

## IV / MAGMATISME ET METAMORPHISME EN SUBDUCTION (AP # 3)

### COMMENT, DANS LE CONTEXTE DE SUBDUCTION, SE MET EN PLACE DU MAGMATISME ET INTERVIENT-IL DANS LA PRODUCTION DE NÉOROCHEs 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 (granitoïdes, rhyolites, dacites et andésites pour l'essentiel). Le volcanisme explosif consiste en l'émission de laves, gaz et projections importantes à la surface, cendres, nuées ardentes (= laves visqueuses + gaz + 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 matériaux constituant la croûte continentale. Les zones de subduction sont le siège d'un volcanisme donc souvent explosif et 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 SiO<sub>2</sub> des magmas est le plus fréquemment comprise entre 45% (pauvres) et 65% (riches) : c'est cette teneur en silice qui détermine la viscosité du magma, c'est-à-dire la résistance à l'écoulement : plus elle est élevée, plus le magma est visqueux.

## A / LES TRANSFORMATIONS MINÉRALOGIQUES DE LA LITHOSPHERE SUBDUITE SONT LIÉES AU FLUIDE H<sub>2</sub>O

### 1/ Caractéristiques de la lithosphère subduite et métamorphisme HTBP (⇒ 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 (Haute Température Basse Pression):

- 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 **serpentinite** (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)

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

épidote = Ca<sub>2</sub>(Fe<sub>3+</sub>,Al)<sub>3</sub>(SiO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(OH), albite,

### 2/ le métamorphisme de cette lithosphère en subduction HPBT (⇒ 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 épaississement 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 et est surtout soumise à des pressions de plus en plus importantes avec la

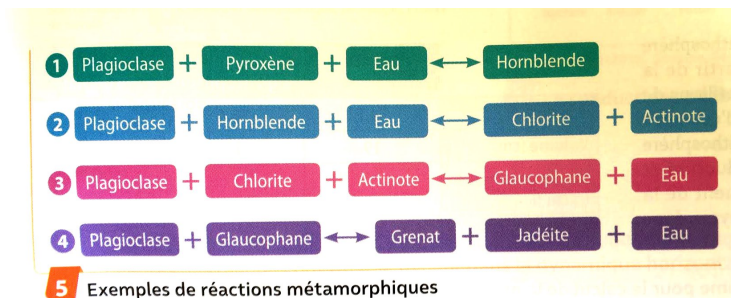
profondeur croissante : dans ces conditions, les minéraux qui la constituent deviennent instables : à de profondeurs supérieures à **-30 à -40 km**, la croûte devient siège de réactions à l'état solide conduisant à la formation avec perte d'eau de nouvelles associations minéralogiques, marquées en particulier 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 péridotite s du manteau de la plaque chevauchante.**

**faciès schistes bleus SB** : glaucophane  $\text{Na}_2(\text{Mg,Fe})_3\text{Al}_2\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ , 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 et Plagioclase + Amphibole bleue → Grenat + Jadéite + eau



