



Thème 1B TP 5: le magmatisme des zones de subduction, mécanisme d'accrétion de la croûte continentale

On cherche à caractériser les zones de subduction et notamment à comprendre comment de la croûte continentale peut être créée dans ces zones.



Lycée E. Delacroix ^{Tale S}

- Au TP précédent vous avez retracé l'histoire des Alpes aboutissant à la formation d'une chaîne de collision actuelle. Vous avez à cette occasion, mis en évidence un épisode de subduction.
- **On cherche à caractériser les zones de subduction et notamment à comprendre comment de la croûte continentale peut être créée dans ces zones.**

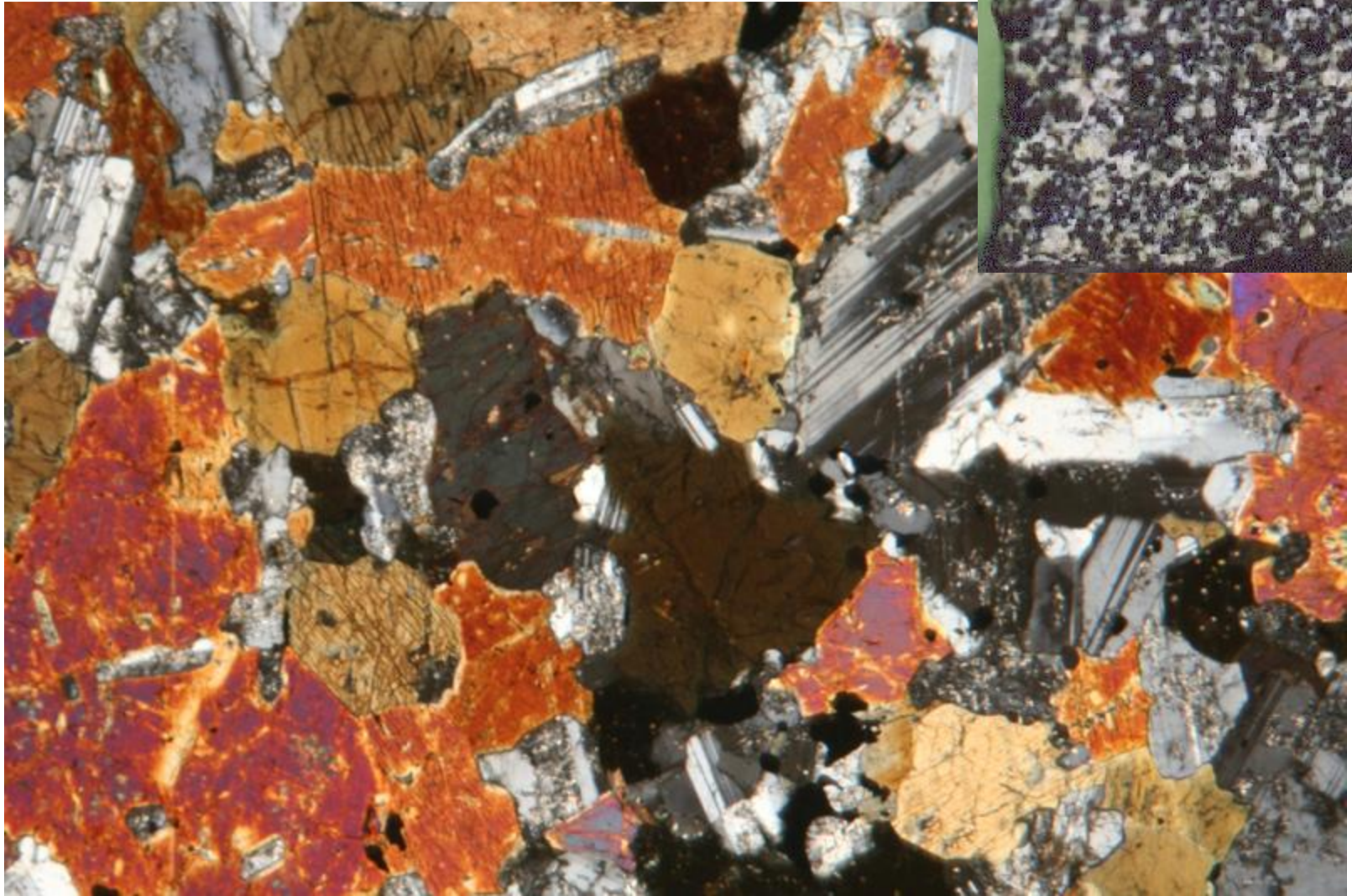
Activité 1 : les caractéristiques pétrographiques des roches créées dans les zones de subduction

Roches magmatiques plutoniques



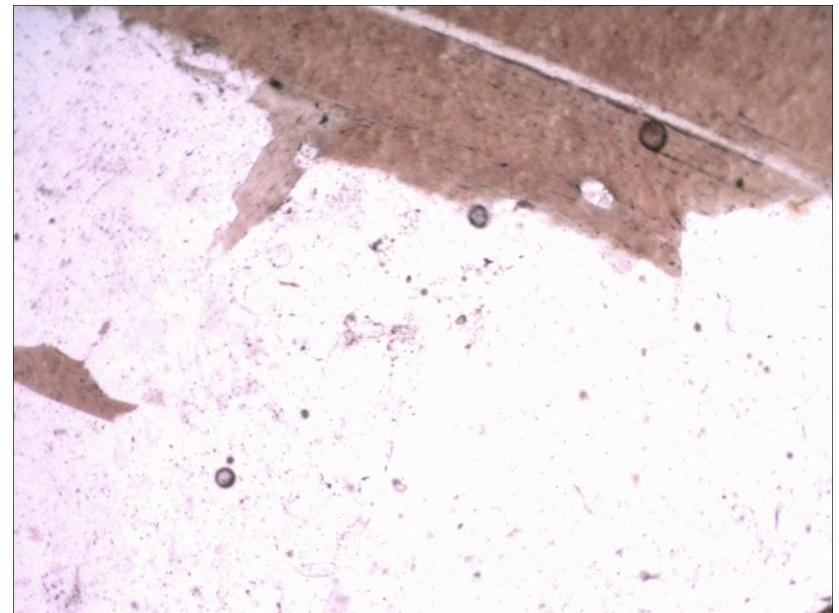
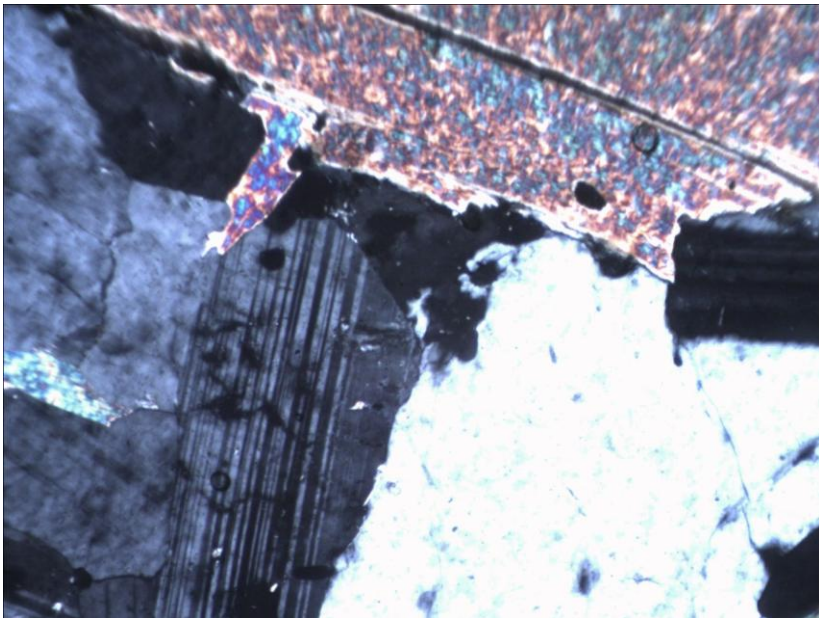
Roches magmatiques volcaniques

