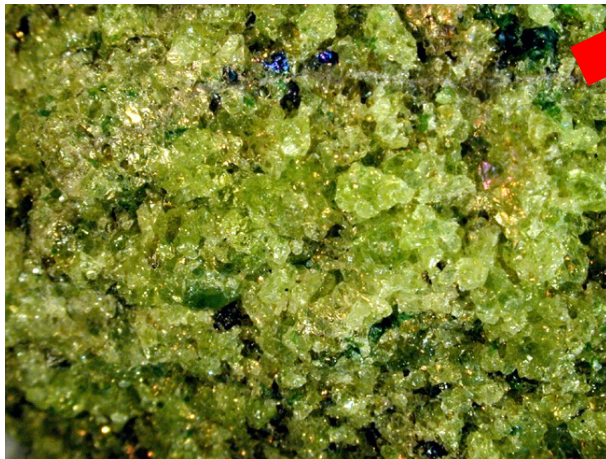
- ❑ Les roches magmatiques (ou ignées) cristallisent à partir de **magma**.
- ❑ MAGMA : liquide qui provient de la fusion partielle, en profondeur, de roches préexistantes (source)





connexions entre fusion et cristallisation

Eruption au Mont Etna – juin 2022, Video S. Pilet



Péridotite



Quels processus contrôle la genèse des magmas et leurs évolutions ?

Différentes roches sont liées à des mécanismes différents

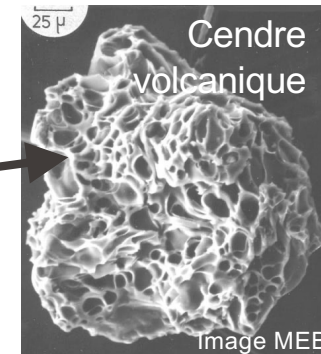
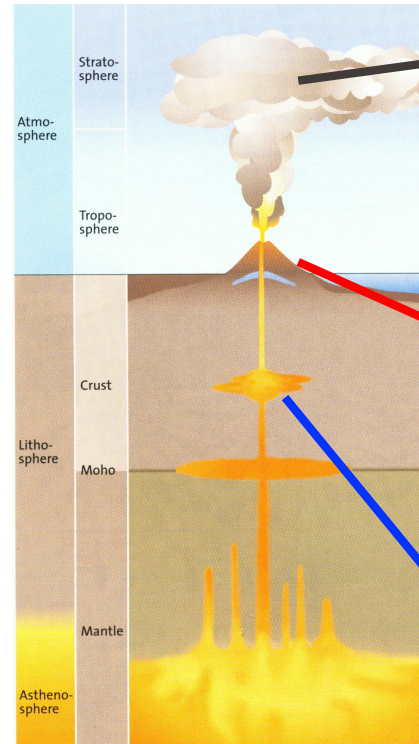


(1) Mise en place

Les différents types de roches et leurs textures vont être contrôlés par leurs mécanismes de mise en place.

Si les magmas restent piégés en profondeur, ils vont produire des roches **plutoniques**.

Si, au contraire, ces magmas arrivent en surface, ils vont générer des roches **volcaniques** dont les textures vont dépendre des mécanismes éruptifs (explosif ou effusif)



Rhyolite
(12 cm)



Granite
(8 cm)

NOTE: Chimie identique
Texture différente

Différentes roches sont liées à des mécanismes différents



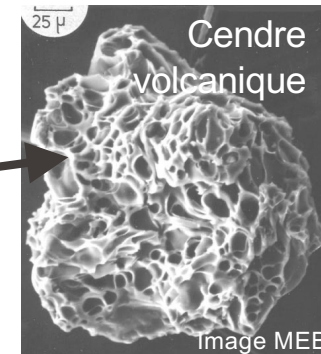
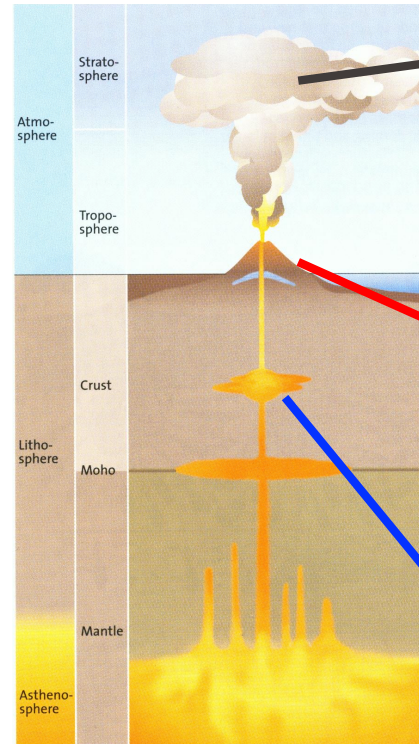
(1) Mise en place

Les différents types de roches et leurs textures vont être contrôlés par leurs mécanismes de mise en place.

Si les magmas restent piégés en profondeur, ils vont produire des roches **plutoniques**.

Si, au contraire, ces magmas arrivent en surface, ils vont générer des roches **volcaniques** dont les textures vont dépendre des mécanismes éruptifs (explosif ou effusif)

NOTE: Chimie identique
Texture différente



Basalt



Gabbro

Différentiation primordiale et formation du manteau

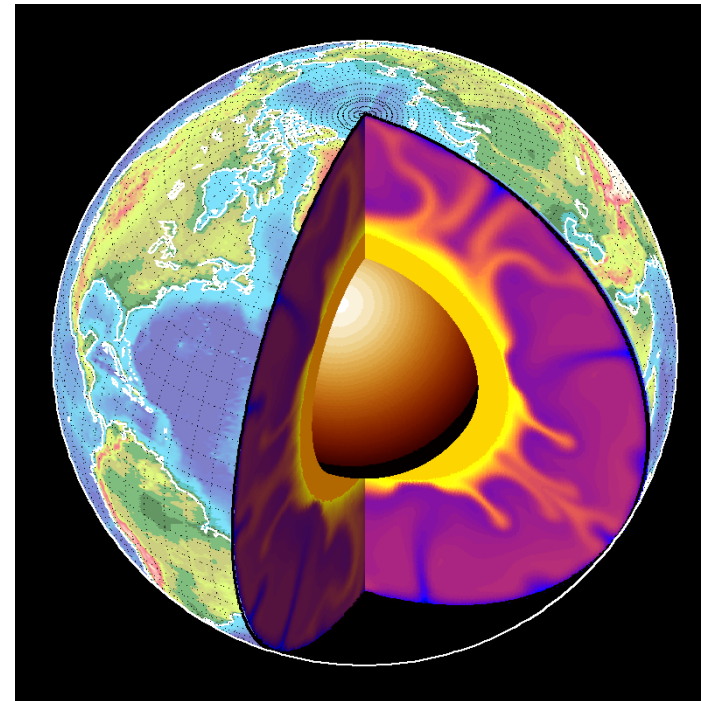


Chondrite - matériel "primitif"



Chondrite – météorite dont la composition est représentative du système solaire primitif

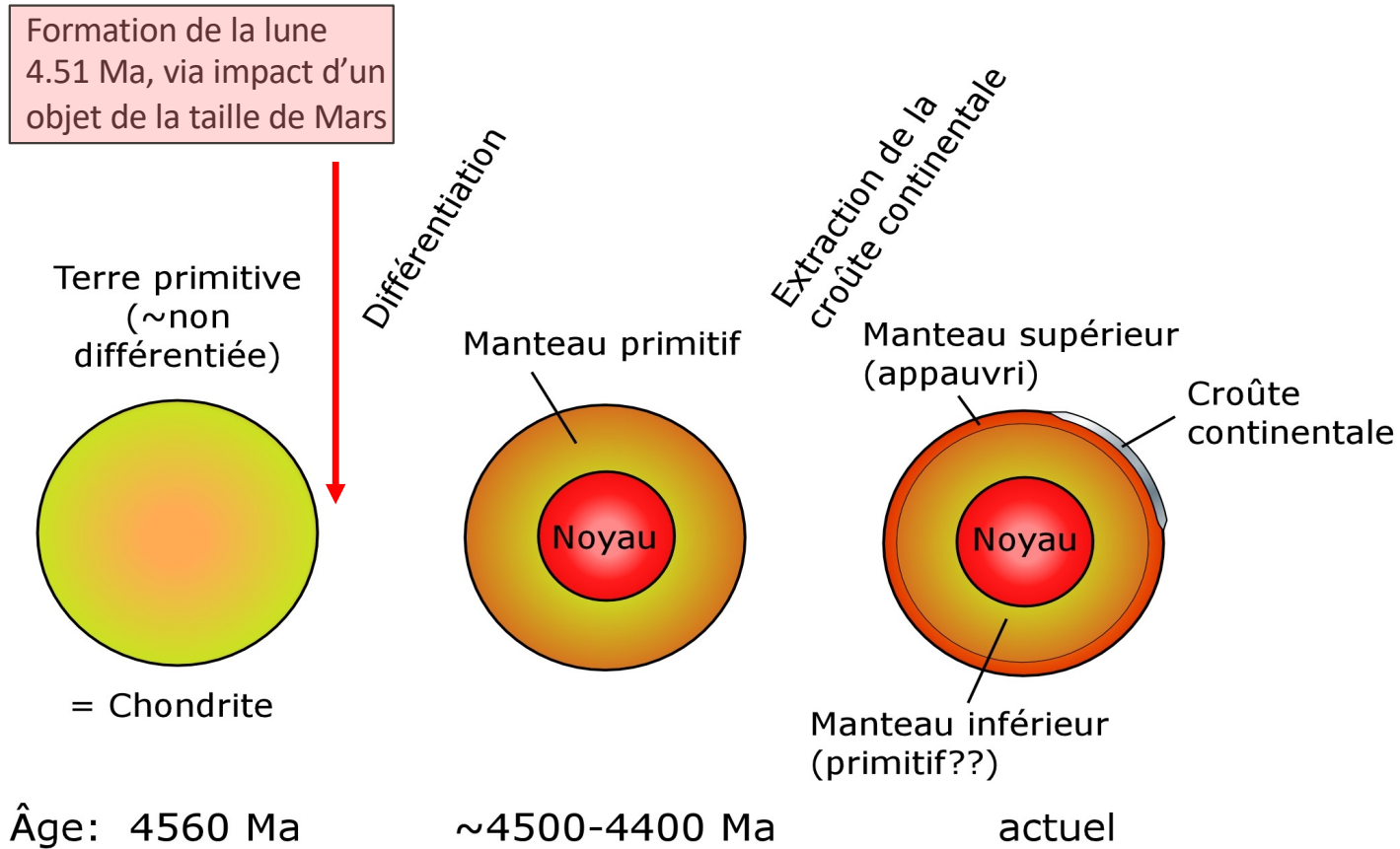
La terre actuelle



Planète différenciée en différentes enveloppes: noyau, manteau et croûte



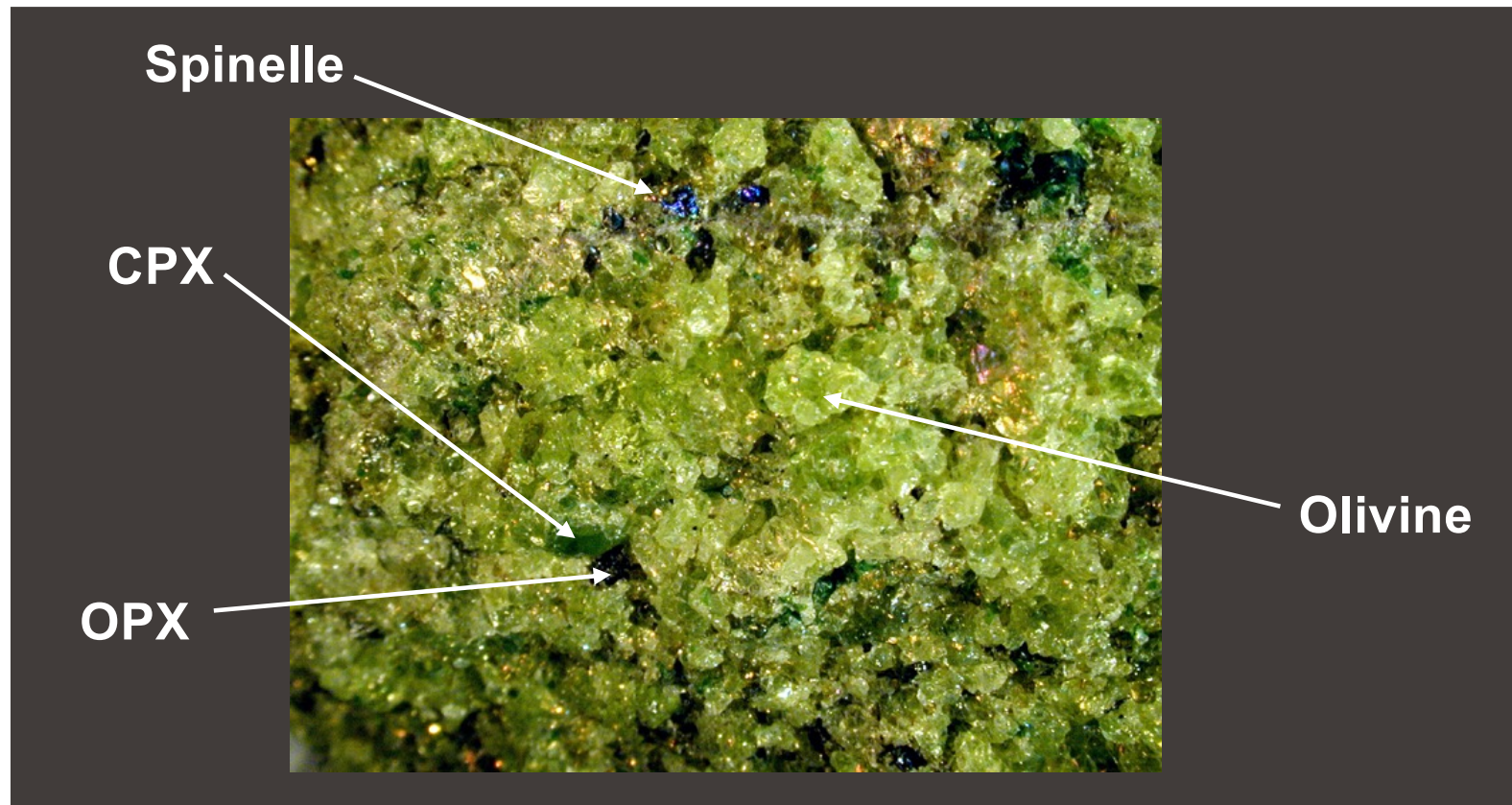
Évolution du manteau depuis ~4.4 Ga à l'actuel : formation de la croûte continentale



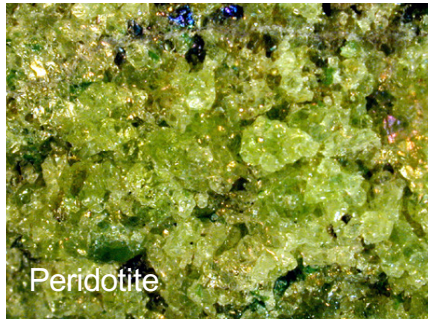


Les roches principales du manteau: les péridotites

(olivine + clinopyroxène + orthopyroxène + phase riche en Aluminium)



Différentes roches sont liées à des mécanismes différents



(2) Fusion partielle

Ce mécanisme permet la formation d'un liquide magmatique à partir de la fusion du manteau terrestre solide

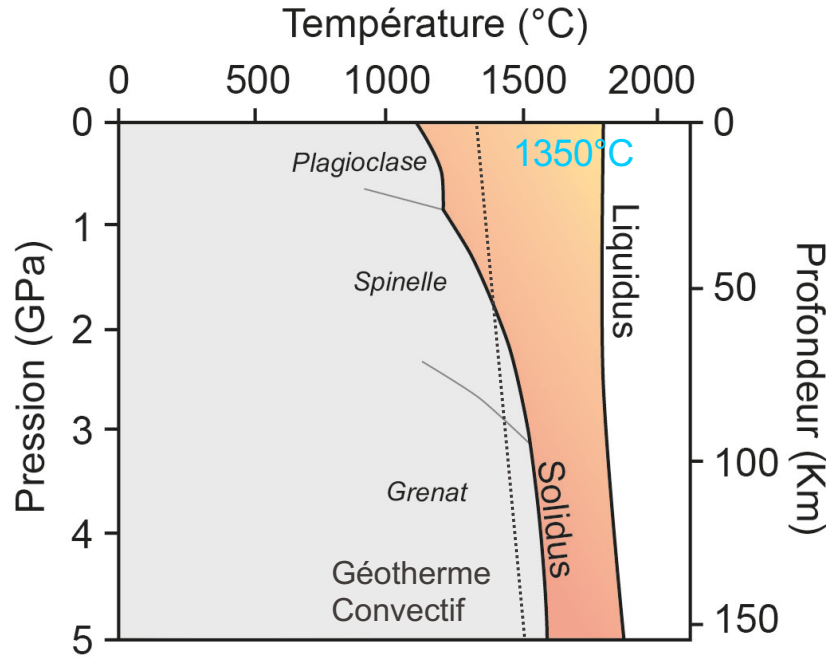


(3) Différentiation magmatique

Ce mécanisme permet l'évolution de la composition du magma par la cristallisation et le fractionnement de différents minéraux au cours du refroidissement du magma en profondeur



Température à l'intérieur de la terre et gradient géothermique :



Gradient géothermique: dT/dx (°C/km)

Que l'intérieur de la Terre soit (partiellement) fondu ou non dépend de la relation entre le gradient géothermique et la courbe de fusion des roches

Géotherme convectif

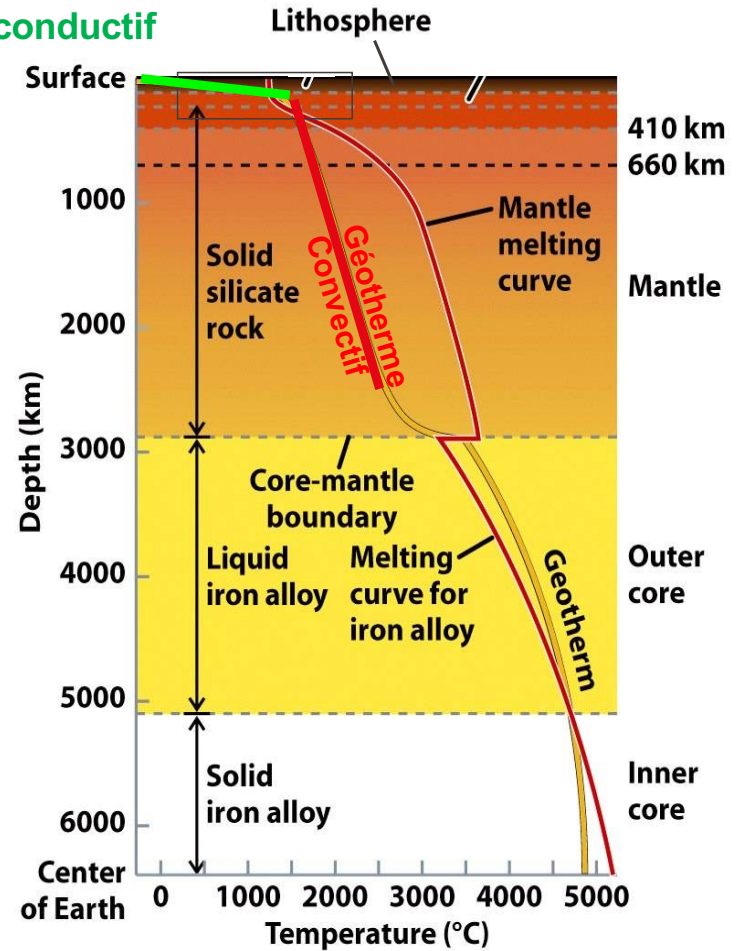
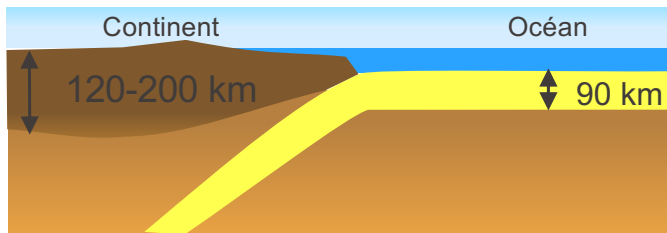
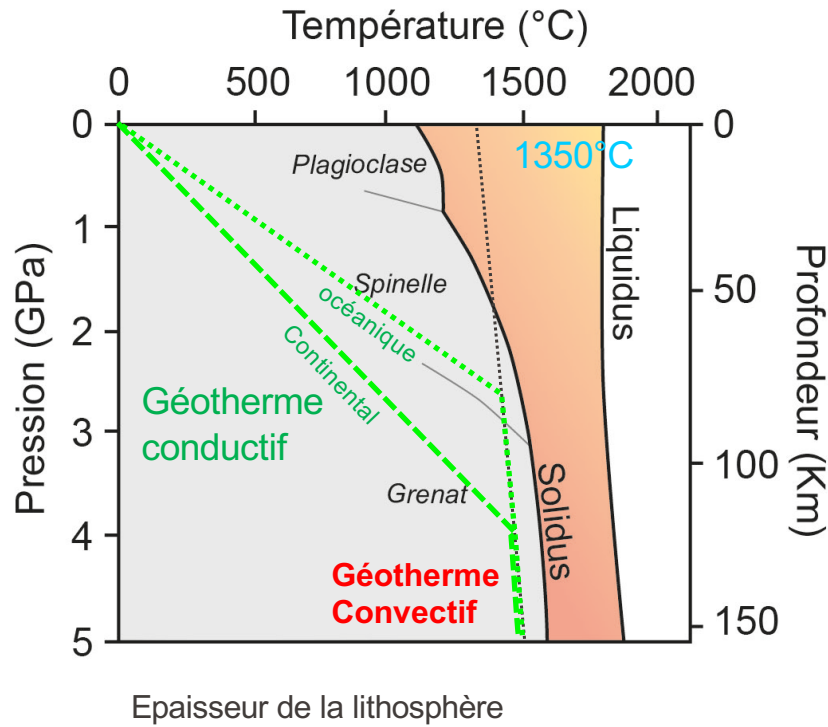


