

IV / COUPLAGE MAGMATISME ET MÉTAMORPHISME EN SUBDUCTION (AP # 4)

COMMENT, DANS LE CONTEXTE DE SUBDUCTION, SE MET EN PLACE DU MAGMATISME ET INTERVIENT-IL DANS LA PRODUCTION DE NÉOROCES CRUSTALES CONTINENTALES ?

Formée à 25% à la fin de l'Archéen (-2,5 Ga) et à > 85% 1 Ga après, la croûte continentale a aujourd'hui un volume stable, ce qui suppose une compensation création/recyclage (érosion...). Après avoir montré en quoi la subduction est le contexte approprié sur le globe pour créer cette croûte continentale (plongée d'une lithosphère avec du volcanisme explosif sur la plaque chevauchante) car elle génère du magmatisme en profondeur, voyons comment le refroidissement de ce fluide en mouvement peut conduire à de nouvelles roches continentales.

constats : le volcanisme explosif consiste en l'émission de laves, gaz et projections importantes à la surface, cendres, nuées ardentes (= gaz divers + solides (cendres + blocs de taille variable dévalant les pentes d'un volcan) et laves visqueuses témoignant de la remontée de magmas formés en profondeur. Ceux-ci peuvent interrompre leur remontée, s'immobiliser en profondeur pour y subir un refroidissement plus progressif et alimenter un autre processus magmatique nommé plutonisme. Volcanisme explosif et plutonisme participent à la création des néomatériaux rocheux crustaux continentaux du globe. Les zones de subduction sont le siège d'un volcanisme donc souvent explosif, imprévisible pour l'essentiel, brutal à forte sismicité (cf « Ceinture de feu » du Pacifique). Les éboulements et explosions décapitent le volcan et ouvrent un grand cratère. Cette phase majeure est caractérisée par la formation de nuées ardentes, projections solides accompagnées de gaz en combustion à très haute température, émises souvent à l'horizontale, à la vitesse initiale de 500 km/h et précédées d'une onde de choc meurtrière. La teneur en silice SiO₂ des magmas est le plus fréquemment comprise entre 45% (pauvres) et 65% (riches) : elle détermine la viscosité du magma, c'est-à-dire la résistance à l'écoulement : plus elle est élevée, plus le magma est visqueux et inversement plus elle est faible, plus le magma est fluide.

A / LES TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES DE LA LITHOSPHÈRE SUBDUITE SONT LIÉES AU FLUIDE H₂O

1/ Caractéristiques de la lithosphère subduite et métamorphisme hydrothermal HTBP : l'entrée d'eau dans la lithosphère océanique Lo (⇒ voir 1 du 1er schéma-bilan)

Après sa formation à l'axe (rift) d'une dorsale (relief médio-océanique de 2,5 km de haut environ), la lithosphère océanique fracturée et peu épaisse est le siège d'une circulation d'eau de mer, lui faisant subir un **métamorphisme dit BPHT (Basse Pression Haute Température)** :

- la croûte océanique entrant en subduction au bout d'environ 30 Ma comme nous l'avons vu dans le II / est riche en minéraux hydroxylés (à radicaux hydroxyles OH, voir au logiciel MinUSc) : hornblende (amphibole verte), actinote, chlorite, épidote
- la péridotite du manteau lithosphérique de la plaque plongeante est au moins dans sa partie supérieure, métamorphisée (hydratée aussi en **serpentine** (roche serpentinisée, ressemblant à une peau de serpent d'où le nom, où l'olivine s'est hydroxylée en un minéral verdâtre, la **serpentine**). tous ces minéraux appartiennent à des roches placées dans ce que l'on appelle le faciès **schistes verts (SV)** (gamme de pressions, températures de présence de minéraux caractéristiques)

réactions chimiques : (ne pas apprendre les formules détaillées, mais savoir les réactions et qui est hydroxylé et qui ne l'est pas, en lien avec son faciès (schiste vert SV, bleu SB ou éclogite)

<u>au niveau de la croûte (basaltes et metagabbros crustaux)</u>	<u>au niveau du manteau péridotitique :</u>
pyroxène + plagioclase + H ₂ O => amphibole verte hornblende NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ Si ₆ Al ₃ O ₂₂ Al(OH) ₂	olivine (Mg,Fe) ₂ SiO ₄ + H ₂ O => serpentines (Mg,Fe,Ni) ₃ Si ₂ O ₅ (OH) ₄
amphibole hornblende NaCa ₂ (Mg,Fe) ₄ Si ₆ Al ₃ O ₂₂ Al(OH) ₂ + plagioclase + H ₂ O => chlorite (Fe,Mg,Al) ₆ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₈ + actinote Ca ₂ (Mg,Fe) ₅ (OH,F) ₂ (Si ₄ O ₁₁) ₂	Olivine + eau → Serpentine

épidote = Ca₂(Fe₃₊,Al)₃(SiO₄)₃(OH), albite,

2/ le métamorphisme HPBT de cette lithosphère en subduction : la libération d'eau par la croûte du slab par compression associé au lent enfoncement (⇒ voir 2 du 1er schéma-bilan)

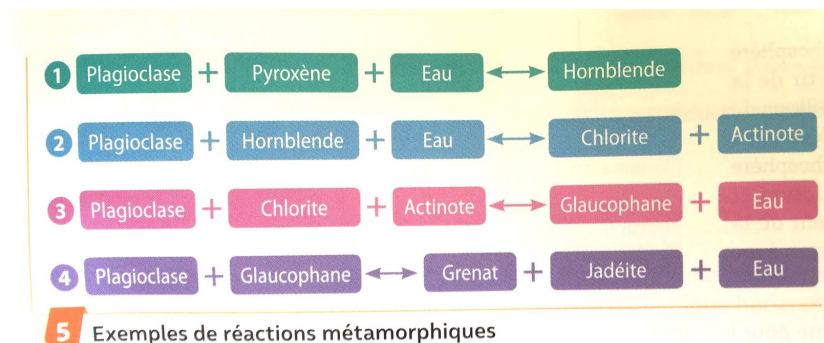
Au cours de sa subduction, due à sa contraction thermique par refroidissement avec l'éloignement de la dorsale (divergence lithosphérique), à son épaissement aux dépens de l'asthénosphère ductile sous-jacente (abaissement de l'isotherme 1300°C et subsidence thermique) dont elle est devenue plus dense encore (> 3,25 après > 30 Ma à > 2000 km de la dorsale), la croûte océanique de la lithosphère se réchauffe lentement (inertie thermique élevée) et est surtout soumise à des pressions de plus en plus importantes avec la profondeur croissante : dans ces conditions, les minéraux qui la constituent deviennent instables : à de profondeurs supérieures à **- 30 à -40 km**, la croûte devient siège de réactions à l'état solide conduisant à la formation avec perte d'eau de nouvelles associations minéralogiques, marquées en particulier par l'apparition de la **glaucophane et de la lawsonite par exemple** à partir de minéraux initiaux : il s'agit d'un **métamorphisme Haute Pression Basse Température HPBT**. Pour de profondeurs supérieures encore (⇒ voir 3 du schéma-bilan), le métagabbro devient une **roche anhydre éclogitique** (à minéraux **non hydroxylés : grenats et jadéite**) : ainsi, ce n'est pas à partir de minéraux de la lithosphère océanique subduite que prend naissance le magma : **sa subduction a comme conséquence unique une déshydratation libérant des hydroxyles percolant (s'infiltrant) jusqu'aux péridotites du manteau de la plaque chevauchante.**

faciès schistes bleus SB : glaucophane $\text{Na}(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$, épidote $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+},\text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$, lawsonite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})$

feldspath plagioclase + chlorite + actinote ⇒ glaucophane + H₂O
glaucophane ⇒ jadéite (pyroxène vert sodique) + H₂O + grenat omphacite
 diopside = pyroxène calcique

éclogites : grenat rouge $\text{Mg}_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}$, jadéite, clinopyroxène vert sodique $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$