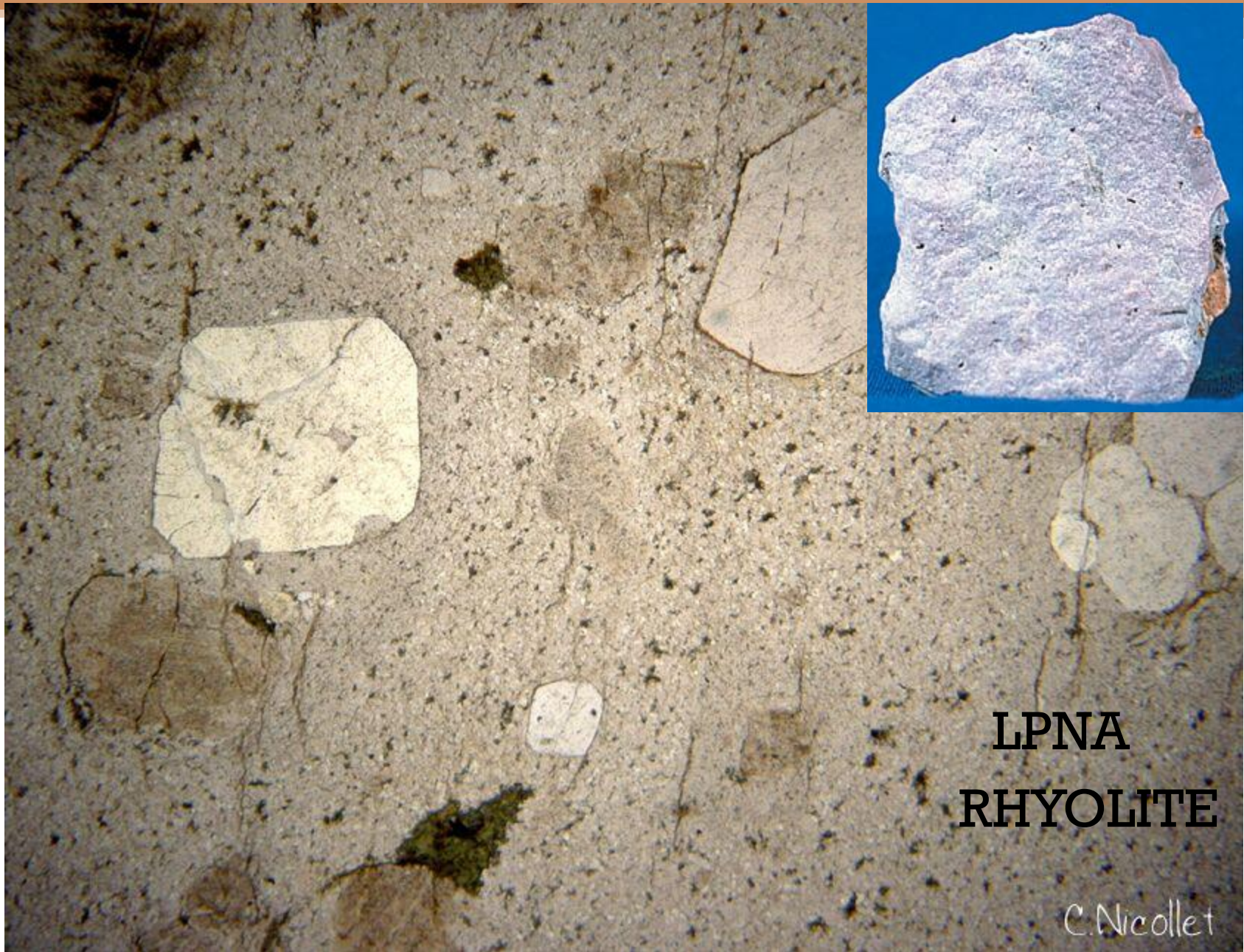




DIORITE en LPA

Lame mince de Diorite au MO x100





**LPNA
RHYOLITE**

C. Nicollet



LPA
RHYOLITE

C Nicollet



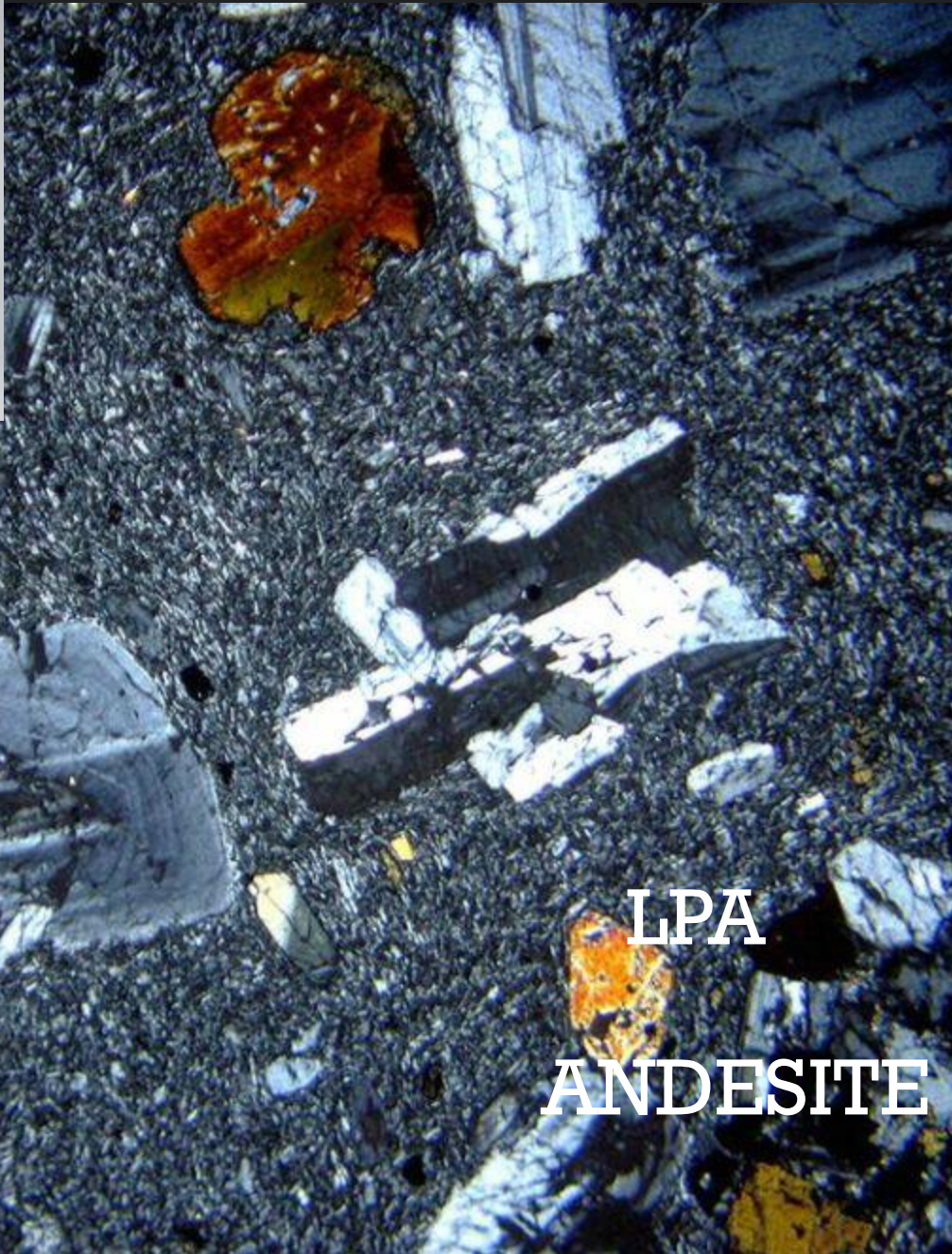
LPNA

ANDESITE

C. Nicollet



© geology.com



LPA

ANDESITE

CNicollet

Les particularités chimiques des roches des zones de subduction

Composition minéralogique des roches plutoniques des zones de subduction (en %)

	Granite (ou rhyolite*)	Diorite (ou andésite*)	Basalte (pour comparaison)
Quartz	30,5	-	-
Orthose	35,5	-	-
Plagioclases	14	60	50
Biotite, muscovite	10	5	-
Pyroxènes	-	12	25 à 40
Amphiboles	8	20	-
Olivine (péridot)	-	-	10 à 25
Magnétite (Fe ₃ O ₄)	-	-	2 à 3

* Rhyolite et andésite présentent respectivement les mêmes minéraux que granite et diorite, mais sous forme de phénocristaux noyés dans du verre.