Figure 14-8
 Understanding Earth, Fifth Edition
 © 2007 W.H. Freeman and Company

Température à l'intérieur de la terre et gradient géothermique :



Géotherme conductif

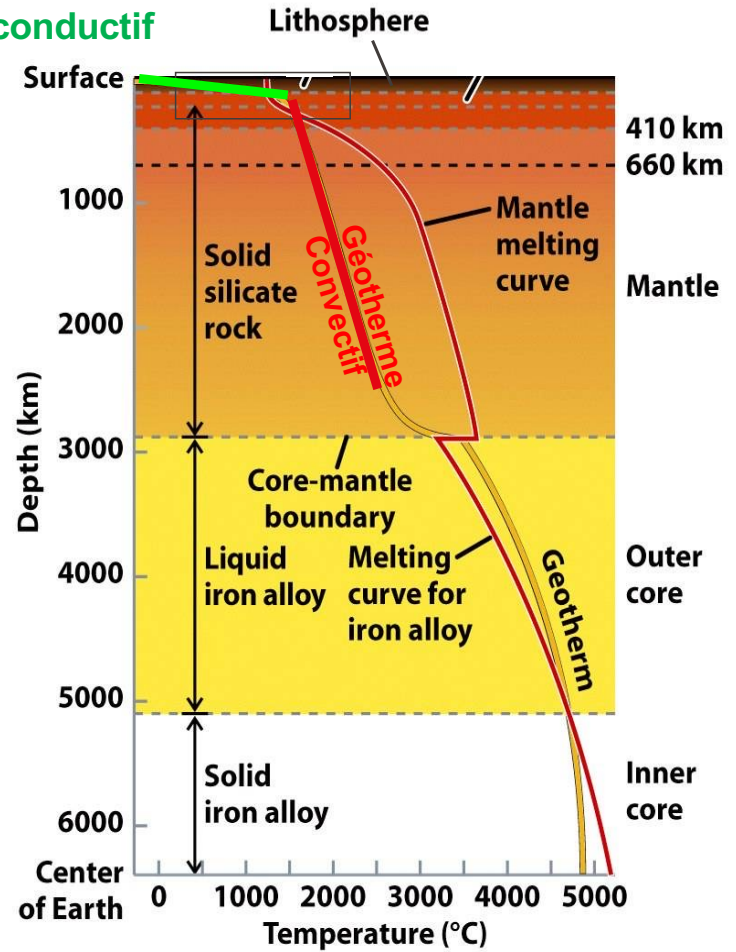
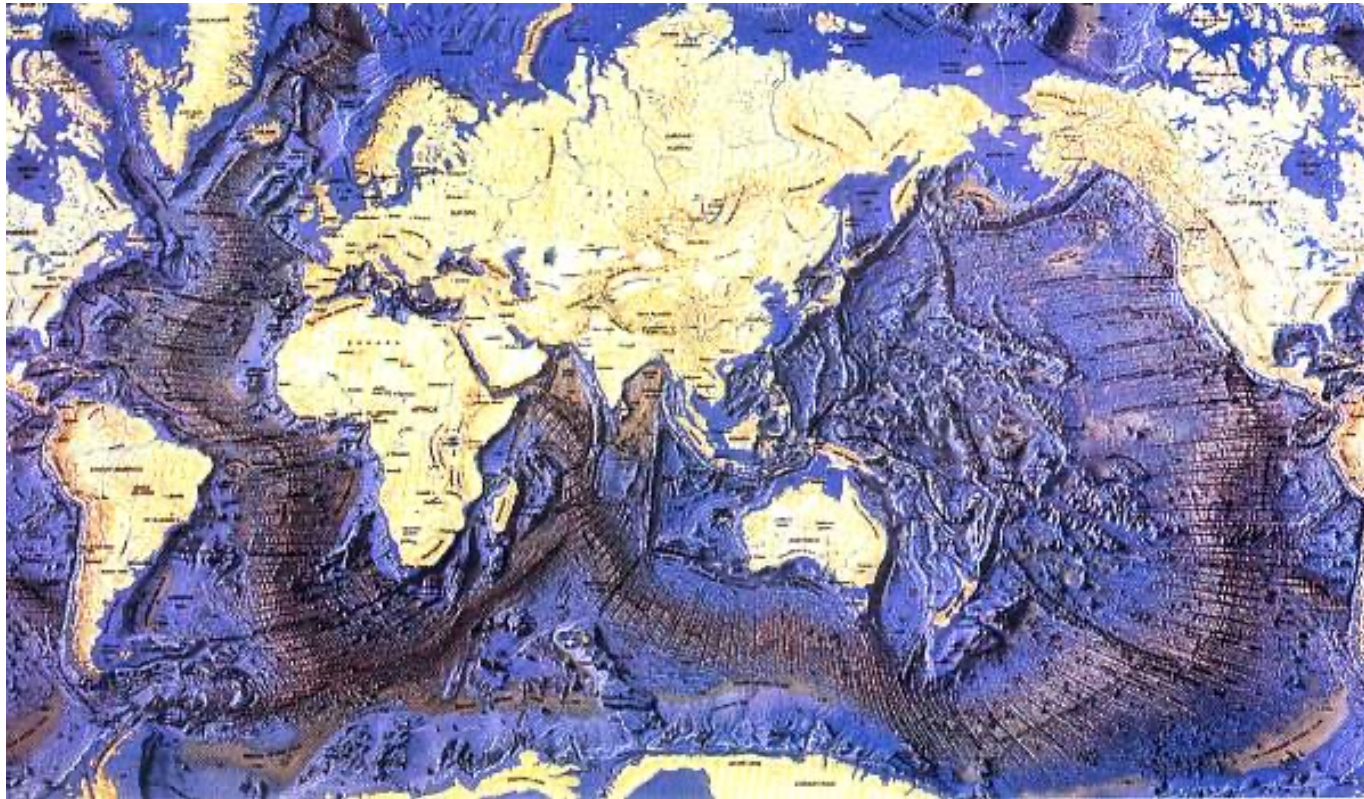


Figure 14-8
 Understanding Earth, Fifth Edition
 © 2007 W.H. Freeman and Company



Les magmas sont produits :

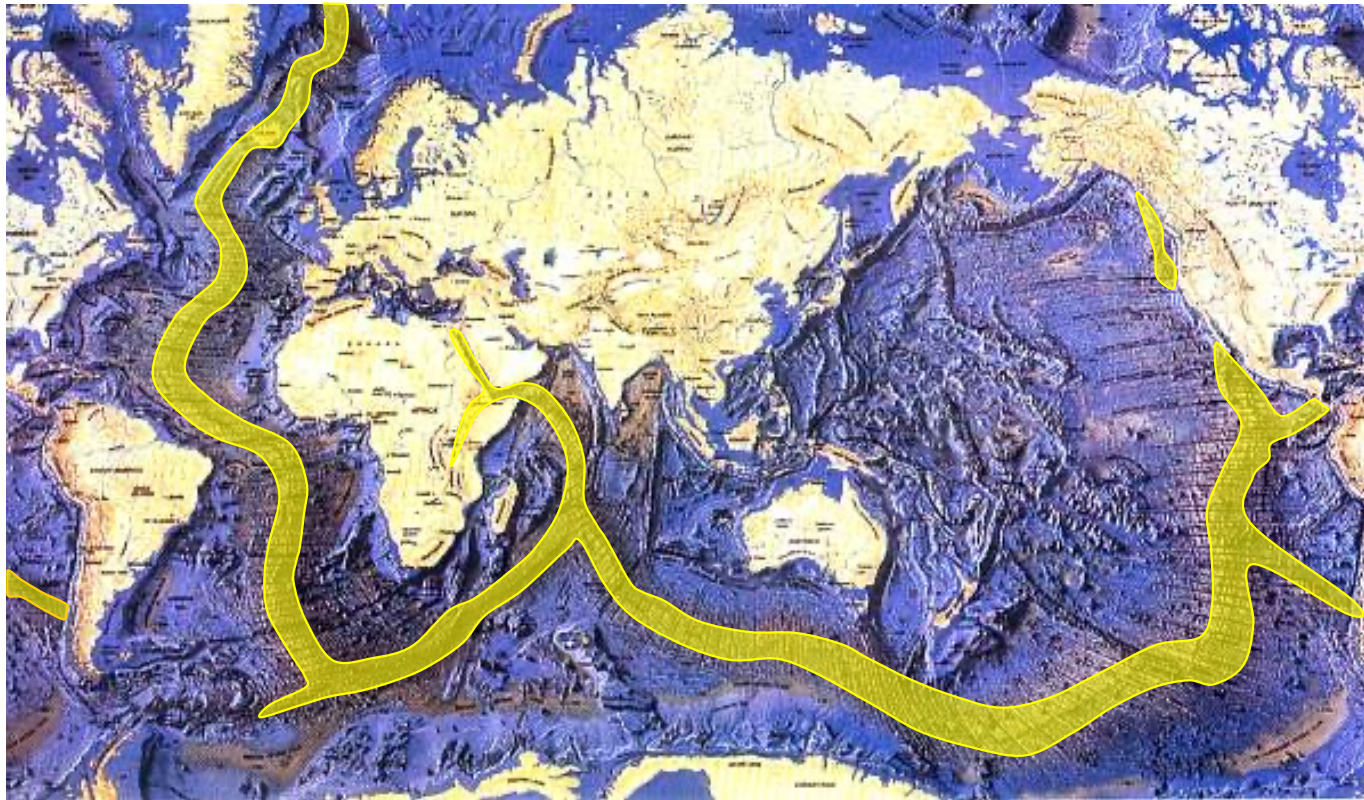


- 1) Au niveau des rides médio-océaniques (formation de la croûte océanique)
- 2) Au niveau des zones de subduction (recyclage de la croûte océanique)
- 3) Dans quelques localités intraplaques





Les magmas sont produits :

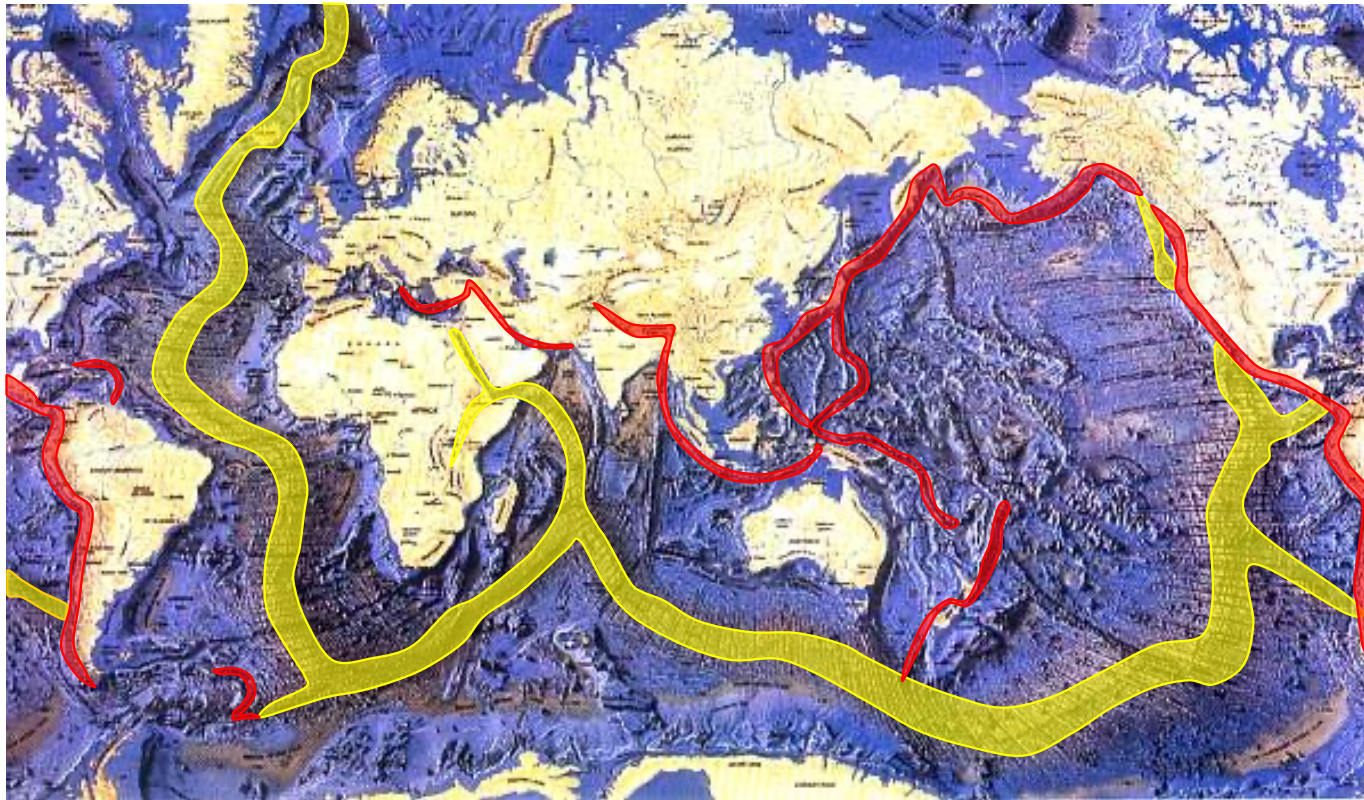


- 1) Au niveau des rides médio-océaniques (formation de la croûte océanique)
- 2) Au niveau des zones de subduction (recyclage de la croûte océanique)
- 3) Dans quelques localités intraplaques





Les magmas sont produits :

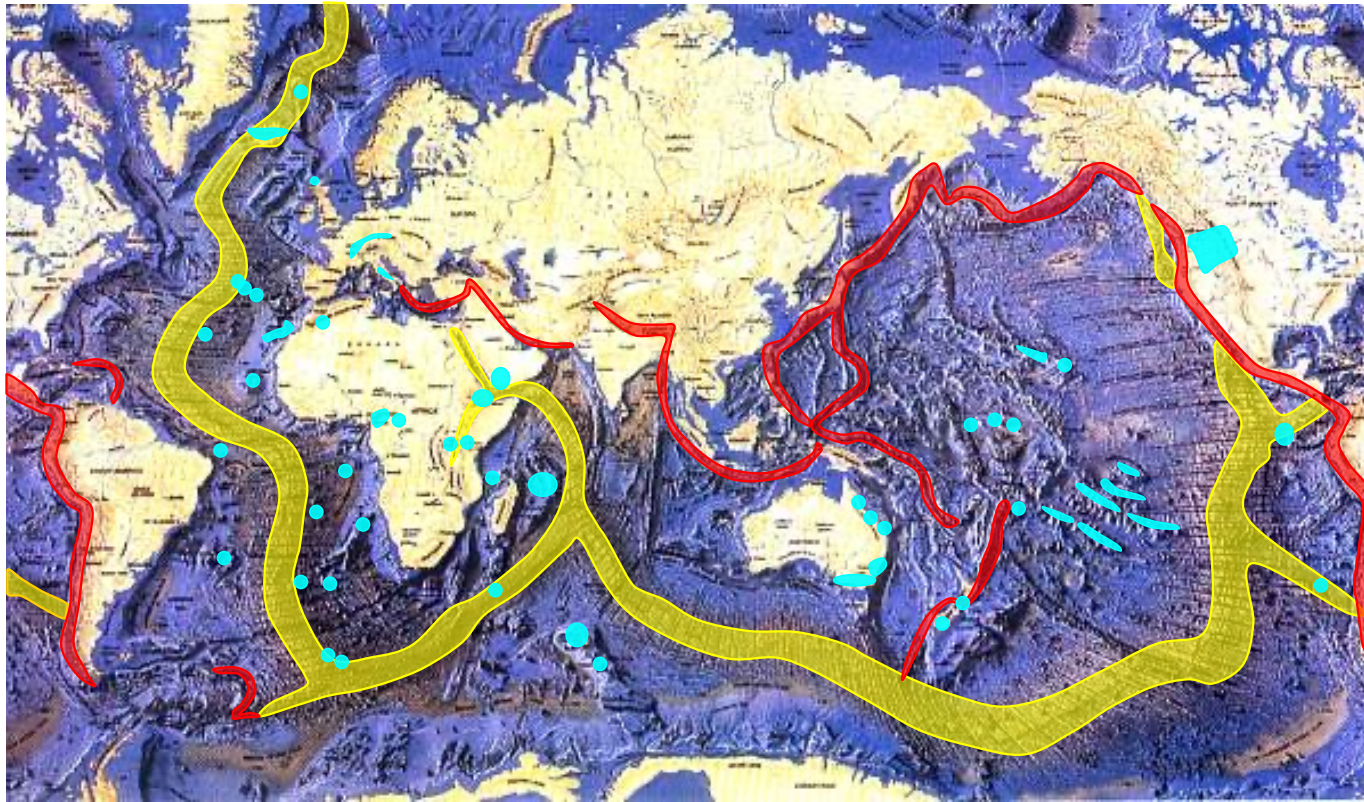


- 1) Au niveau des rides médio-océaniques (formation de la croûte océanique)
- 2) Au niveau des zones de subduction (recyclage de la croûte océanique)
- 3) Dans quelques localités intraplaques





