



Première partie :

Les matériaux de la planète

Chapitre 2 : Les Roches

Origines, Caractéristiques Minéralogiques et classifications

Responsable : Pr. Mohammed AARAB
A.U : 2019/ 2020

Définition



Les **roches** (du latin populaire **rocca**) sont des matériaux naturels généralement solides et formés, essentiellement ou en totalité, par :

- un assemblage de minéraux, comportant parfois des fossiles (notamment dans les roches sédimentaires),
- parfois du verre résultant du refroidissement rapide d'un liquide (volcanisme, friction),
- parfois des agrégats d'autres roches.



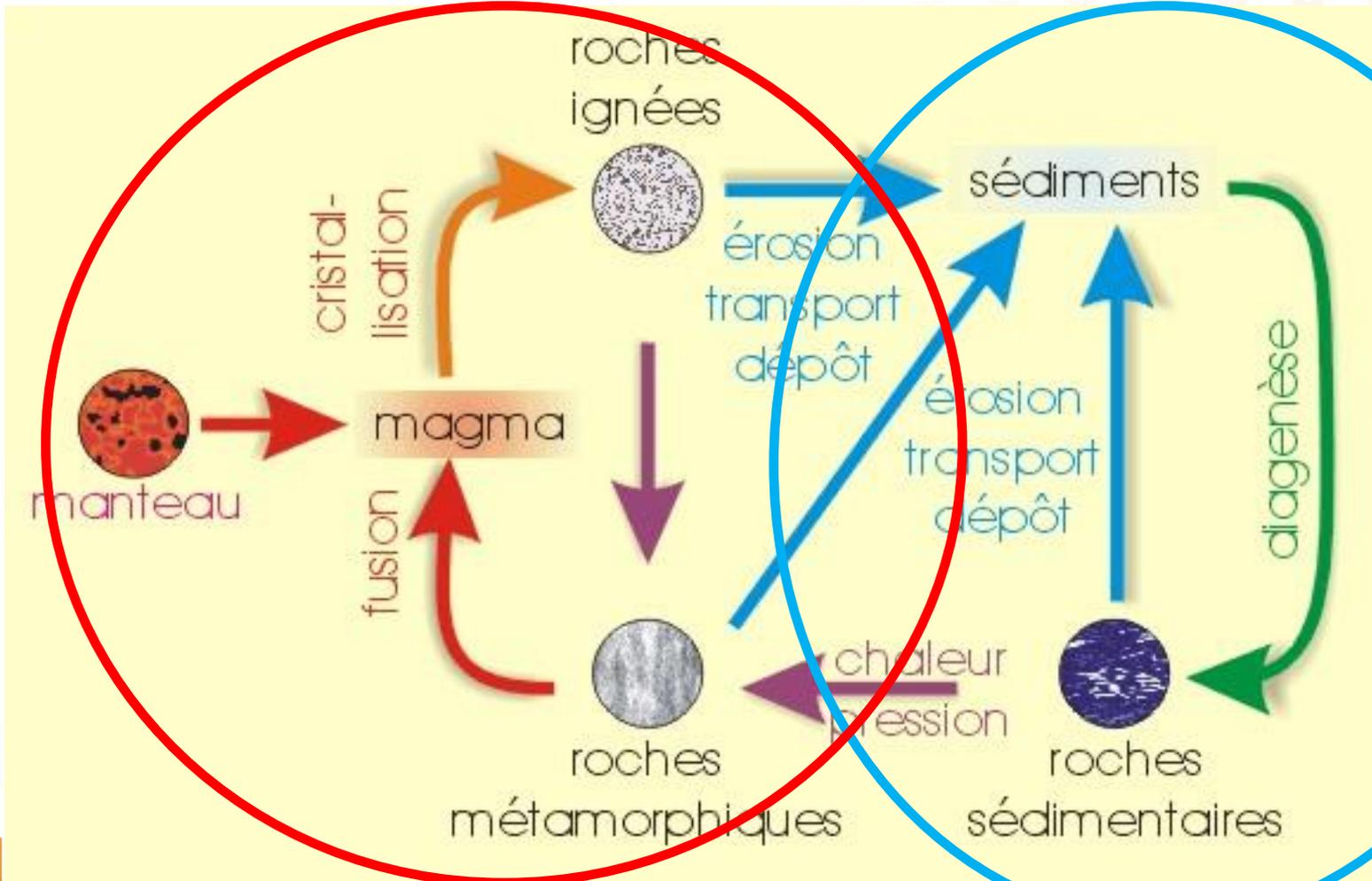
Les sciences qui étudient les roches sont :

La **pétrologie** est la science qui étudie les mécanismes de formation et de transformation des roches.

La **pétrographie** est la science de la description et de l'analyse des roches.

Géodynamique Interne

Géodynamique Externe



Cycle géologique

Aspects :

La roche présente une grande diversité d'aspects.

Elle peut être :

- souvent dure et cohérente : dénommée pierre (marbre, granite), caillou, galet... ;
- friable ou inconsistante à l'image de la craie et du talc pressés sous les doigts ;
- plastique comme l'argile humidifiée ;
- meuble à l'exemple du sable ;
- à la limite liquide - huile - ou gazeuse.



Les différentes catégories de roche :

Selon leur composition et leur origine ou la modalité de leur formation, les roches de l'écorce terrestre sont classées en trois grandes familles distinctes :

+ Les roches Magmatiques :



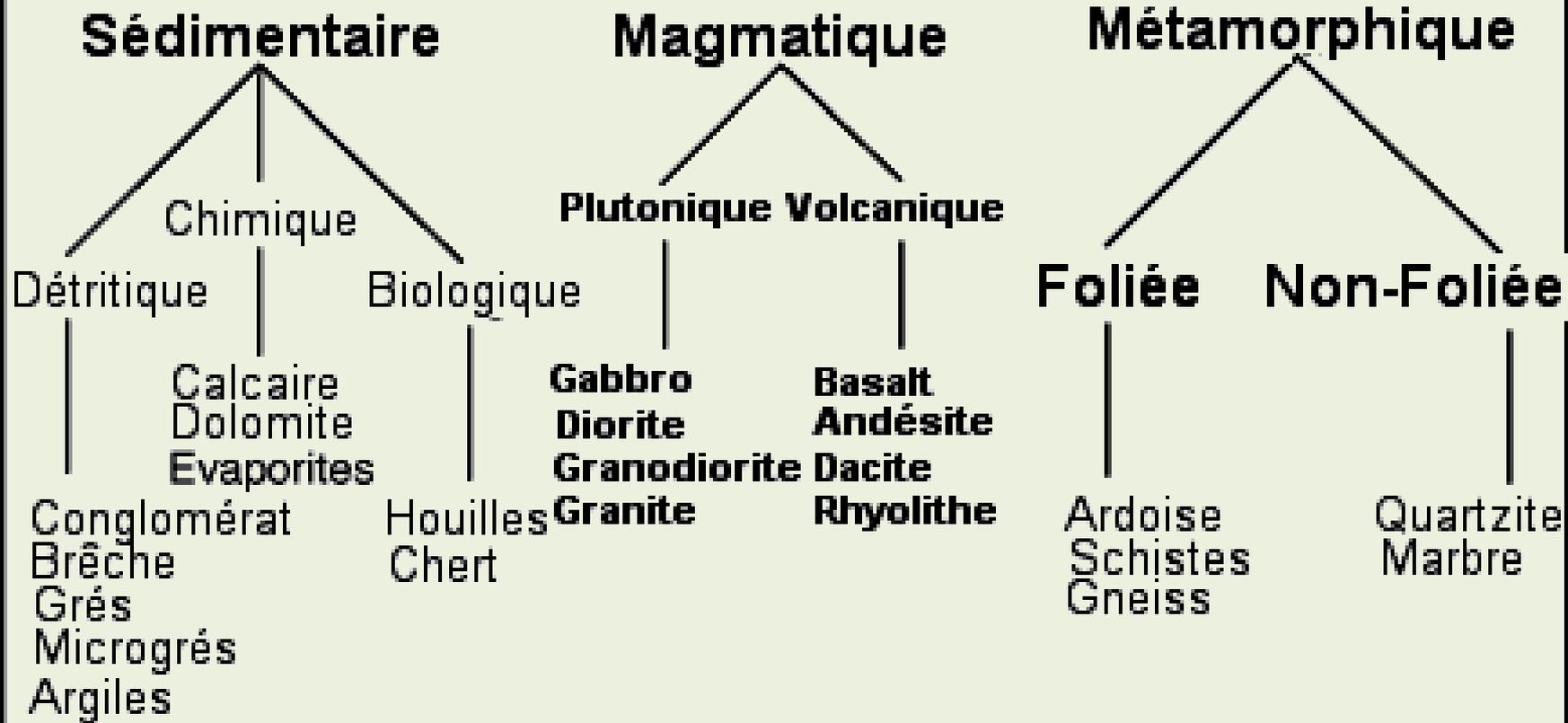
+ Les roches sédimentaires :



+ Les roches métamorphiques :

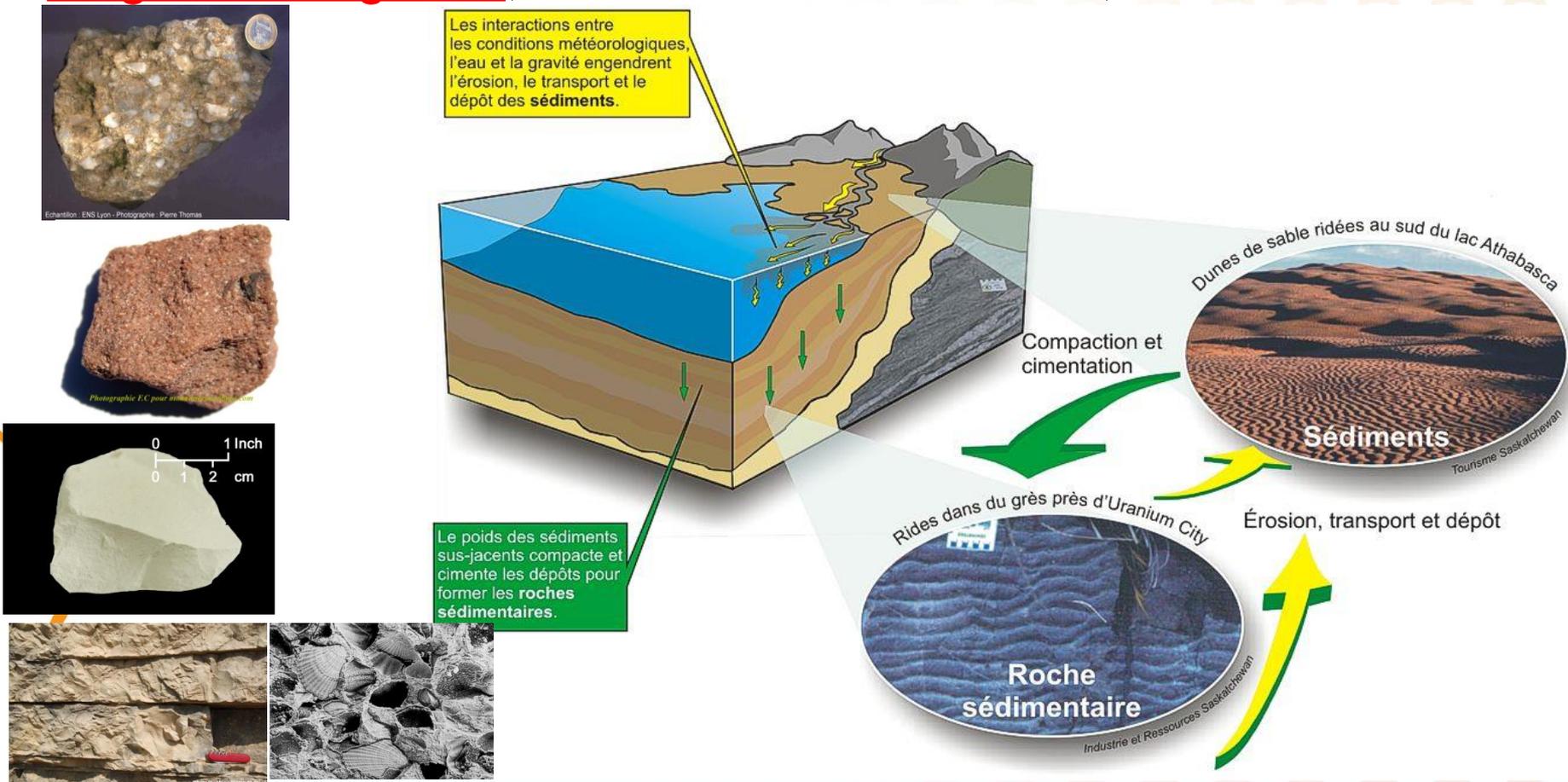


Classification des Roches



LES ROCHES SÉDIMENTAIRES :

formées à la surface de la Terre ou dans les mers par l'accumulation en couches de matériaux sous l'action d'agents exogènes, comme le vent et l'eau ;



Les roches sédimentaires

Généralités

Elles se forment à la surface de la terre, sur le sol ou au fond des eaux, et résultent de l'action des agents d'altération, d'érosion, de transport, de l'activité des êtres vivants (**phénomènes biologiques**), ou de **phénomènes purement physiques ou chimiques**.