Composition chimique en oxydes (en %)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO MgO	Na ₂ O K ₂ O	CaO	H ₂ O
Quartz	100	0	0	0	0	0
Orthose	66,67	11,11	0	22,22	0	0
Plagioclases	50,35	33,23	0	4,12	11,67	0
Biotite	35,3	5,88	35,3	11,76	0	11,76
Muscovite	46,1	23,1	0	15,4	0	15,4
Pyroxènes	50	0	50	0	0	0
Amphiboles	50	0	43,75	0	0	1,25

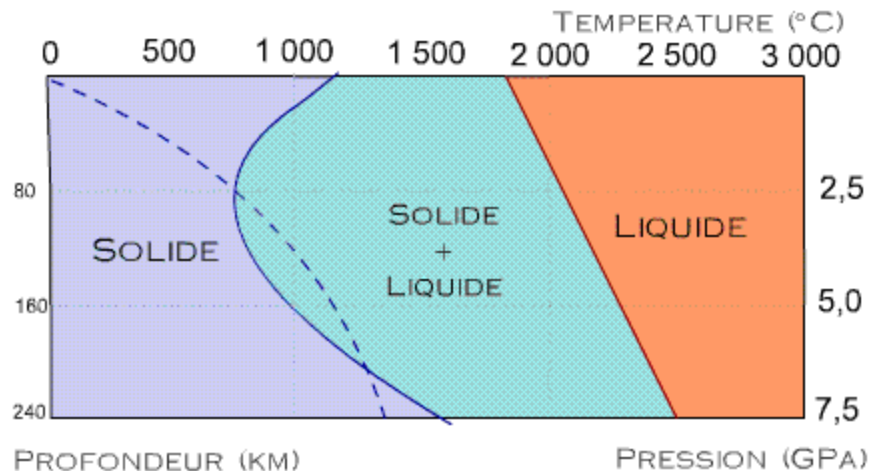
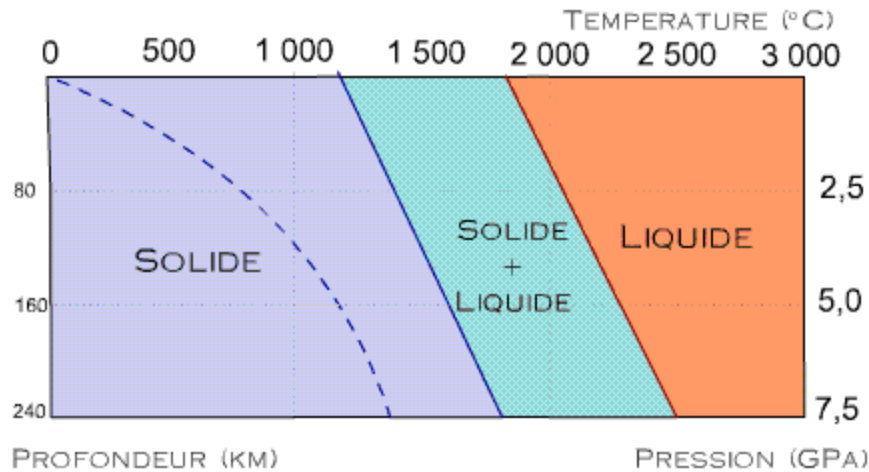
Formules chimiques des principaux minéraux

- Quartz : SiO₂
- Feldspath, orthose : KAlSi₃O₈
- Plagioclases : CaAl₂Si₂O₈ ; NaAlSi₃O₈
- Biotite (mica noir) : K(Fe,Mg)₃AlSi₃O₁₀(OH)₂
- Muscovite (mica blanc) : KAl₂(AlSi₃O₁₀)(OH)₂
- Pyroxènes : Ca(Fe,Mg)Si₂O₆
- Amphiboles : NaCa₂(Mg,Fe,Al)₅[(Si,Al)₈O₂₂](OH)₂

Doc. 3 Des roches riches en minéraux hydroxylés.