## B / GENESE MAGMATIQUE EN CONTEXTE GEODYNAMIQUE DE SUBDUCTION

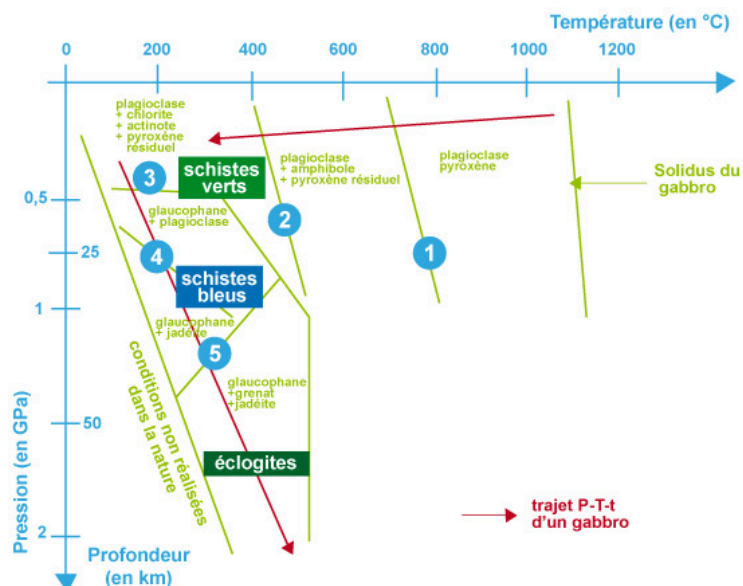
### 1/ matériel d'origine

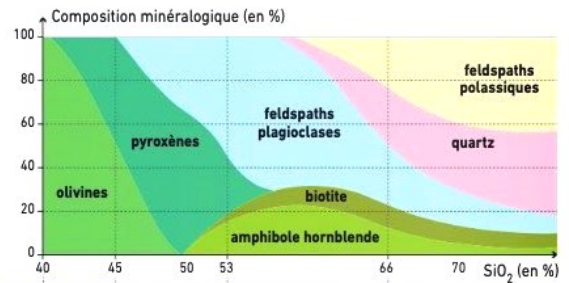
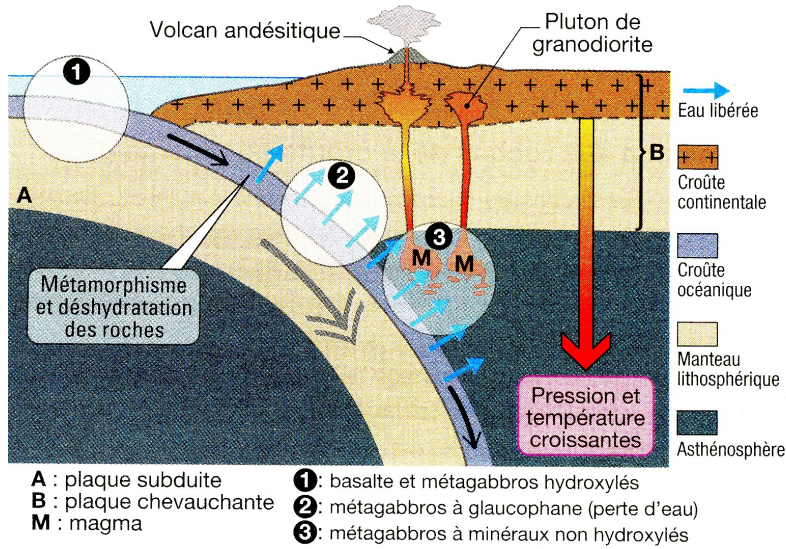
Il n'existe pas de formation de magma continue, il se forme toujours en des endroits particuliers dans des conditions particulières (décompression adiabatique au rift d'une dorsale, apport de chaleur au niveau des points chauds ou d'eau pour les subductions). **Un magma provient toujours de la fusion 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





|                                         |             |             |             |
|-----------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Roches volcaniques</b>               | ① basaltes  | ③ andésites | ⑤ rhyolites |
| <b>Roches plutoniques ou du manteau</b> | péridotites | ② gabbros   | ④ diorites  |
|                                         |             |             | ⑥ granites  |

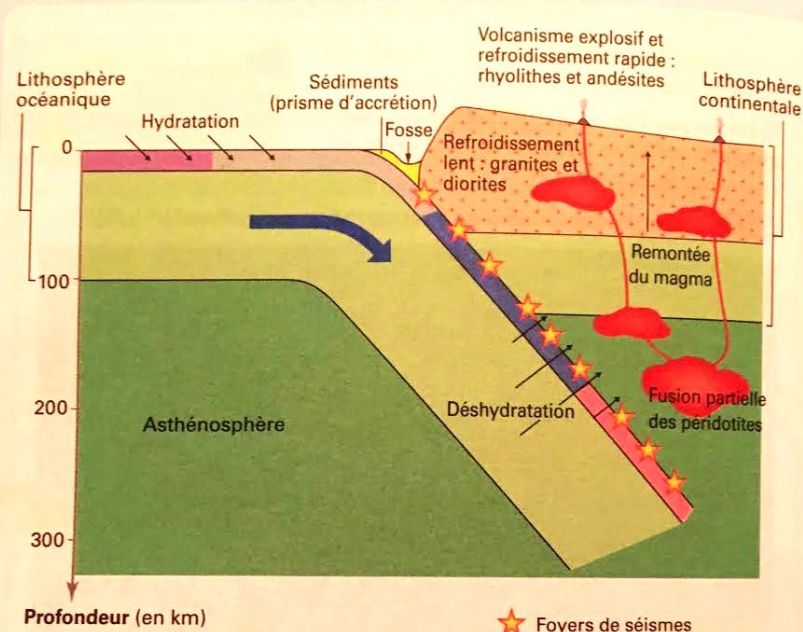
**B** Composition minéralogique des roches magmatiques en fonction de leur teneur en  $SiO_2$ .