Ce sont donc des roches EXOGENES

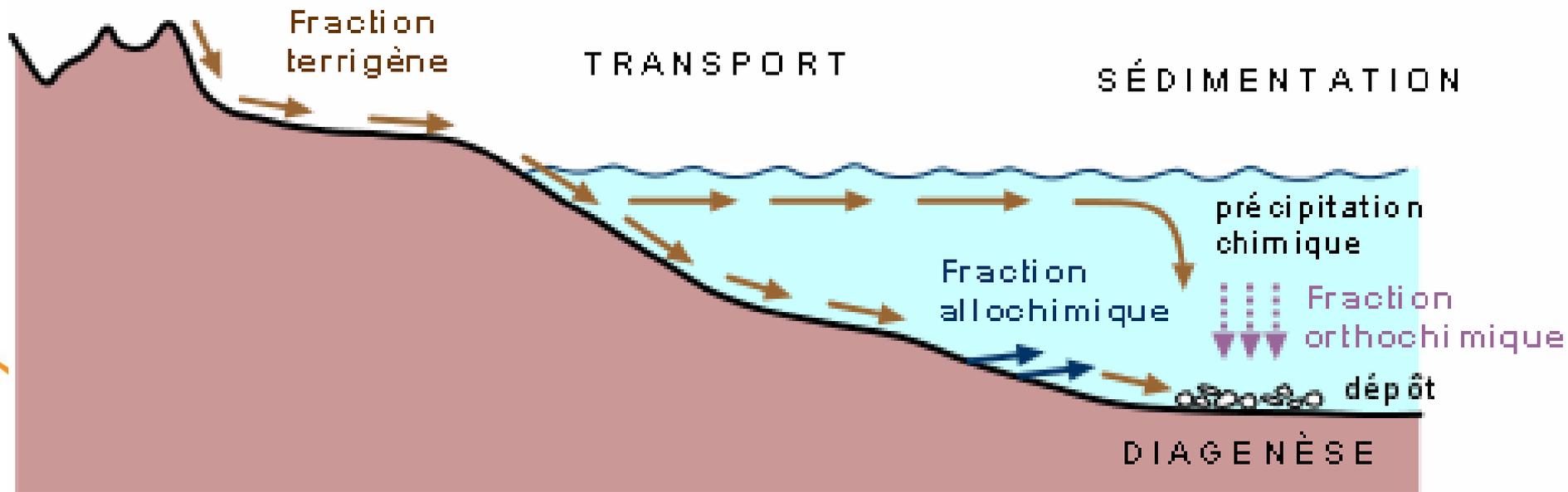
Elles se déposent en couches successives, parallèles entre elles :
C'est la **stratification**.

Quelle que soit l'origine, la formation des roches sédimentaires repose sur 3 principes :

- ✘ *Mobilisation*
- ✘ *Transport et dépôt*
- ✘ *Diagenèse*

Les roches sédimentaires sont engendrées par des mécanismes de la géodynamique externe.

ALTÉRATION DES
MATÉRIAUX & ÉROSION

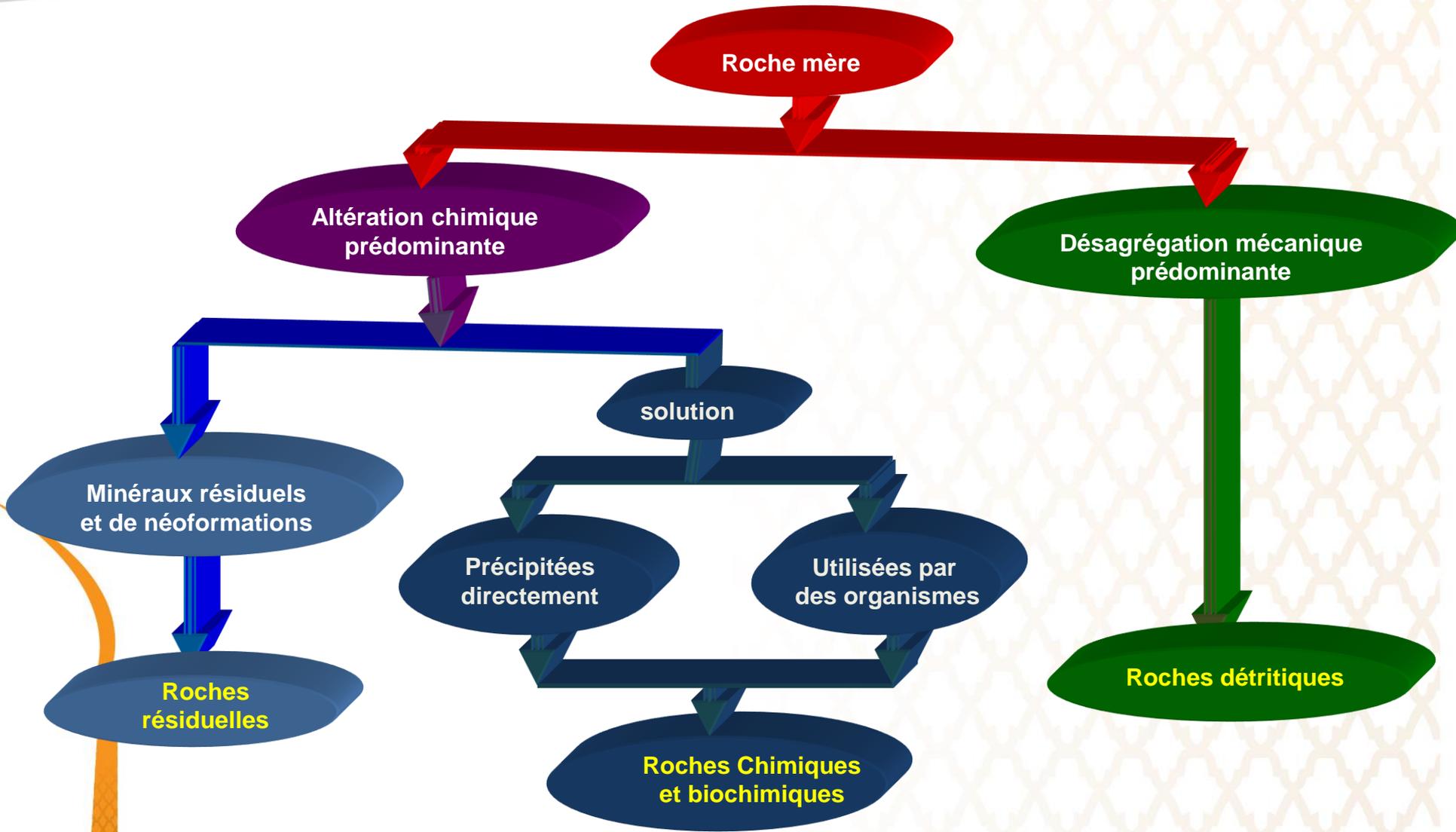


- Altération et érosion,
- Transport,
- Sédimentation,
- Diagenèse.

FAMILLES	ORIGINES	Principales roches sédimentaires
Siliceuses	Détritique	Sables, Grès, Poudingues et brèches.
	Chimique	Silex, Meulières.
Alumineuses Ou Argileuses	Chimique (altération des silicates) Détritique (entraînement et dépôt)	Argiles, Schistes (argileux, marneux, ardoisiers, siliceux, carbonneux, bitumineux...)
Carbonatées Ou Calcaires	Détritique	Brèches et Poudingues calcaires, grès calcaires, Marnes, Dolomies.
	Organique	Calcaires coquilliers, Lumachelle, Craies.....
	Chimique	Travertins, Tufs, calcaires oolithiques
Salines	Chimique	Sel gemme, Gypse, Sylvinite, ...
Carbonées Ou Charbonneuses	Organique	Tourbe, Lignite, Houille

Exemple de classification générale des roches sédimentaires :

Classification génétique : Classification de Jung (1977) :

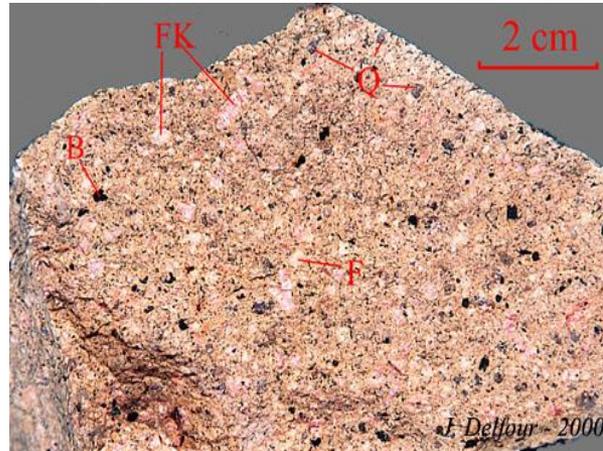
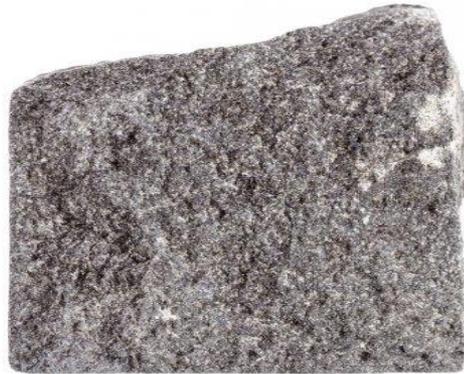


Classification descriptive : Exemple classification des roches détritiques :

➤ La classification est basée sur la taille des grains : Granulométrie.

Etat	Taille des éléments		
	Rudites 2mm	Arénites 40µm	Pélites
Roches Meubles	Blocs (D>20cm) Galets (2<D<20cm) Graviers (0,2<D<2cm)	Sables	Boues Vases
Roches Consolidées	Poudingues (Éléments roulés) Brèches (Éléments anguleux)	Grès Arkoses (>30% de Feldspath) Grauwakes (débris rocheux)	Argilites

LES ROCHES MAGMATIQUES :

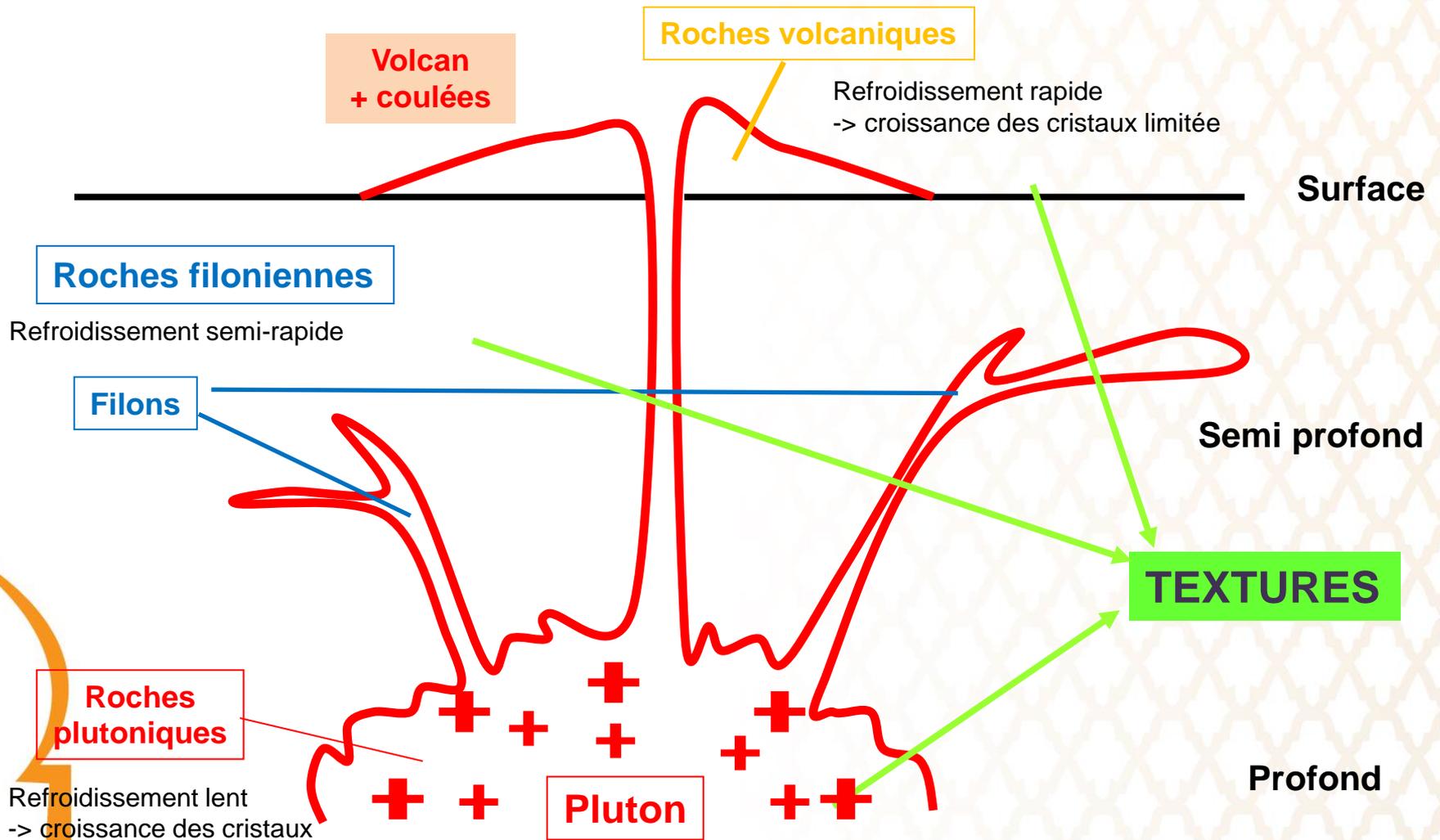


Les roches Magmatiques

Elles présentent la particularité d'être issues de la consolidation d'un **Magma**, et se distinguent en :