Leurs minéraux sont hydratés (amphiboles et micas) et riches en silice (quartz, orthose). => le magma qui leur a donné naissance était riche en eau et en silice.

Diagrammes Pression-Température: cas d'une péridotite sèche, et d'une péridotite hydratée



=> l'hydratation de la péridotite abaisse son point de fusion

Traces écrites:

- Les roches magmatiques des zones de subduction sont plutoniques (diorite) et volcaniques (rhyolite, andésite).
- L'observation au MO en LPA de ces roches révèle la présence minéraux hydratés tels que les amphiboles et les micas. Ces roches présentent également des minéraux riches en silice.
- On en déduit que le magma qui leur a donné naissance était hydraté et riche en silice.
- Or des expériences en laboratoire (cellule à enclume diamant) révèlent les conditions de P et T pour une fusion de la péridotite. Le géotherme ne croise jamais le solidus d'une péridotite sèche, mais en revanche recoupe celui d'une péridotite hydratée (entre 80 et 200 km de profondeur).
- On confirme donc que le magma donnant naissance aux roches magmatiques des zones de subduction est hydraté, il provient de la fusion partielle entre 80 et 200 km de profondeur de la péridotite du manteau de la plaque chevauchante.
- Mais d'où vient l'eau qui hydrate ce manteau?

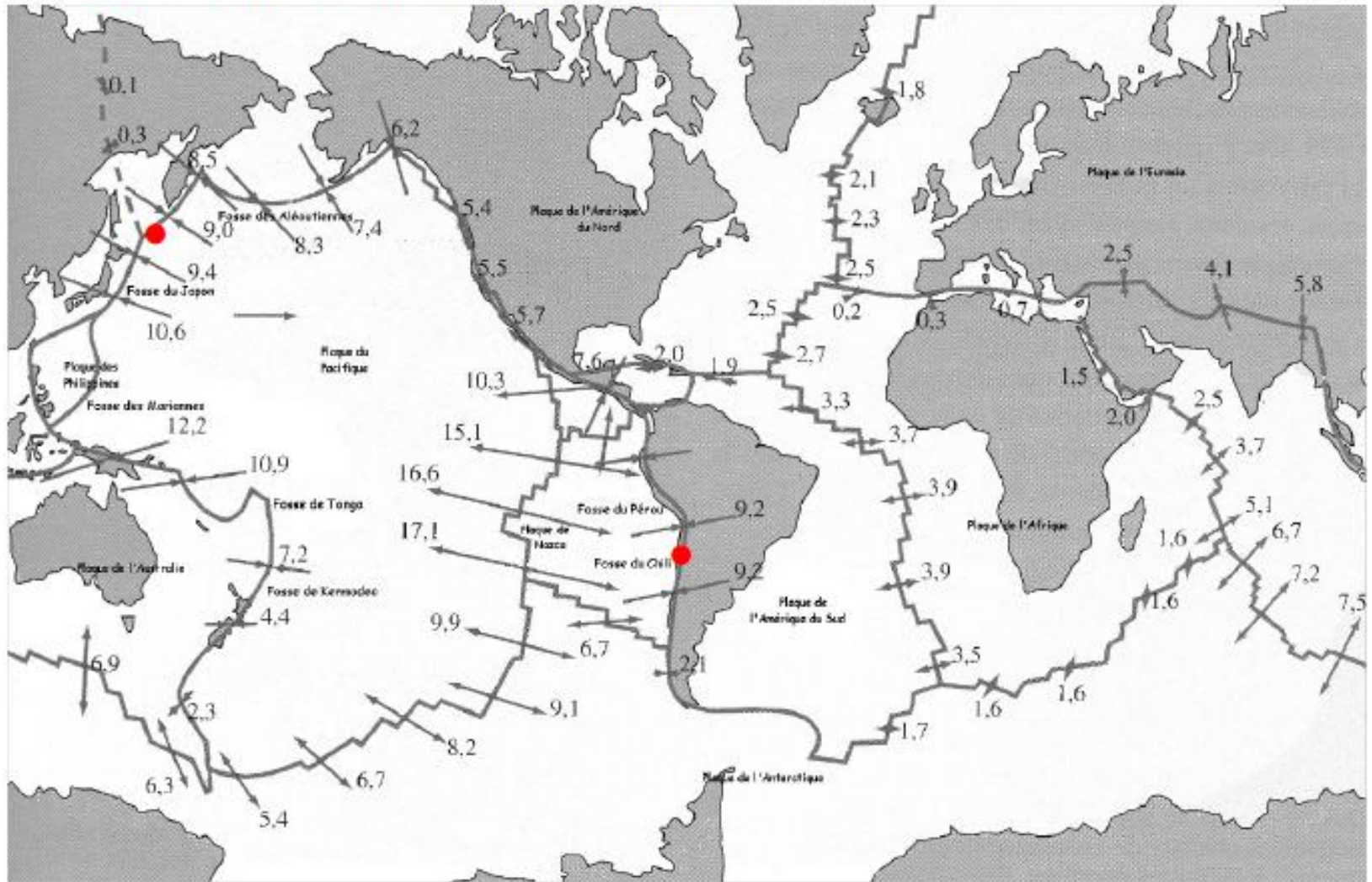
Activité 2 : les conditions de formation du magma dans les zones de subduction

- L'important magmatisme des zones de subduction est expliqué par la formation de magma, en profondeur, par fusion partielle du manteau situé au-dessus de la plaque en subduction.
- La fusion partielle étant due à la libération d'eau par la transformation des minéraux de la plaque subduite sous l'effet de la pression, on cherche à déterminer la profondeur à laquelle pourrait se déclencher cette fusion partielle en comparant deux zones de subduction.