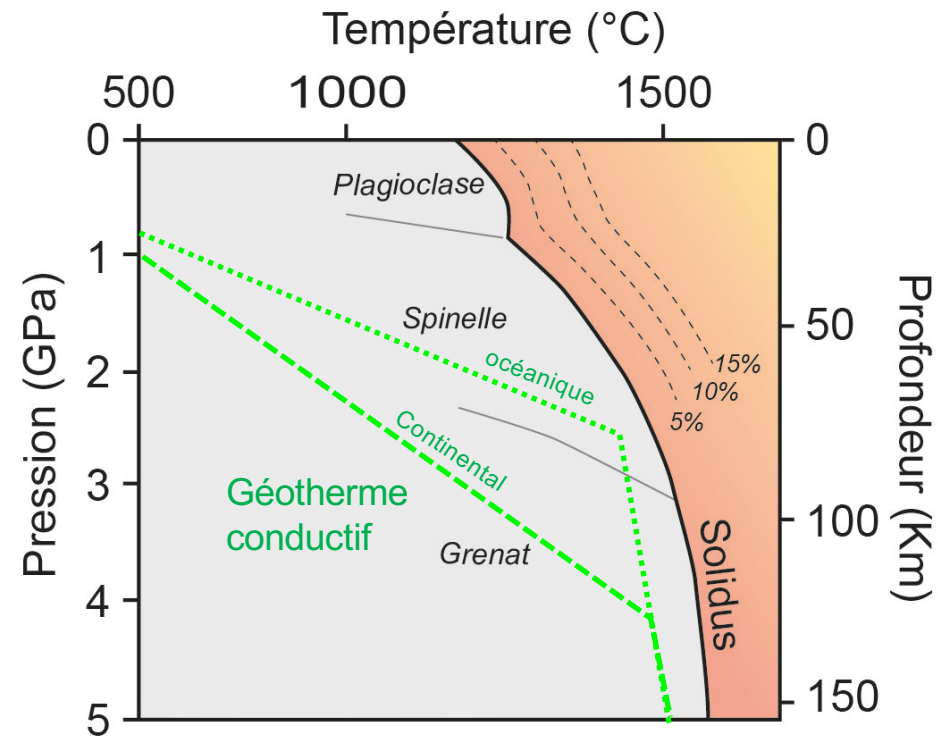
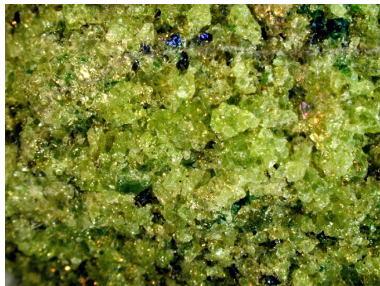
Les magmas sont produits :



- 1) Au niveau des rides médio-océaniques (formation de la croûte océanique)
- 2) Au niveau des zones de subduction (recyclage de la croûte océanique)
- 3) Dans quelques localités intraplaques

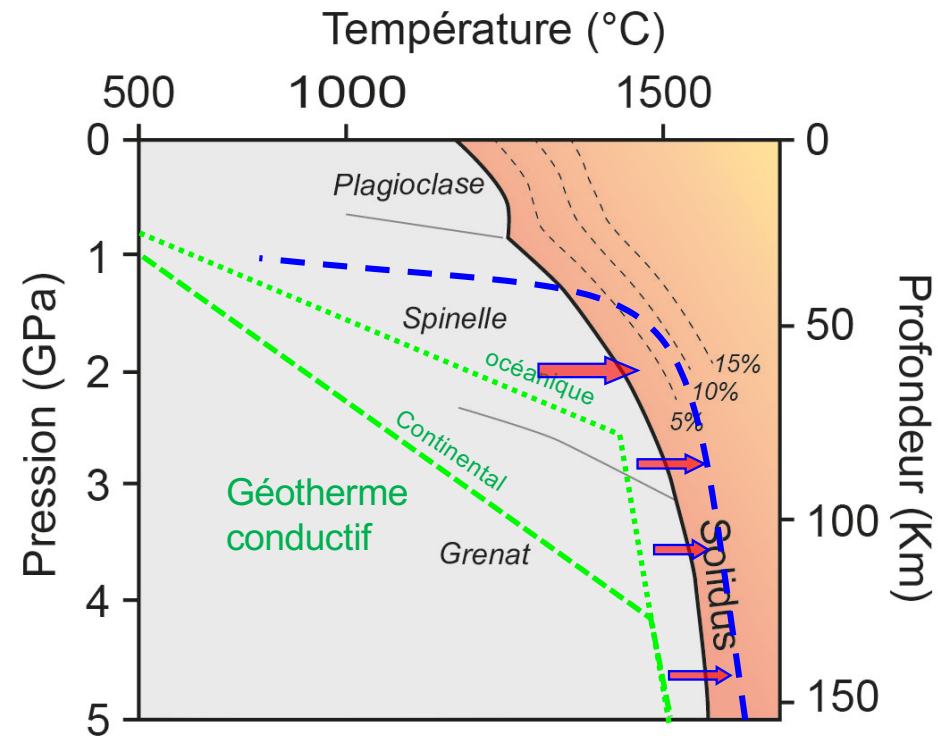


Champ de stabilité des péridotites



Le géotherme océanique ou continental n'est pas suffisant pour faire fondre une péridotite

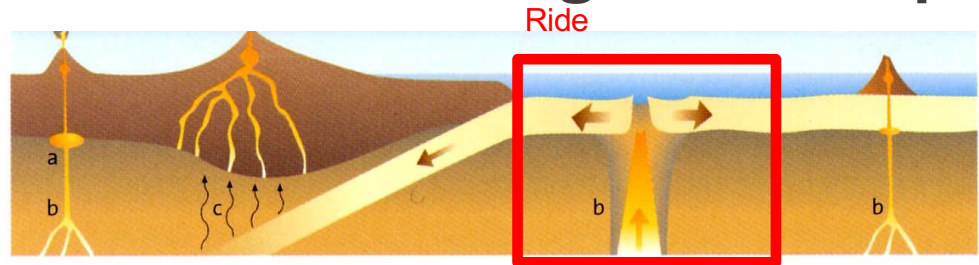
Pour former un magma basaltique: on peut....



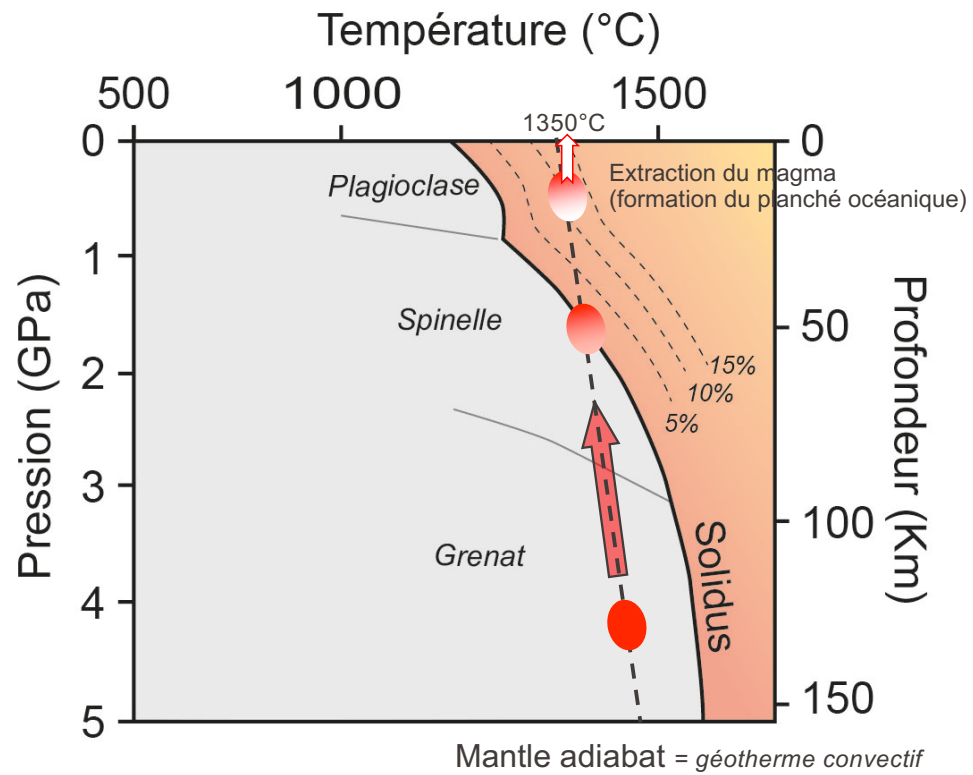
(1) Augmenter de la température

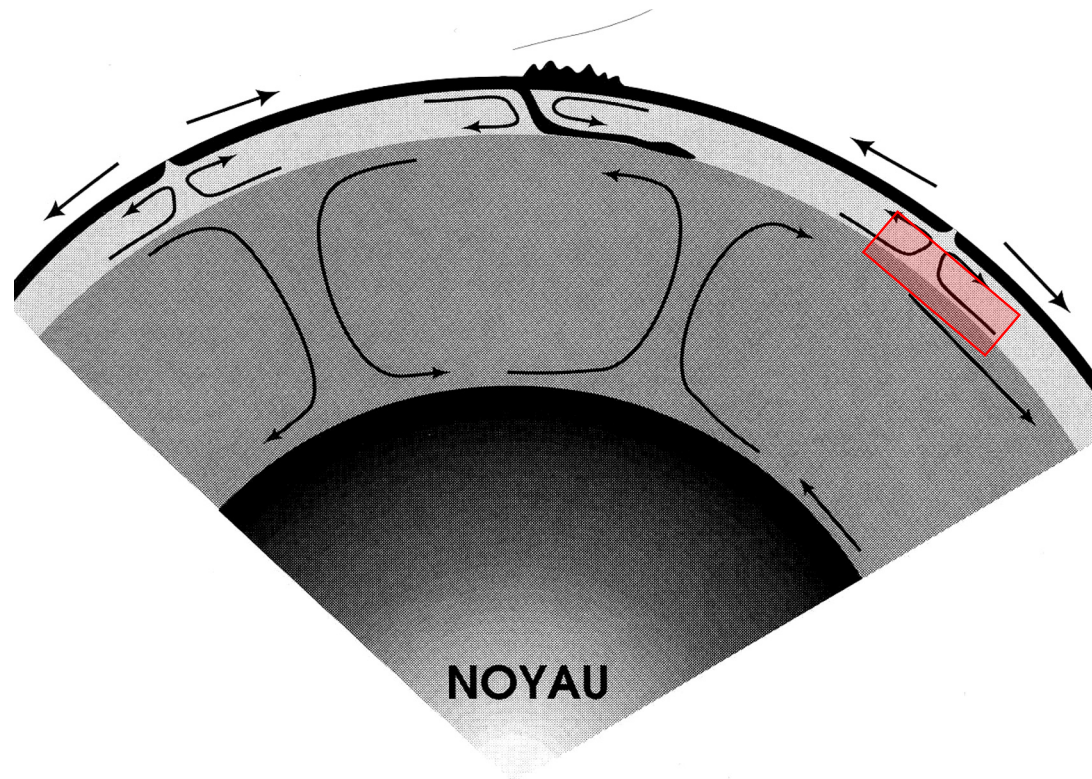
(non réaliste!!)

Pour former un magma basaltique: on peut....

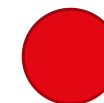


(2) Séparer les plaques et par conséquent: Une remontée adiabatique du manteau

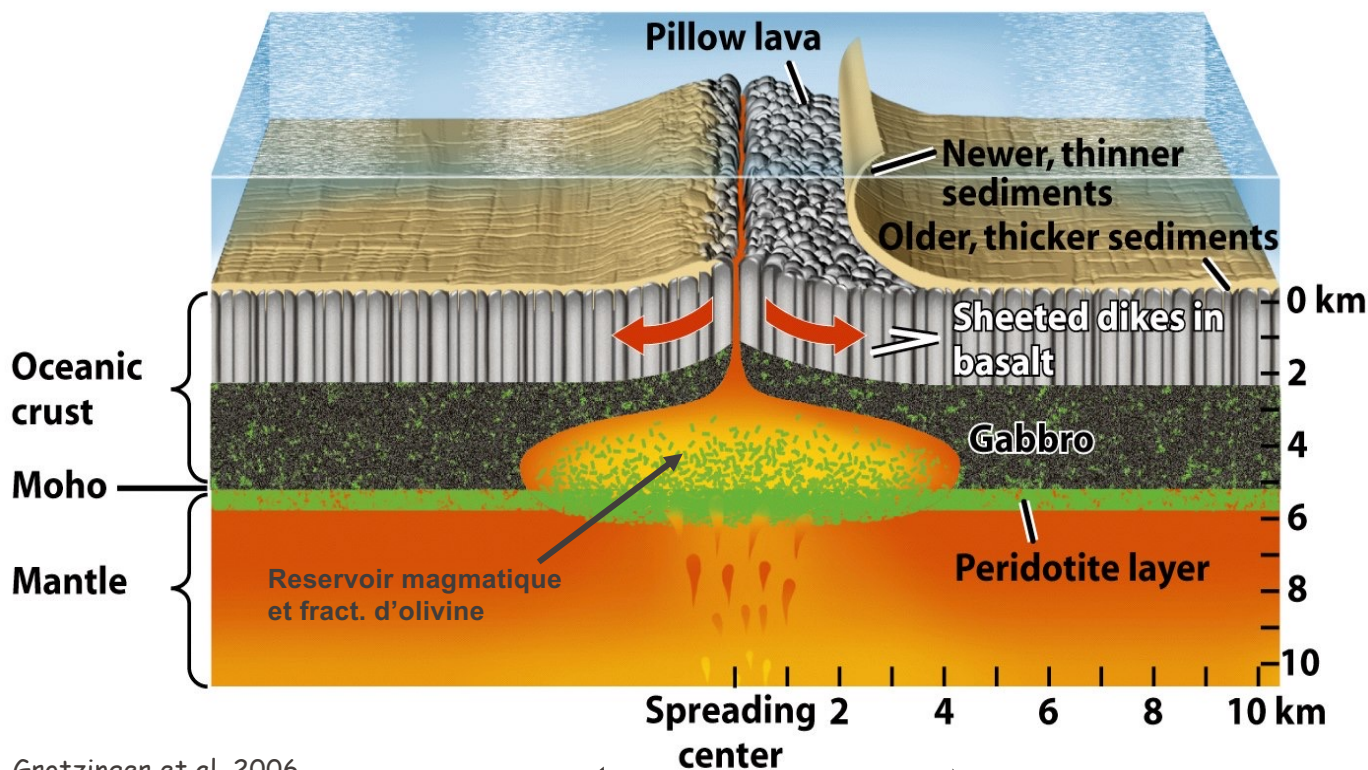




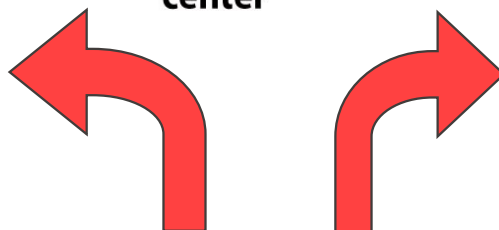
Les remontées de matériel chaud sont une conséquence de la convection du manteau terrestre



Formation de la croûte océanique



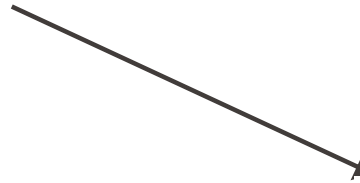
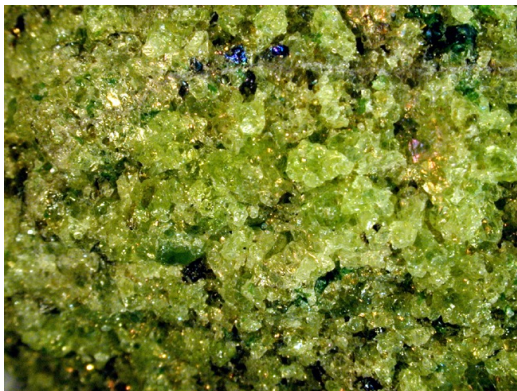
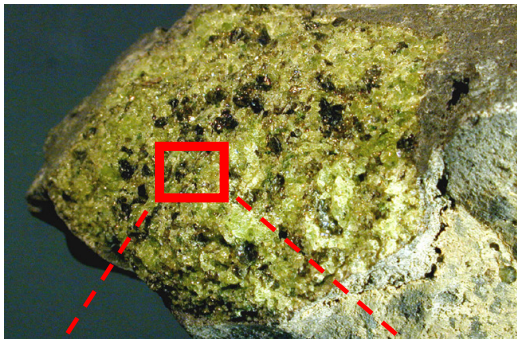
Grotzinger et al. 2006
 Figure 4-13 part 1
 Understanding Earth, Fifth Edition
 © 2007 W.H. Freeman and Company



Une remontée adiabatique, liée à la séparation des plaques



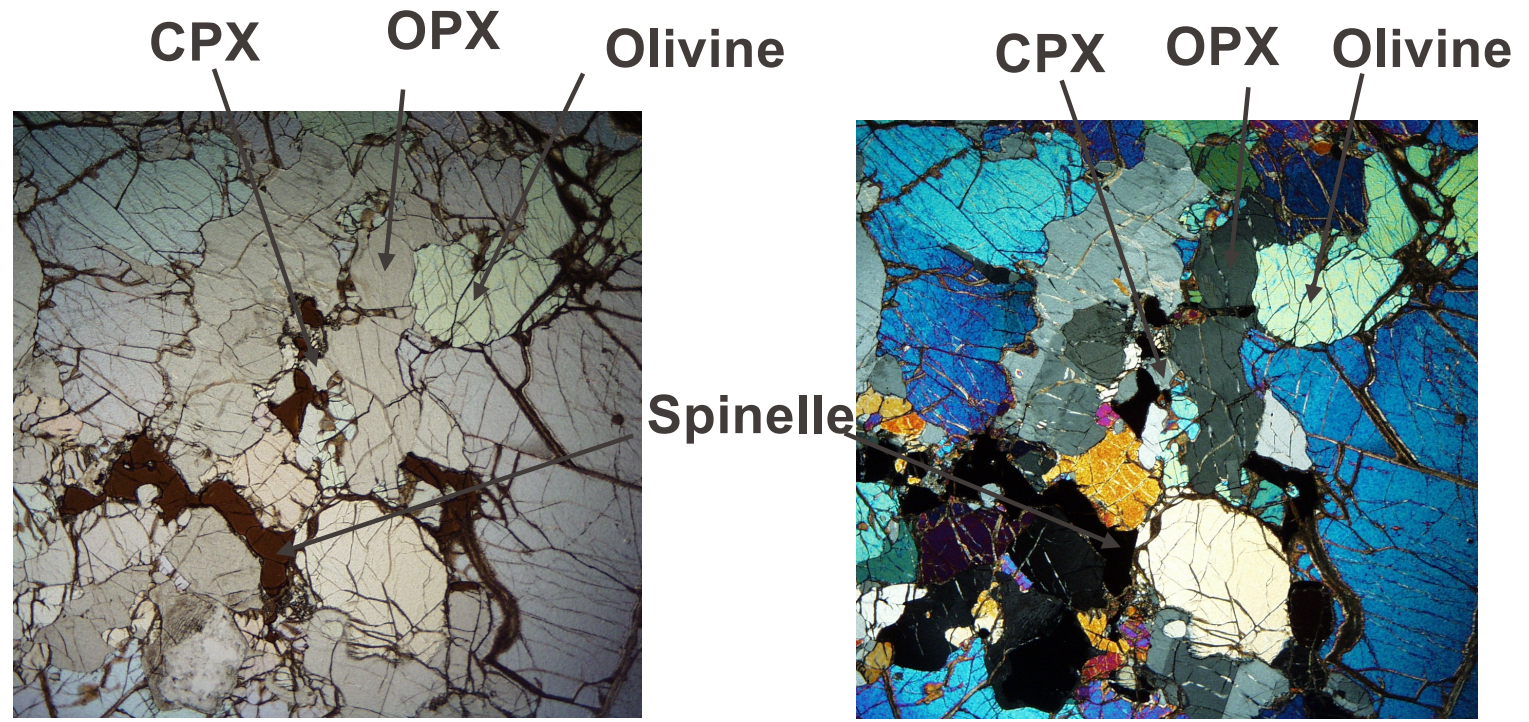
*Pourquoi la composition des
basaltes est-elle différente de
celle de leur source??*



	<i>Manteau</i>	<i>Basalt</i>
SiO ₂	44.91	50.05
TiO ₂	0.04	1.23
Al ₂ O ₃	2.38	15.47
FeO*	8.34	9.67
MnO	0.13	0.17
MgO	41.59	8.86
CaO	2.14	11.94
Na ₂ O	0.055	2.33
K ₂ O	0.006	0.15
P ₂ O ₅	---	0.12
total	99.591	100.00



Minéralogie du manteau: péridotite (olivine + clinopyroxène + orthopyroxène + phase riche en aluminium)





La raison pour laquelle la composition d'un liquide magmatique diffère de la composition de sa source est liée à la **pétrologie de phase**