- les **roches volcaniques** ou ***extrusives*** ou ***effusives***, refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique ;
- les **roches plutoniques** ou ***intrusives*** qui se sont refroidies en profondeur, lentement et sans dégazage dans la chambre magmatique ;
- les **roches filoniennes** (***hypo-volcaniques*** et ***péri-plutoniques***) intermédiaires entre les roches extrusives et intrusives, et ayant subi un dégazage partiel... ;

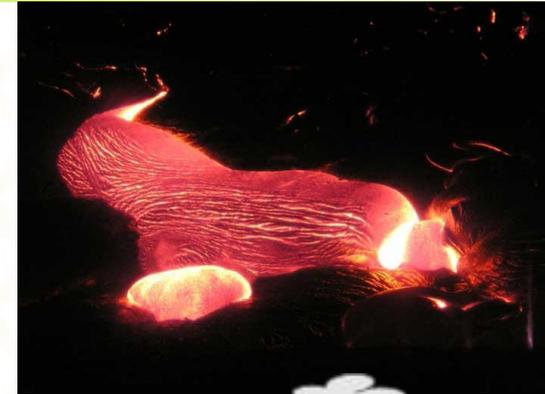
Concrètement, qu'est ce qui se passe ?



LES ROCHES MAGMATIQUES :

(aussi qualifiées d'ignées)

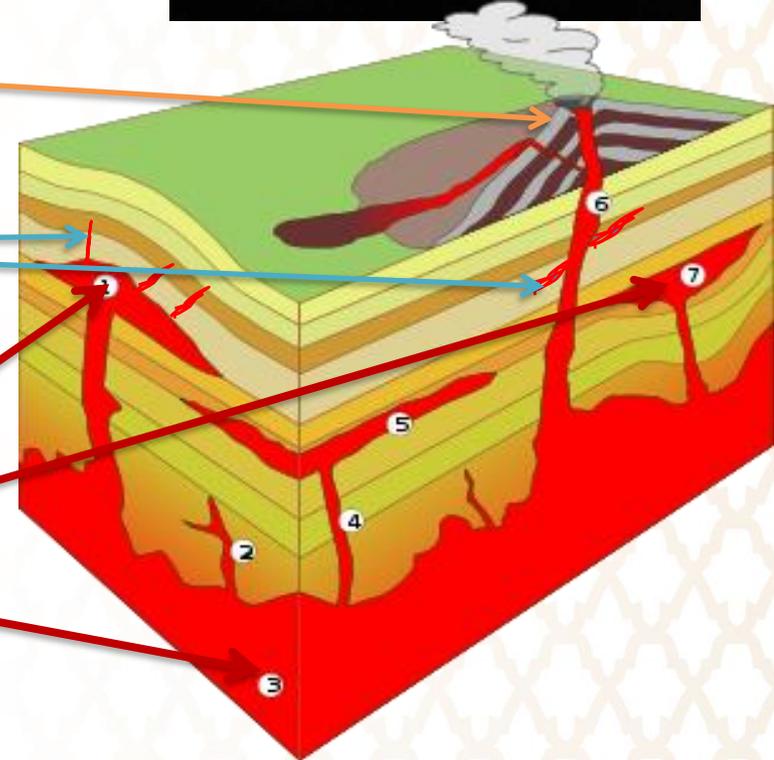
formées par la solidification de magmas,



Roches volcaniques

Roches filoniennes

Roches plutoniques



Les roches filoniennes

Toute une gamme de roches intermédiaires existent entre les deux pôles classiques (**plutoniques** et **volcaniques**).

On parle de roches **périplutoniques** ou **hypovolcaniques**, ce sont des roches de semi-profondeur à texture microgrenue, typiquement des intrusions filoniennes

Roches	Groupes	Sous groupe	Niveau de refroidissement
Roches magmatiques	Roches Volcaniques	Roche Volcanique	Air libre
		Roche Hypovolcanique	Semi profondeur
	Roches Plutoniques	Roche péri-plutonique	
	Roche plutonique	Profondeur	

Qu'est qu'un magma ?

“Roches fondues” caractérisées par :

- Température élevée (**600° à 1500°**)
- **Fluidité**
- Composition essentiellement **silicatées**



Lorsque cette masse se refroidit, les minéraux vont se cristalliser petit à petit, en respectant un certain ordre (certains cristallisent à des températures plus importantes que d'autres).

On obtient des suites réactionnelles

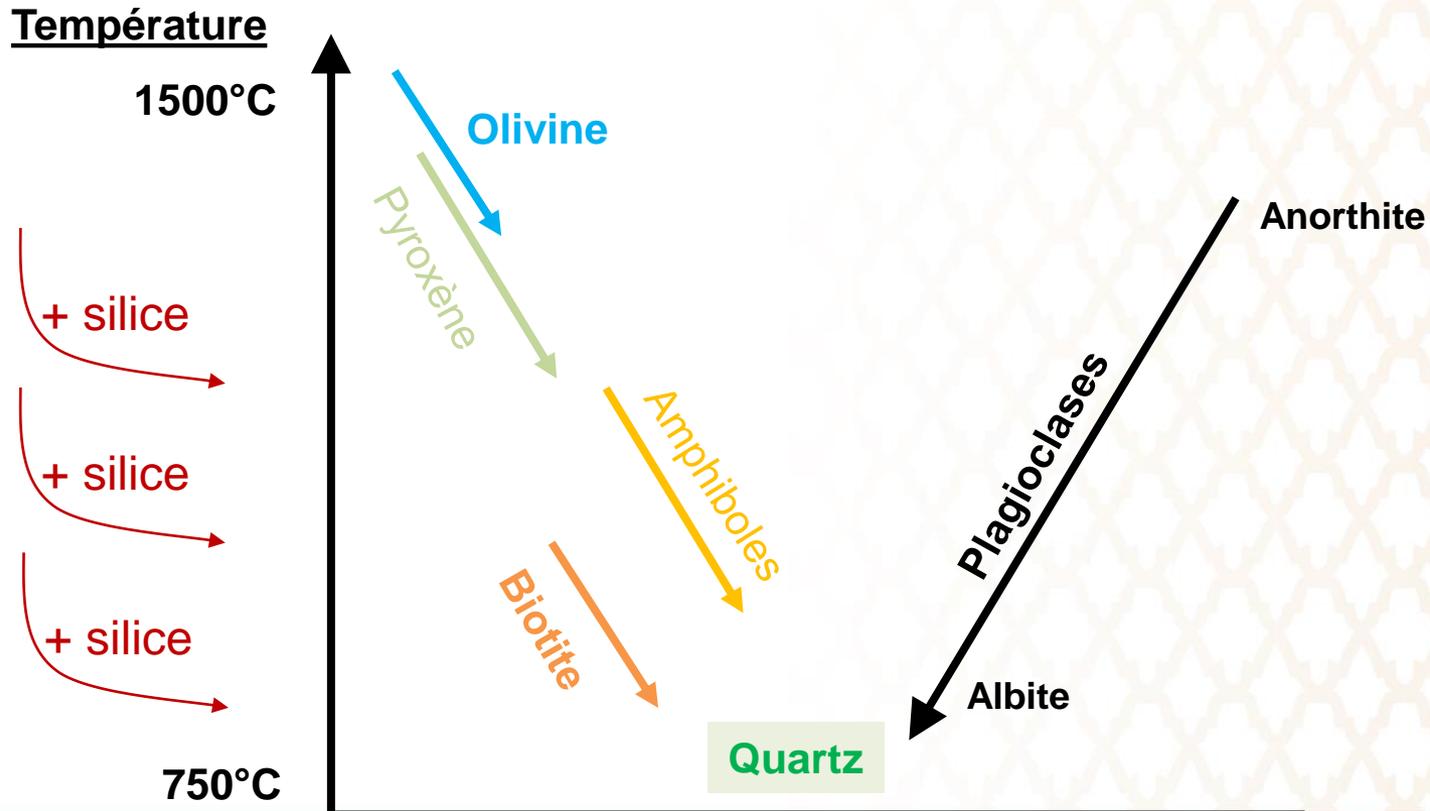


séries de Bowen

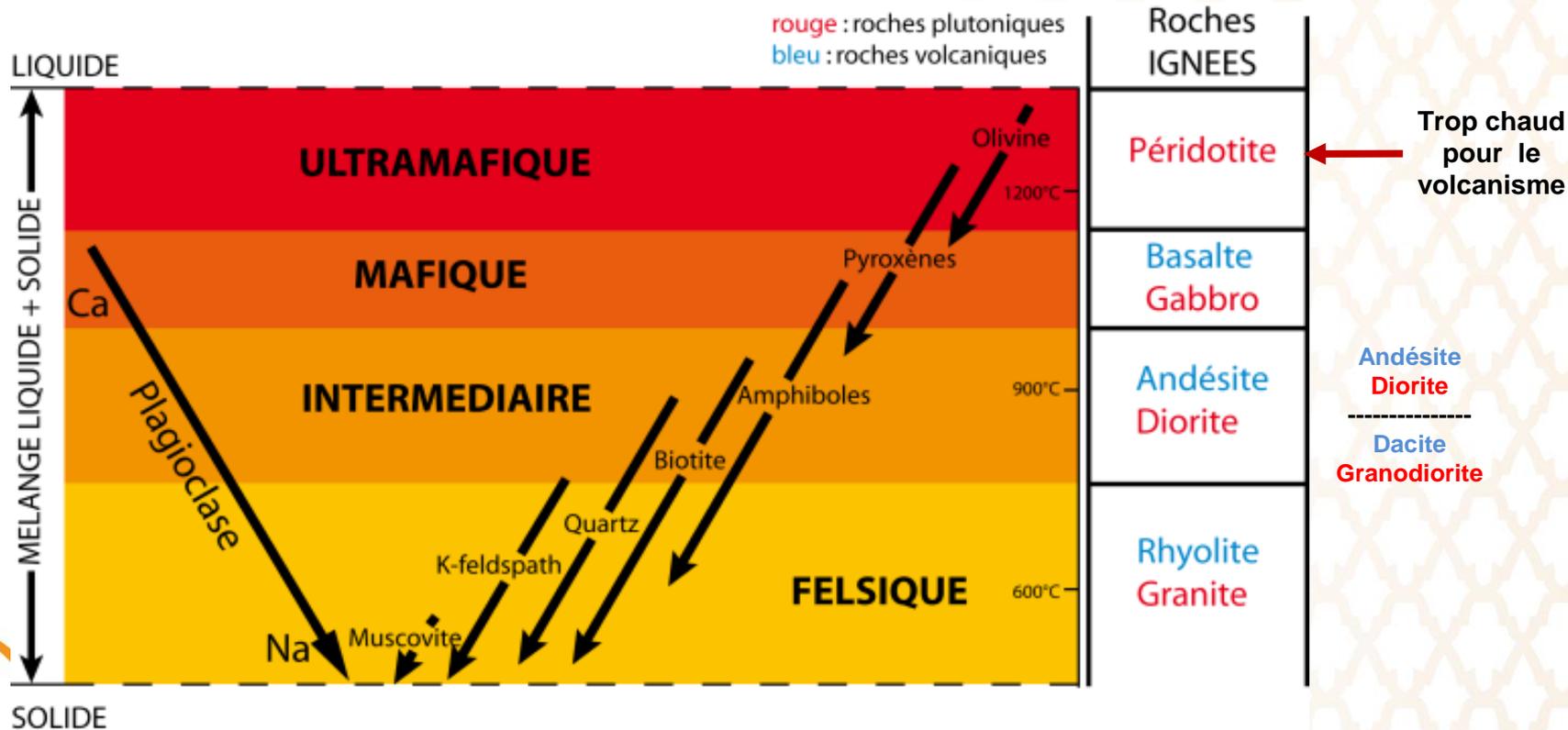
Les suites réactionnelles de Bowen

Chaque minéral se forme à des températures différentes :

- Certains sont stables à haute température (ex : **Olivine**)
- D'autres ne sont stables qu'à basse température (ex : **Quartz**)



Les suites réactionnelles de Bowen



Roches **mafiques, ultramafiques**
(Magnésium Fer, faible taux de silice)
(roches basiques)

Roches **felsiques**
(feldspaths silice)
(roches acides)

L'origine des magmas ?