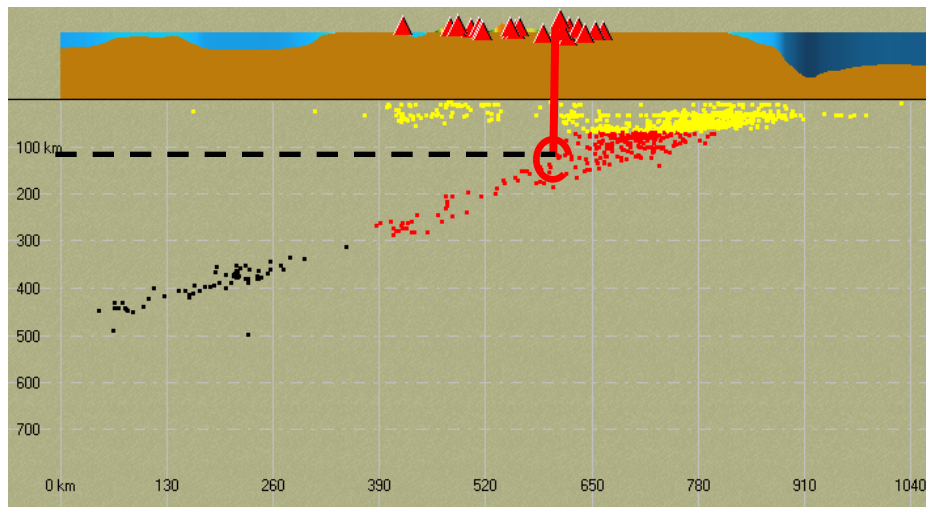
Carte des fonds océaniques et des vecteurs mouvements relatifs aux frontières des plaques lithosphériques

Les chiffres indiqués sont les vitesses de déplacements relatifs des plaques les unes par rapport aux autres en cm.an^{-1} .

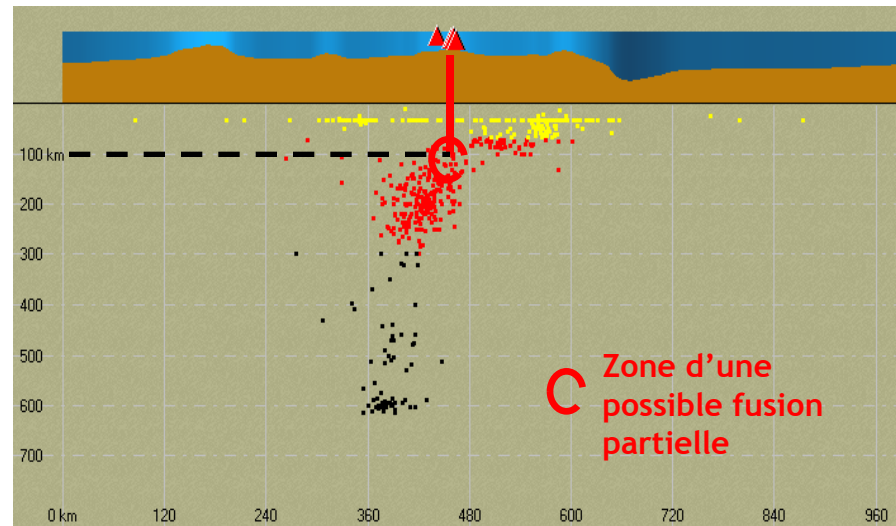
● Correspond à la localisation des coupes demandées



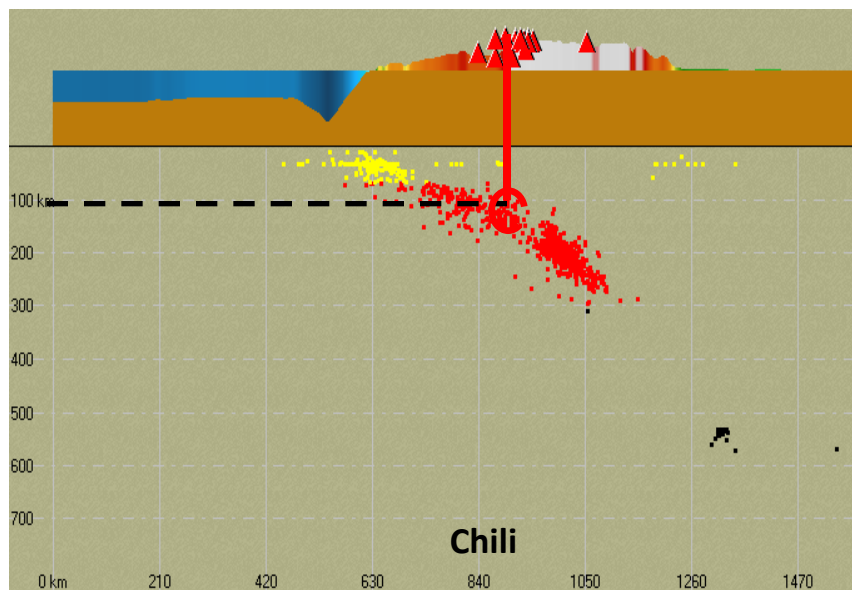
Coupes réalisées à partir du logiciel *Sismolog*