Diagramme à pression atmosphérique

M = point eutectique

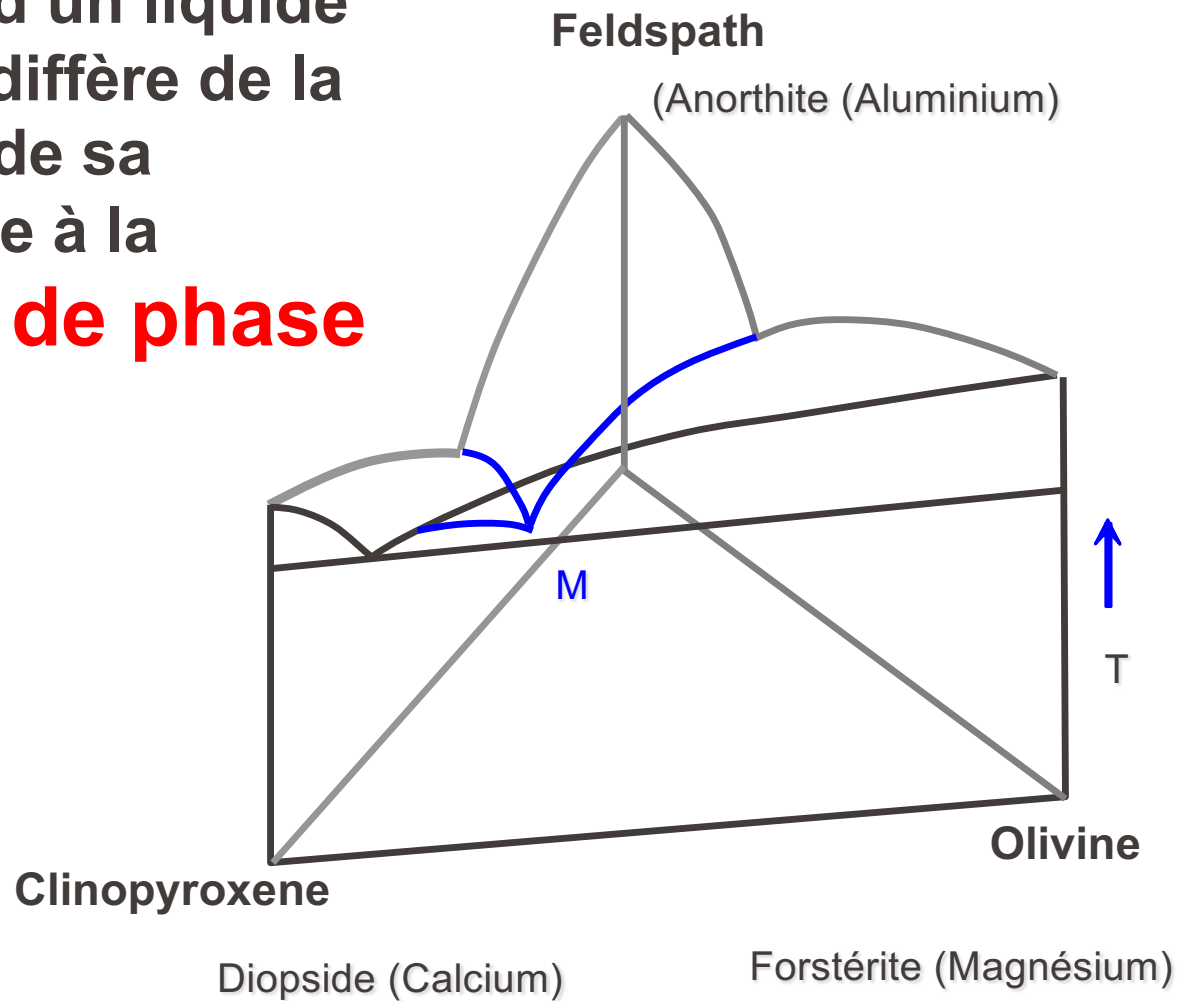


Figure modifiée de Winter

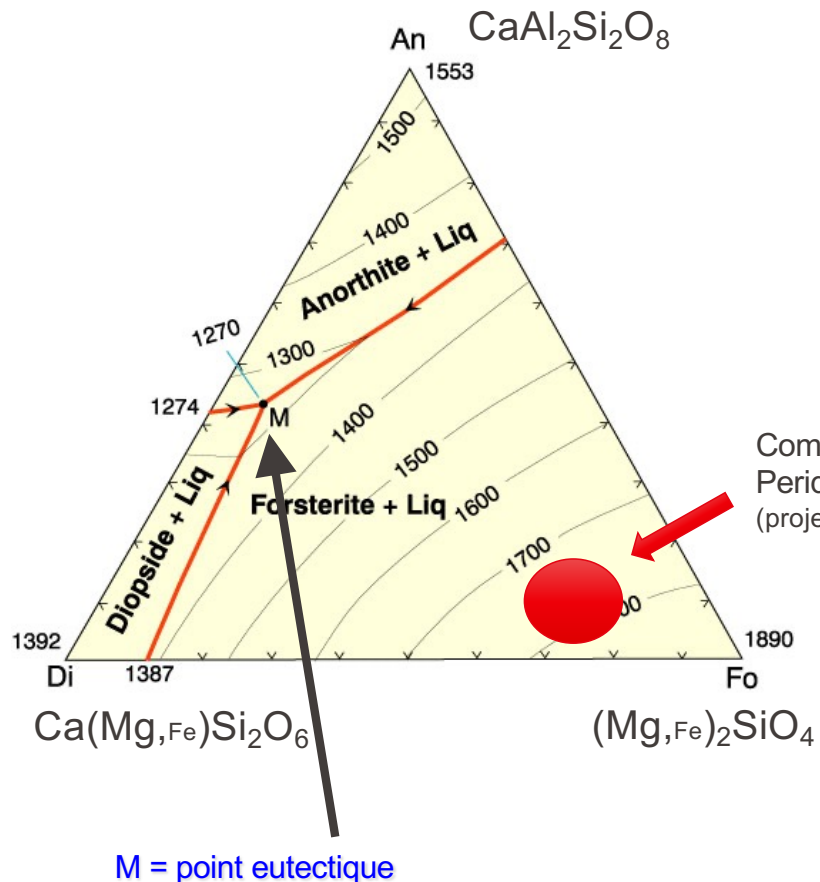
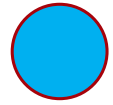


Diagramme isobarique représentant les températures de solidus et de liquidus dans le système Di-An-Fo à pression atmosphérique (0.1 MPa).

Compositions approximatives des Peridotites (projetées dans le plan Di - An - Fo)

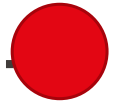
M = point eutectique

Compositions du manteau (source) différentes de la composition d'un basalt (liquide)

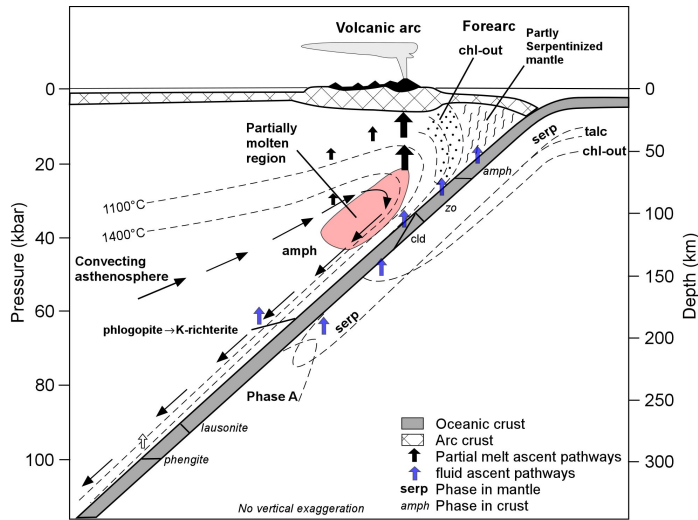
	Manteau	Basalt
SiO2	44.91	50.05
TiO2	0.04	1.23
Al2O3	2.38	15.47
FeO*	8.34	9.67
MnO	0.13	0.17
MgO	41.59	8.86
CaO	2.14	11.94
Na2O	0.055	2.33
K2O	0.006	0.15
P2O5	---	0.12
total	99.591	100.00



Former un magma basaltique dans une zone de subduction: il faut ...

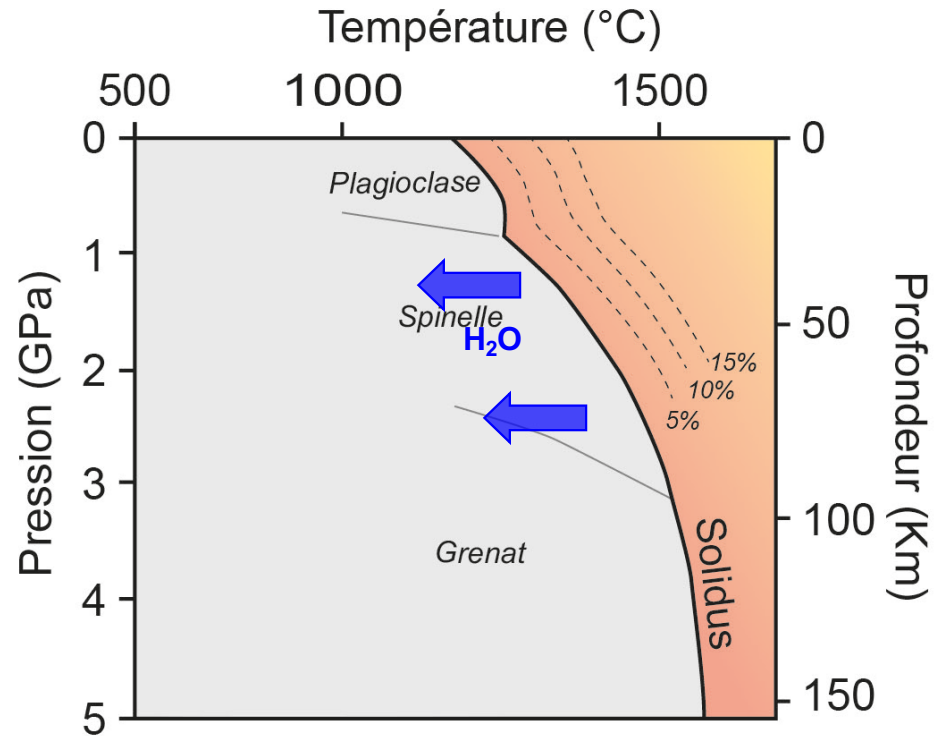


Apporter de l'eau et abaisser le point de fusion du manteau

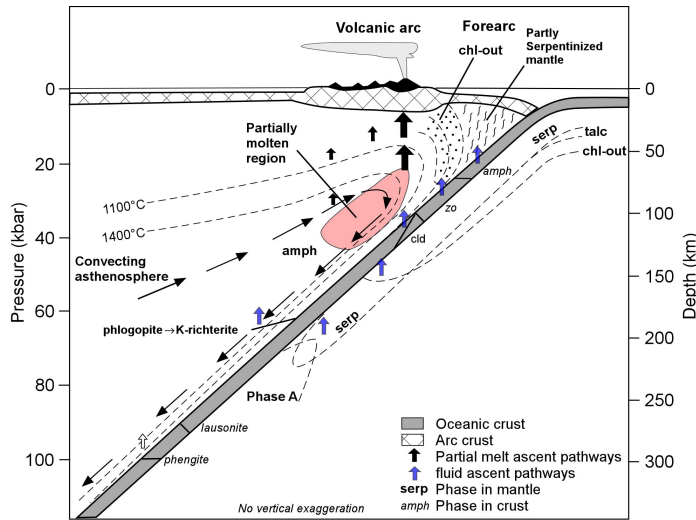
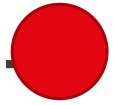


modified from R.J. Stern, 2002, Reviews of Geophysics, 40, 4.

L'apport d'eau associé à la subduction de la plaque océanique modifie la température de fusion (ou solidus) du manteau sur-jacent



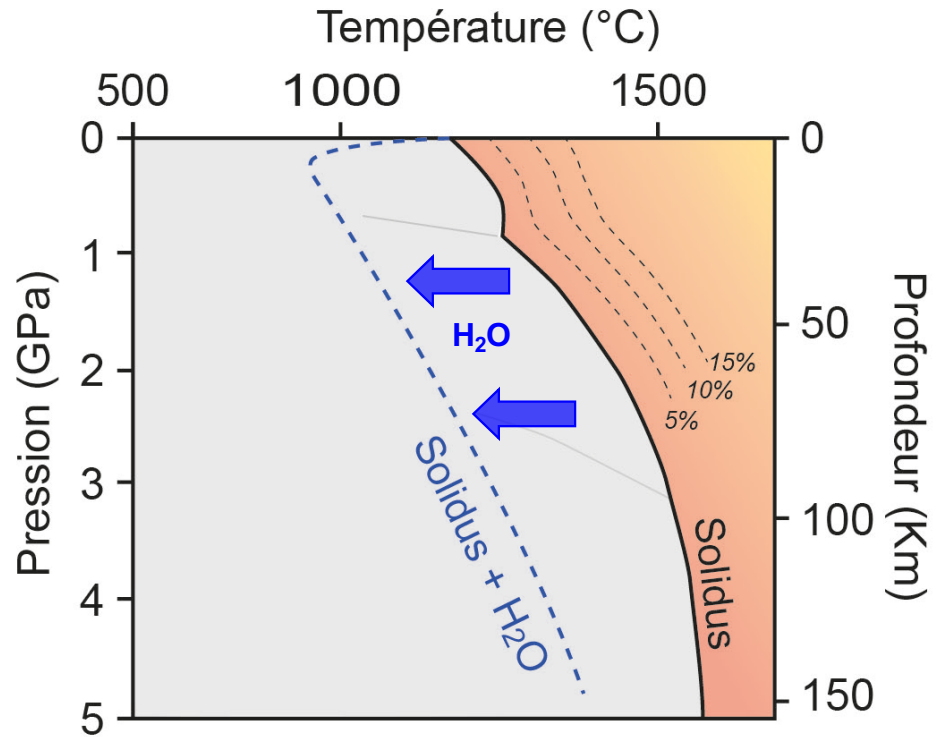
Former un magma basaltique dans une zone de subduction: il faut ...

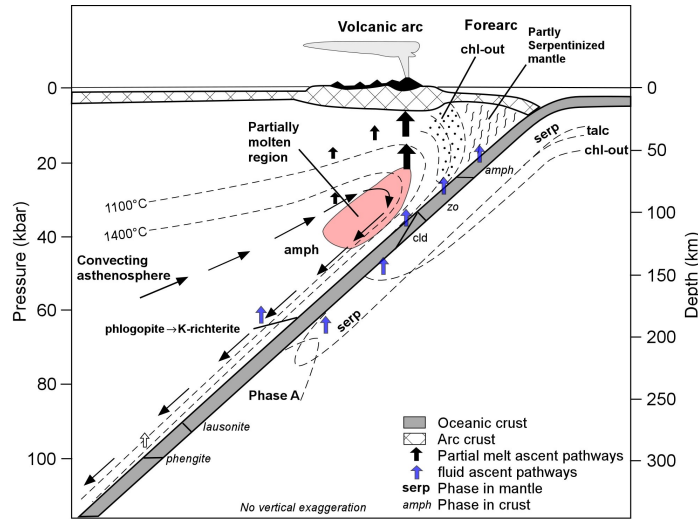


modified from R.J. Stern, 2002, *Reviews of Geophysics*, 40, 4.

L'apport d'eau associé à la subduction de la plaque océanique modifie la température de fusion (ou solidus) du manteau sur-jacent

Apporter de l'eau et abaisser le point de fusion du manteau

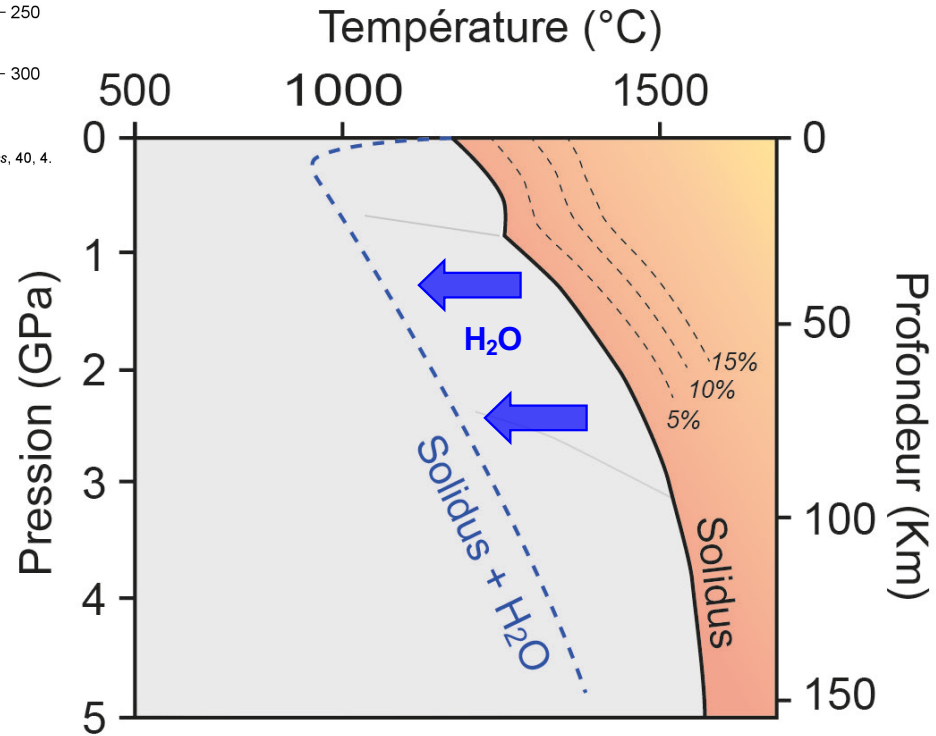


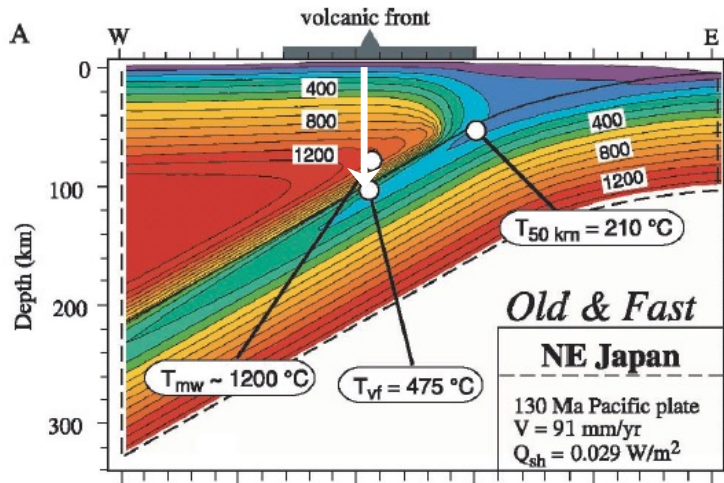


modified from R.J. Stern, 2002, *Reviews of Geophysics*, 40, 4.