✓ De l'eau à 90 °C ne bout pas au niveau du sol (pied de la montagne) parce que le poids de l'air qui se trouve au-dessus, (la pression atmosphérique), garde les molécules collées les unes sur les autres.

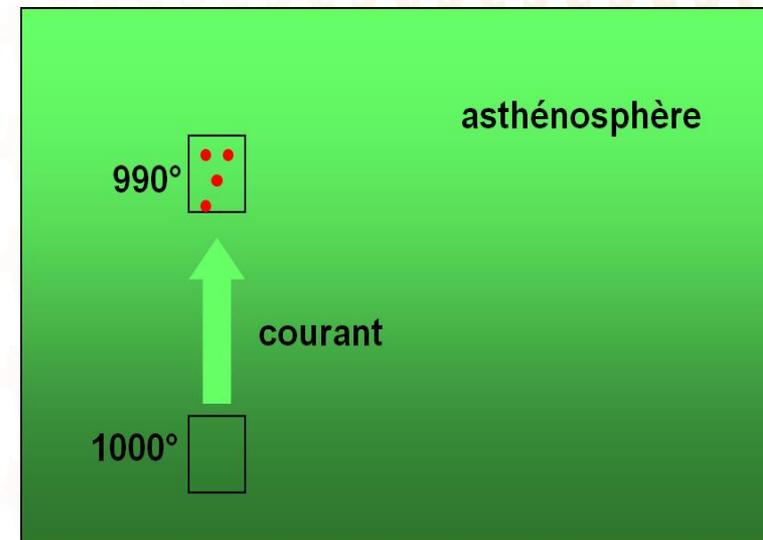
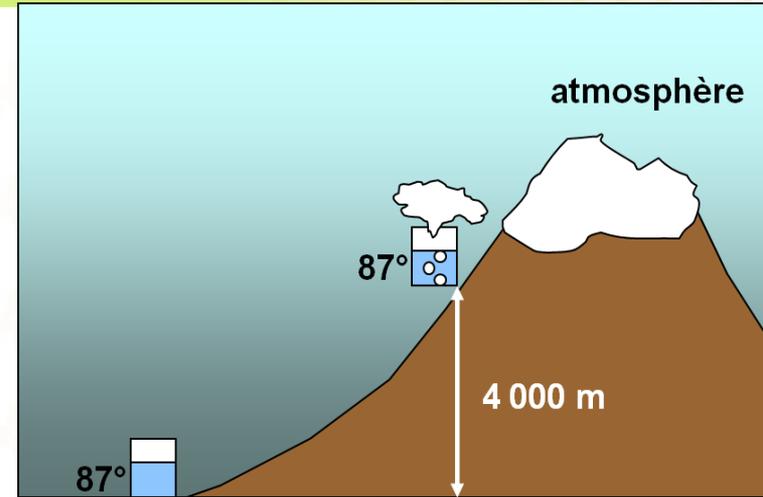
✓ Plus haut dans l'atmosphère cette eau bout.

✓ De même, la roche solide de l'asthénosphère **fond partiellement (10 %)** si elle est entraînée vers la surface et que le poids de la roche qui se trouve au-dessus diminue.

✓ La roche se refroidit très peu dans un tel courant ascendant.

✓ La roche se trouve fondue et remonte quand la pression diminue.

La roche de l'asthénosphère fond aussi partiellement quand une plaque en subduction lui amène de l'eau, ce qui abaisse sa température de fusion.



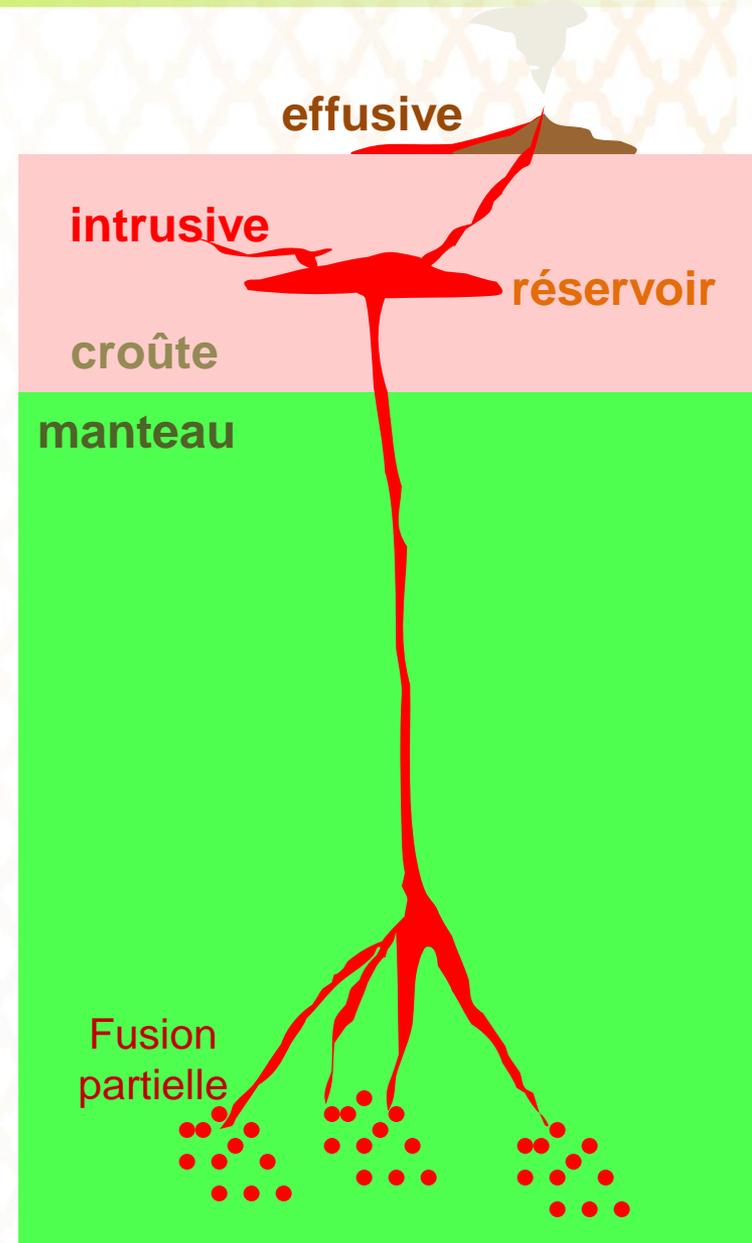
La mise en place des magmas

✓ Comme l'huile dans l'eau, le magma a une masse volumique (nombre de gramme dans 1 cm³) plus petite que le manteau qui l'entoure et il cherche à monter.

✓ Il se force un chemin (= faire intrusion) en déformant et en fracturant la roche solide.

✓ Dans la croûte la différence de masse volumique disparaît, le magma cesse de monter et il forme un réservoir où il se solidifie généralement en donnant des roches ignées intrusives.

✓ Plus rarement, divers mécanismes mettent le réservoir sous pression et provoquent l'éruption du magma hors du réservoir et son effusion en surface donnant des roches ignées effusives.



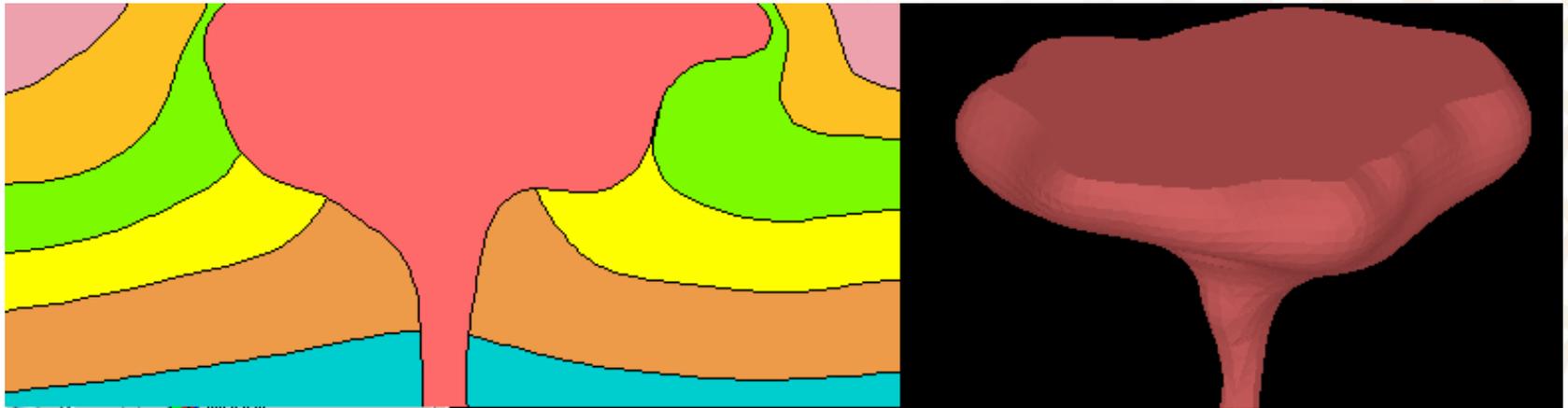
Mode de formation d'intrusion et type d'intrusion

- ✓ La fusion partielle de certains volumes de croûte (continentale ou océanique) peut engendrer de grandes quantités de roches fondues que l'on appelle magma.
- ✓ Dans certaines circonstances (contrastes de viscosité et de densité suffisants entre les roches encaissantes et le magma) ce magma remonte à travers la croûte à diverses profondeurs, puis finit par recristalliser.
- ✓ Il recoupe les roches encaissantes.

Comment le magma se fraye-t-il un passage dans les roches qu'il traverse ?

Mode de formation d'intrusion et type d'intrusion

- ✓ Pour des contrastes de viscosité **modérés** entre l'encaissant et l'intrusion, le magma remonte à travers la croûte en repoussant les roches encaissantes :
- ✓ il les déforme, dans ce cas on aura des intrusions dites **diapiriques** en forme de bulle (les image de montgolfière ou de champignon ont souvent été utilisées pour illustrer la forme de ces plutons)

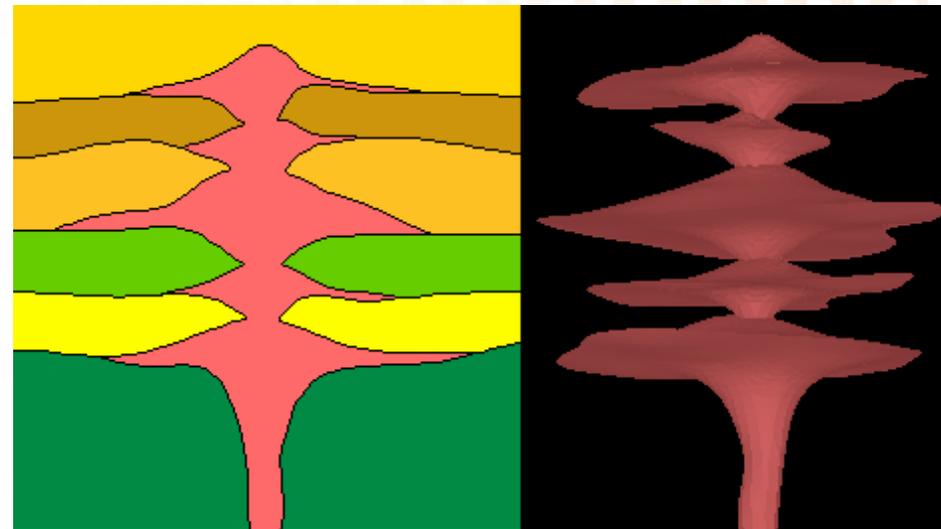


Exemple d'intrusion de forme diapirique

Mode de formation d'intrusion et type d'intrusion

- ✓ Dans d'autres cas, par exemple dans des niveaux superficiels de la croûte, ou pour des contrastes de viscosité assez grands on aura des intrusions de forme dite **laccolitique**.
- ✓ Le magma profite de zones de faiblesse comme les limites de couches sédimentaires, pour s'y insinuer.
- ✓ Les couches sont ainsi écartées, décollées les unes des autres, et le magma peut s'y infiltrer.

La répétition de ce mécanisme à différents niveaux donne des intrusions dites en forme de sapin de Noël.



Exemple d'intrusion de forme laccolitique

La viscosité des magmas

Pourquoi un magma est plus visqueux qu'un autre?

- On décrit l'abondance du silicium **Si**, de l'aluminium **Al**, du fer **Fe**... dans un magma en imaginant ces éléments combinés à l'élément le plus abondant, l'oxygène **O**.
- On parle donc de concentration en silice **SiO₂**, en oxyde de magnésium **MgO**, en oxyde de fer **Fe₂O₃**, etc
- Dans la chimie des minéraux, **SiO₂** et **Al₂O₃** servent de «**granulats**» et **K**, **Ca**, **Na**, **Fe** et **Mg** servent de «**ciment**».
- **Un magma très riche en silice est toujours très pauvre en Fe et Mg.**

La viscosité des magmas

On qualifie un magma riche en silice de felsique
(feldspath K – silice - ique).

C'est un magma visqueux qui sort des volcans comme de la pâte et qui donne des roches pâles.



On appelle lave un magma qui s'écoule du sol.