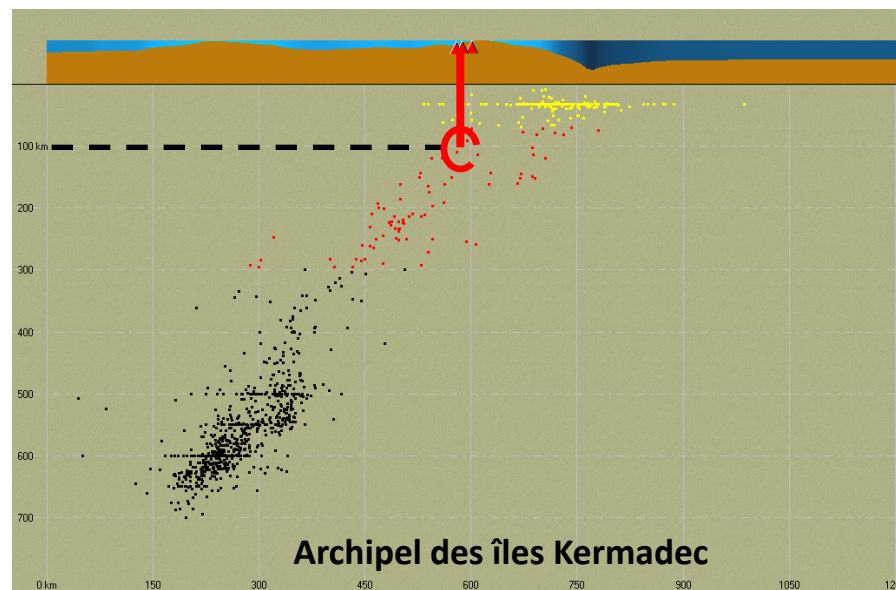
Japon



Les Mariannes



Chili

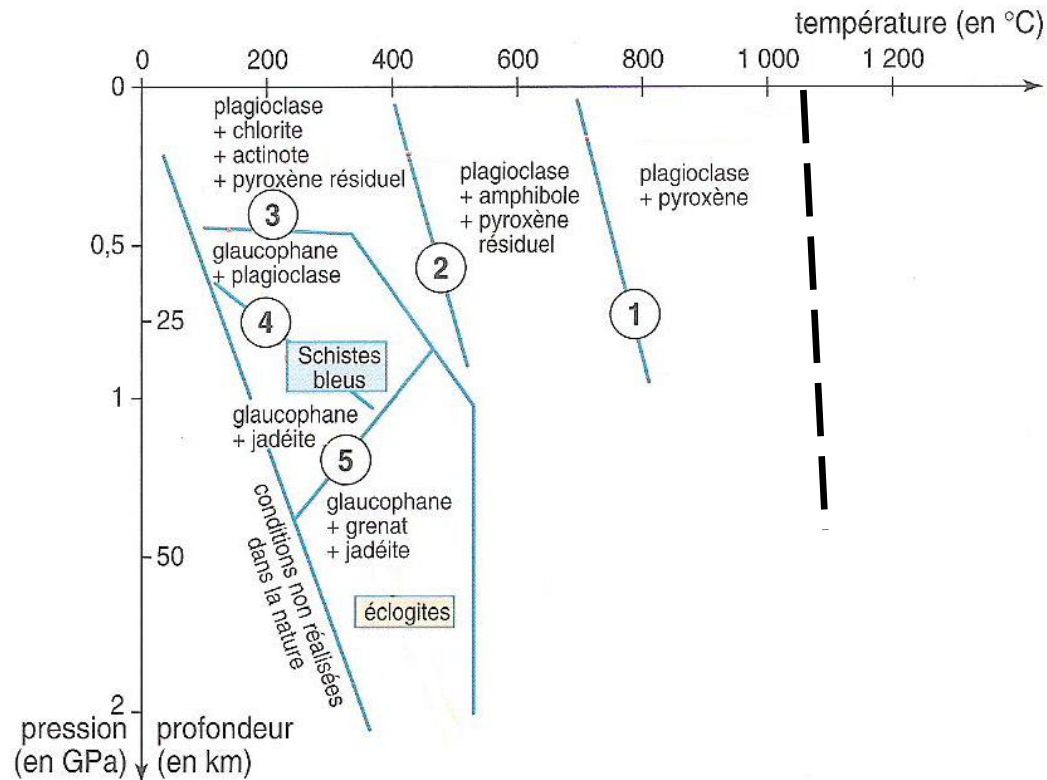


Archipel des îles Kermadec

Traces écrites

- La comparaison des plans de Wadati-Benioff de plusieurs zones de subduction, révèle la présence systématique des volcans 100 km au-dessus du plan. On en déduit qu'à 100 km de profondeur sous les volcans, débute une possible fusion partielle. Cette hypothèse a été confirmée par l'étude du géotherme et du solidus d'une péridotite hydratée, qui fond partiellement entre 80 et 200 km de profondeur.
- Ainsi, vers 100 km de profondeur, il semble que la plaque plongeante apporte un élément permettant la fusion partielle de la péridotite. Cet élément, ne peut être que l'eau. Mais comment?

Le diagramme Pression-Température et faciès métamorphiques

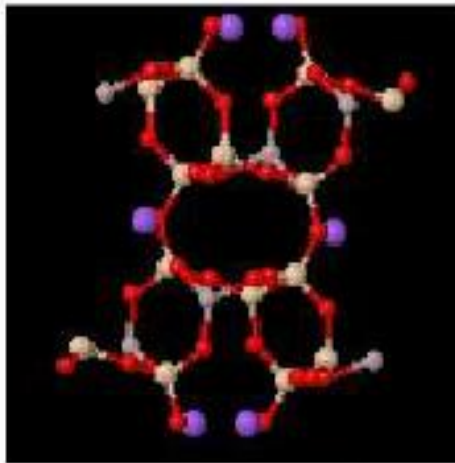


Quelques réactions du métamorphisme

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

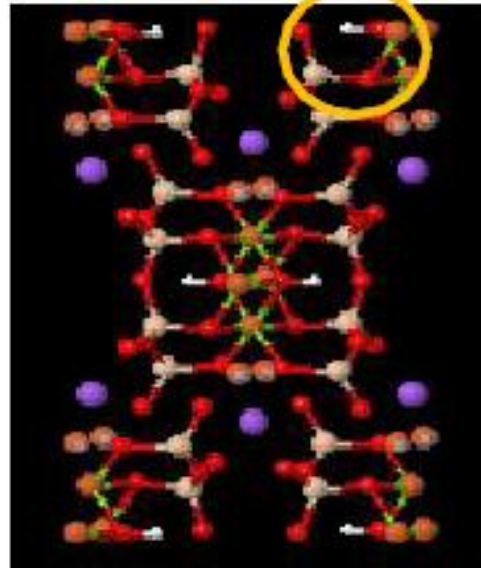
Les minéraux présents dans un métagabbro à glaucophane

Albite



Atomes : **Na** **Al** **Si** **O** -

Glaucophane

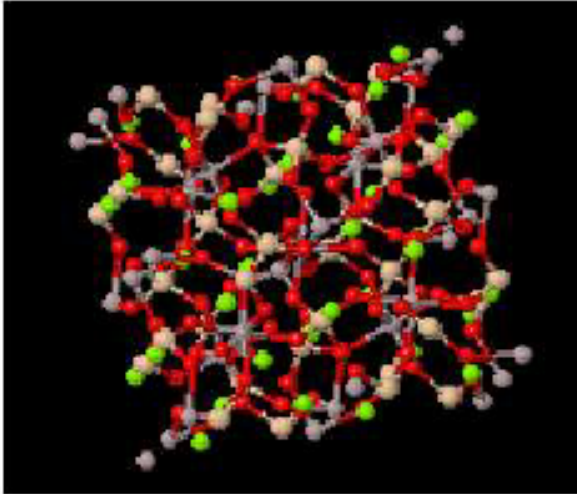


Atomes : **Mg** **Fe** **Al** **Na** **Li** **Si** **O** **H**

Le glaucophane est un minéral hydraté qui contient des groupements OH.