- **Plagioclase + Actinote + Chlorite → Amphibole bleue (Glaucophane) + eau**
- **Plagioclase → Pyroxène (Jadéite) + Quartz**
- **Plagioclase + Amphibole bleue → Grenat + Jadéite + eau**



B / GENÈSE MAGMATIQUE EN CONTEXTE GÉODYNAMIQUE DE SUBDUCTION

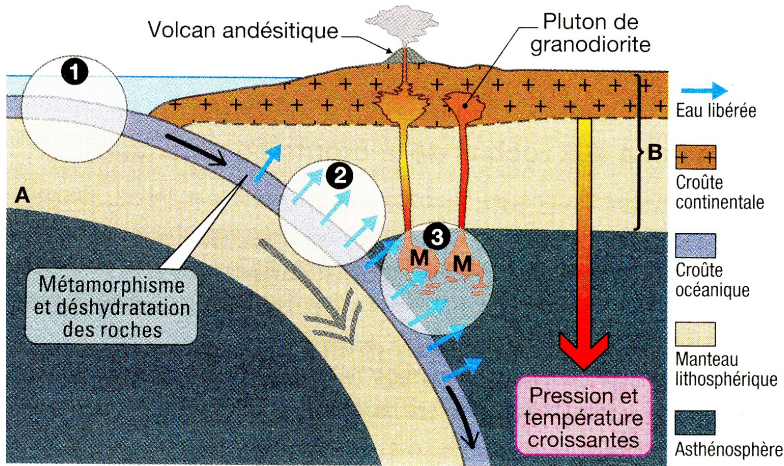
1/ matériel d'origine

Il n'existe pas de formation de magma continue, il se forme toujours en des endroits particuliers dans des conditions particulières (décompression adiabatique au rift d'une dorsale, apport de chaleur au niveau des points chauds ou d'eau pour les subductions). **Un magma provient toujours de la fusion partielle d'une roche préexistante.** En dépit des variations de valeur du pendage (angle de plongée) de la lithosphère plongeante, les volcans se situent à l'aplomb d'une zone où le toit de la lithosphère en subduction est à une **profondeur de - 100 km** au plus. La péridotite de la plaque chevauchante située à ces profondeurs subit une fusion partielle à l'origine d'un magma.

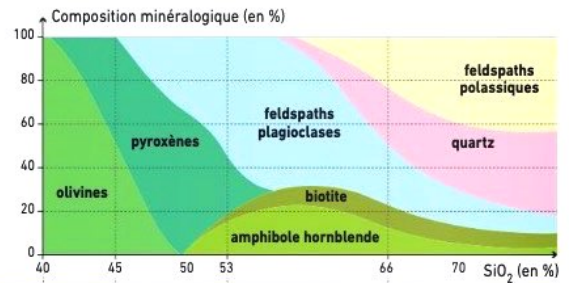
2/ eau et genèse magmatique

Les données thermiques indiquent que la température de la péridotite de la plaque chevauchante **vers - 100 km** est d'environ 1000°C, insuffisante pour une fusion partielle (solidus de la péridotite anhydre), là où expérimentalement on peut observer que les conditions de P/T rencontrées en subduction actuelle sont incompatibles avec une fusion partielle d'un basalte anhydre, hydraté ou même d'une péridotite anhydre. Les fluides comme l'eau peuvent expérimentalement abaisser la température de fusion partielle d'environ 300°C : ainsi, seule une **péridotite hydratée à cette température sous la pression de cette profondeur peut entrer en fusion partielle (d'environ 10-15%, ce qui est faible)** : certains minéraux gagnent alors le liquide magmatique en formation (éléments chimiques les plus hygromagmatophiles, encore appelés incompatibles comme K par exemple) quand d'autres demeurent dans la roche résiduelle et migrent moins dans le liquide, formant une péridotite appauvrie, l'harzburgite). **Ainsi, l'hydratation de la péridotite chevauchante montre un couplage métamorphisme de subduction avec déshydroxylations du panneau plongeant /magmatisme.**

L'introduction d'eau caractérise toutes les régions qui, en surface, correspondent au plongement d'une plaque océanique (chapelet d'îles comme le Japon, "marges" continentales actives comme la Cordillère des Andes...). La tomographie sismique du manteau dans les zones de subduction montre qu'il existe un coin de manteau entre la croûte de l'arc et la plaque plongeante.



- A : plaque subduite
 B : plaque chevauchante
 M : magma
- 1 : basalte et métagabbros hydroxylés
 2 : métagabbros à glaucophane (perte d'eau)
 3 : métagabbros à minéraux non hydroxylés

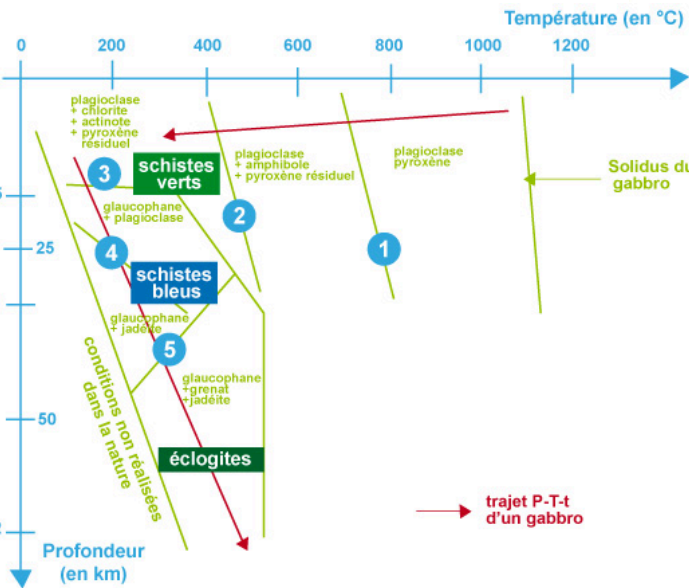


Roches volcaniques	1	3	5
	basaltes	andésites	rhyolites

Roches plutoniques ou du manteau	2	4	6
	péridotites	diorites	granites

B Composition minéralogique des roches magmatiques en fonction de leur teneur en SiO₂.

Remarque : plus une roche magmatique est riche en silice, plus sa couleur est claire (observation à l'œil nu).



	Andésite	Diorite	Rhyolite	Granite
th plagioclase (Na,Ca)[Al(Si,Al)Si ₃ O ₈]	✓	✓	✓	✓
th orthose KAlSi ₃ O ₈	✓	✓	✓	✓
ole Hornblende (Mg,Fe,Al) ₅ Si ₆ (Si,Al) ₂ O ₂₂ (OH) ₂	✓	✓	✓	✓
ie (Ca,Mg,Fe)SiO ₃	✓	✓		
K(Mg,Fe) ₃ (OH,F) ₂ (Si,AlO ₁₀)			✓	✓
SiO ₂	✓		✓	✓

Les assemblages minéralogiques sont stables pour des conditions de pression et de température données. Quand la pression et la température varient, les minéraux se transforment en de nouveaux minéraux stables aux nouvelles conditions de pression et de température.