Processus relatif à la genèse des magmas d'arcs

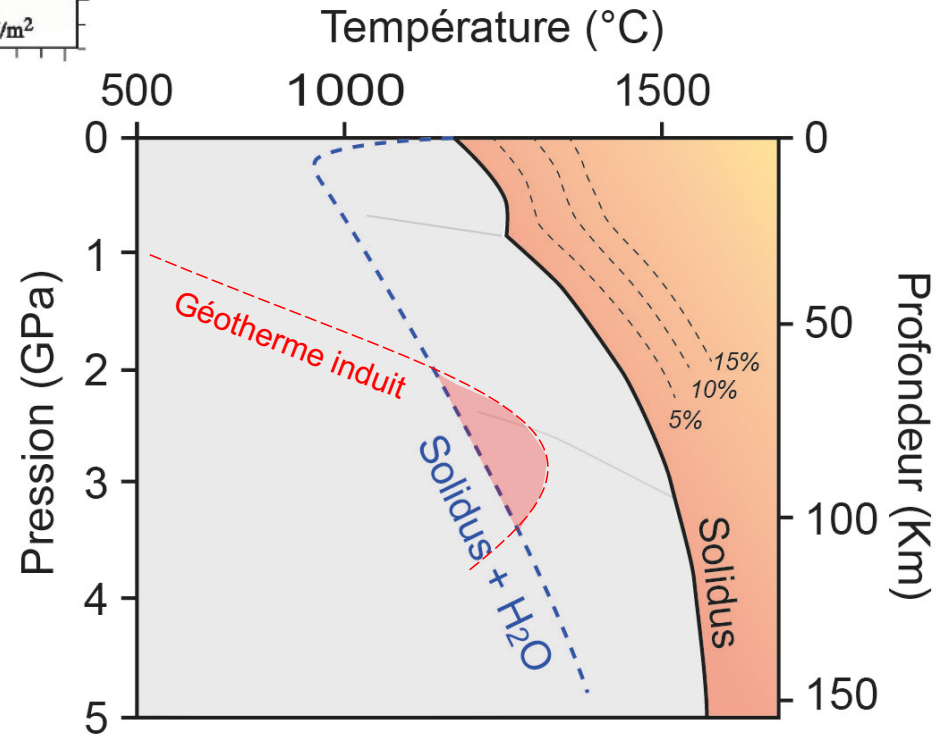
L'apport d'eau associé à la subduction de la plaque océanique 'froide' modifie la température de fusion (ou solidus) du manteau sur-jacent

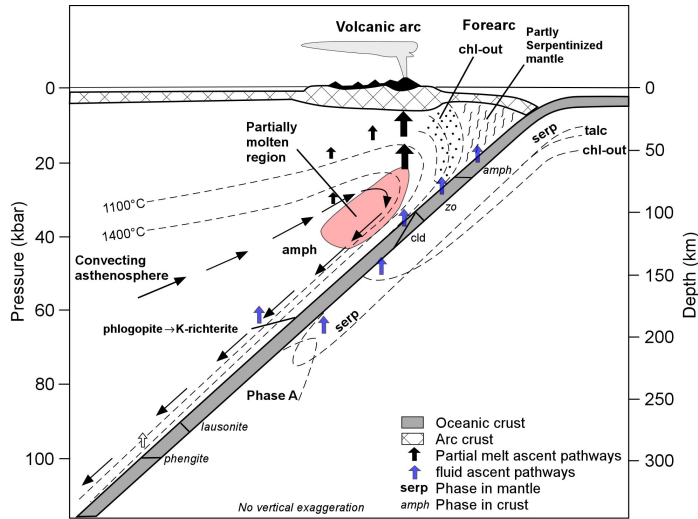




Processus relatif à la genèse des magmas d'arcs

L'apport d'eau associé à la subduction de la plaque océanique 'froide' modifie la température de fusion (ou solidus) du manteau sur-jacent

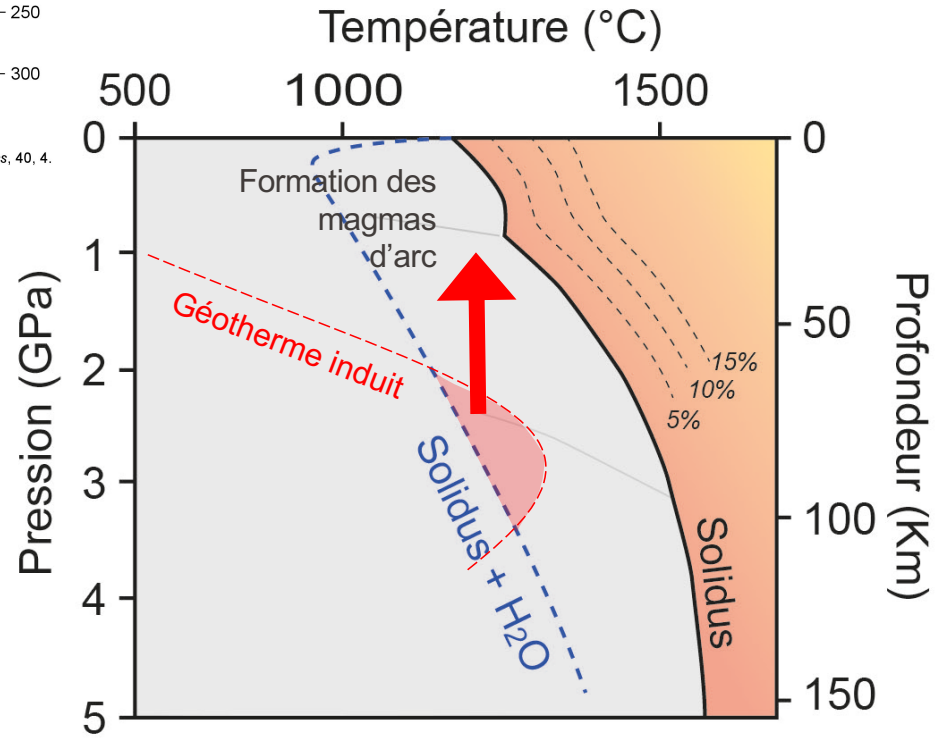




modified from R.J. Stern, 2002, *Reviews of Geophysics*, 40, 4.

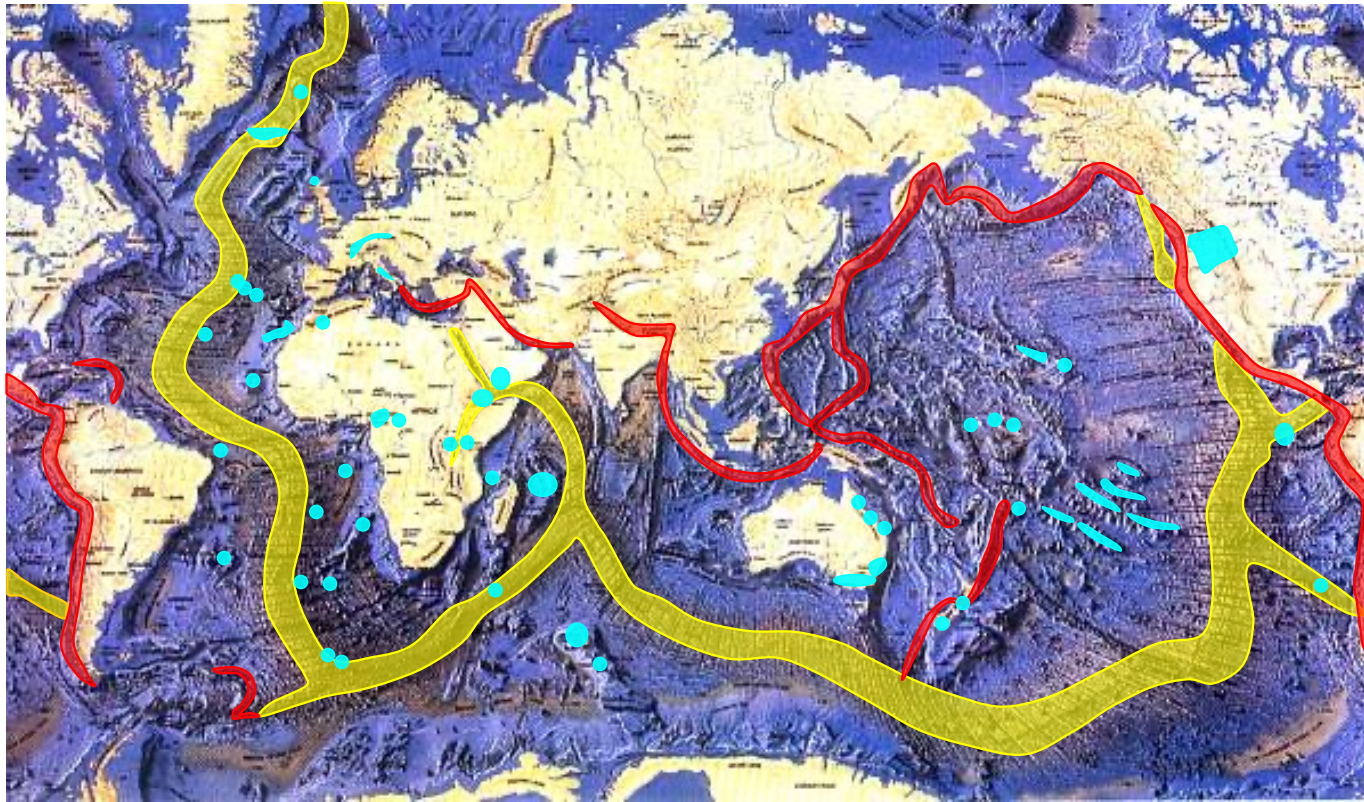
Processus relatif à la genèse des magmas d'arcs

L'apport d'eau associé à la subduction de la plaque océanique 'froide' modifie la température de fusion (ou solidus) du manteau sur-jacent





Les magmas sont produits :

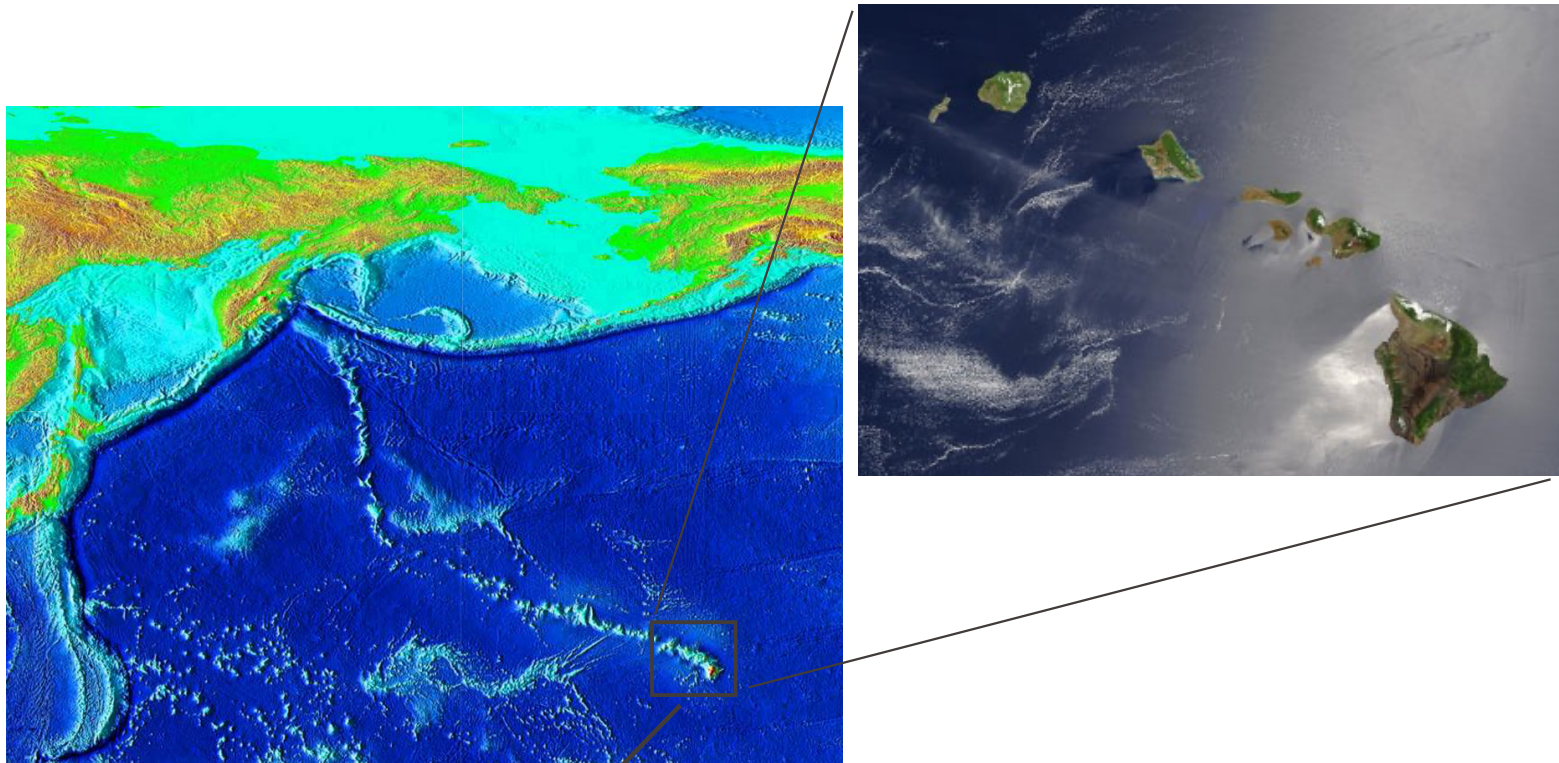


- 1) Au niveau des rides médio-océaniques (formation de la croûte océanique)
- 2) Au niveau des zones de subduction (recyclage de la croûte océanique)
- 3) Dans quelques localités intraplaques



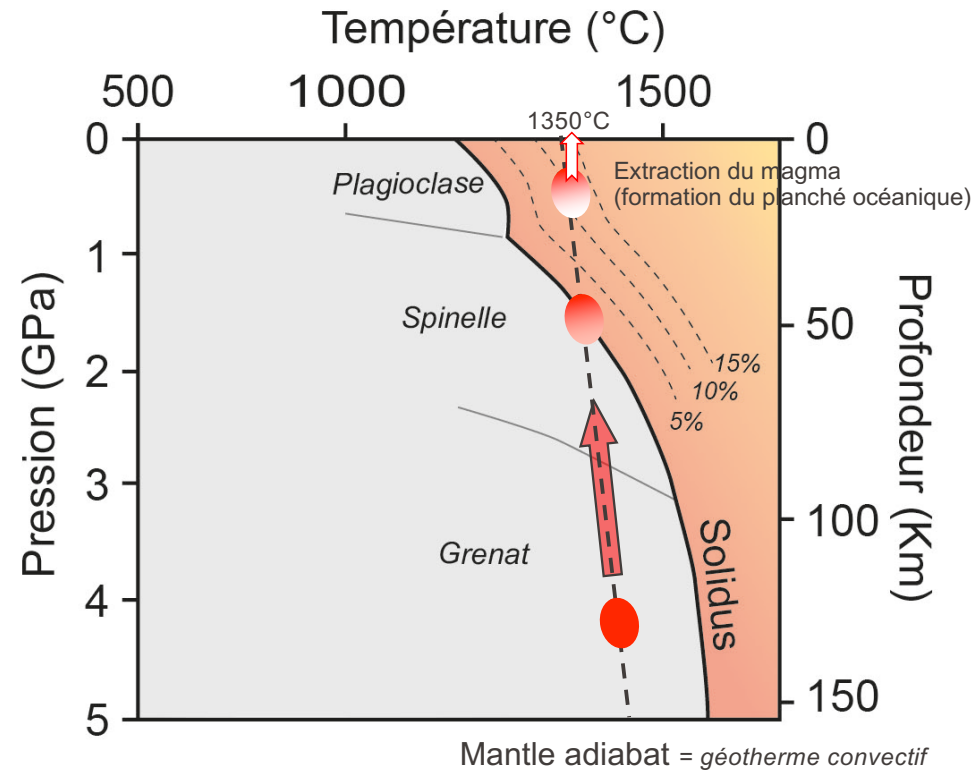
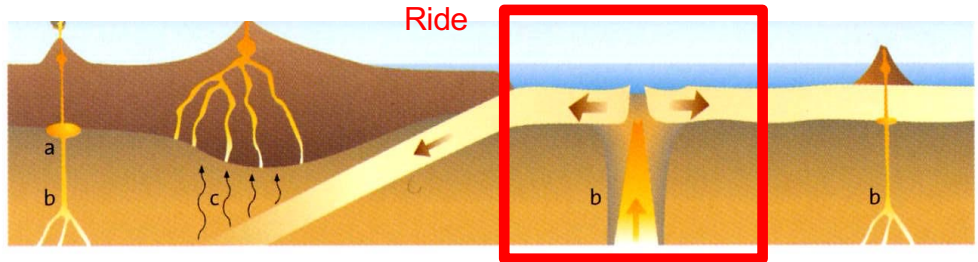


Exemple typique de volcanisme intraplaque: Les îles d'Hawaii



Hawaii

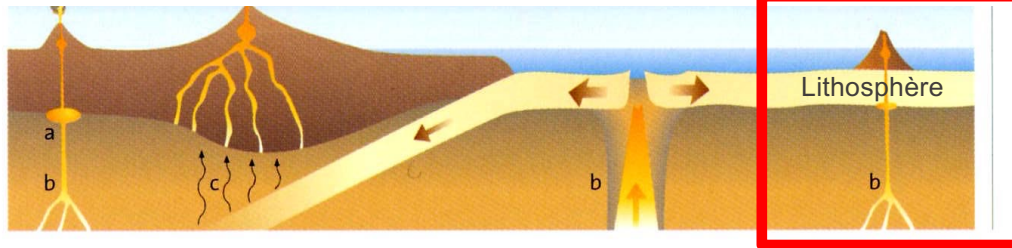
Pour former un magma basaltique intraplaque: il faut....



Une remontée
adiabatique

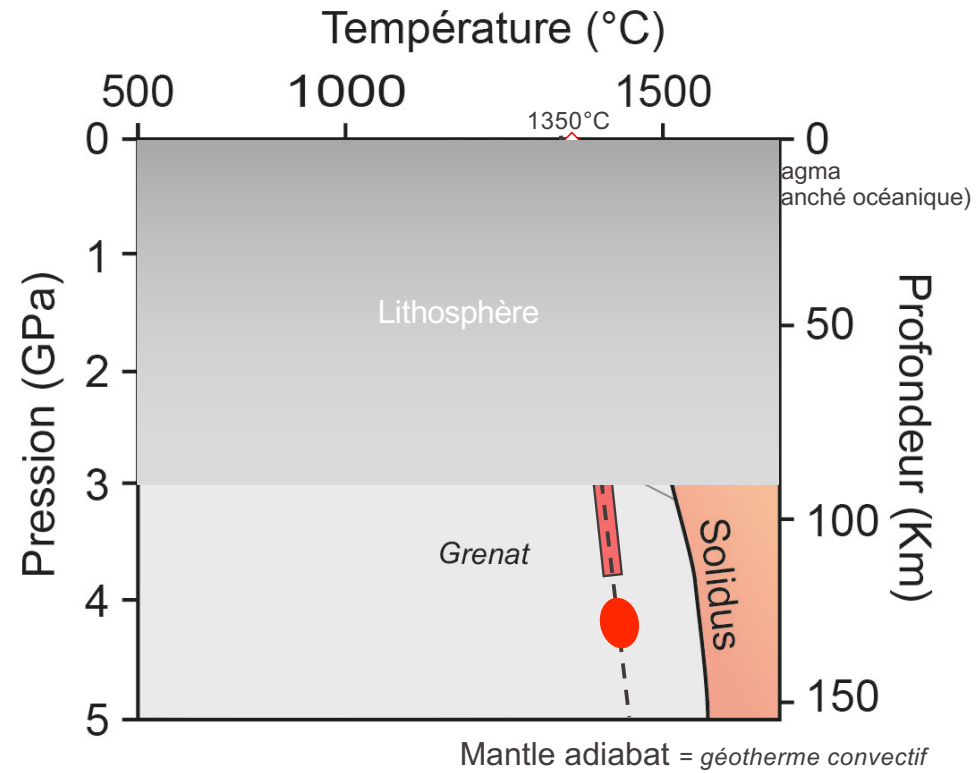


Pour former un magma basaltique intraplaque: il faut....