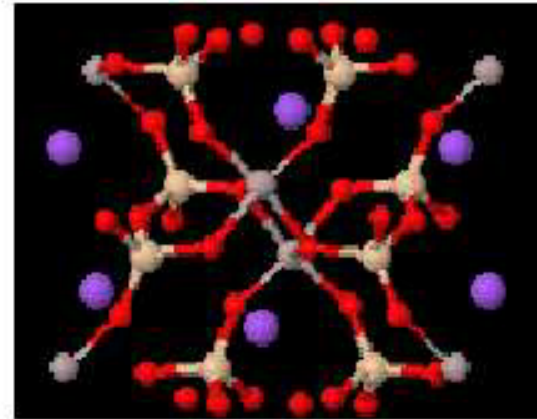
Les minéraux présents dans une éclogite

Grenat



Atomes : Si Al Mg O

Jadéite

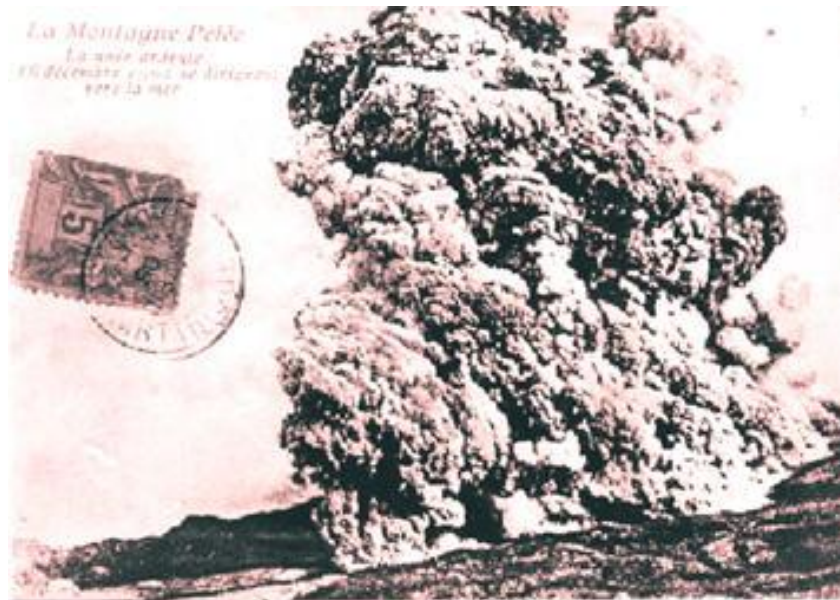


Atomes : Na Al Si O

Grenat et jadéite sont des minéraux anhydres dépourvus de groupements OH.

Conclusion : Les métagabbros à glaucophane contiennent des minéraux hydratés. Les éclogites ne contiennent que des minéraux anhydres. La transformation des métagabbros en éclogites s'accompagne d'un rejet d'eau.

La montagne Pelée (Martinique)



Nuée ardente



Aiguille du dôme
de la montagne
Pelée
(photographie
mars 1903)

L'éruption vue d'un
bateau (8 mai 1902)



Un magma riche en silice donc très visqueux

B Des laves à viscosité élevée

- Les explosions peuvent produire des nuées ardentes



Nuée ardente dévalant les pentes du mont Saint-Helens après l'explosion de son sommet (1980)

Lorsque la pression des gaz dans la chambre magmatique devient trop importante, le sommet du volcan, formé de laves refroidies, est pulvérisé par une gigantesque explosion qui donne naissance à une nuée ardente. Il s'agit d'un aérosol composé de gaz, de cendres et de blocs de toutes tailles, porté à haute température (plusieurs centaines de degrés Celsius) qui dévalent les pentes du volcan à grande vitesse (200 à 600 km par heure).

- Un dôme de lave obstrue la cheminée volcanique



Dôme de lave visqueuse en formation au fond du cratère après l'explosion du mont Saint-Helens (1984)

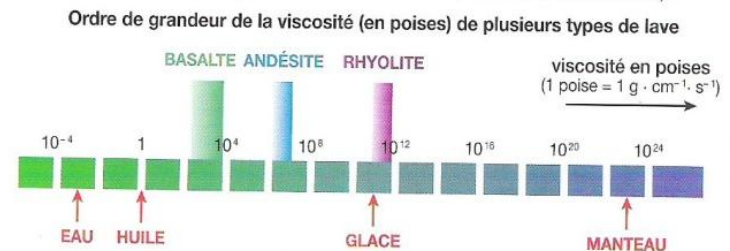
Après une série d'explosions, le sommet du volcan présente un énorme cratère (ici, 2,5 km de diamètre) dans lequel débouche une cheminée volcanique. De la lave monte alors dans cette cheminée, mais comme elle est trop visqueuse pour pouvoir s'écouler, elle forme un dôme. Ce dôme se refroidit et obstrue totalement la cheminée ; les gaz vont donc s'accumuler au-dessous jusqu'au prochain épisode explosif.

Doc. 3 Des éruptions explosives liées à la viscosité des magmas.

La composition chimique du magma joue un rôle clé dans la détermination de sa viscosité, c'est-à-dire dans la résistance qu'il manifeste face à l'écoulement. Cette résistance est fonction des frictions internes provenant des différentes liaisons chimiques à l'intérieur du liquide et notamment de la liaison Si-O qui constitue le facteur le plus important. Les laves sont donc d'autant plus visqueuses qu'elles sont riches en silice.

Teneur en silice (SiO ₂)	Nature chimique du magma
44 à 50 %	basaltique
54 à 63 %	andésitique
68 à 77 %	rhyolitique

Au niveau des volcans des zones de subduction, les magmas et donc les laves (qui résultent du dégazage du magma) sont essentiellement de nature andésitique et rhyolitique. Le tableau et le graphe ci-dessous permettent de mettre en relation la viscosité de ces laves avec leur teneur en silice. Ils permettent aussi d'effectuer une comparaison avec le basalte, lave fluide formant des coulées, caractéristique des volcans effusifs (Hawaï, La Réunion...).



Doc. 4 Une relation entre viscosité et teneur en silice.

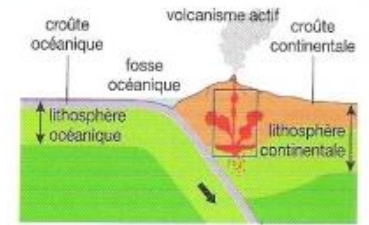
Traces écrites

- Le magma qui remonte reste en partie, à cristalliser en profondeur, dans des **plutons**, donnant la diorite ou le granite, roches riches en quartz et donc en silice. S'il arrive en surface il donnera une roche volcanique telle que la rhyolite ou l'andésite. La **richesse en silice** implique une **forte viscosité du magma**, d'où un mauvais dégazage et des **éruptions explosives** (montagne Pelée en 1902, Vésuve, Mont Saint Helens...)

Comment expliquer la présence de rhyolite plutôt que d'andésite?