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

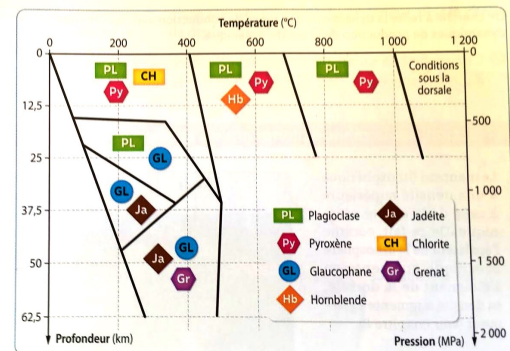
dans les zones de subduction montre qu'il existe un coin de manteau entre la croûte de l'arc et la plaque plongeante.

|                                                                       | Andésite | Diorite | Rhyolite | Granite |
|-----------------------------------------------------------------------|----------|---------|----------|---------|
| Feldspath plagioclase $(Na,Ca)[Al(Si,Al)Si_3]_2O_8$                   | ✓        | ✓       | ✓        | ✓       |
| Feldspath orthose $KAlSi_3O_8$                                        | ✓        | ✓       | ✓        | ✓       |
| Amphibole Hornblende $(Na,Ca)_2(Mg,Fe,Al)_5Si_6(Si,Al)_2O_{22}(OH)_2$ | ✓        | ✓       | ✓        | ✓       |
| Pyroxène $(Ca,Mg,Fe)SiO_3$                                            | ✓        | ✓       |          |         |
| Biotite $K(Mg,Fe)_3(OH,F)_2(Si,AlO_{10})$                             |          |         | ✓        |         |
| Quartz $SiO_2$                                                        |          |         | ✓        | ✓       |
| Verre                                                                 | ✓        |         | ✓        | ✓       |

## Magmatisme et subduction



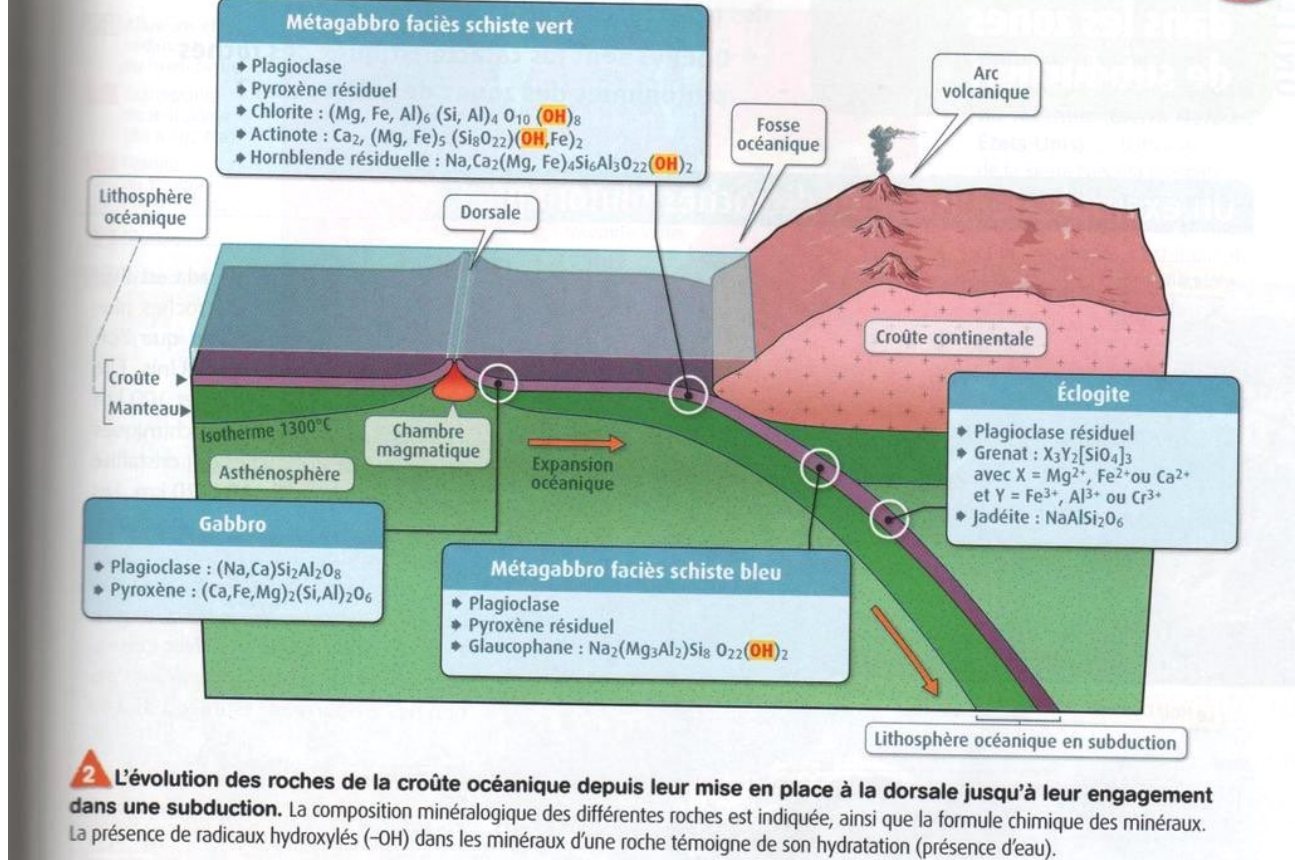
Les assemblages minéralogiques sont stables pour des conditions de pression et de température données. Quand la pression et la température varient, les minéraux se transforment en de nouveaux minéraux stables aux nouvelles conditions de pression et température.