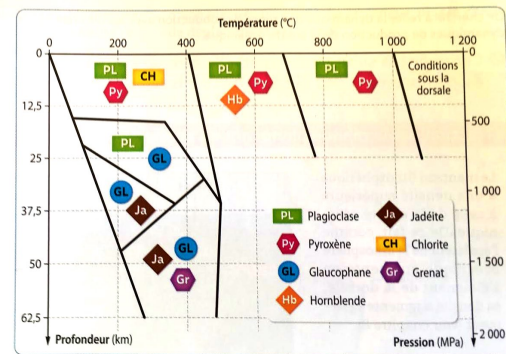
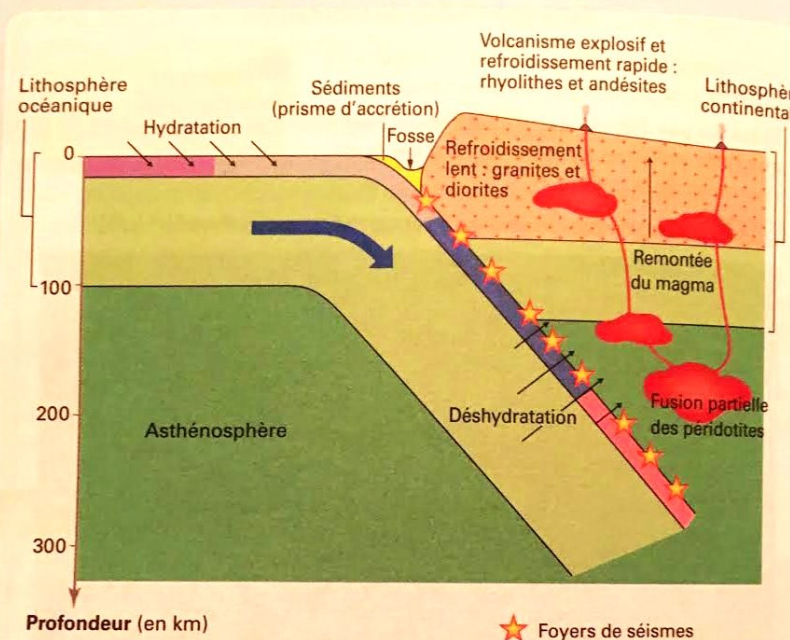


Diagramme pression-température de stabilité des minéraux des (méta)gabbros

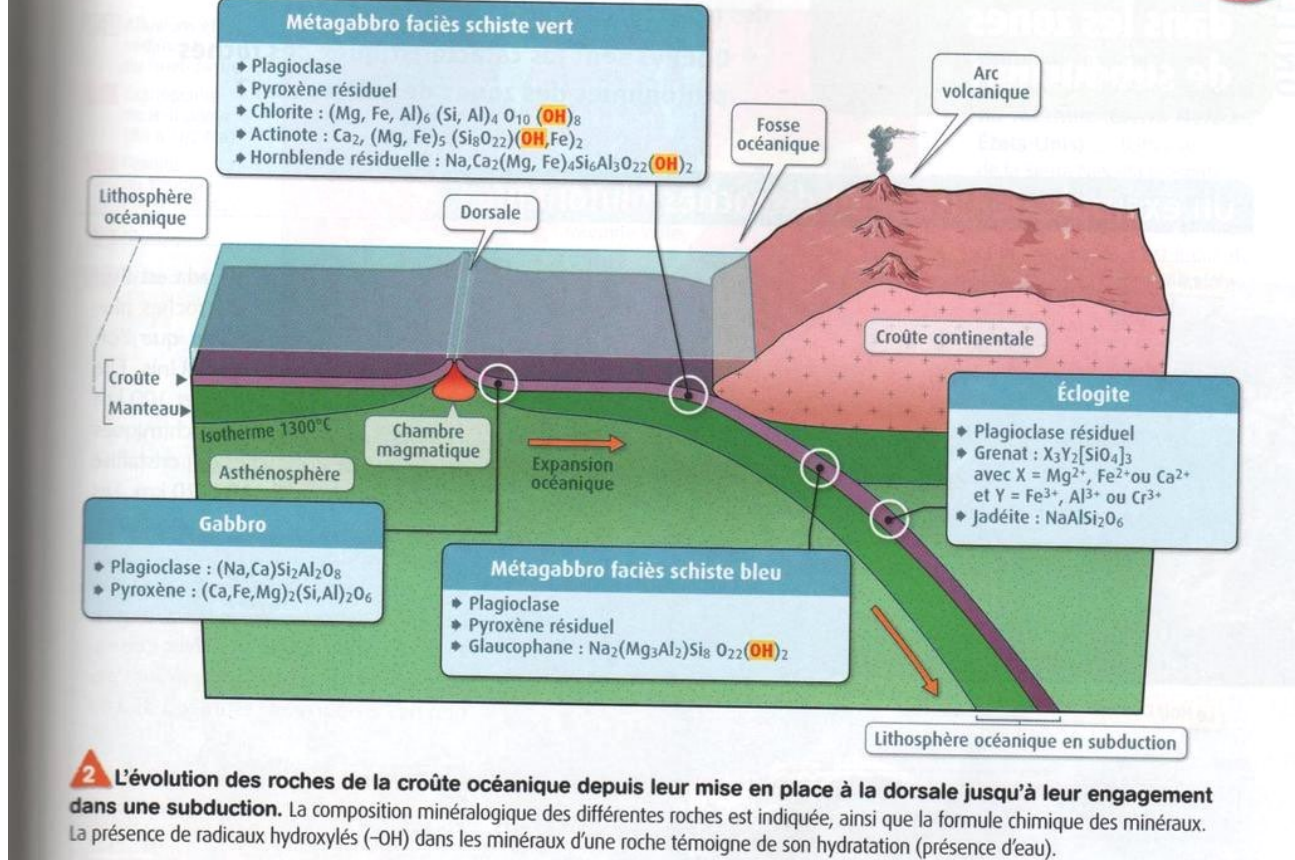
Magmatisme et subduction



- Roches de la croûte océanique :
- Métagabbros à amphiboles
 - Métagabbros à chlorite et actinote (faciès schistes verts)
 - Métagabbros à glaucophane (faciès schistes bleus)
 - Métagabbros à grenat et jadéite (faciès éclogite)

MOTS CLÉS

- Métagabbro** : gabbro ayant subi un métamorphisme.
- Faciès métamorphique** : ensemble de roches possédant une association de minéraux caractéristique.

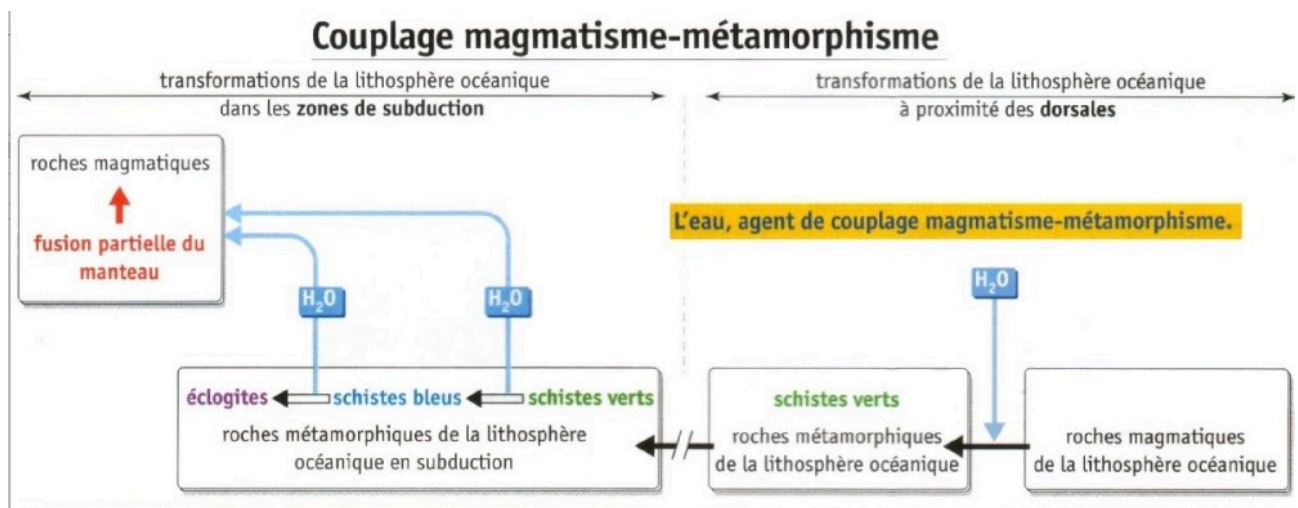
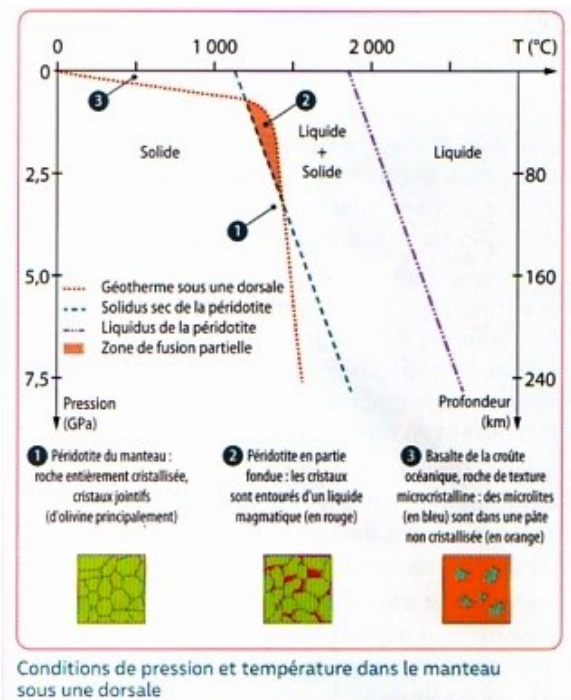