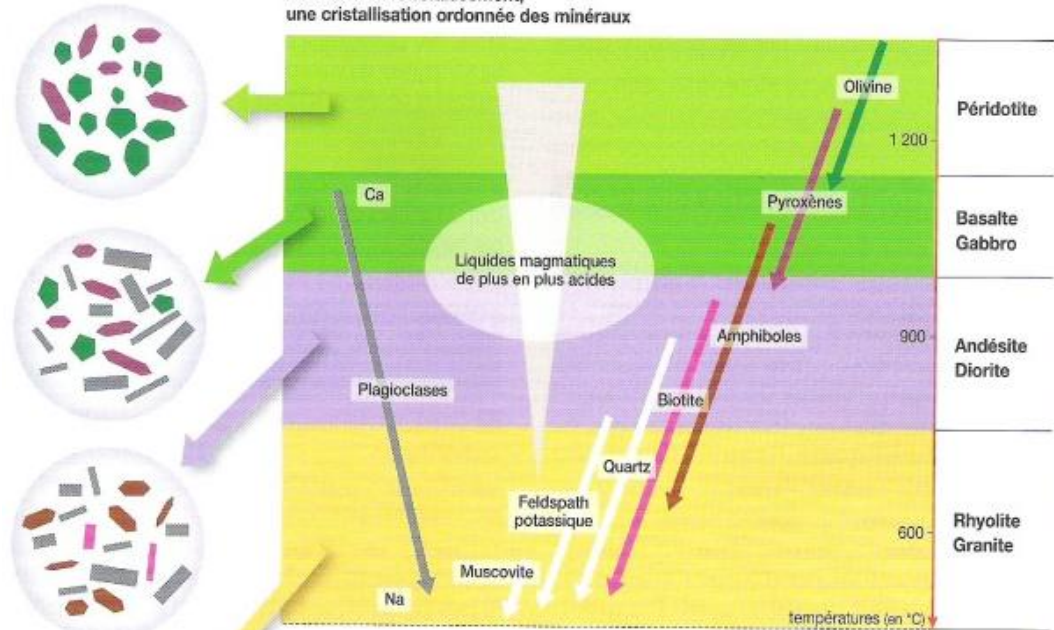
3 Une production de roches de composition granitique

Au cours de leur montée vers la surface, les magmas provenant de la fusion partielle des péridotites du manteau sont piégés dans la profondeur de la croûte continentale. Ils se refroidissent alors lentement et subissent différentes transformations qui modifient leur composition chimique. Il se forme ainsi une grande diversité de roches plutoniques de composition granitique.



Les couleurs des minéraux, dans les cercles, correspondent aux couleurs des flèches du schéma.

Au cours du refroidissement, une cristallisation ordonnée des minéraux



Lors du refroidissement très lent de ces magmas, les minéraux commencent à cristalliser. Ce sont les minéraux les plus pauvres en silice qui cristallisent en premier : olivine, pyroxène, plagioclase calcique. En conséquence, au cours du temps, le liquide magmatique résiduel devient de plus en plus riche en silice. Ce phénomène, nommé **différenciation magmatique** par **cristallisation fractionnée**, permet d'expliquer la formation d'une grande variété de roches de composition granitique (granitoïdes, andésites...) à partir d'un magma originel de composition basaltique. Par ailleurs, ces magmas basiques peuvent aussi devenir plus acides (plus riches en silice) par **contamination**, c'est-à-dire par apport de silice provenant de la croûte continentale encaissante.

Doc. 3 Une différenciation magmatique par cristallisation fractionnée à l'origine de roches granitiques.

Traces écrites

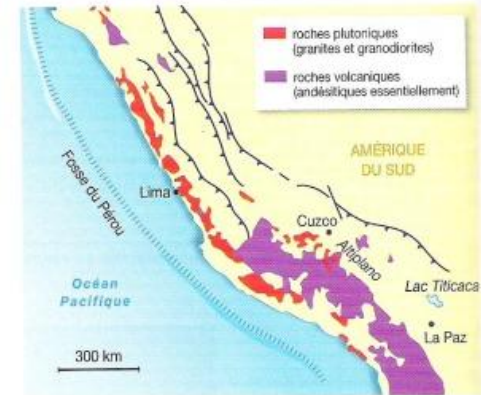
- La cristallisation des minéraux dépendant de la température, les amphiboles sont les premiers à cristalliser alors que le mica blanc et le quartz cristallise à des températures plus basses. Ainsi, une roche riche en amphibole et pauvre en quartz (diorite, andésite) proviendra d'un magma peu différencié, alors qu'une roche riche en mica blanc et en quartz (granite, rhyolite) sera issue d'un magma très différencié.

L'accrétion continentale est très irrégulière

La mise en place de nouveaux matériaux continentaux

La croûte océanique prend naissance au niveau des dorsales océaniques. La croûte continentale, quant à elle, se forme au niveau des zones de subduction, grâce au magmatisme intense qui caractérise ces zones. Précisons les mécanismes qui ont permis la production de matériaux continentaux.

A L'accrétion continentale

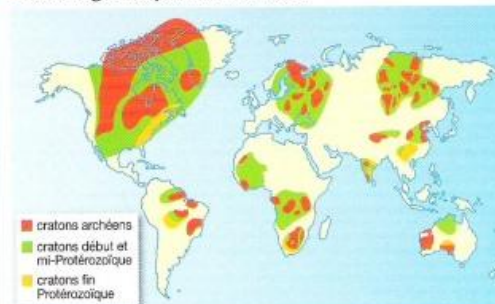


L'apport de magma sous la croûte continentale et à l'intérieur de celle-ci permet la formation de nouveaux matériaux continentaux (carte ci-contre). Ce magmatisme de subduction est le principal « fabricant » de croûte continentale moderne : on qualifie cette production d'**accrétion continentale**.

Localisation des roches d'origine magmatique dans la cordillère des Andes (ici, au niveau du Pérou)

Doc. 1 Une production de croûte continentale en Amérique du Sud.

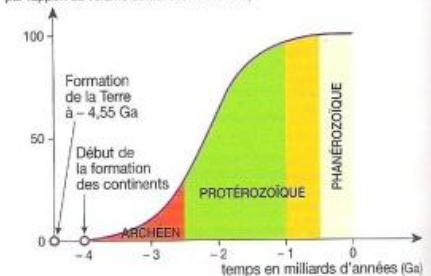
• Des vestiges des premiers continents



Les géologues repèrent à la surface du globe des **cratons** plus ou moins anciens, c'est-à-dire des domaines continentaux qui sont restés à peu près stables depuis leur formation (planisphère ci-dessus). C'est l'estimation de l'aire de ces différents cratons en fonction de leur âge qui a permis d'établir la courbe ci-contre.

• La croissance des continents

volume des continents (en pourcentage par rapport au volume actuel des continents)



Si l'importance de l'accrétion continentale n'a pas été constante au cours du temps, ce ne serait plus le cas aujourd'hui. En effet, on considère qu'actuellement, création et destruction de la croûte continentale s'équilibrent à peu près et donc que la surface totale de croûte continentale ne change pratiquement plus.

Doc. 2 Une production irrégulière de croûte continentale au cours des temps géologiques.

Conclusion

- Ainsi ce chapitre a permis de comprendre un exemple d'**accrétion** (= constitution, accroissement) continentale au niveau des zones de subduction. C'est le principal mécanisme de production de croûte continentale. En effet, l'accrétion produite par anatexie crustale associée à la collision (cf TP3) est globalement compensée par l'érosion.
- Quels sont les facteurs participant à l'érosion des chaînes de montagne et donc à son recyclage ?