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

### MOTS CLÉS

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

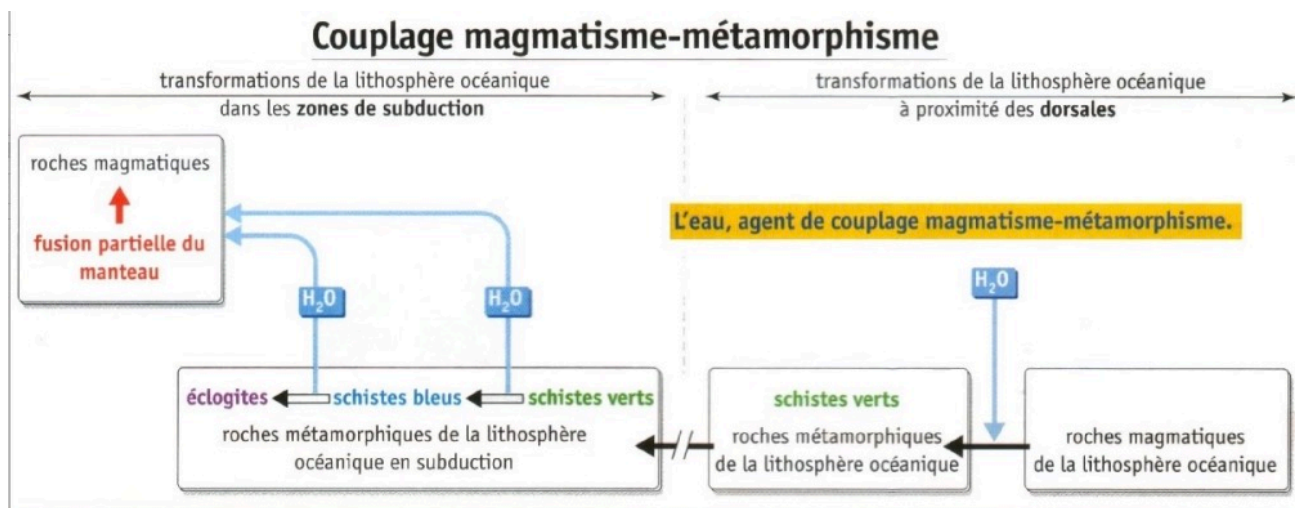
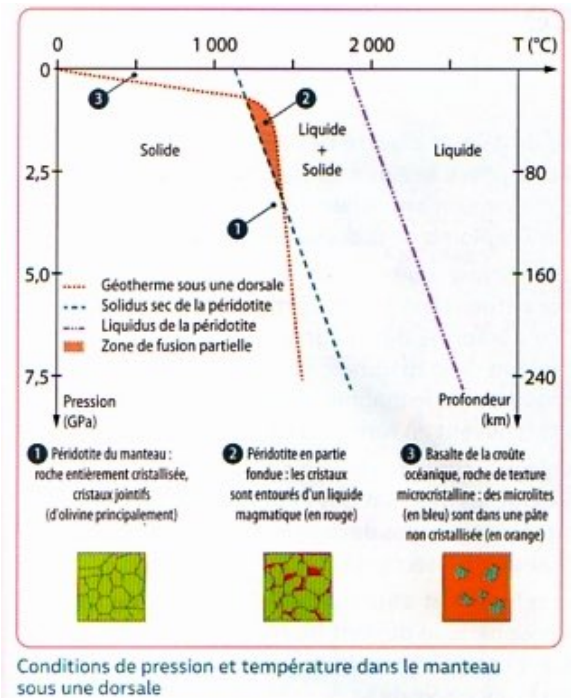