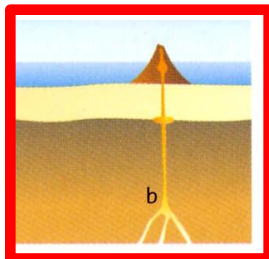


Contexte intra-plaque

*Une remontée
adiabatique*

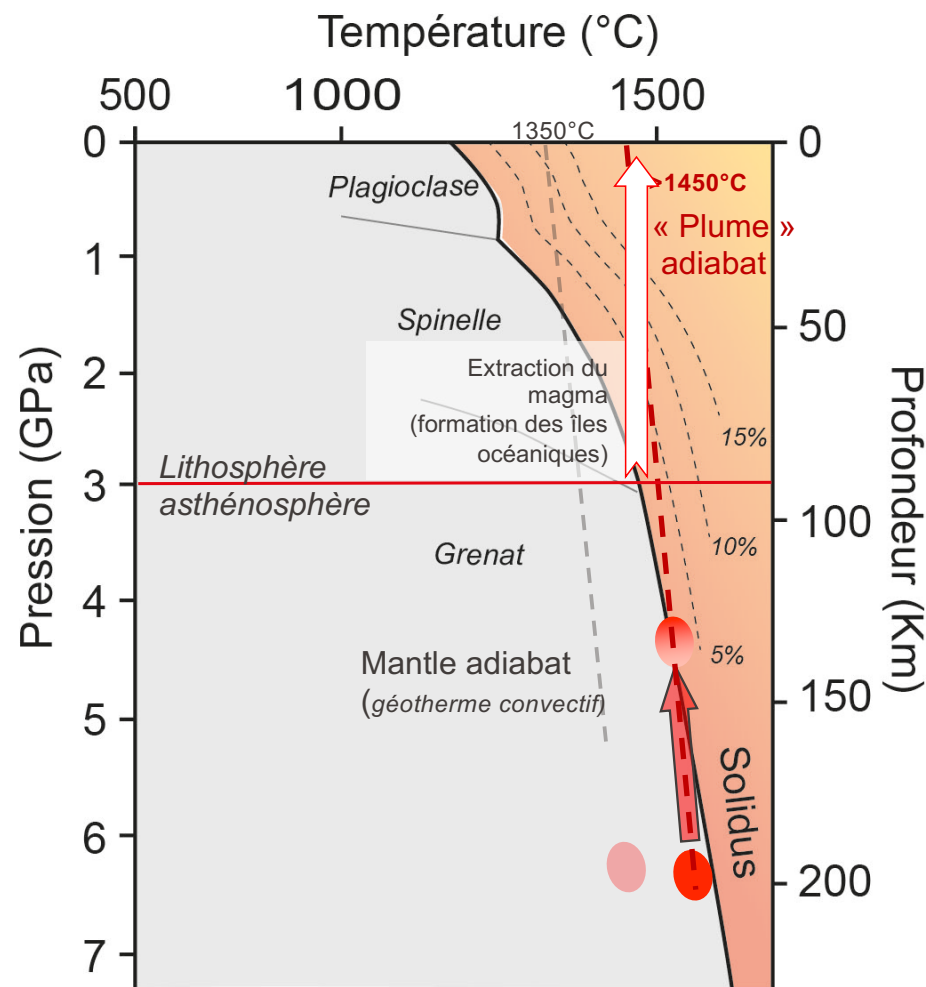


Pour former un magma basaltique intraplaque: il faut....



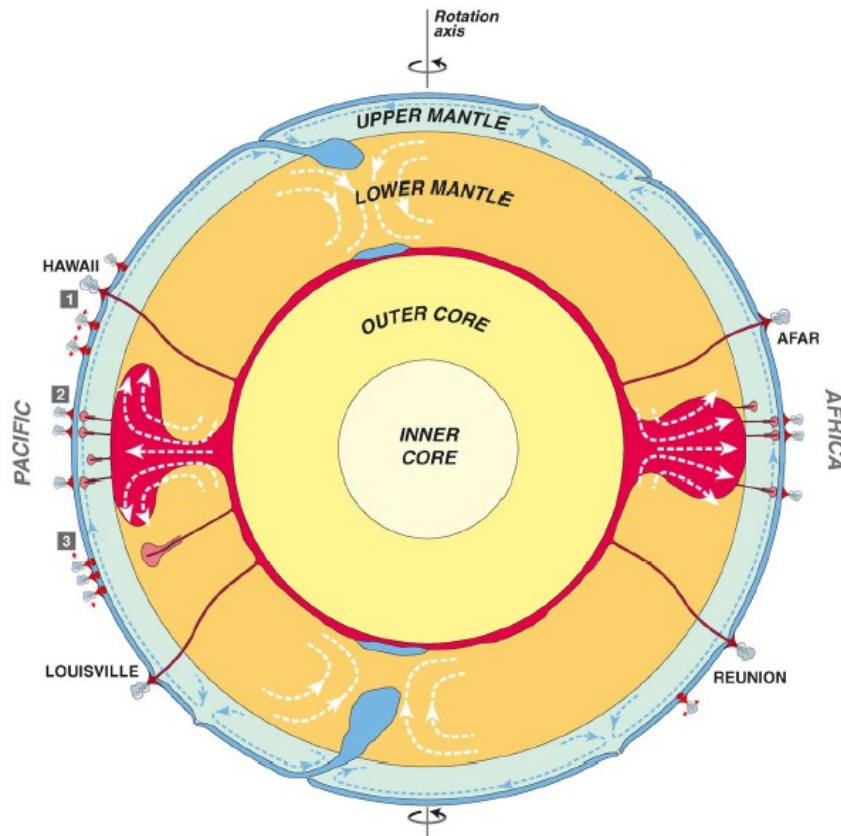
Contexte intra-plaque

Une remontée adiabatique d'une source profonde et plus chaude

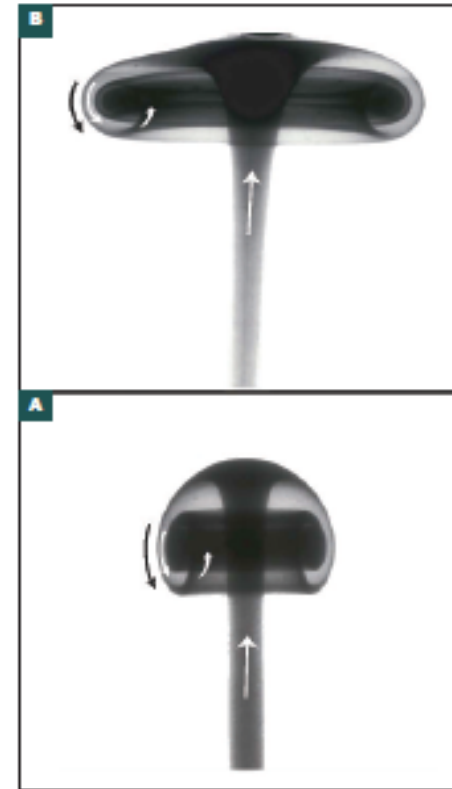




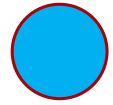
Existence de points chauds (“plumes” ou “hot spots”)



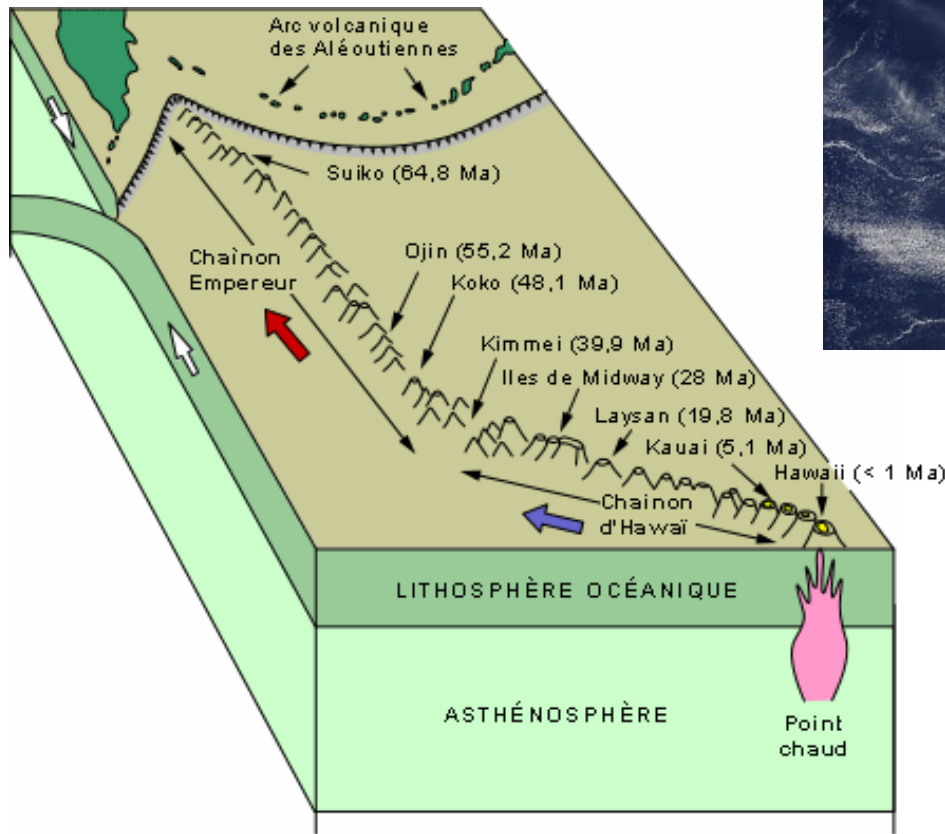
Courtillot et al. (2003) EPSL



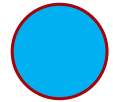
Expérience de laboratoire simulant une remontée de fluide chaud au sein d'un fluide visqueux plus froid (I.H. Campbell, 2003, Elements 1, 265-269.)



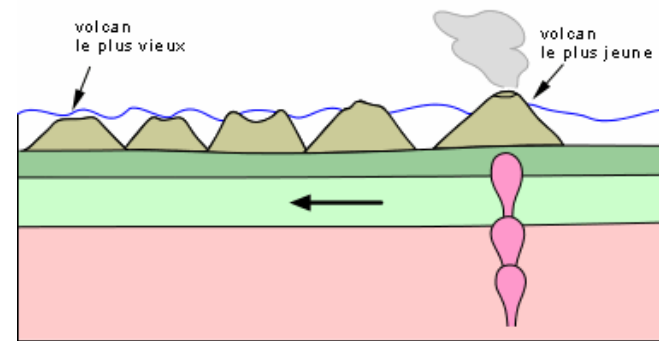
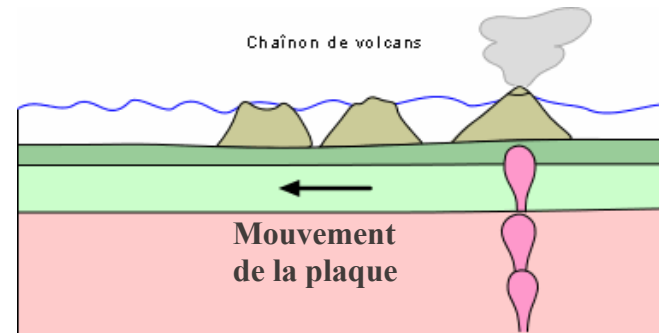
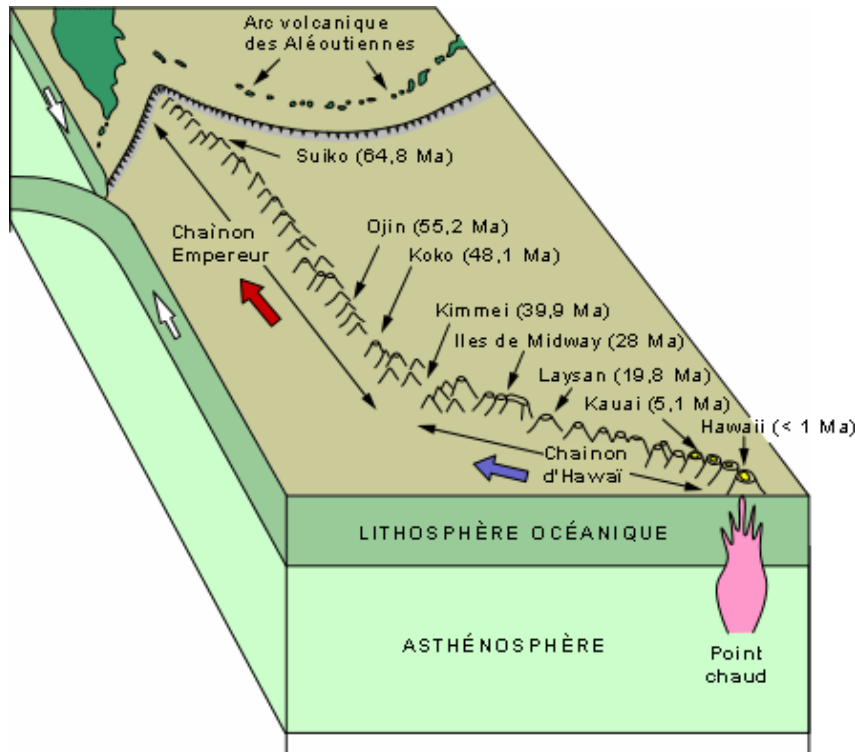
Formation d'une suite d'îles océaniques liée au mouvement des plaques tectoniques en dessus d'un point chaud fixe: L'exemple d'Hawaii



Îles d'Hawaii

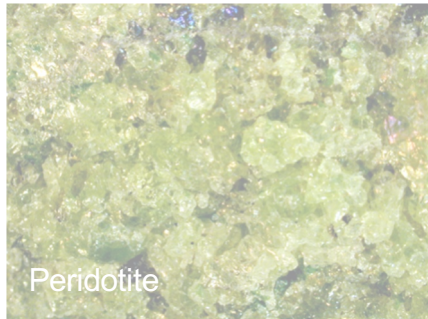


Formation d'une suite d'îles océaniques liée au mouvement des plaques tectoniques en dessus d'un point chaud fixe: L'exemple d'Hawaï



Point chaud "fixe"

Ces différentes roches sont liées à différents mécanismes



❑ *Fusion partielle*

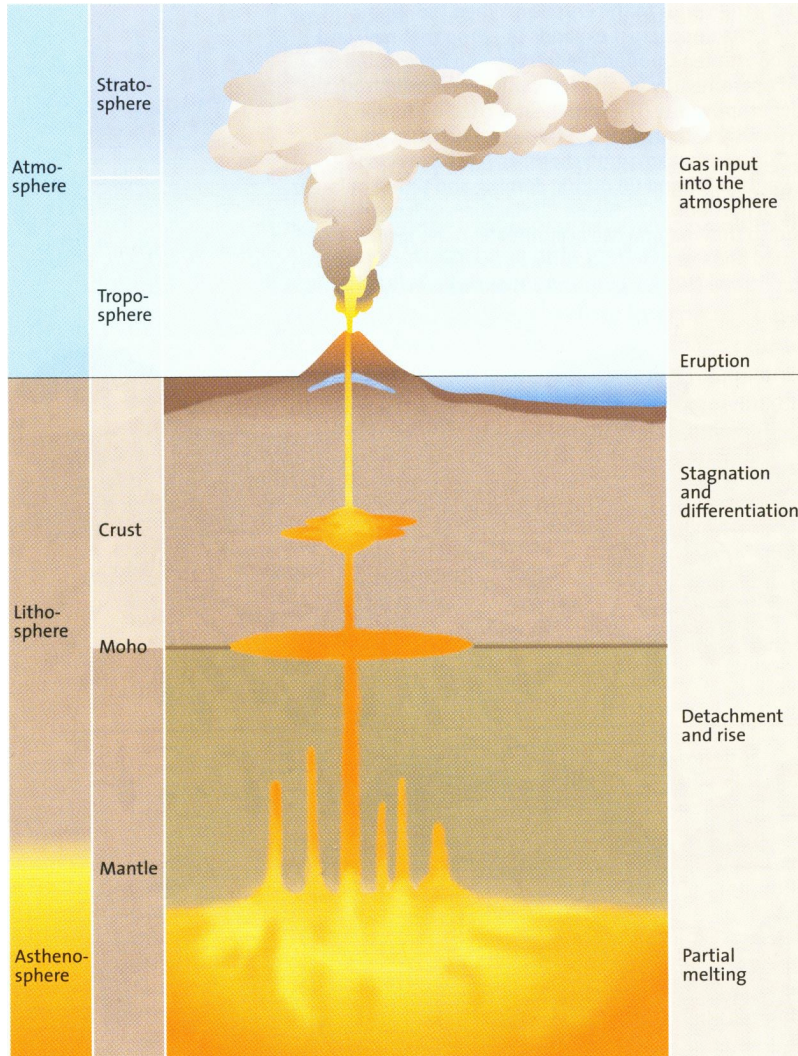
Ce mécanisme permet la formation d'un liquide magmatique à partir de la fusion du manteau terrestre peridotitique



❑ *Différentiation magmatique*

Ce mécanisme permet l'évolution de la composition du magma par la cristallisation et le fractionnement de différents minéraux au cours du **refroidissement** du magma en profondeur





Mécanisme d'éruption

Réservoir magmatique:
processus de
différentiation

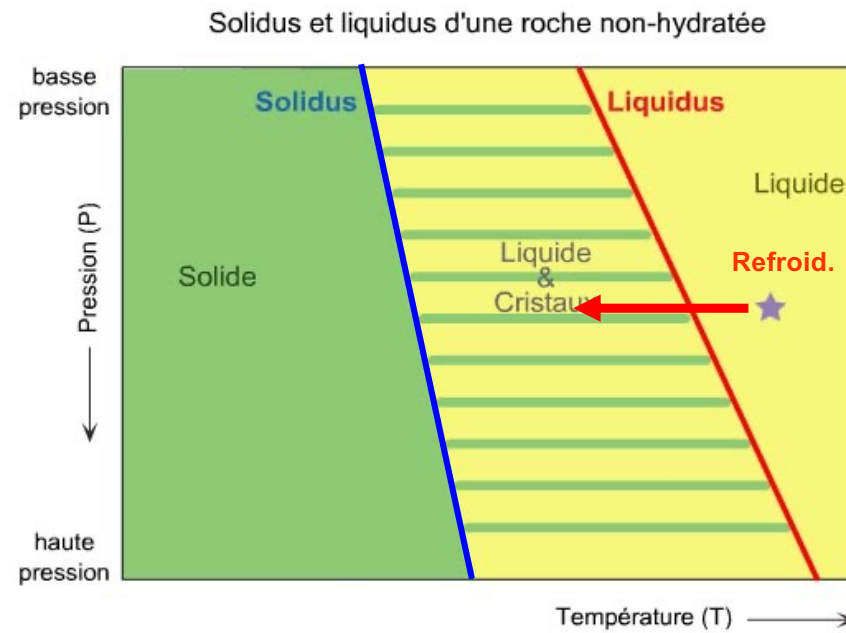
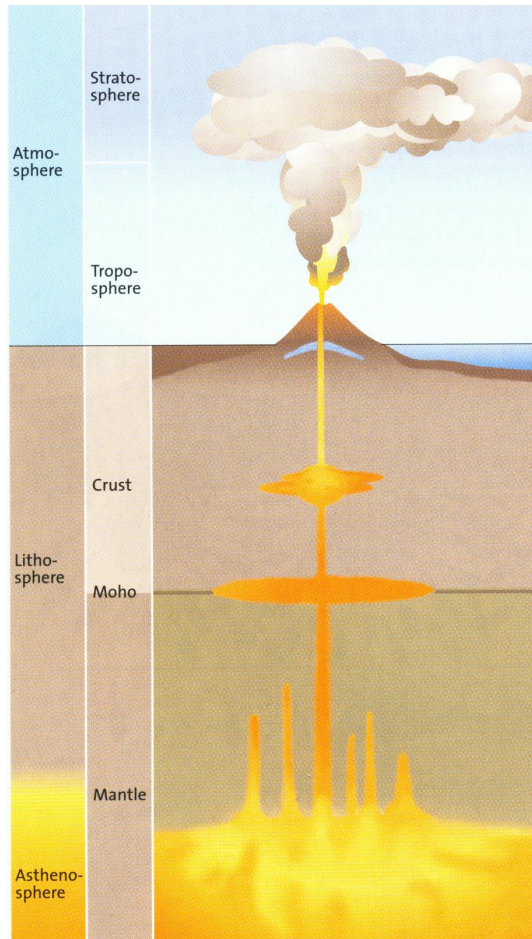
Fusion partielle du manteau

(Figure tirée du livre: Schmincke (2004) Volcanism)