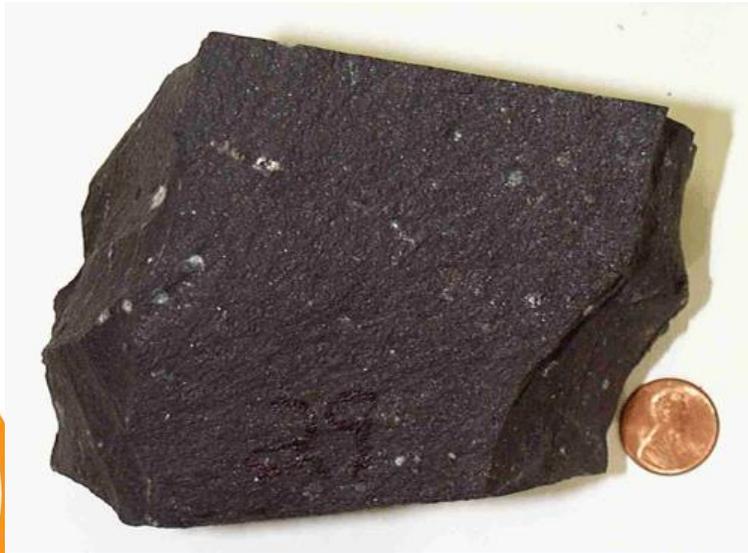


Rhyolite solidifiée, lave felsique pâte

La viscosité des magmas

Un magma pauvre en silice, donc riche en fer et magnésium, est qualifié de **mafique** (**m**agnésium – **f**er - **i**que).

C'est un magma qui coule comme de l'eau et qui donne des roches foncées.



Basalte solidifiée, lave **mafique** foncée



Photo de J.D. Griggs, USGS

La classification des roches magmatiques

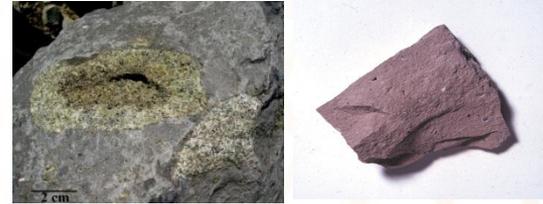
La classification des roches magmatiques repose sur plusieurs critères :

- **Classification génétique** : d'après le milieu de mise en place,
- **Classification basée sur leur texture** : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,
- **Classification minéralogique** : (les minéraux présents dans la roche)
- **Classification chimique** : d'après le chimisme : teneur en silice.

La classification des roches magmatiques

➤ Classification génétique (d'après le milieu de mise en place) :

- les roches volcaniques ou extrusives ou effusives, refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique ;



- les roches plutoniques ou intrusives qui se sont refroidies en profondeur, lentement et sans dégazage dans la chambre magmatique ;

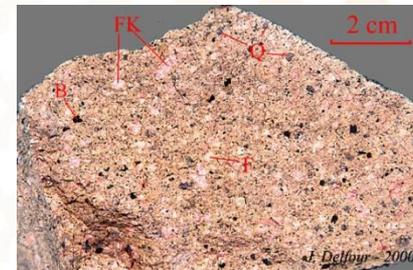


- les roches filoniennes (hypo-volcaniques et péri-plutoniques) intermédiaires entre les roches extrusives et intrusives, et ayant subi un dégazage partiel... ;



La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,
- La taille et l'arrangement des minéraux d'une roche ignée, sa **texture**, nous dit comment le magma a refroidi.
 - Le refroidissement très lent d'un magma, dans son réservoir, donne des roches **phanéritiques**, c'est-à-dire totalement formées de cristaux visibles à l'œil nu (*phaneros* = visible, comme dans *phénomène*).



Texture dite aussi **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,
- Le refroidissement rapide d'une coulée de lave, qui prend quelques mois, donne une texture **aphanitique** (**a-** = non, non visible), à mi-chemin entre les texture vitreuse et **phanéritique**.



Texture dite aussi **Hypocristalline** : cristaux non visibles à l'œil nu

La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,
 - Le refroidissement brutal d'un magma, comme on le pratique dans la fabrication des vitres, donne des roches vitreuses. Les atomes n'ont pas le temps de se mettre en ordre et il n'y a pas de cristaux (et donc de minéraux) dans la roche.



Texture dite aussi **Hyaline**

La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

Une roche **phanéritique** a un **grain** moyen ou grossier. Le grain désigne l'ensemble des parties qui forment une roche, telle qu'on la voit à l'œil.

❑ Textures des roches plutoniques :

- Texture grenue :
- Texture grenue porphyroïde :
- Texture pegmatitique :
- Texture aplitique :

❑ Textures des roches intermédiaires :

- Texture microgrenue :
- Texture microgrenue porphyrique :

La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Hypocristalline** : de nombreux cristaux ne sont visibles qu'au microscope optique.

❑ C'est la textures des roches volcaniques :

• Texture microlitique :

• Texture microlitique porphyrique :

La classification des roches magmatiques

➤ Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches plutoniques :

• Texture grenue : les cristaux sont de même taille (de l'ordre du mm ou du cm).



Gabbro



Granite

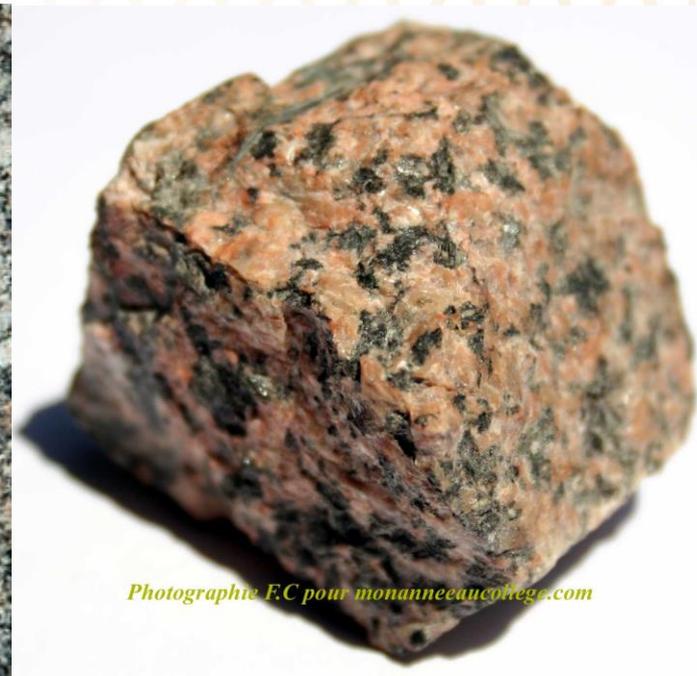
La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches plutoniques :

- Texture grenue porphyroïde : de gros cristaux plutôt automorphes sont dispersés parmi des cristaux bien plus petits (de 5 à 10 fois).



Photographie F.C pour monanneeauconge.com

La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches plutoniques :

- Texture pegmatitique : minéraux de taille centimétrique à pluri-centimétrique, quartz et feldspath automorphes, avec ou sans micas.



Texture pegmatitique



Texture pegmatitique graphique

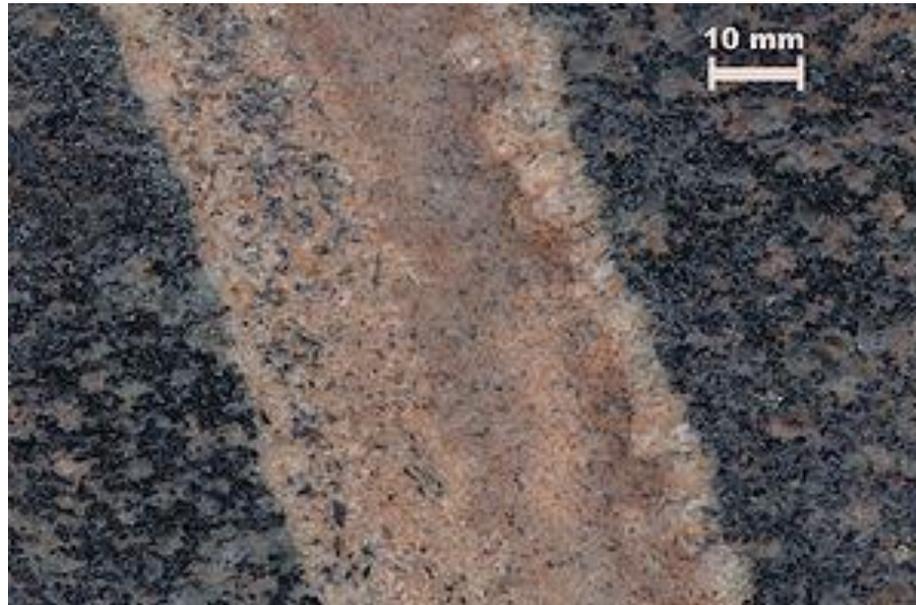
La classification des roches magmatiques

➤ Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches plutoniques :

• Texture aplitique : quartz et feldspaths seuls, en cristaux équigranulaires, formant un assemblage de taille millimétrique (roche hololeucocrate).



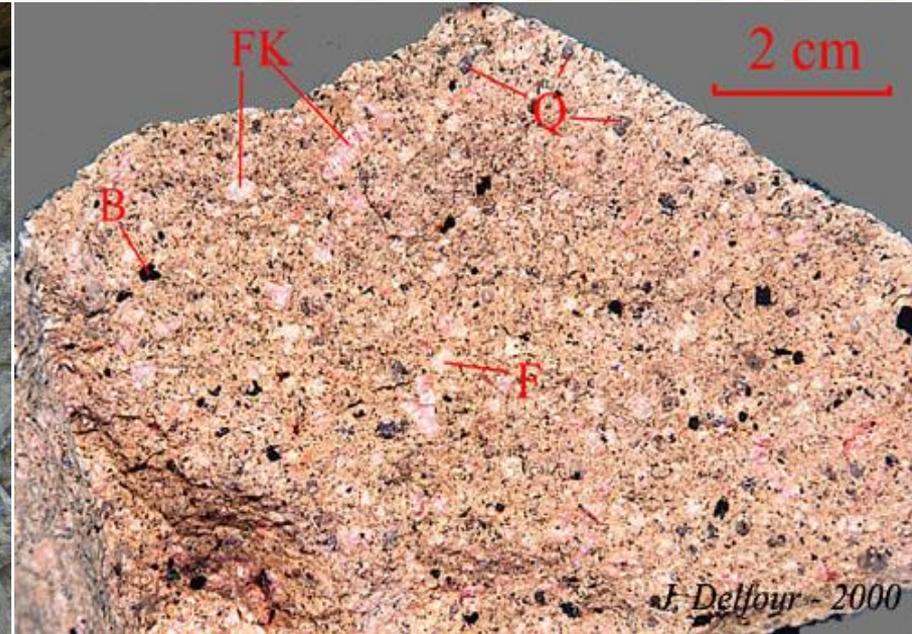
La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches intermédiaires :

- Texture microgrenue : Il n'y a que de très petits cristaux parfois difficile à distinguer à l'œil nu ; peu visibles à l'œil nu (Roche microcristalline),



La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Holocristalline** : cristaux visibles à l'œil nu

□ Textures des roches intermédiaires :

- Texture microgrenue porphyrique : cristaux **automorphes** de taille centimétrique (1 à 5 cm ou plus) dispersés dans une matrice très finement grenue dont le grain est parfois difficile à distinguer à l'œil nu.

Phénocristaux

Matrice microgrenue



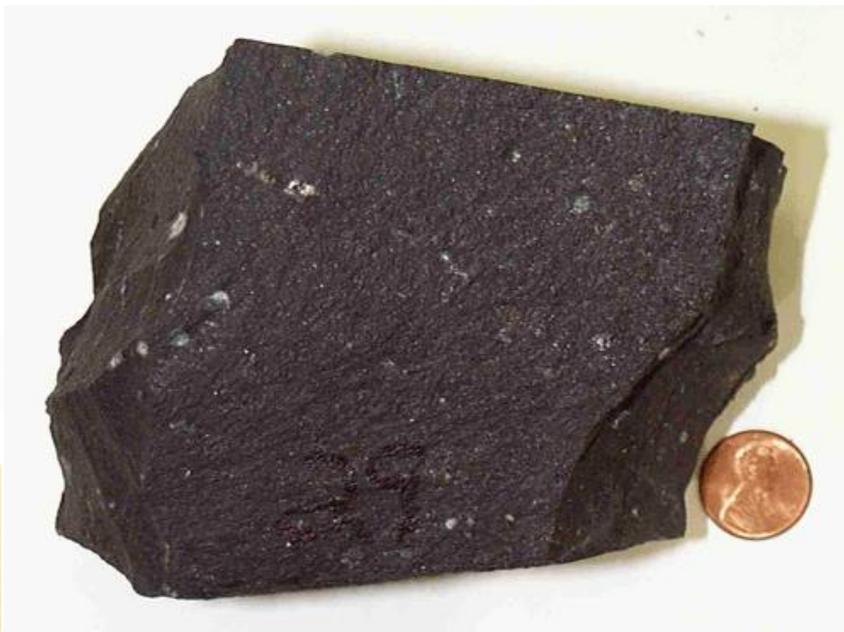
La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Hypocristalline** : cristaux non visibles à l'œil nu

□ Textures des roches volcaniques :

- Texture microlitique : microlites et microcristaux (en forme de baguettes) flottant dans une pâte.