## C / DU MAGMA AUX ROCHES CONTINENTALES

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 refroidissement rapide : andésites et rhyolites

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.

**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 microlithique qui leur est propre.

## 2/ cristallisation fractionnée, remontée et refroidissement 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 (**rhyolites, andésites, granitoïdes**), 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).

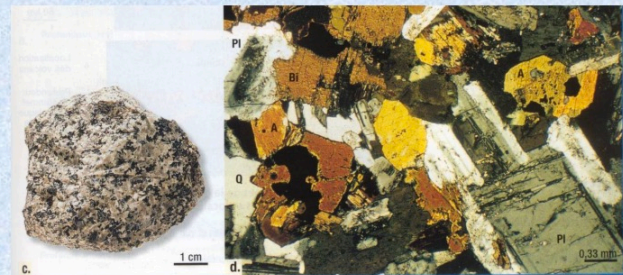
Un pluton est un massif de roches plutoniques, magmatiques grenues, en montagne, formées par refroidissement lent d'un magma, plusieurs dizaines de milliers d'années, permettant la formation de gros cristaux (macrocristaux), due à la grande profondeur de mise en place du pluton. Les roches plutoniques 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 À VISUALISER SUR LE SCHÉMA-BILAN PERMETTENT LA GENÈSE DE LA CROÛTE CONTINENTALE (ROCHES VOLCANIQUES ET PLUTONIQUES : ANDÉSITES ET GRANITOÏDES ENTRE AUTRES) PAR FUSION PARTIELLE DES PÉRIDOTITES DU MANTEAU CHEVAUCHANT, HYDRATÉES PAR LA DÉSHYDRATATION DES MÉTAGABBROS DU FACIÈS SCHISTE VERT ET BLEUS EN RAISON DE LA HAUSSE DE LA PRESSIION (ET SECONDAIREMENT DE LA TEMPÉRATURE) ACCOMPAGNANT L'ENFONCEMENT DE LA CROÛTE OCÉANIQUE DE LA LITHOSPHERE PLONGEANT DANS L'ASTHÉNOsphère, DÉSORMAIS PLUS DENSE QU'ELLE À 2000 KM ENVIRON DE LA DORSALE, DE DENSITÉ > 3,25 ET D'ÂGE > 30 MA.**

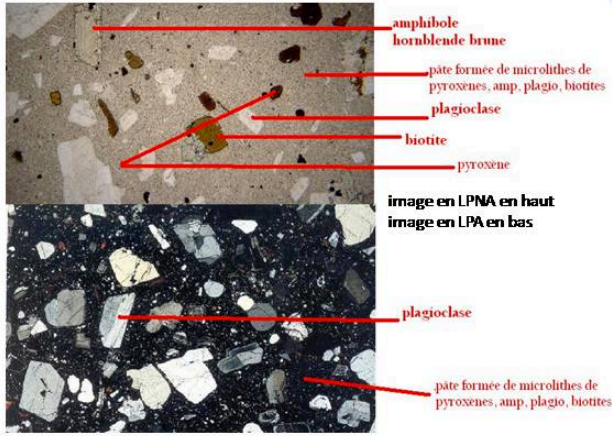
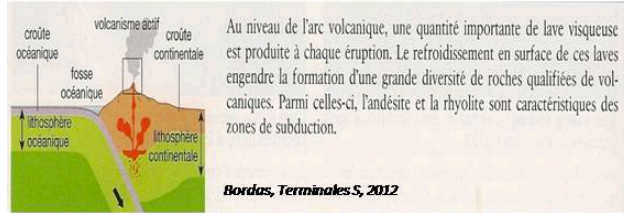
# L'Andésite