C / DU MAGMA AUX ROCHES CONTINENTALES

Ce magma est injecté dans les couches situées au-dessus, le manteau lithosphérique chevauchant puis la croûte continentale plus en surface où il est stocké dans des chambres magmatiques où ce magma provoque la fusion partielle des roches continentales encaissantes : il y a mélange des 2 magmas mantelliques et granitique d'origine crustale, l'arc volcanique de la plaque chevauchante étant généralement situé à l'aplomb du coin mantellique fusionnant situé à -100km.

1/ cristallisation fractionnée, remontée et refroidissements rapides : andésites et rhyolites volcaniques

L'analyse des roches volcaniques des zones de subduction et l'expérimentation montrent que des produits de fusion très différents de ceux qu'engendre la fusion sous les dorsales. Au lieu de basaltes (à 40 à 45% de SiO_2), on obtient des andésites et des diorites à 50 à 60% de SiO_2 . Le magma résultant génère par



refroidissement des roches effusives microlithiques, andésites et rhyolites, arrivant en surface au cours d'éruptions volcaniques explosives, plutôt imprévisibles, dangereuses, à nuées ardentes, laves visqueuses et gaz tels que la vapeur d'eau, engendrées par des surpressions rares faisant sauter un bouchon d'accumulation dans la chambre magmatique sous-jacente au point de sortie. Le fractionnement des éléments légers comme Si, Na, K ou lourds comme U, Th, est alors maximum. Ces produits sont en outre de faible densité ($d=2,8$ au lieu de 3 pour les basaltes). Ils ne peuvent plus être recyclés dans le manteau et donnent naissance à de la croûte continentale, dont la composition chimique moyenne peut être assimilée à celle des diorites, roches intermédiaires entre les basaltes, liquides quasi indifférenciés, et les granites, qui constituent le terme le plus évolué de ce fractionnement.

La rhyolite, issue de laves acides (riches en silice Si dans l'espèce chimique SiO_2 dite intermédiaire), a une composition chimique proche du granite avec des minéraux essentiels quartz et feldspaths et où on trouve également des minéraux ferromagnésiens hydroxylés (riches en OH) comme la biotite et l'amphibole. L'andésite, issue de laves intermédiaires (richesse en silice entre 53 et 66%) de couleur gris clair, ne contient pas de quartz et essentiellement feldspaths et minéraux ferromagnésiens type amphiboles et biotite, hydroxylés, résiduels, à relier à l'hydratation de la péridotite source.

La dacite, roche magmatique volcanique microlitique claire composée de quartz, de plagioclase, de verre et de minéraux ferromagnésiens : biotite, hornblende ou pyroxène, équivalent volcanique de la granodiorite, se distingue minéralogiquement de l'andésite par la présence de quartz ...

NB : la remontée rapide du magma à l'origine de ses roches ne doit pas faire oublier une première cristallisation fractionnée préalable dans une autre chambre plus en profondeur avant cette remontée dite rapide reliée à la structure minéralogique microlitique qui leur est propre.

2/ cristallisation fractionnée, remontée et refroidissements lents : plutons et granitoïdes

La majeure partie du magma se refroidit en profondeur et donne des roches plutoniques grenues (granitoïdes, à composition minéralogique proche du granite), caractéristiques de la croûte continentale, contribuant à produire un néomatériau continental. Si le magmatisme des dorsales engendre la croûte océanique (basaltes et gabbros), celui des zones de subduction donne naissance à des roches de la croûte continentale (granitoïdes).

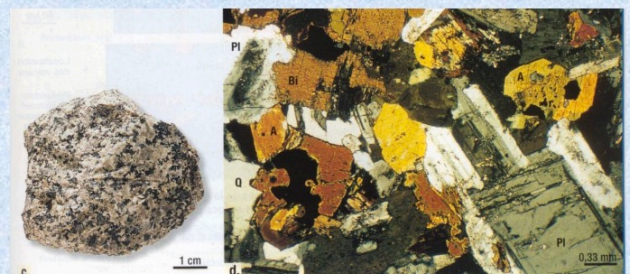
Un pluton est un massif de roches plutoniques, magmatiques grenues, en montagne, formées par refroidissement lent d'un magma, plusieurs dizaines de milliers d'années, permettant la formation de gros cristaux (macrocristaux), due à la grande profondeur de mise en place du pluton. Les roches plutoniques affleurent ensuite grâce à l'érosion qui cisèle les montagnes et retire les couches de terrain sous lesquelles le pluton s'était installé.

Roches volcaniques produites dans les zones de subduction



- **Andésite et Rhyolite** possèdent une texture caractérisée par la présence de gros et de petits cristaux (**microlites**) noyés dans un verre non cristallisé (texture **microlitique**), cette texture atteste l'origine volcanique des 2 roches;
- Ces 2 roches ont une composition minéralogique différente:
- **Feldspath plagioclase et pyroxène (amphibole)** pour l'**Andésite**,
- **Feldspath plagioclase, quartz et biotite** pour la **Rhyolite**.

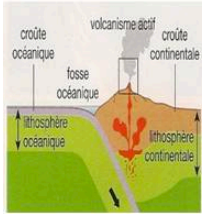
Les roches plutoniques



- La **granodiorite** est une roche entièrement cristallisée (texture **grenue**), ce qui confirme son origine plutonique (refroidissement lent d'un magma ayant cristallisé en profondeur);
- En revanche **sa composition minéralogique se rapproche de celles de l'Andésite et de la Rhyolite**, ce qui suggère que ces roches se forment à partir d'un **même type de magma**.

C'EST L'HYDRATATION DE LA CROÛTE OCÉANIQUE AU NIVEAU DE LA DORSALE ET LA SUBDUCTION QUI PAR DES MÉCANISMES DE DESHYDRATATIONS ESSENTIELLEMENT LIÉS À L'EFFET DES PRESSIONS CROISSANTES PLUS QUE CELLES DES TEMPÉRATURES CROISSANTES AU COURS DE L'ENFONCEMENT DE LA PLAQUE SUBDUITE (SLAB, PANNEAU PLONGEANT) QUI PERMETTENT LA GENÈSE DE LA NÉOCROÛTE CONTINENTALE SUR LA PLAQUE CHEVAUCHANTE (ROCHES VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES : ANDÉSITES ET RHYOLITES PAR REFROIDISSEMENT RAPIDE ET PLUTONS GRANITES ET GRANODIORITES ENTRE AUTRES PAR REFROIDISSEMENT LENT PLUS EN PROFONDEUR D'UN MÊME MAGMA D'ORIGINE, PAR FUSION PARTIELLE DES PÉRIDOTITES DU MANTEAU CHEVAUCHANT, HYDRATÉES PAR LA DÉSHYDRATATION DES MÉTAGABBROS DES FACIÈS SCHISTE VERT ET BLEUS ACCOMPAGNANT L'ENFONCEMENT DE LA CROÛTE DU SLAB LITHOSPHERIQUE PLONGEANT DANS L'ASTHÉNSPHERE, DÉSORMAIS PLUS DENSE QU'ELLE À 2000 KM ENVIRON DE LA DORSALE, DE DENSITÉ > 3,25 ET D'ÂGE > 40 MA. LES ROCHES DE LA NÉOCROÛTE CONTINENTALE PORTENT DONC DES MINÉRAUX HYDROXYLÉS TMOIGNANT DONC CETTE LONGUE HISTOIRE : AMPHIBOLES $NACa_2(Mg,Fe)4Si_6Al_3O_{22}3Al(OH)_2$ COMME LA HORNBLENDE, PHLOGOPITE $KMg_3(Si_3Al)O_{10}(F,OH)_2$ ET DES MICAS

L'Andésite



Au niveau de l'arc volcanique, une quantité importante de lave visqueuse est produite à chaque éruption. Le refroidissement en surface de ces laves engendre la formation d'une grande diversité de roches qualifiées de volcaniques. Parmi celles-ci, l'andésite et la rhyolite sont caractéristiques des zones de subduction.