Le mécanisme de différenciation

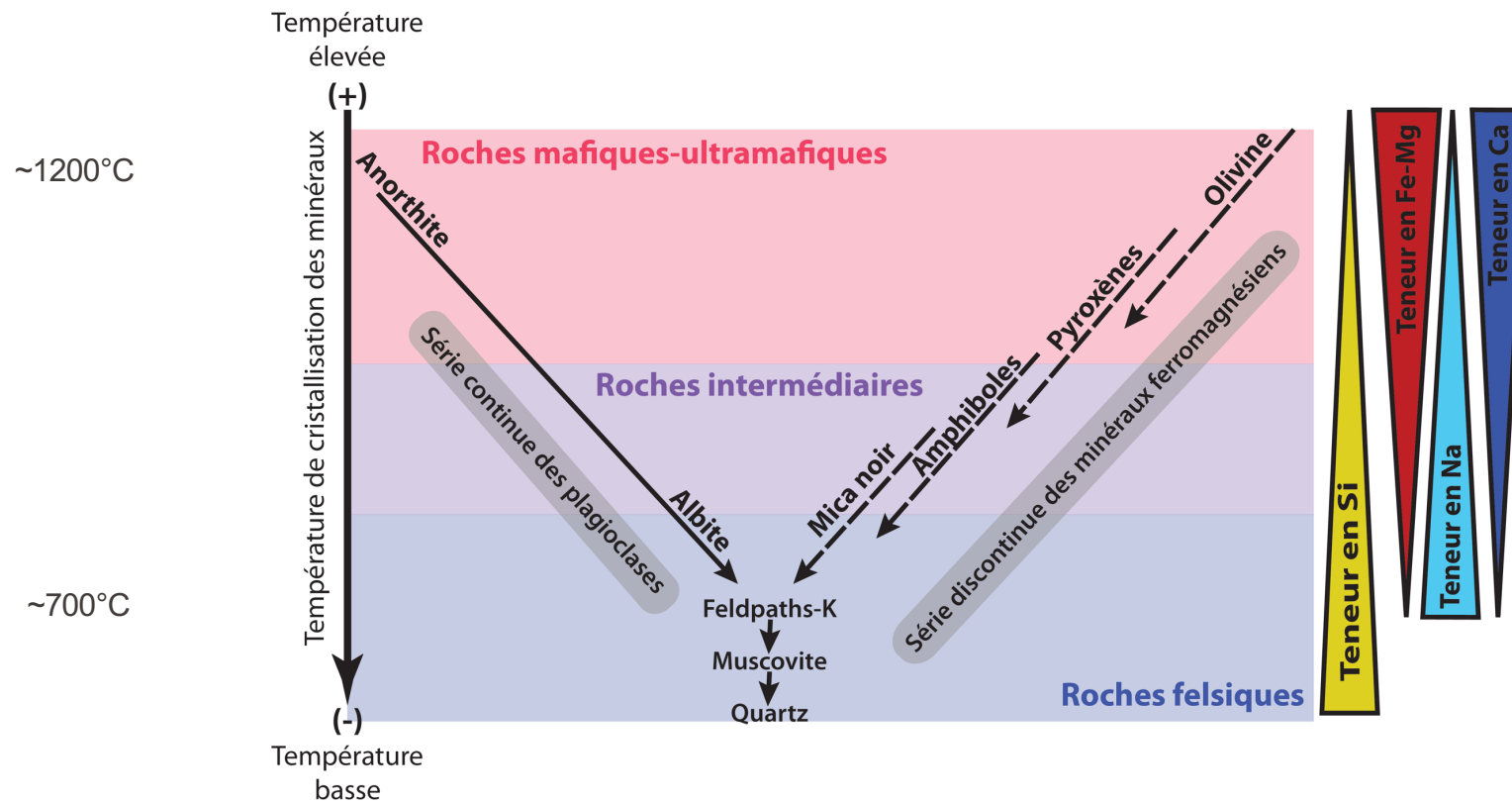


(Figure tirée du livre: Schmincke (2004) Volcanism)

Associations minérales et roches ignées



Les associations de minéraux observées dans les roches ignées sont contrôlées par la température de cristallisation des différents minéraux et par le mécanisme de cristallisation fractionnée qui modifie la composition des liquides magmatiques

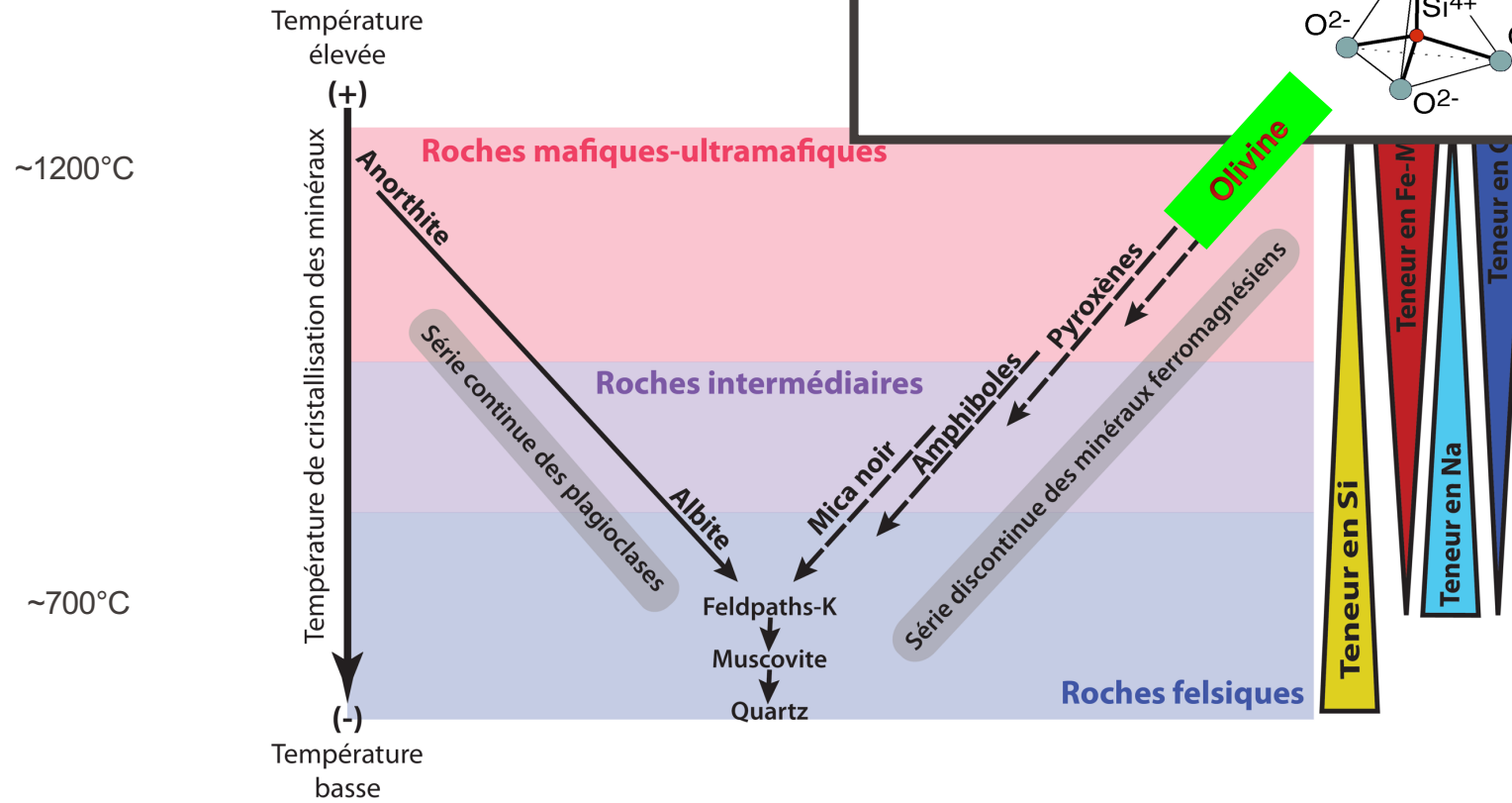
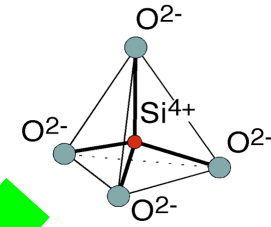


Associations minérale

Les associations de minéraux observées dans les roches ignées sont le résultat de la séquence de cristallisation des différents minéraux et par le mécanisme de fractionnement de la composition des liquides magmatiques



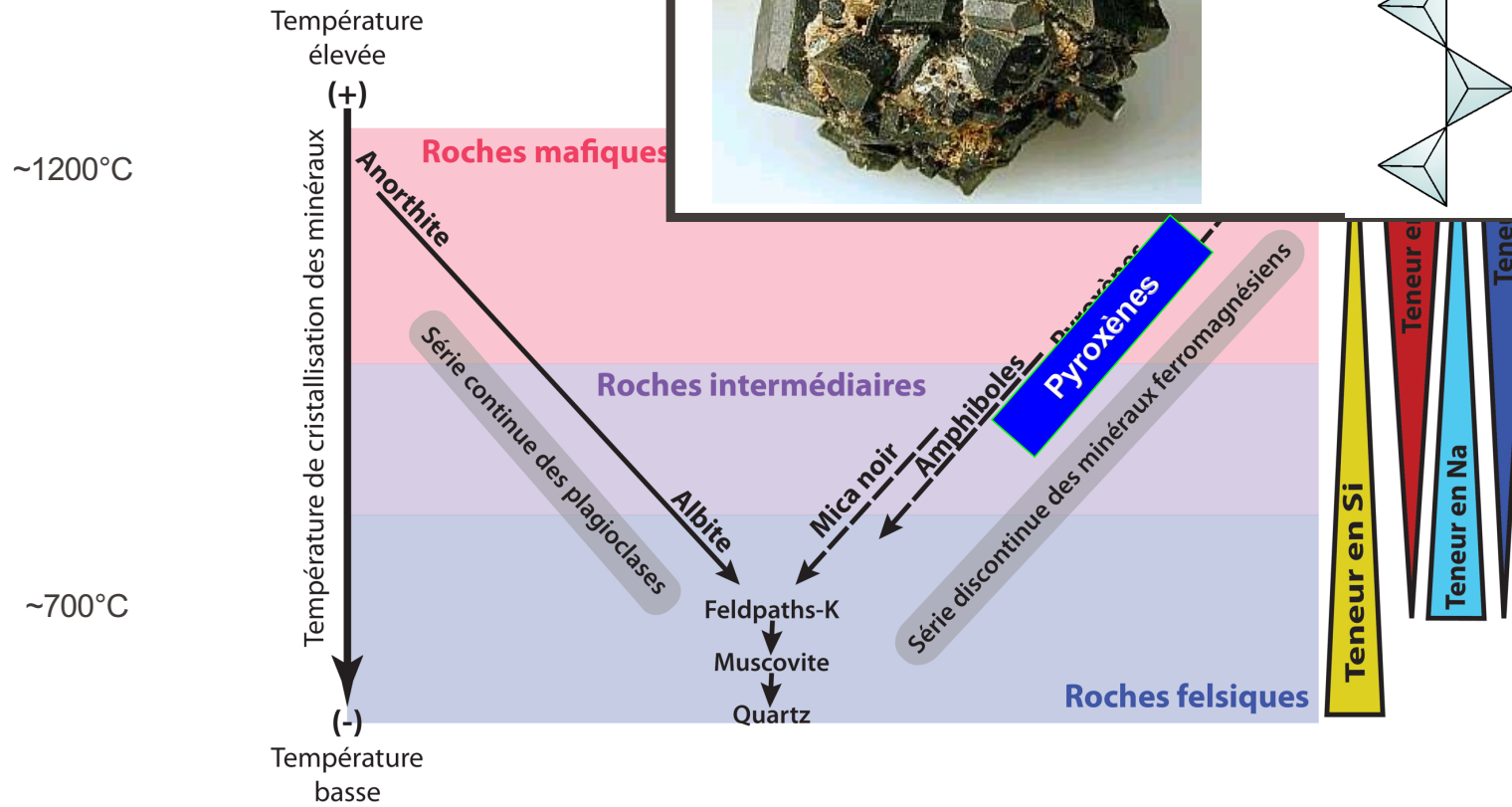
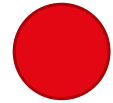
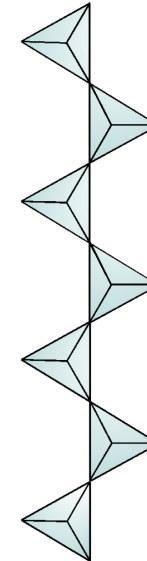
Olivine:
nésosilicates



Associations mi

Les associations de minéraux observées dans la cristallisation des différents minéraux et par la composition des liquides magmatiques

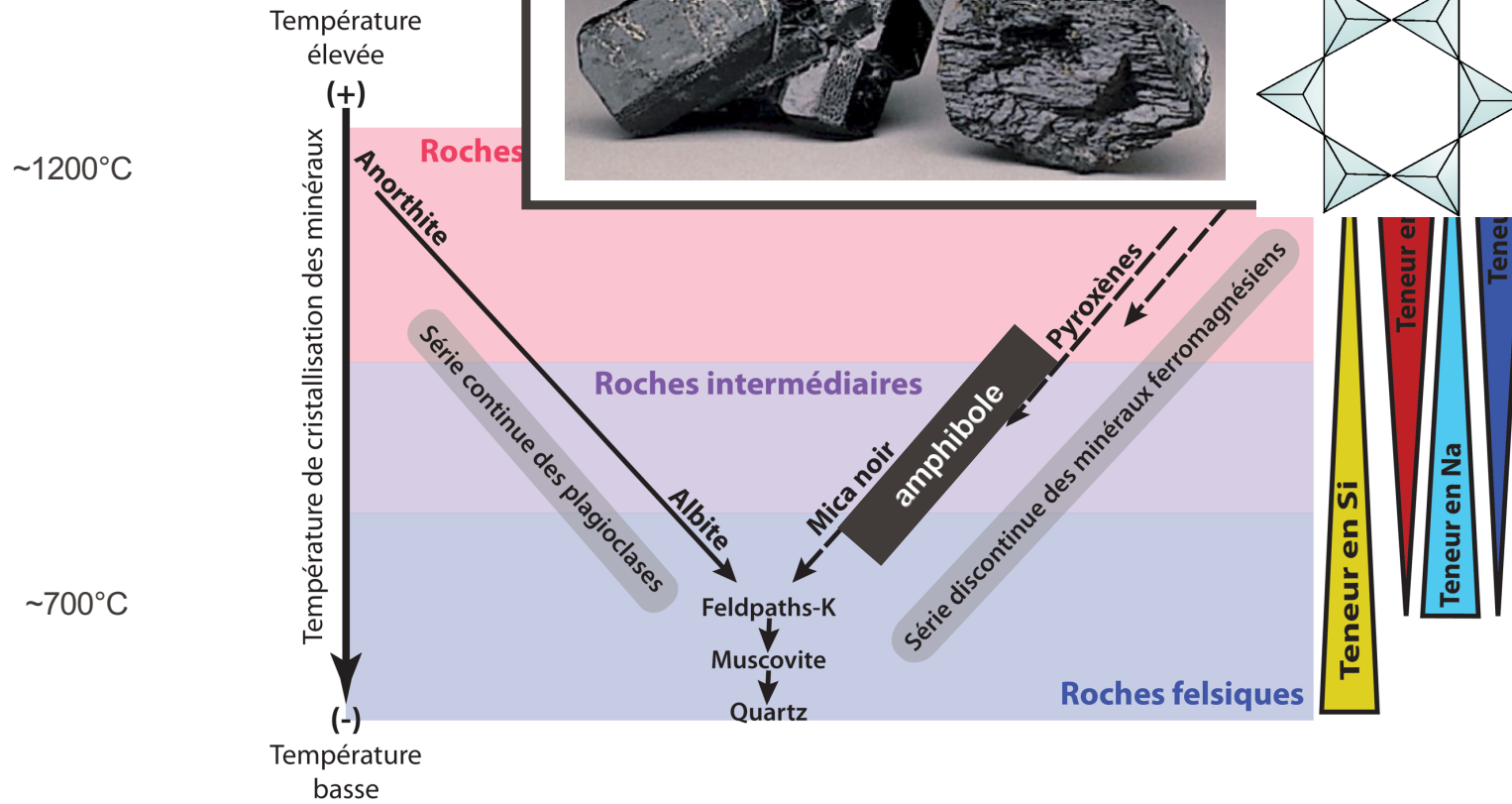
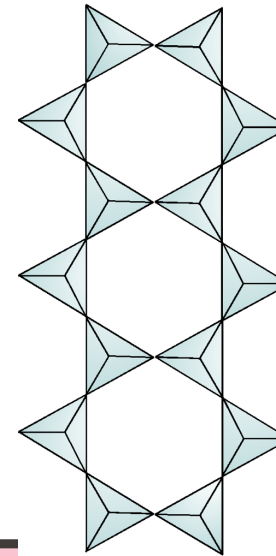
Les pyroxènes : inosilicates en chaîne simple



Association

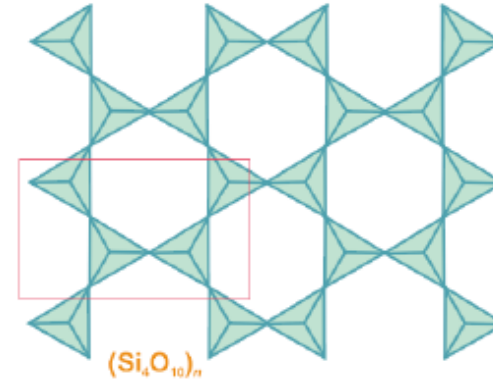
Les associations de minéraux observées lors de la cristallisation des différents minéraux dépendent de la composition des liquides magmatiques.

Hornblende - amphibole : inosilicate en chaîne double

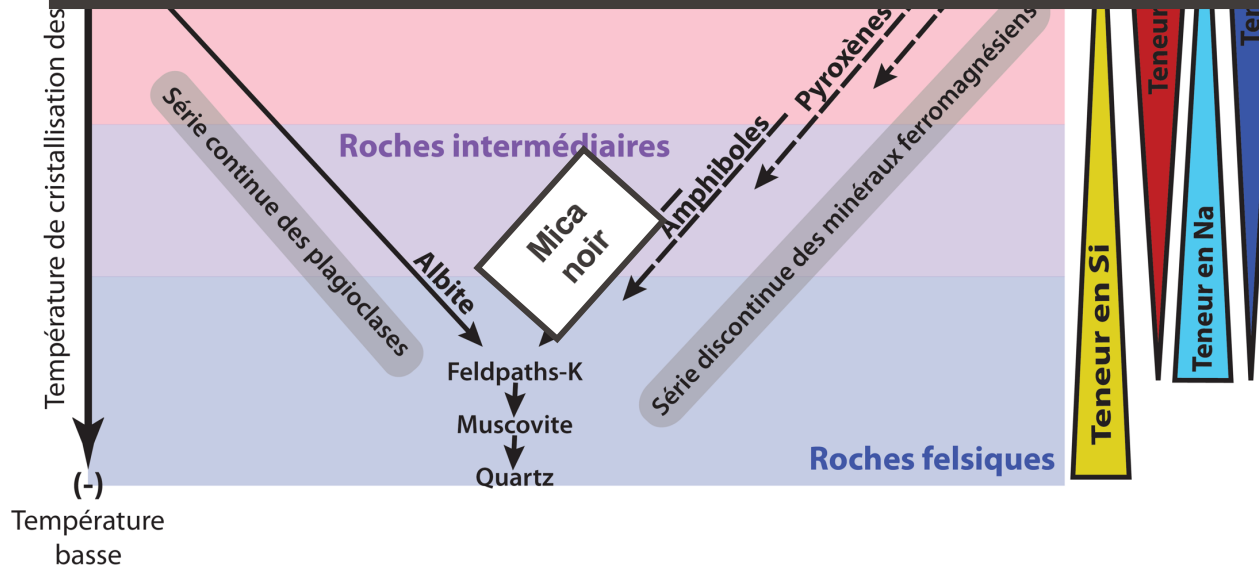


Association de Biotite (mica noir) : Phyllosilicates

Les associations de minéraux dépendent de la température de cristallisation des différents minéraux et de la composition des liquides résiduels.