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20e9oL.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



<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20e9oL.htm>

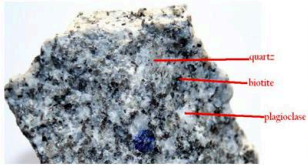
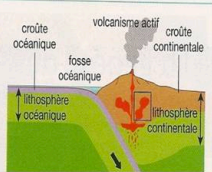
### L'andésite

- 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 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.



**Granodiorite**  
<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20e9oL.htm>



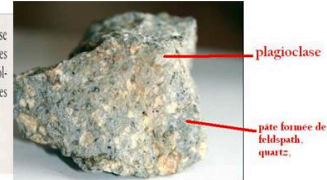
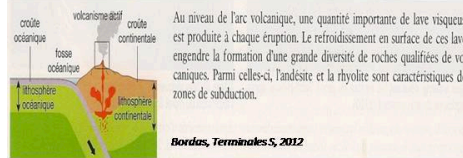
**La diorite**

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

*Bordas, Terminales S, 2012*

# La Rhyolite

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20e9oL.htm>



plagioclase  
 pâte formée de feldspath, quartz.

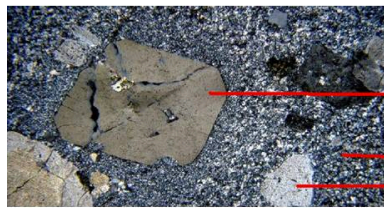


image en LPNA

feldspath  
 pâte formée de microlithes  
 quartz

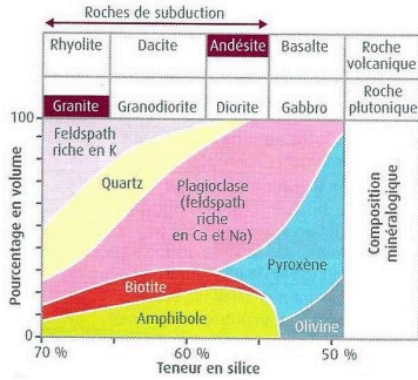
### La rhyolite

- 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).