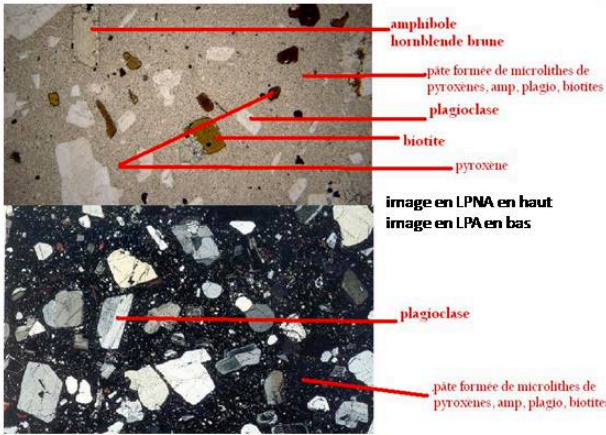
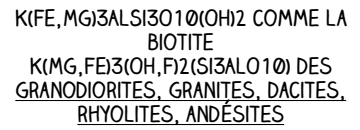
Bordas, Terminales S, 2012

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20g.htm>



Etude macroscopique de l'échantillon

Couleur : claire (leucocrate), grise
Minéraux visibles à l'œil nu : amphibole / plagioclase zoné / pyroxène
Texture de la roche : Microlithique
Famille de la roche : Roche magmatique volcanique (cristallisation en surface)
Localisation : Volcanisme en zone de subduction - Cordillères des Andes
Autres caractéristiques : (par rapport au basalte, pas d'olivine !)
 Série sub-alkaline

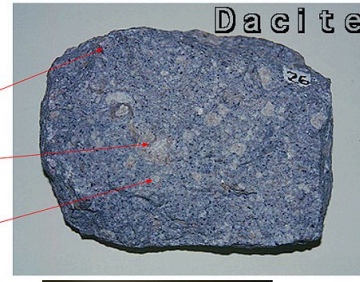


L'andésite

- Roche magmatique volcanique
- Structure microlithique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de plagioclases, d'amphiboles, de pyroxènes, de biotite ;
 - microlithes d'amphiboles et de plagioclases ;
 - verre (partie non cristallisée).

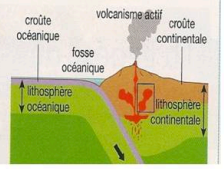
Bordas, Terminales S, 2012

La dacite
 Les petits cristaux noirs sont des pyroxènes
 Les minéraux de couleur pâle sont dus à la présence de feldspath
 Les éléments de couleurs blanc sont des plagioclases



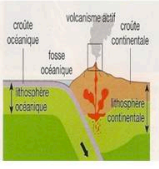
La Diorite et la Granodiorite

Au cours d'une éruption volcanique, une partie du magma n'atteint pas la surface et refroidit en profondeur. Les roches ainsi formées sont appelées roches plutoniques. Elles n'affleurent en surface que des millions d'années après leur formation, suite à une érosion importante. Au niveau des zones de subduction, une grande variété de roches plutoniques peut se former. La diorite est une des plus caractéristiques.



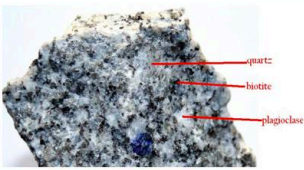
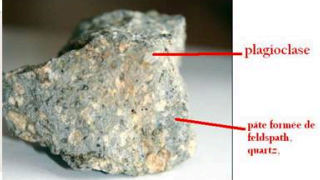
Bordas, Terminales S, 2012

La Rhyolite



Au niveau de l'arc volcanique, une quantité importante de lave visqueuse est produite à chaque éruption. Le refroidissement en surface de ces laves engendre la formation d'une grande diversité de roches qualifiées de volcaniques. Parmi celles-ci, l'andésite et la rhyolite sont caractéristiques des zones de subduction.

Bordas, Terminales S, 2012



Granodiorite
<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20g.htm>



La diorite

- Roche magmatique plutonique
- Structure grenue
- Composition minéralogique : plagioclases, amphiboles, biotite et muscovite, pyroxènes.

Bordas, Terminales S, 2012

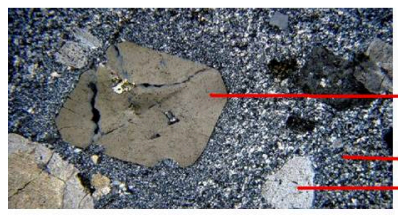


image en LPA

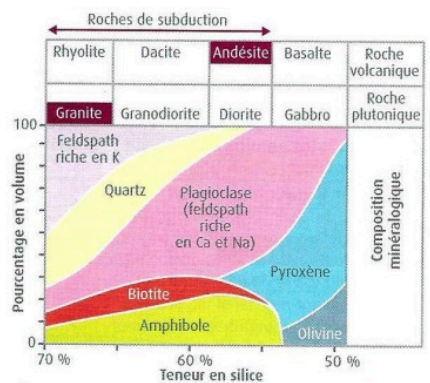
La rhyolite

- Roche magmatique volcanique
- Structure microlithique
- Composition minéralogique :
 - phénocristaux de quartz, d'amphiboles, de feldspath potassique et plagioclases, de biotite ;
 - microlithes de quartz et de feldspaths ;
 - verre (partie non cristallisée).

Bordas, Terminales S, 2012

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20g.htm>

Composition minéralogique	Quartz	Feldspaths Plagioclases (plus abondant que les F. orthose)	Feldspaths Plagioclases	Refroidissement rapide
	Feldspaths Orthose avec ou pas de F. Plagioclases minéraux secondaires : biotite - amphibole	minéraux secondaires : biotite - amphibole - pyroxène	Amphibole verte (Hornblende) biotite et pyroxène plus rares	
Structure	Microlithique	Microlithique	Microlithique	Refroidissement lent
	Grenue	Grenue	Grenue	
	Magma riche en silice (entre 65 et 75 %)	Magma assez riche en silice (entre 60 et 65 %)	Magma moyennement riche en silice (entre 50 et 60%)	Vitesse de refroidissement
				Chimie du magma