La classification des roches magmatiques

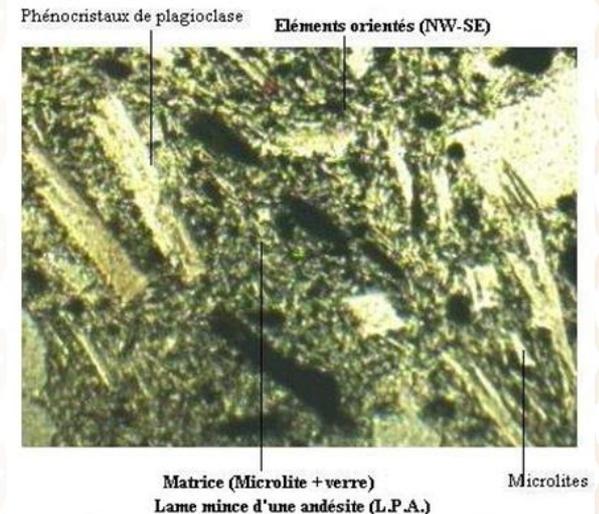
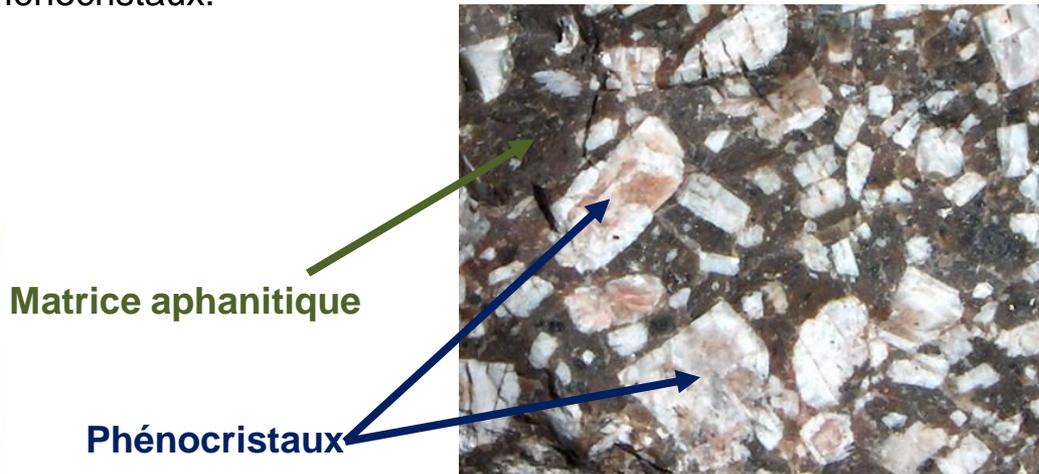
➤ Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Hypocristalline** : cristaux non visibles à l'œil nu.

□ Textures des roches volcaniques :

• Texture microlitique porphyrique : cristaux **automorphes** de grande taille (phénocristaux) enrobés dans une pâte.

Un magma qui a d'abord refroidi lentement dans son réservoir, donne les **phénocristaux**. Puis après éruption et il fini son refroidissement rapidement, ce qui va donner la **matrice aphanitique** qui entoure les phénocristaux.



La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches,

Texture **Hyaline** : texture vitreuse.

❑ Textures des roches volcaniques :

- ✓ Le refroidissement brutal d'un magma, comme on le pratique dans la fabrication des vitres, donne des roches **vitreuses**. Les atomes n'ont pas le temps de se mettre en ordre et il n'y a pas de cristaux (et donc de minéraux) dans la roche.

Le refroidissement rapide d'une lave **felsique** a donné un verre de type **obsidienne**.

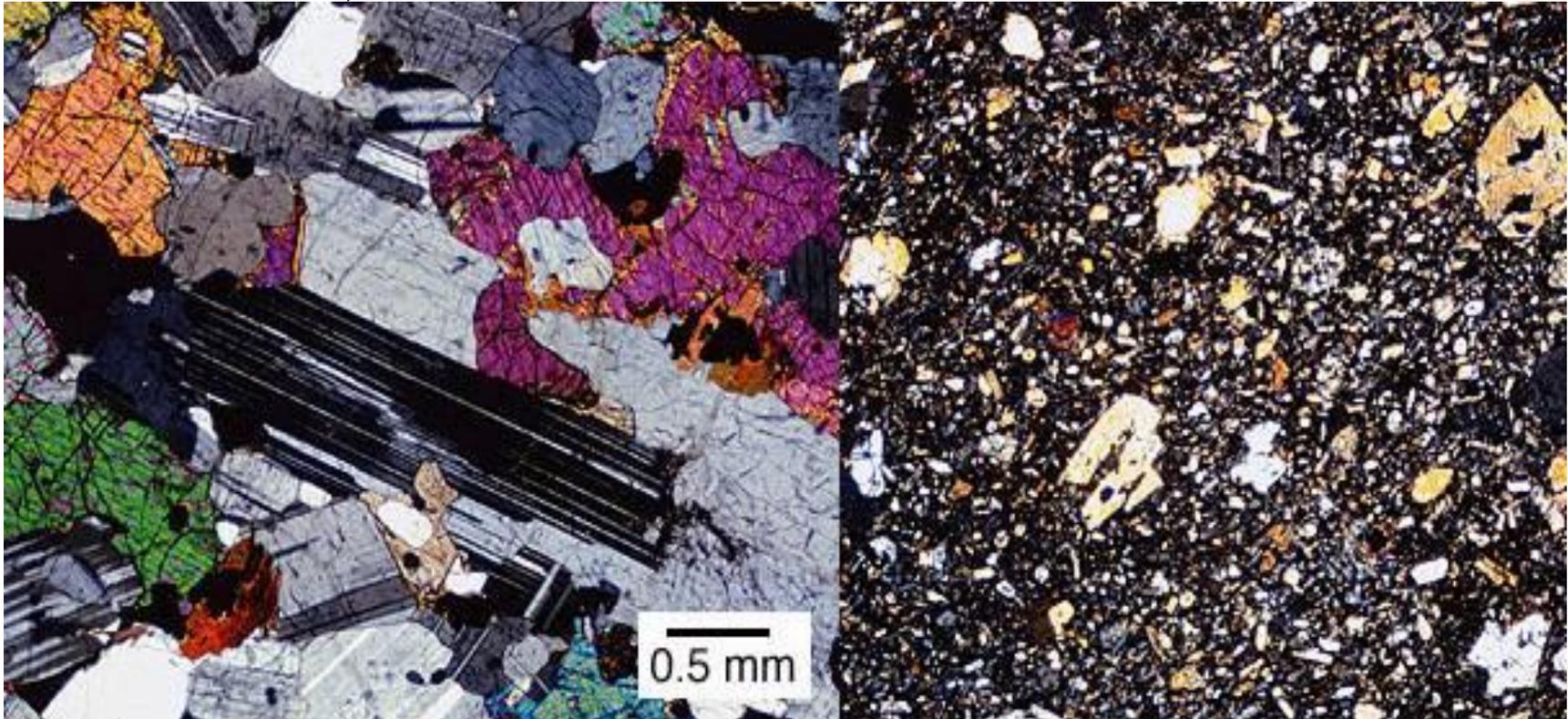
Si le magma avait eu le temps de cristalliser, il aurait donné un granite pâle.

Le verre, lui, est noir à cause d'impuretés de magnétite ou d'oxydes de fer. C'est une exception à la règle felsique = pâle.



La classification des roches magmatiques

- Classification basée sur leur texture : basée sur l'observation à l'œil nu des roches, Comparaison au microscope polarisant d'un **gabbro phanéritique** et d'un **basalte aphanitique**.



La classification des roches magmatiques

➤ **Classification minéralogique** : Diagramme de Streckeisen,

La classification du **double triangle QAPF de Streckeisen** est basée sur la proportion des **trois minéraux leucocrates** essentiels des roches magmatiques :

A, les **feldspaths alcalins** (Na : albite et K : orthose),

P, les **feldspaths calco-sodiques** (plagioclases),

Q, le **quartz** pour les roches sur-saturées en silice,

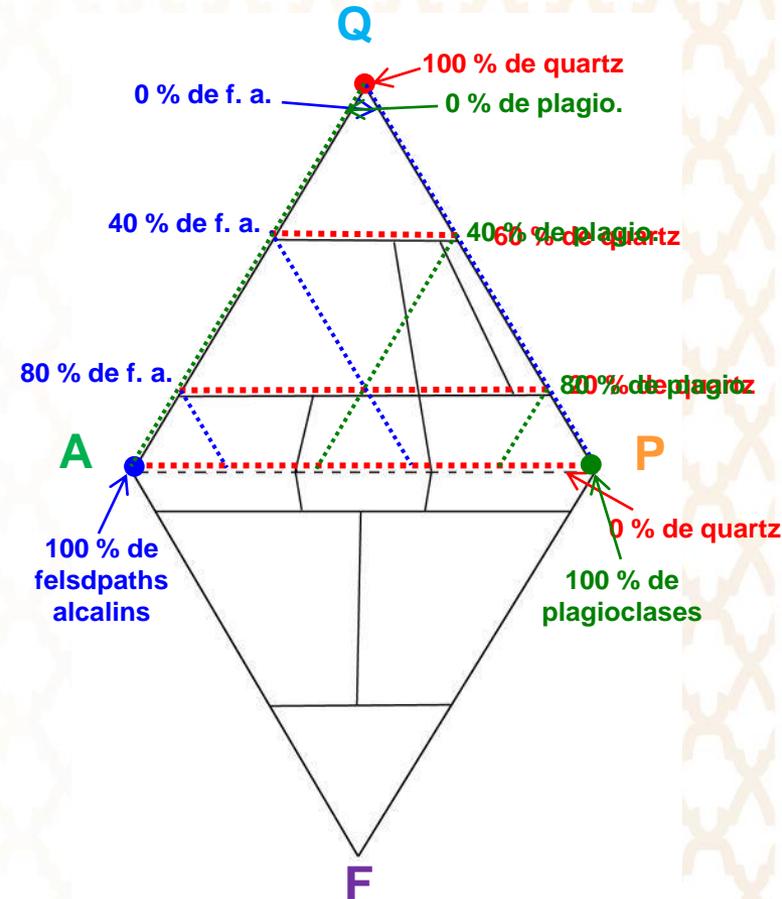
F, les **feldspathoïdes** pour les roches sous-saturées en silice.

✓ Les 2 triangles sont jointifs par la ligne **A-P**

(feldspaths alcalins - plagioclases).

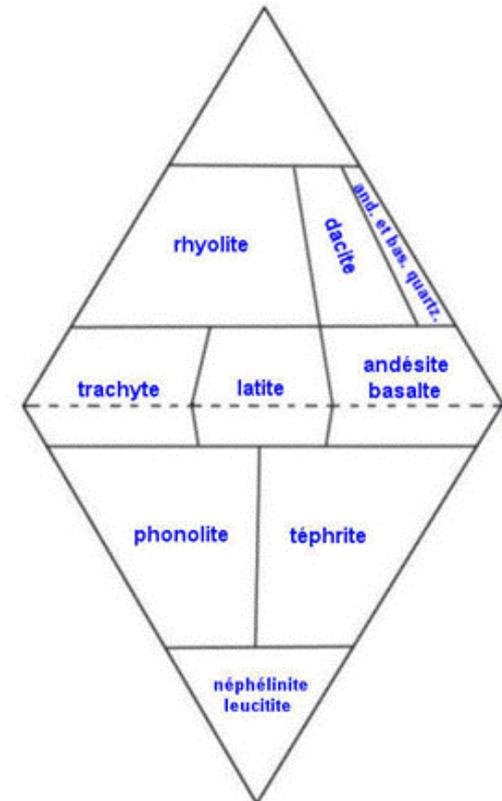
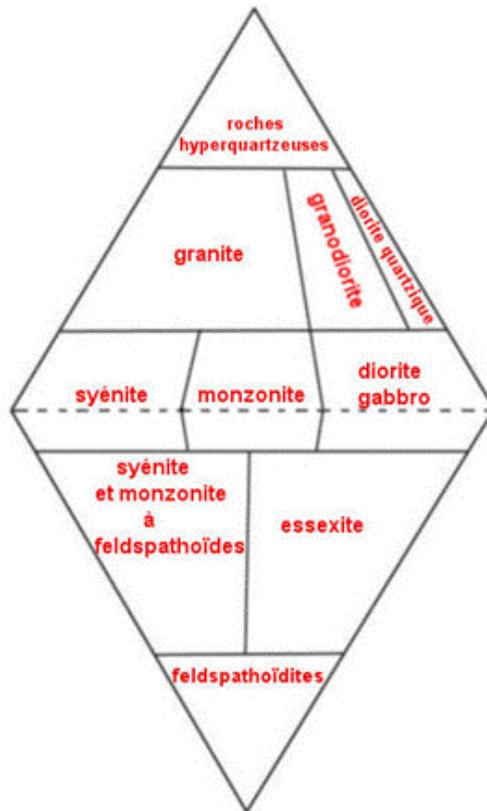
Quartz (Q) et feldspathoïdes (F) se placent aux 2 sommets opposés : ainsi aucune roche ne peut contenir l'association **Q-F**.