<http://svtlarde.pagesperso-orange.fr/page%2031%20fiche%20g%20e9oL.htm>

*Bordas, Terminales S, 2012*

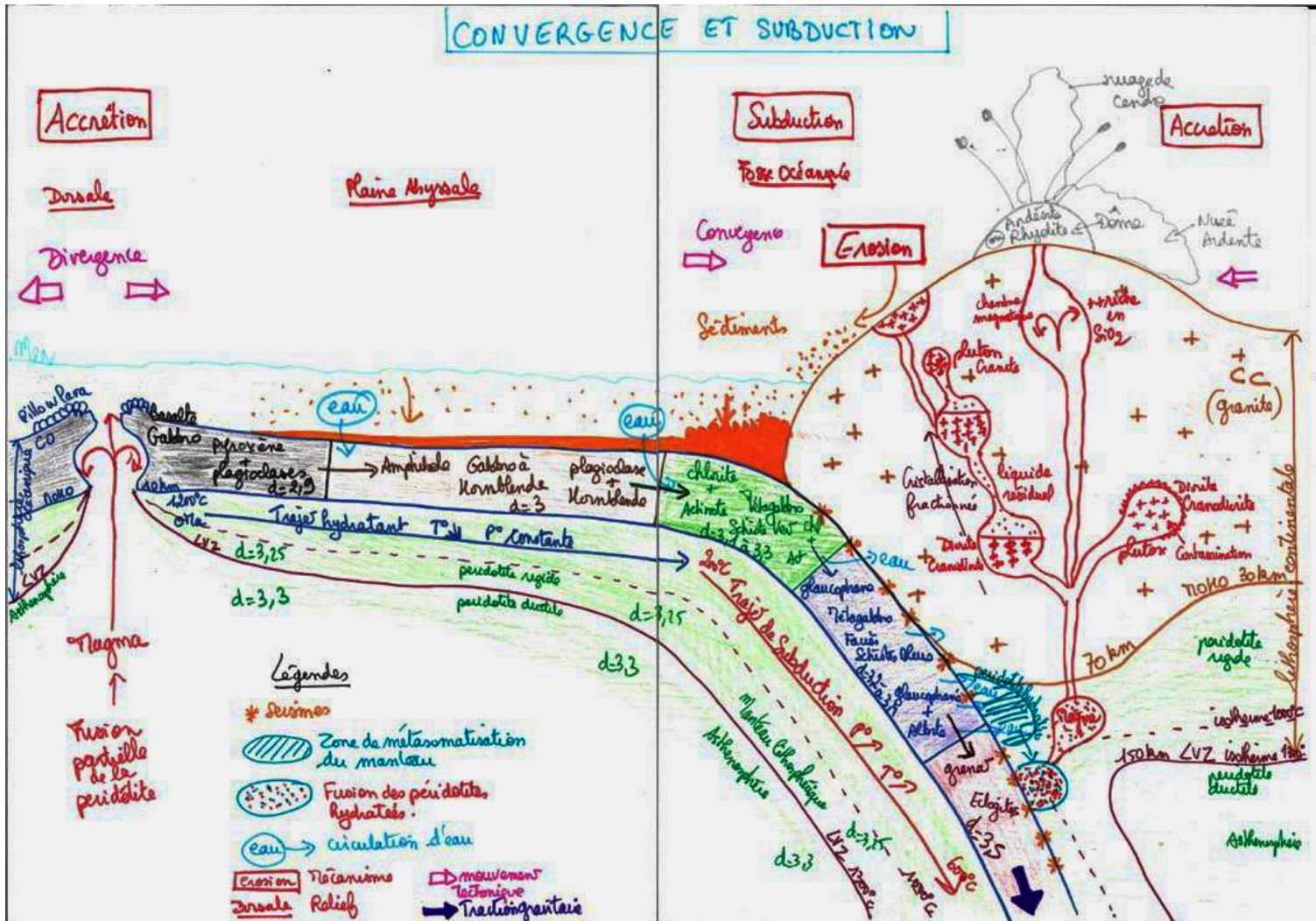
|           |                           |                                                                                                        |                                                                                                                               |                                                                                           |
|-----------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Structure | Composition minéralogique | Quartz<br>Feldspaths Orthose avec ou pas de F. Plagioclases minéraux secondaires : biotite - amphibole | Quartz<br>Feldspaths Plagioclases (plus abondant que les F. orthose)<br>minéraux secondaires : biotite - amphibole - pyroxène | Feldspaths Plagioclases<br>Amphibole verte (Hornblende)<br>biotite et pyroxène plus rares |
|           | Microlithique             | <b>Rhyolite</b>                                                                                        | <b>Dacite</b>                                                                                                                 | <b>Andésite</b>                                                                           |
| Grenue    | <b>Granite</b>            | <b>Granodiorite</b>                                                                                    | <b>Diorite</b>                                                                                                                | Refroidissement lent                                                                      |
|           |                           | 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<br>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**.

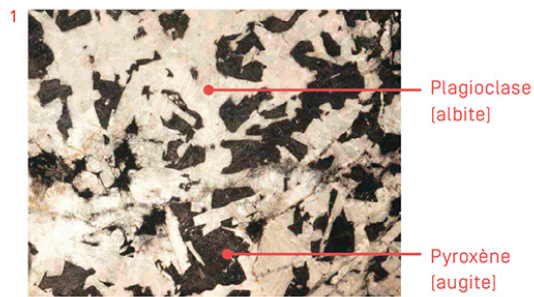
La **rhyolite** est une roche volcanique de couleur assez claire : rosée ou grise. C'est une roche à structure microlithique présentant des minéraux visibles à l'œil nu : quartz, feldspaths et amphibole.