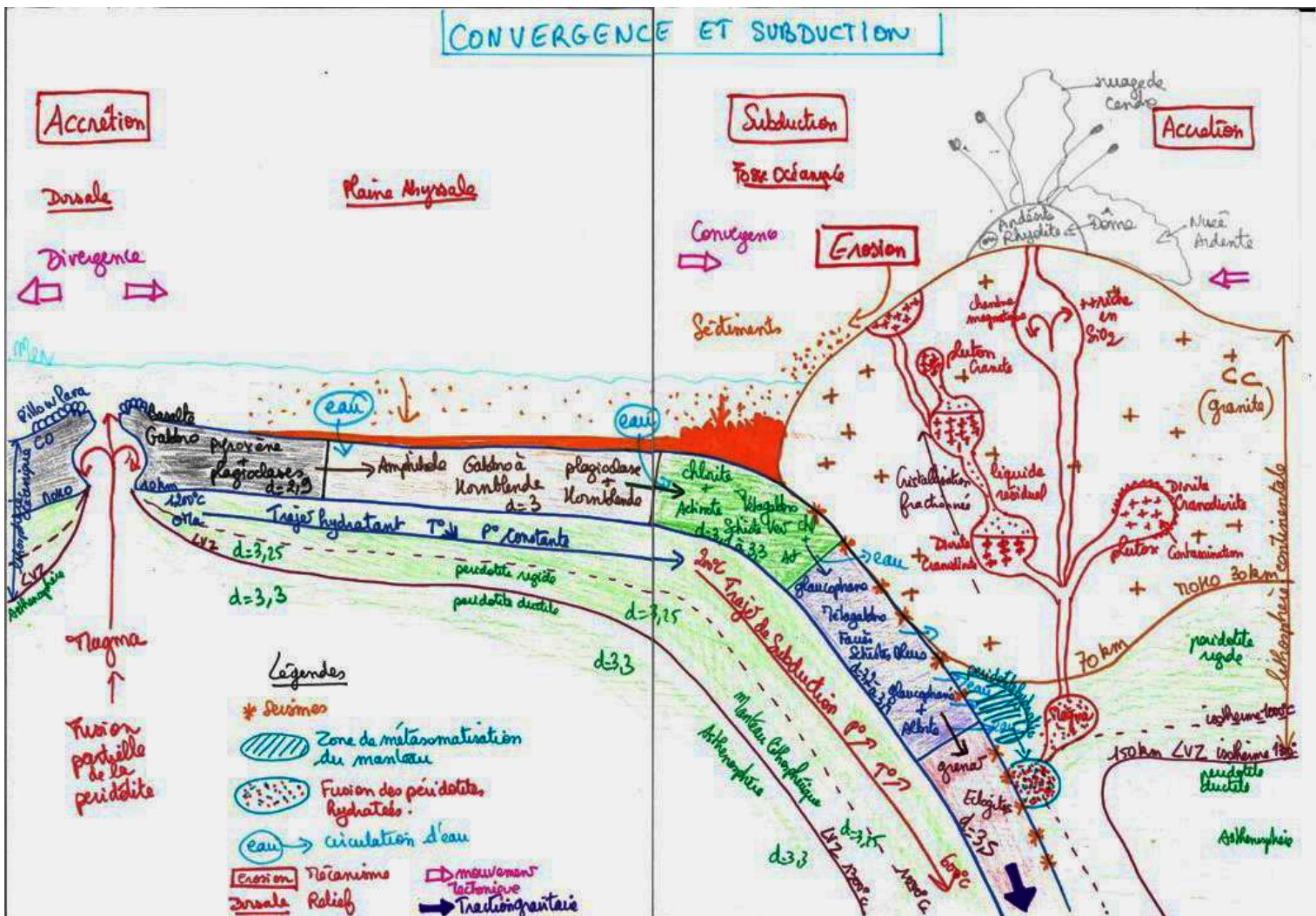


La **granodiorite** (de « grain » et de « diorite ») est une roche magmatique plutonique grenue proche du granite. Elle est le résultat de la fusion partielle de la péridotite du manteau au niveau de l'arc magmatique d'une zone de subduction. Cette péridotite en fusion partielle remonte et reste bloquée dans des réservoirs où elle va entamer une lente cristallisation en profondeur, donnant naissance à la granodiorite. Elle est principalement constituée de **quartz** (> 10 %) et de **feldspaths**, mais contrairement au granite, elle contient **plus de plagioclases** que d'orthose. Les minéraux secondaires sont la **biotite**, l'**amphibole** et le **pyroxène**.

La **diorite** est une roche magmatique plutonique grenue composée de **plagioclase**, d'**amphibole verte** (hornblende), de mica et de **biotite** plus rare. Elle se distingue du **gabbro** par l'**absence d'olivine**.

La **rhyolite** est une roche volcanique de couleur assez claire : rosée ou grise. C'est une roche à structure microlithique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et amphibole.

CONVERGENCE ET SUBDUCTION



PROLONGEMENT : « la lithosphère de plus de 200 Ma a disparu par enfoncement dans l'asthénosphère »
 Vérifions cette hypothèse par des arguments scientifiques, recherchons des indices explicatifs.

COMMENT UNE DENSITÉ D'UN MATÉRIAU PEUT S'ÉLEVER EN SE DÉPLAÇANT ?

hypothèses :

- **H1 :** un épaissement engendre une prise de masse et son poids en N peut dépasser en valeur les forces opposées (résistances diverses, poussée d'Archimède)
- **H2 :** un refroidissement progressif en s'éloignant de la dorsale contracte le matériau qui devient plus dense

une limite thermo-mécanique en zone de subduction

une limite inférieure thermique

- au niveau de la **zone volcanique :** anomalie positive du flux thermique très élevé (jusqu'à $> \times 15$ la valeur moyenne des autres régions du globe)
- **au niveau de la fosse océanique :** anomalie négative du flux (plus faible que la moyenne) : flux thermique faible (en $W.m^{-2}$)
- **au fur et à mesure que l'on s'éloigne de ces 2 zones :** il redevient moyen, environ $80 W.m^{-2}$

La modélisation des **isothermes** (variations de température en profondeur) dans une zone de subduction montre des anomalies thermiques négatives : elles sont **déformées**, comme si une zone froide locale plongeait sans avoir le temps de s'équilibrer en température avec la zone plus chaude dans laquelle elle s'enfonce : elle refroidirait son environnement plus vite qu'elle ne se réchauffe en s'y enfonçant.

géotherme : sur un graphique, courbe représentant la température en fonction de la profondeur (ou de la pression)

isotherme : sur une carte ou sur une coupe, courbe joignant les points d'une surface qui sont à la même température

La capacité de déformation d'une roche est liée au rapport T/T_f où T est la température de la roche et T_f sa température de fusion. Plus ce rapport est proche de 1, et plus la roche est déformable.

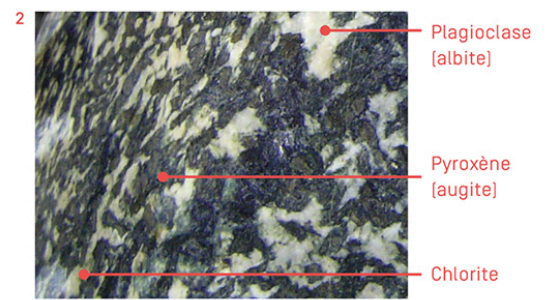
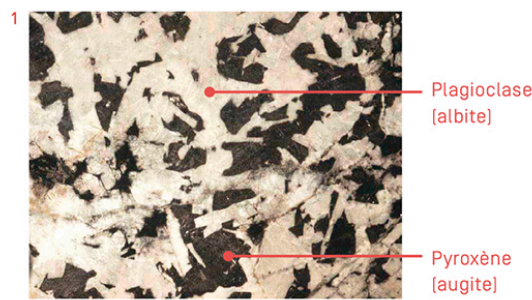
$< - 100 km : R < 0,5 \Rightarrow$ roche à comportement cassant = lithosphère.