✓ Chaque sommet correspond à **100 %** du minéral considéré. Le côté opposé au sommet correspond à **0 %** du minéral.



La classification des roches magmatiques

- **Classification minéralogique** : Diagramme de Streckeisen,
 Deux versions du triangle sont proposés :
 une pour les **roches plutoniques** ...
 une pour les **roches volcaniques**.



La classification des roches magmatiques

➤ **Classification minéralogique** : Diagramme de Streckeisen,

Identifier une roche magmatique dont la composition minéralogique modale est connue

un exemple...

1 : Texture grenue => **plutonique**

2 : Calcul de la proportion des minéraux A - P - Q ou F

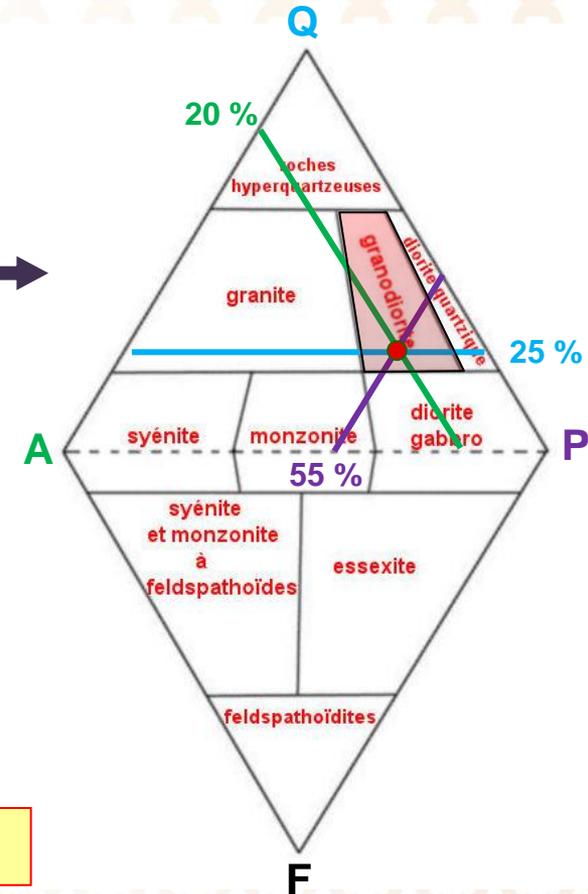
Composition minéralogique

Q : 25 %

A : 20 %

P : 55 %

Cette roche est une **granodiorite**.



La classification des roches magmatiques

➤ **Classification minéralogique** : Diagramme de Streckeisen,

Identifier une roche magmatique dont la composition minéralogique modale est inconnue

1 : Texture grenue => **plutonique**

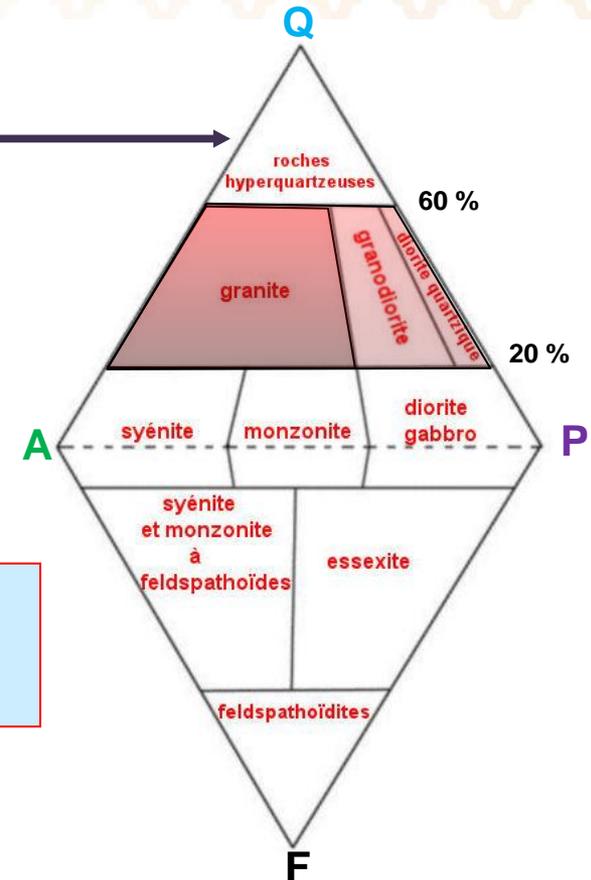
2 : Estimer l'abondance relative des différents minéraux **leucocrates**

- **Quartz** : entre 20 et 60 % ?

- **Feldspaths alcalins** dominants sur plagioclases ?



cette roche est
un **granite**



La classification des roches magmatiques

➤ Classification minéralogique :

Parmi l'ensemble des minéraux (principalement les cardinaux) des roches magmatiques, on distingue :

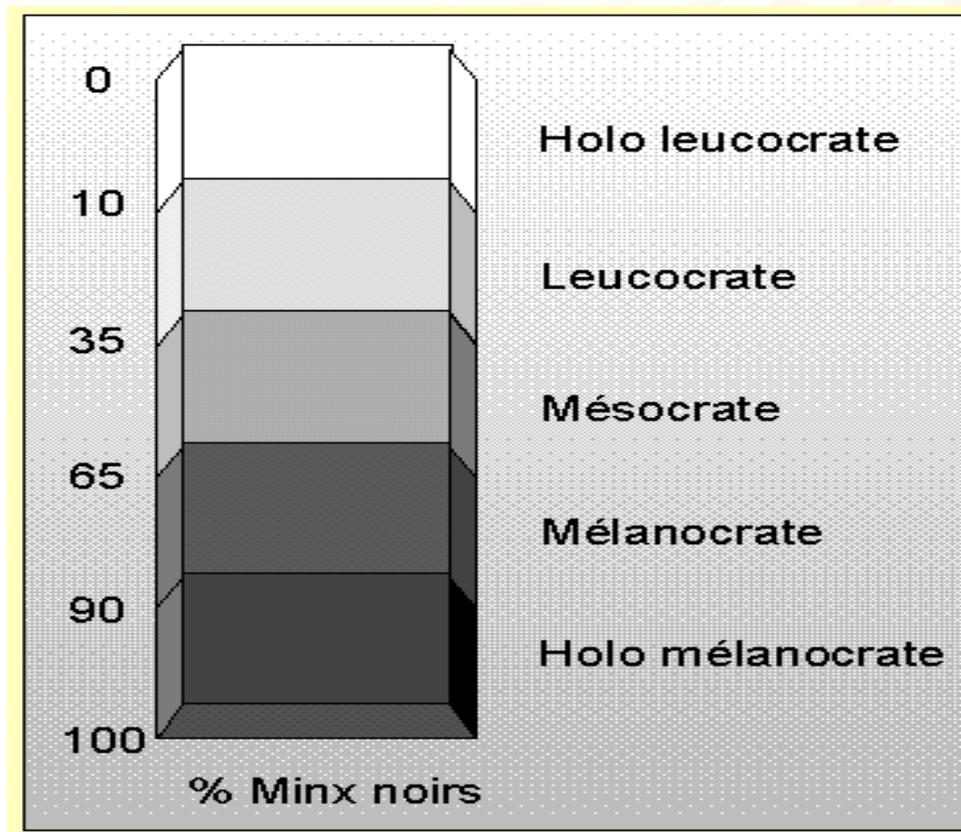
❑ Le **quartz**, les **feldspaths calco-sodiques** ou **plagioclases**, les **feldspathoïdes** qui sont des minéraux de couleur claire (**minéraux felsiques**) ;

❑ Les minéraux **ferro-magnésiens**, **micas**, **pyroxènes**, **amphiboles** et **péridots** (**olivine**) qui sont, comme leur nom l'indique, des silicates de fer et de magnésium et dont les couleurs sombres vont du **vert foncé** jusqu'au **noir** (qui forment le groupe de minéraux colorés (**minéraux mafiques**)).

La classification des roches magmatiques

➤ Classification minéralogique :

Ainsi on distingue, en fonction du pourcentage des minéraux **mafiques** :

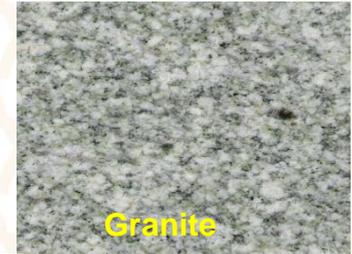


Classification des roches magmatiques plutoniques en fonction de l'indice de coloration

❑ Pour les roches Hololeucocrates (Plus de 90% de minéraux clairs)

❑ Pour les roches leucocrates ($65 < Mc < 90\%$ de minéraux clairs)

- Les granites
- Les granodiorites
- Les diorites quartziques
- Les syénites
- Les diorites
- Les syénites néphéliniques



❑ Pour les roches mésocrates ($35 < Mc < 65\%$ de minéraux clairs)

- Les gabbros

❑ Pour les roches mélanocrates ($10 < Mc < 35\%$ de minéraux clairs)

- Les métagabbros

❑ Pour les roches holomélanocrates (moins de 10% de minéraux clairs)

- Les péridotites
- Les pyroxénolites





Felsique

Intermédiaire

Mafique

**Phanéritique
(Intrusive)**

Granite

Granodiorite

Diorite

Gabbro

**Aphanétique
(Extrusive)**

Rhyolite

Dacite

Andésite

Basalte

Croissance du taux de Silice

Croissance du taux de Sodium

Croissance du taux de Potassium

Croissance du taux de Calcium

Croissance du taux de Magnésium

Viscosité

Temperature de fusion

La classification des roches magmatiques

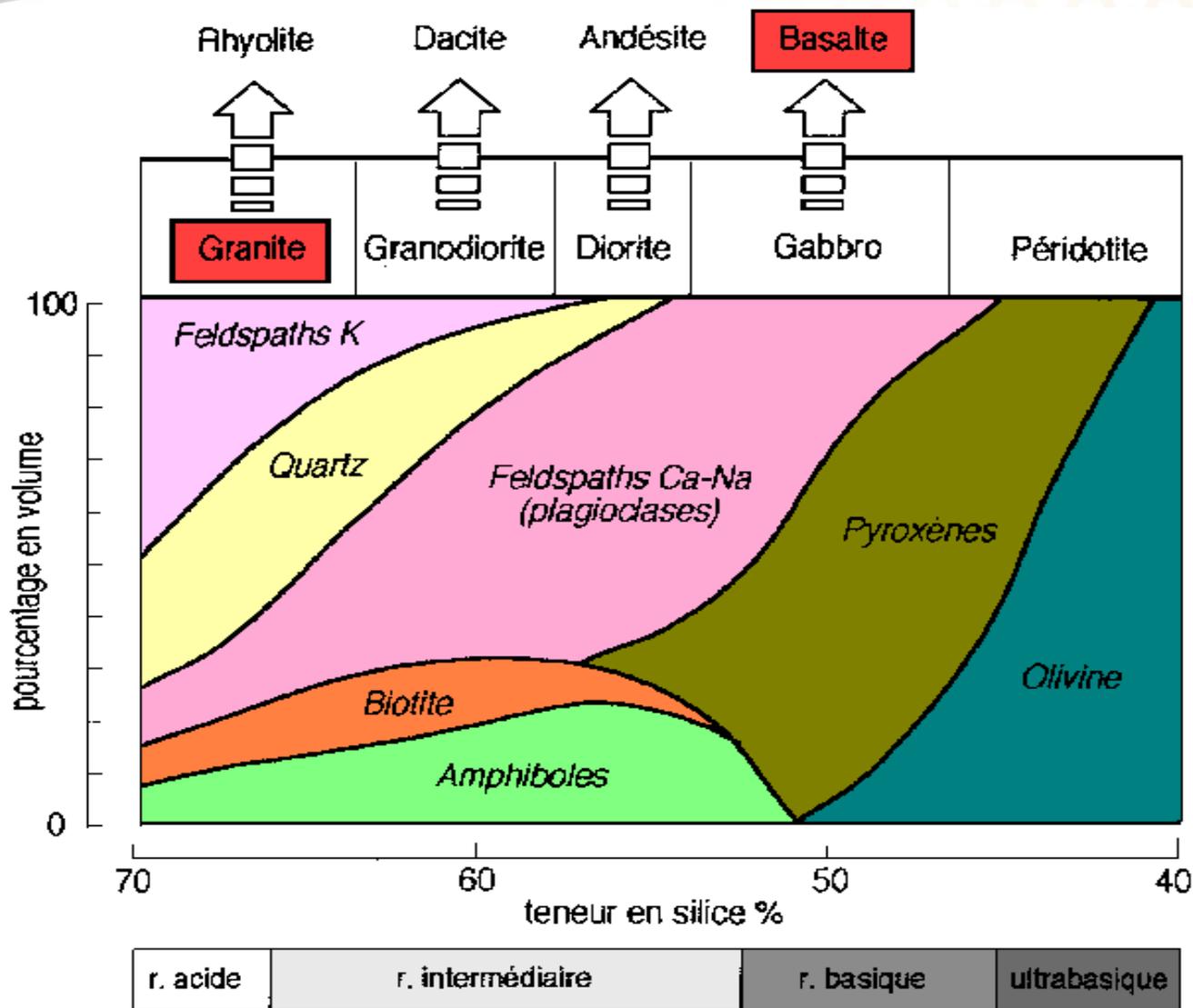
➤ **Classification chimique** : Une classification basée sur le chimisme :

Cette classification est basée sur des analyses chimiques des roches magmatiques.