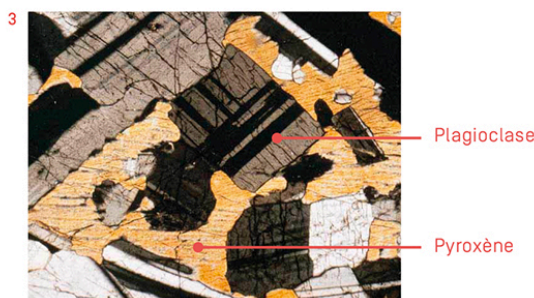
**ROCHE**

**GABBRO = R1**

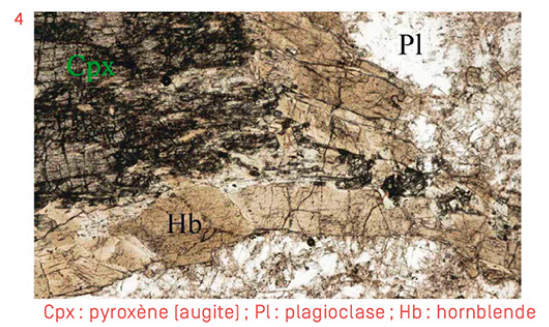
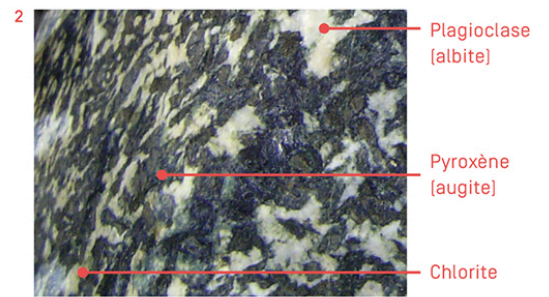
Observation à l'œil nu



Observation au microscope polarisant



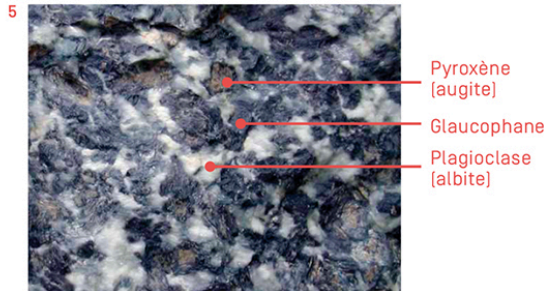
**METAGABBRO DU FACIÈS SCHISTE VERT = R2**



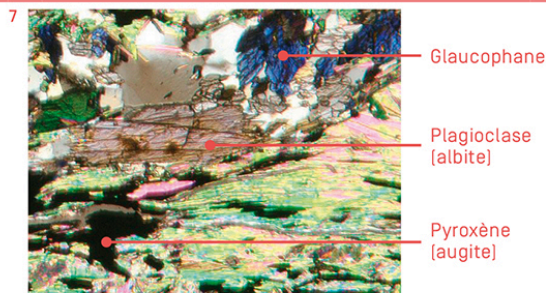
**ROCHE**

**METAGABBRO DU FACIÈS SCHISTE BLEU = R3**

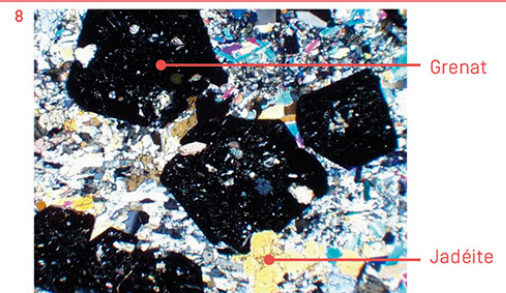
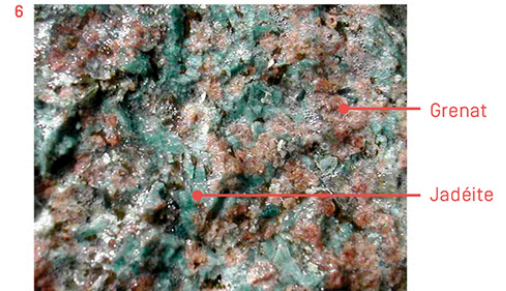
Observation à l'œil nu



Observation au microscope polarisant et analysant



**METAGABBRO DU FACIÈS DES ÉCLOGITES = R4**



**VIDEOS**

[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 CONTEINTALE 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)