ROCHE

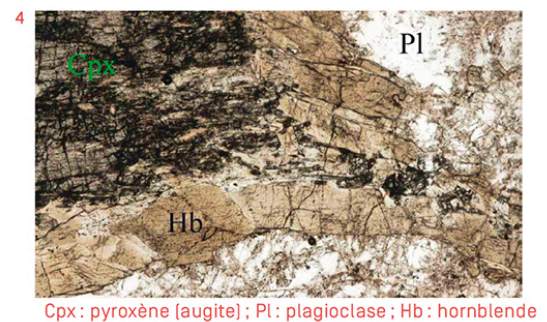
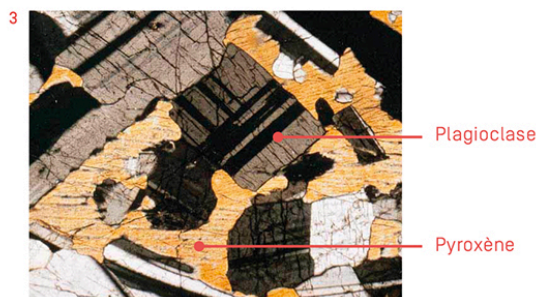
GABBRO = R1

METAGABBRO DU FACIÈS SCHISTE VERT = R2

Observation à l'œil nu



Observation au microscope polarisant

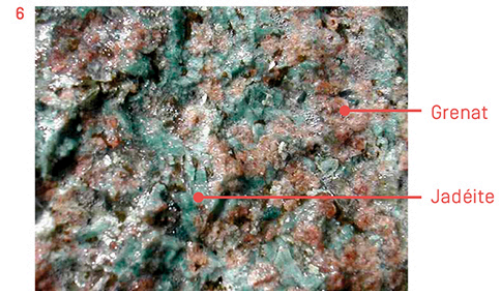
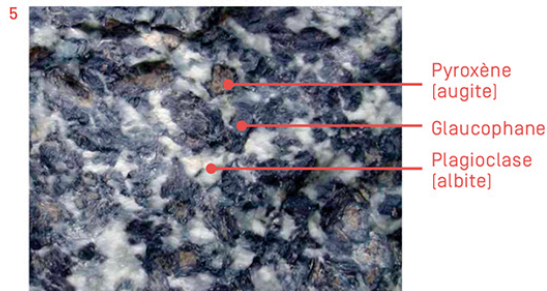


ROCHE

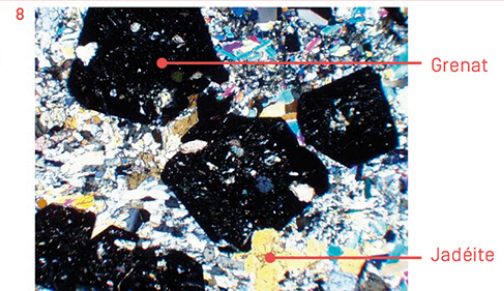
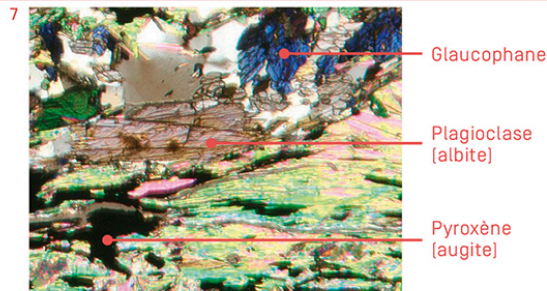
METAGABBRO DU FACIÈS SCHISTE BLEU = R3

METAGABBRO DU FACIÈS DES ÉCLOGITES = R4

Observation à l'œil nu



Observation au microscope polarisant et analysant

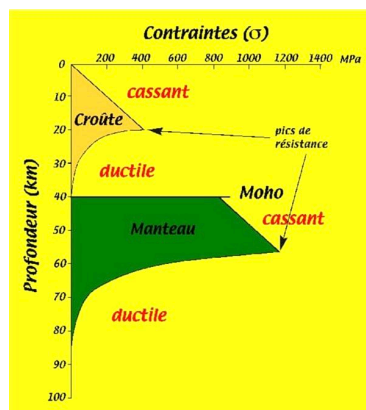
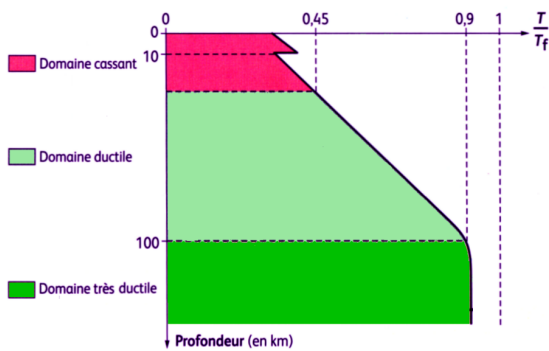


> - 100 km : $0,5 < R < 1$ => roche à comportement ductile = asthénosphère.

Dans les conditions (P,T) de la lithosphère, les roches ont un comportement cassant et la chaleur se propage par conduction (sans mouvement de transfert) .

À partir de la LVZ (isotherme 1300 °C) les conditions (P,T) sont voisines de celles nécessaires au début de fusion partielle de la péridotite mantellique : les ondes sismiques y sont légèrement ralenties (LVZ), les roches à comportement ductile et la chaleur transmise par conduction mais aussi convection (avec cellules de transfert). Δ structure pétrographique résulte d'une Δ composition chimique entre croûtes (de composition basaltique OU granitique), manteau (formé de péridotites) et noyau. Δ structure géophysique repose, elle, sur une différence de comportement mécanique des roches. Les croûtes océanique et continentale et la partie supérieure du manteau supérieur (jusqu'à la LVZ), sont solidaires sur le plan mécanique et forment ensemble la lithosphère rigide et cassante. L'asthénosphère sous-jacente est constituée du reste du manteau supérieur et, bien que solide, se caractérise par sa ductilité.

La convection est un transfert de chaleur par mouvement de matière. Les mouvements au sein du manteau sont lents (quelques cm.an⁻¹) et affectent un SOLIDE (déformable)



Les matériaux terrestres chauds et peu denses montent puis s'étalent à la surface de la Terre alors que les matériaux froids et denses s'enfoncent dans le manteau. C'est la gravité qui attire les masses les plus denses vers le bas. Ces dernières, en prenant la place des masses les moins denses, repoussent celles-ci vers le haut. A composition chimique, minéralogique (-670 à -2900 km) ne présente de

et pétrologique homogènes, le manteau inférieur différence que de température. Les zones mantelliques rouges sont des masses de péridotite SOLIDES et CHAUDES, qui montent donc, alors que les zones lithosphériques bleues sont des masses de péridotite SOLIDES et FROIDES (avec un peu de croûte) qui descendent. Il ne s'agit en aucun cas de magma.

BILAN BO (PROGRAMME) BILANS DU CHAPITRE 1

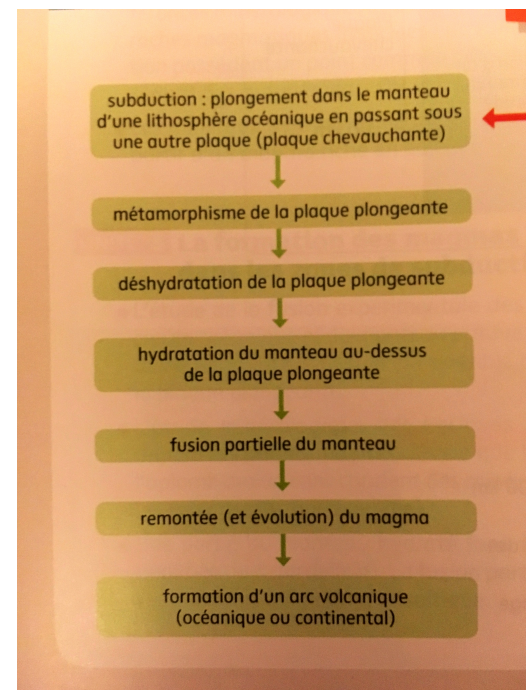
UNE SUBDUCTION IMPLIQUE TOUJOURS 2 PLAQUES EN CONVERGENCE : LA PLUS LOURDE ENTRE ALORS EN SUBDUCTION PAR SIMPLE EFFET DE DIFFÉRENCE DE MASSE VOLUMIQUE. LA LITHOSPHÈRE CONTINENTALE NE S'ÉPAISSISSANT PAS AVEC LE TEMPS CONTRAIREMENT À LA LITHOSPHÈRE OcéANIQUE, C'EST LE PLUS SOUVENT LA LITHOSPHÈRE OcéANIQUE QUI SUBDUCTE SOUS UNE AUTRE LITHOSPHÈRE. IL EXISTE QUELQUES RARES CAS DE SUBDUCTION CONTINENTALE QUI SE PRODUISENT DANS LES ZONES DE COLLISION TRÈS AVANCÉES. CONSÉQUENCES DE LA SUBDUCTION : TRÈS IMPORTANTES SUR LA SÉDIMENTATION PAR LA FORMATION D'UN PRISME D'ACCÉTION, PAR LA MISE EN PLACE DE RELIEF POSITIFS PARTICULIERS ACCOMPAGNÉS SOUVENT DE VOLCANISME ANDÉSITIQUE ET MÉTAMORPHISME INTENSE AU NIVEAU DU SLAB.