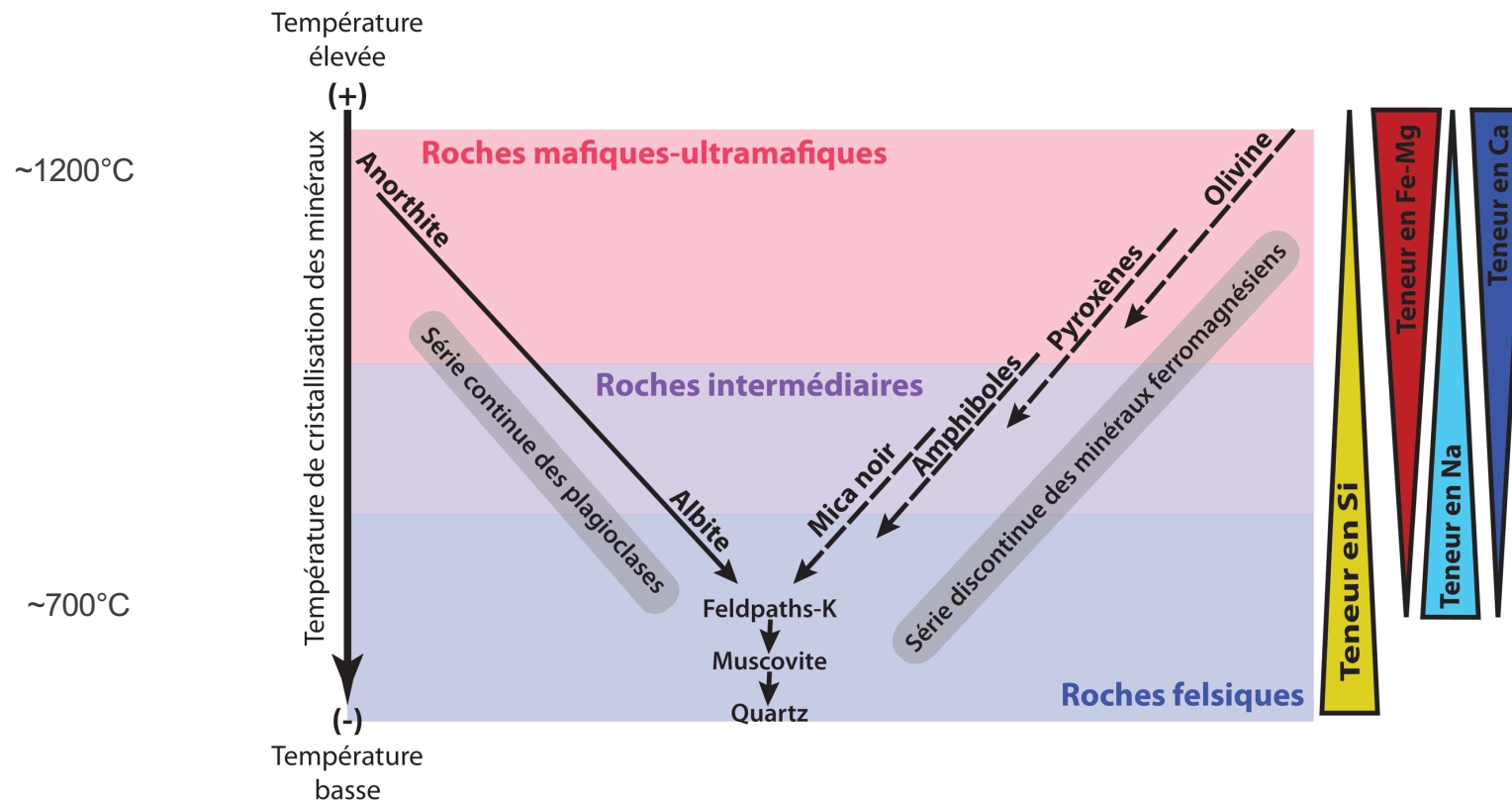
~1200°C



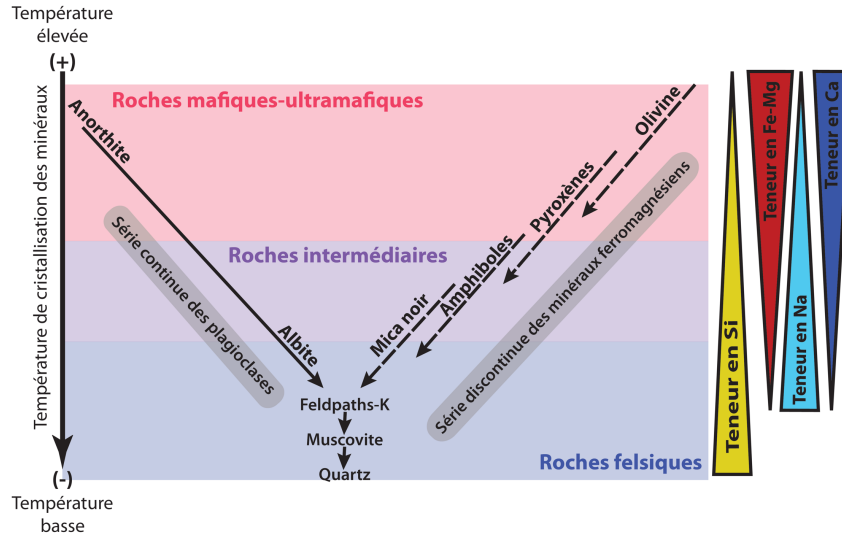
Associations minérales et roches ignées



Les associations de minéraux observées dans les roches ignées sont contrôlées par la température de cristallisation des différents minéraux et par le mécanisme de cristallisation fractionnée qui modifie la composition des liquides magmatiques

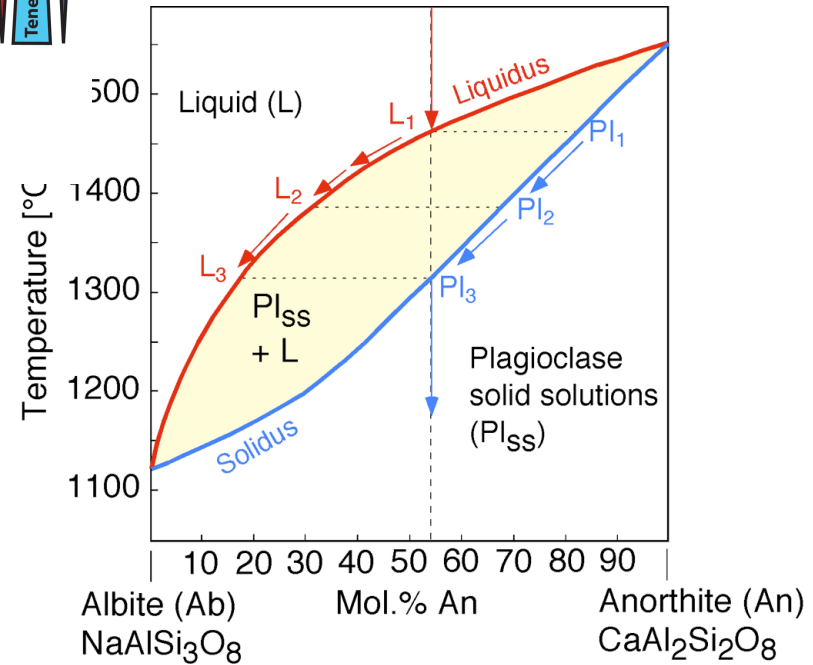


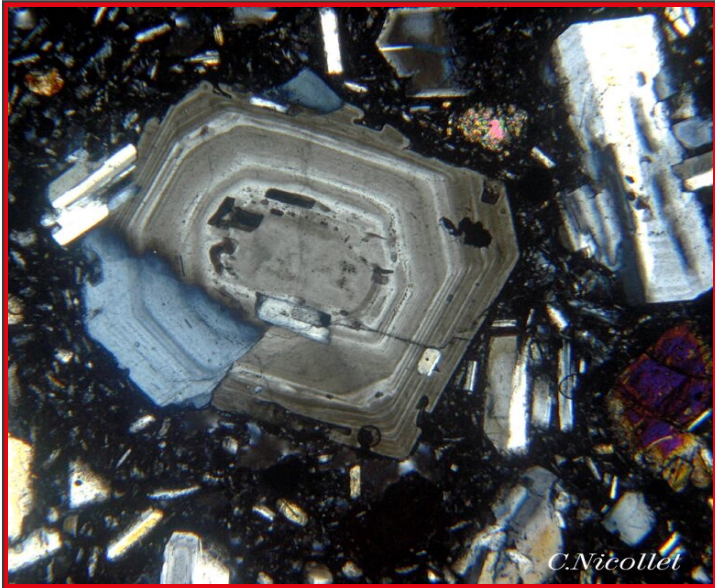
Associations minérales et roches ignées



La série continue

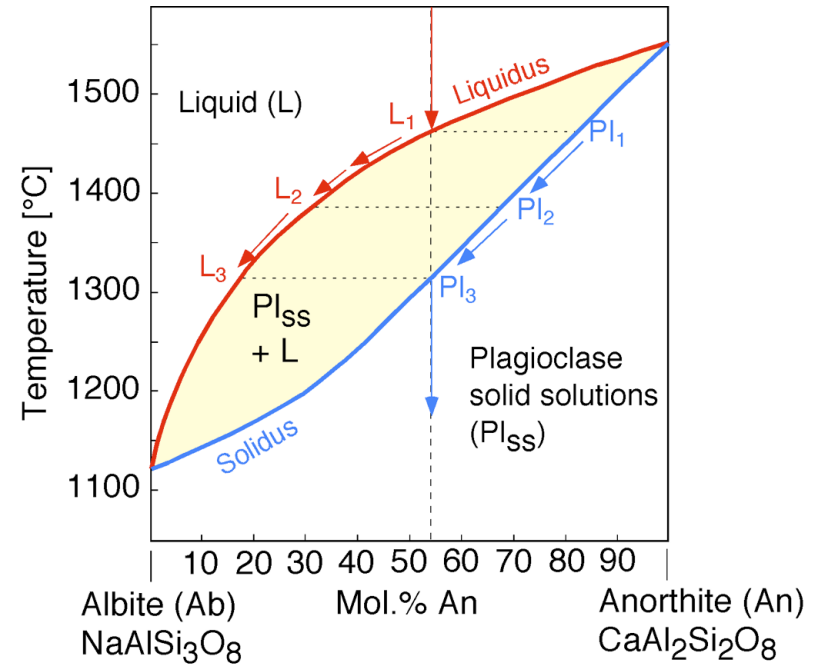
(Plagioclases – feldspaths alcalins – quartz – feldspathoïdes)





La série continue

(Plagioclases – feldspaths alcalins – quartz
– feldspathoïdes)



Composition minérale (modale) des roches magmatiques



Felsic = Feldspar-Silica

Mafic = Magnesium-Ferric

Composition	FELSIC	INTERMEDIATE	MAFIC	ULTRAMAFIC
Intrusive rock types	Granite	Granodiorite Diorite	Gabbro	Peridotite
Extrusive rock types	Rhyolite	Dacite Andesite	Basalt	

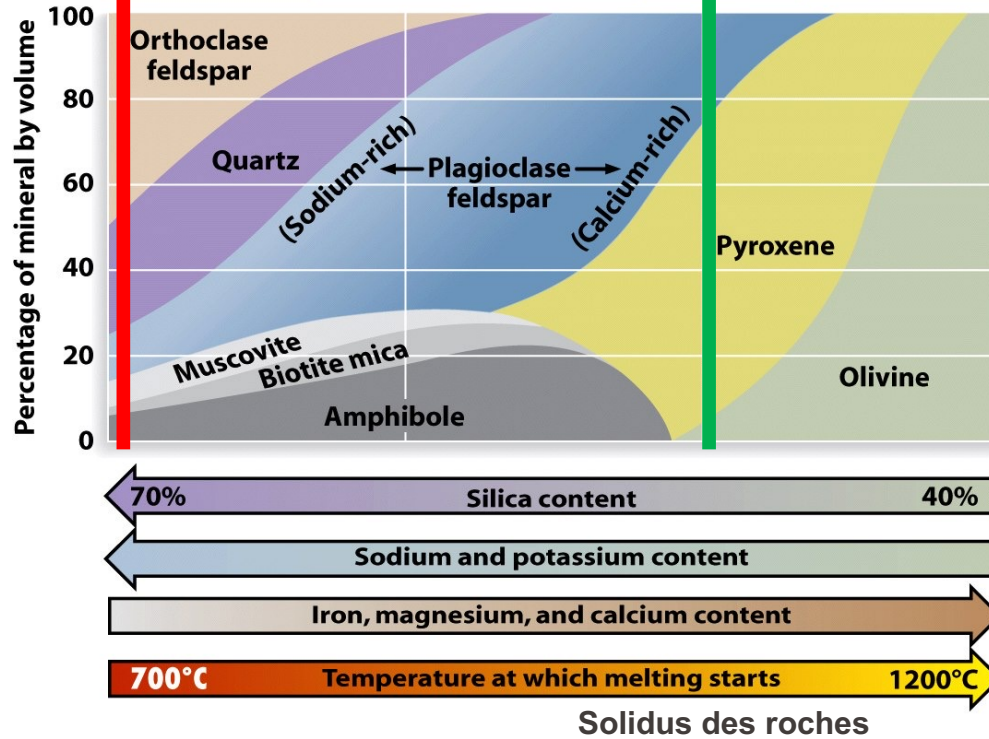
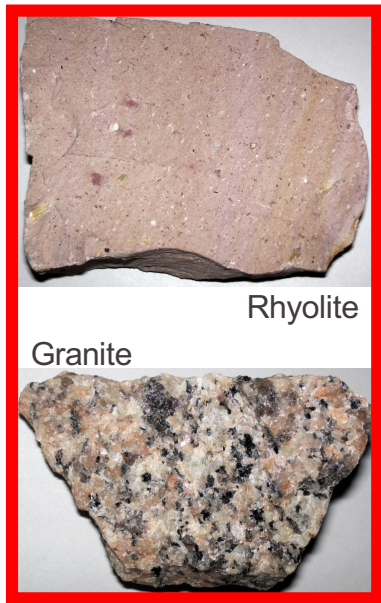
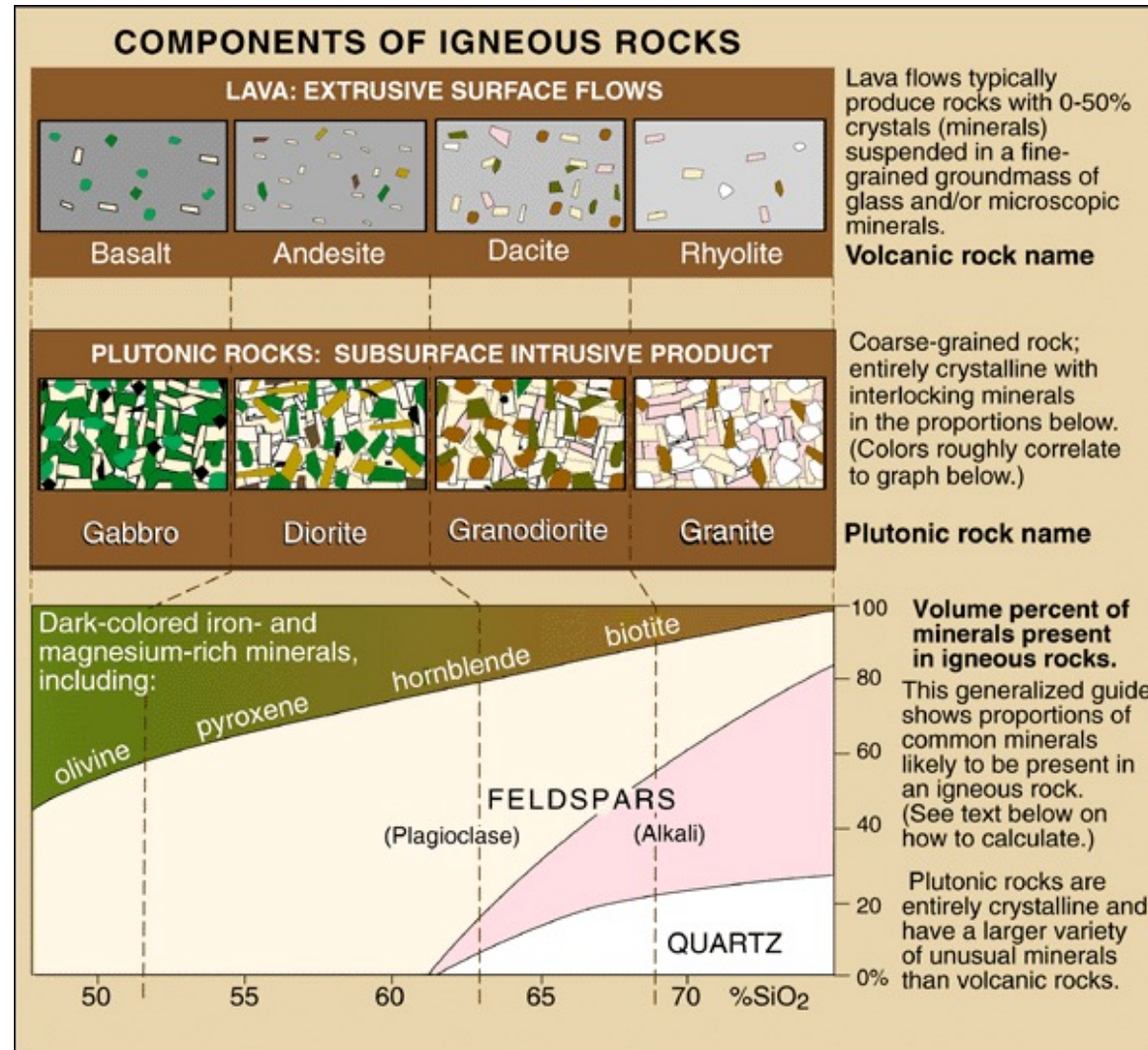


Figure 4-4
 Understanding Earth, Fifth Edition
 © 2007 W.H. Freeman and Company

Roches volcaniques

Roches plutoniques





Mécanismes Eruptifs

-

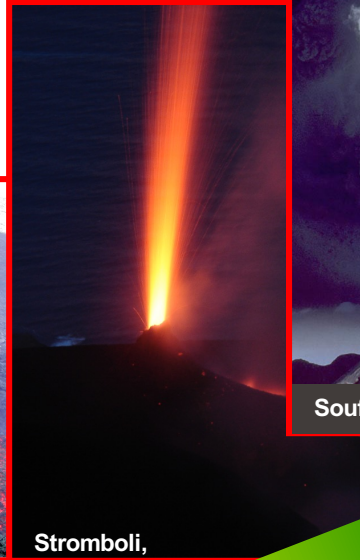
Rôle des gaz



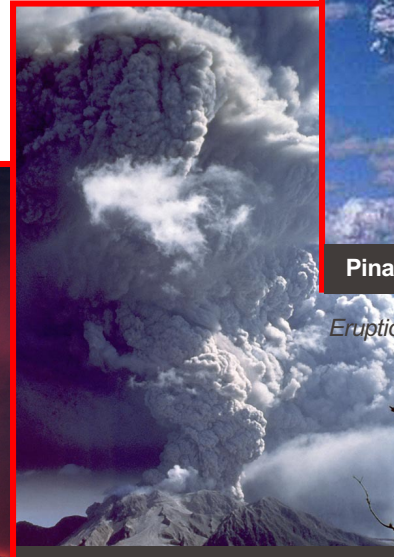
Augmentation des volatiles (H_2O , CO_2 , SO_2)
 Intensité



Etna, 2006



Stromboli,



Soufriere Hills Montserrat, 1997



Pinatubo, 1991

Eruption au Mont Etna – juin 2022, Video S. Pilet

Contenu en silice

Les Propriétés physiques du magma contrôlent si un magma arrive à la surface et va 'nourrir' une éruption volcanique - ils contrôlent la dynamique d'éruption.

Règle 'générale: augmentation du **contenu en silice (SiO_2)** (évolution chimique) les magmas sont **plus visqueux** et les éruptions associées **plus explosives**.



EPFL

Augmentation des
volatiles (H_2O , CO_2 , SO_2)
Intensité

Effusive

Eruption au Mont Etna – juin 2022, Video S. Pilet



Explosive

Contenu en silice

Les Propriétés physiques du magma contrôlent si un magma arrive à la surface et va 'nourrir' une éruption volcanique - ils contrôlent la dynamique d'éruption.

Règle 'générale: augmentation du **contenu en silice (SiO_2)** (évolution chimique) les magmas sont **plus visqueux** et les éruptions associées **plus explosives**.