AU NIVEAU GÉODYNAMIQUE, LA SUBDUCTION PEUT ÊTRE INTERPRÉTÉE COMME LA BRANCHE DESCENDANTE

DE LA CONVECTION MANTÉLLIQUE. LE MATÉRIEL AINSI ENFOUI SERA RECYCLÉE COMME ON PEUT LE VOIR AU NIVEAU DE CERTAINS POINTS CHAUDS. ENFIN, IL EST IMPORTANT DE NOTER QUE LA SUBDUCTION A PARTICIPÉ ET CONTINUE DANS UNE MOINDRE MESURE À FORMER LA CROÛTE CONTINENTALE

NOTAMMENT PAR LA MISE EN PLACE DE ZONE ADAKITIQUE/KOMATIITIQUE ET PAR COLLAGE. TOUTE SUBDUCTION SE TERMINE INÉLUCTABLEMENT PAR UNE COLLISION QUI PERMET DE FORMER DES CHAÎNES DE MONTAGNES. CÉPENDANT, SI ON REGARDE LES AUTRES PLANÈTES DU SYSTÈME SOLAIRE, PEU ONT CERTAINEMENT PRÉSENTE DE LA SUBDUCTION MAIS PEUVENT POUR AUTANT MONTRER DES CHAÎNES DE MONTAGNES.

NOMBRE DE PLAQUES : [HTTPS://WWW.FUTURA-SCIENCES.COM/PLANETE/QUESTIONS-REponses/PLAQUE-TECTONIQUE-PLAQUES-TECTONIQUES-COMpte-TERRE-10922/](https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/plaque-tectonique-plaques-tectoniques-compte-terre-10922/)
MATHRIX : MODÈLE PLAQUISTE : [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=J6-OGICL2JK&LIST=PLB2JKLA1NHEPYFJULAMNBXPHD_SLYXL&INDEX=9&T=28S](https://www.youtube.com/watch?v=J6-OGICL2JK&list=PLB2JKLA1NHEPYFJULAMNBXPHD_SLYXL&index=9&t=28S)



- MARQUEURS GÉOLOGIQUES : VOLCANS + SÉISMES
- THERMO-SISMIQUES : SISMICITÉ LITHOSPHÉRIQUE DU SLAB DU PLAN DE BENIOFF ET DE LA PLAQUE CHEVAUCHANTE TOME ANOMALIES POSITIVE DU SLAB (DU PLUS DENSE QUE PRÉVU INTERPRÉTÉ COMME PLUS FROID (ANNÉES 60))
- THERMIQUES : POSITIF À L'ARC, NÉGATIF À LA FOSSE, ANOMALIES NÉGATIVE DES ISOTHERMES DONT LA DÉFORMATION SUIT LE SLAB (LOGICIEL TOMOGRAPHIE SISMIQUE ET TECTOglob) : L'INERTIE THERMIQUE FAIBLE DES ROCHES LITHOSPHÉRIQUES FAIT QUE DU FROID QUI S'ENFONCE DANS DU PLUS CHAUD SE RÉCHAUFFE PEU ET REFROIDIT L'ENCAISSANT PLUS QU'IL NE SE RÉCHAUFFE DONC
- GÉODÉSIIQUES : ANOMALIES NÉGATIVE DE G À LA FOSSE, POSITIVE AU NIVEAU DE L'ARC
- VOLCANO-MAGMATIQUES : VOLCANISME EXPLOSIF (LIÉ AU GAZ, VISQUEUX), HYDRATÉ AVEC NÉOCROÛTE CONTINENTALE (GRANODIORITES, GRANITES, DIORITES, ANDÉSITES, DACITES ET RHYOLITHES EN FONCTION DU TEMPS DE REFROIDISSEMENT DU MAGMA ET DE LA POSITION, CE QUI AFFECTE LA COMPOSITION NET LA STRUCTURE DES ROCHES MICROLITHIQUES OU MICROLITHIQUES : PLUS UN MINÉRAL A LE TEMPS DE CRISTALLISER, PLUS IL EST GROS ET INVERSEMENT OÙ IL FORME DES BAGUES ET PARFOIS NE CRISTALLISE PAS (PÂTE AMORPHE, VERRE, VOIR BASALTES)

LA SUBDUCTION EST LE PROCESSUS PERMETTANT LA DISPARITION DE PALÉOOCÉANS, À RÔLE FONDAMENTAL DANS LE RENOUVELLEMENT DES FONDS OcéANIQUE ET LE REMODELAGE DE LA CROÛTE TERRESTRE.

VIDÉOS

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?TIME_CONTINUE=740&V=CFUTLU6Q0DM](https://www.youtube.com/watch?time_continue=740&v=CFUTLU6Q0DM)

POUR ALLER PLUS LOIN : LA CRISTALLISATION FRACTIONNÉE : [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=5YVRH3K6ZB0](https://www.youtube.com/watch?v=5YVRH3K6ZB0)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QRMTB5F15JC](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)

ROCHES FORMÉES DE LA CROÛTE CONTINENTALE EN SUBDUCTION (PLAQUE CHEVAUCHANTE) [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=PMIBYE6VKV0](https://www.youtube.com/watch?v=PMIBYE6VKV0)

MATHRIX : [HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QRMTB5F15JC&T=414S](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC&t=414s)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=QRMTB5F15JC](https://www.youtube.com/watch?v=QRMTB5F15JC)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=W_DQH6D4ZHU&T=512S](https://www.youtube.com/watch?v=W_DQH6D4ZHU&t=512s)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=XAMAZHIAGAC&LIST=PLB2JIKLA1NHFIFIC2JEHVGCMPKZXFJ1S1&INDEX=8](https://www.youtube.com/watch?v=XAMAZHIAGAC&list=PLB2JIKLA1NHFIFIC2JEHVGCMPKZXFJ1S1&index=8)

[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=Y6HGXXGZYPW&FEATURE=EMB_TITLE](https://www.youtube.com/watch?v=Y6HGXXGZYPW&feature=emb_title)

▪ Les zones de subduction

Connaissances

La lithosphère océanique plonge en profondeur au niveau d'une zone de subduction.

Les zones de subduction sont le siège d'un magmatisme sur la plaque chevauchante.

Le volcanisme est de type explosif : les roches mises en place montrent une diversité pétrologique mais leur minéralogie atteste toujours de magmas riches en eau.

Ces magmas sont issus de la fusion partielle du coin de manteau situé sous la plaque chevauchante ; ils peuvent s'exprimer en surface ou peuvent cristalliser en profondeur, sous forme de massifs plutoniques. Ils peuvent subir des modifications lors de leur ascension, ce qui explique la diversité des roches.

La fusion partielle des péridotites est favorisée par l'hydratation du coin de manteau.

Les fluides hydratant le coin de manteau sont apportés par des transformations minéralogiques affectant le panneau en subduction, dont une partie a été hydratée au niveau des zones de dorsales.

La mobilité des plaques lithosphériques résulte de phénomènes de convection impliquant les plaques elles-mêmes et l'ensemble du manteau.

L'augmentation de la densité de la lithosphère constitue un facteur important contrôlant la subduction et, par suite, les mouvements descendants de la convection. Ceux-ci participent à leur tour à la mise en place des mouvements ascendants.