En principe, la richesse en **silice** exprime l'**acidité** d'une roche :

- **une roche acide** : possède plus de 65% de silice (**rhyolite ou granite**) ;
- **une roche intermédiaire** : possède entre 52 et 65% de silice (**andésite ou diorite**) ;
- **une roche basique** : possède entre 45 et 52% de silice (**basalte ou gabbro**) ;
- **une roche ultrabasique** : possède moins de 45% de silice (**Péridotite**).

La classification des roches magmatiques



Roches volcaniques

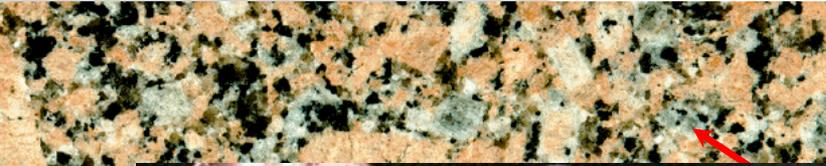
Roches plutoniques

Composition minéralogique

Minéraux des roches magmatiques (extrait du guide de lecture des cartes BRGM)

⊕ : minéraux abondants ; ± : minéraux peu abondants ; × : minéraux rares

minéraux principaux <i>roche volcanique</i> ROCHE PLUTONIQUE	quartz	Orthose (feldspath)	feldspath plagioclase	mica blanc	mica noir	amphibole	pyroxène	Péridot (olivine)
<i>basalte</i>			⊕			×	±	±
<i>andésite</i>			⊕		±	±	×	
GRANITE	⊕	⊕	±	×	×	×		
PÉRIDOTITE				×		×	⊕	⊕



Granite
Granodiorite



Diorite



Gabbro



Plagioclase

Pyroxene

Olivine

Peridotite

Les séries magmatiques

Au cours de son ascension et de son stockage dans des chambres magmatiques, le magma peut subir en plus de la crystallisation fractionnée, une contamination par l'encaissant lors de sa remontée.

Ainsi au cours du temps le magma va peu à peu évoluer.

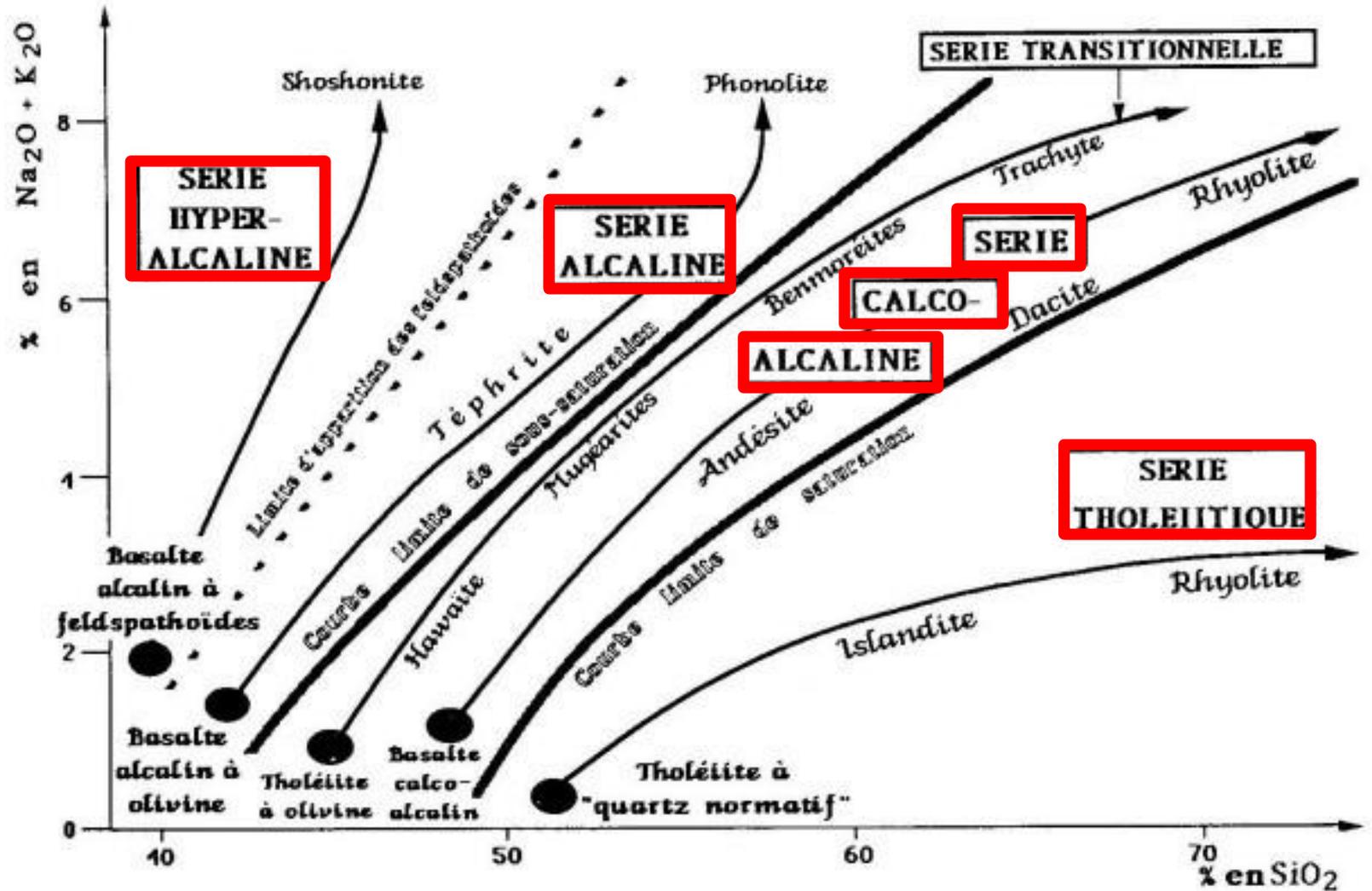
La succession des roches dérivées d'un même magma constitue une série magmatique.

Ceci explique comment il est possible de passer d'un magma basaltique à un magma riche en silice.

On distingue ainsi :



Les séries magmatiques



Les séries magmatiques

La série tholéitique :

Le rapport **Na-K/SiO₂** est **faible** et le magma est saturé (il n'y a pas de feldspathoïdes).

Le magma de départ est un **basalte tholéitique** (très pauvre en silice) que l'on rencontre généralement au niveau des **dorsales océaniques**, des **arcs insulaires** et dans le **volcanisme continental** (trapps).

Le basalte tholéitique se forme à faible pression (donc à faible profondeur) à partir du manteau.

Ensuite par enrichissement progressif (contamination, cristallisation fractionnée) du magma, il y a formation d'**andésites** (islandites) puis de **rhyolites**. Le stade **basalte** est le plus courant.

Les séries magmatiques

La série calco-alkaline :

Le rapport **Na-K/SiO₂** est plus **fort**. **Na** est **dominant** par rapport à **K**.

Cette série se rencontre dans les **zones de subduction** (Cordillères) et les **arcs insulaires évolués**.

Elle commence par des **basaltes** et va jusqu'aux **rhyolites**.

Le stade intermédiaire **andésitique** est **le plus courant**.

Les séries magmatiques

La série alcaline :

Le rapport **Na-K/SiO₂** est fort.

Les minéraux caractéristiques sont l'olivine et les feldspathoïdes, c'est donc un magma sous-saturé.

Cette série se rencontre dans le **volcanisme des domaines continentaux stables**.

Elle va des basaltes aux trachytes. Le stade basalte est dominant.

Le magma ne se forme qu'à haute pression.

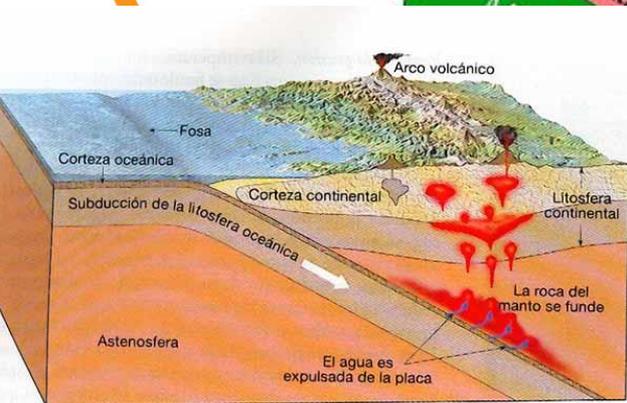
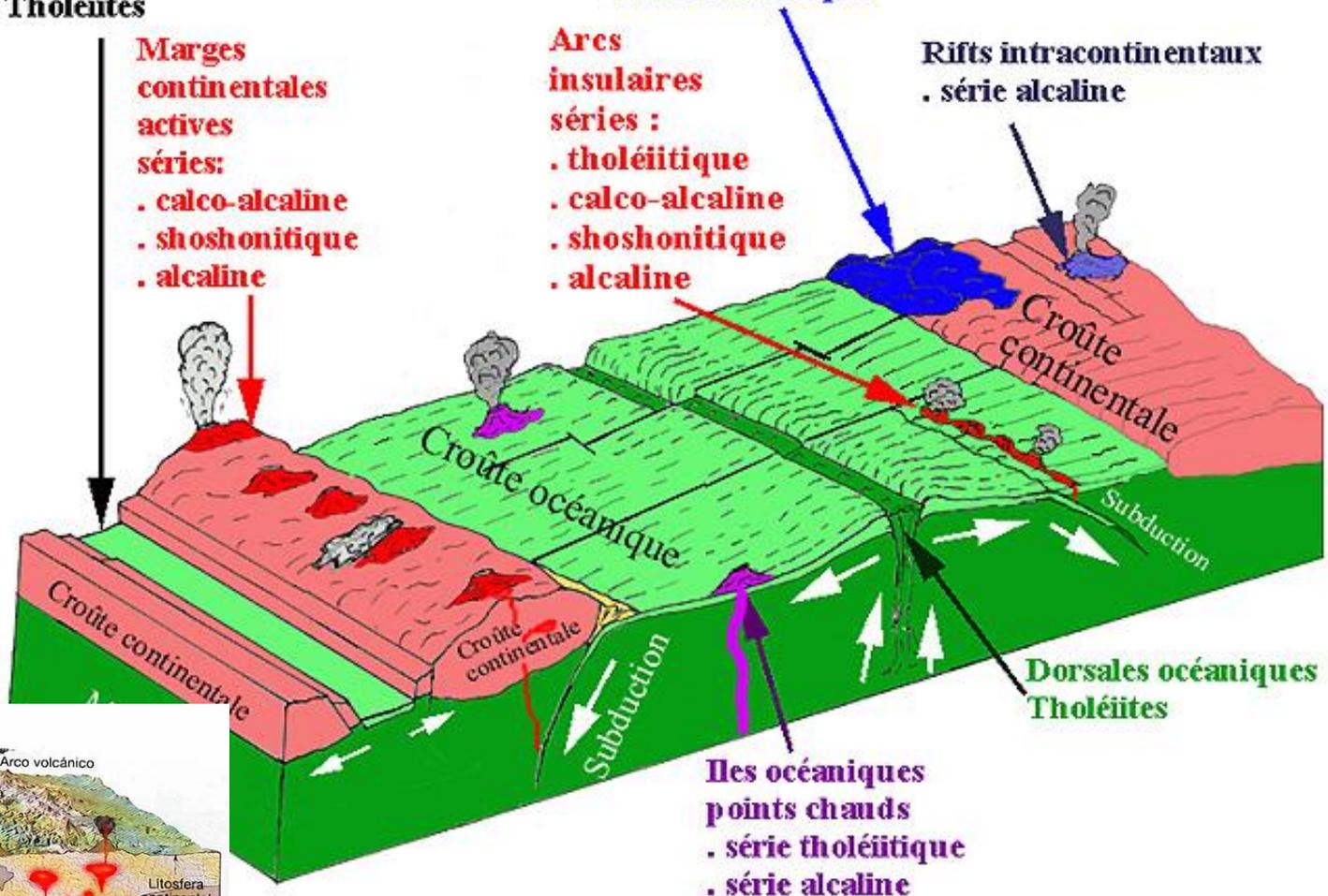
Bassins marginaux
Arrière-arcs
Tholéïtes

Marges continentales actives
séries:
 . calco-alcaline
 . shoshonitique
 . alcaline

Marges continentales inactives
. série tholéïtique

Arcs insulaires
séries :
 . tholéïtique
 . calco-alcaline
 . shoshonitique
 . alcaline

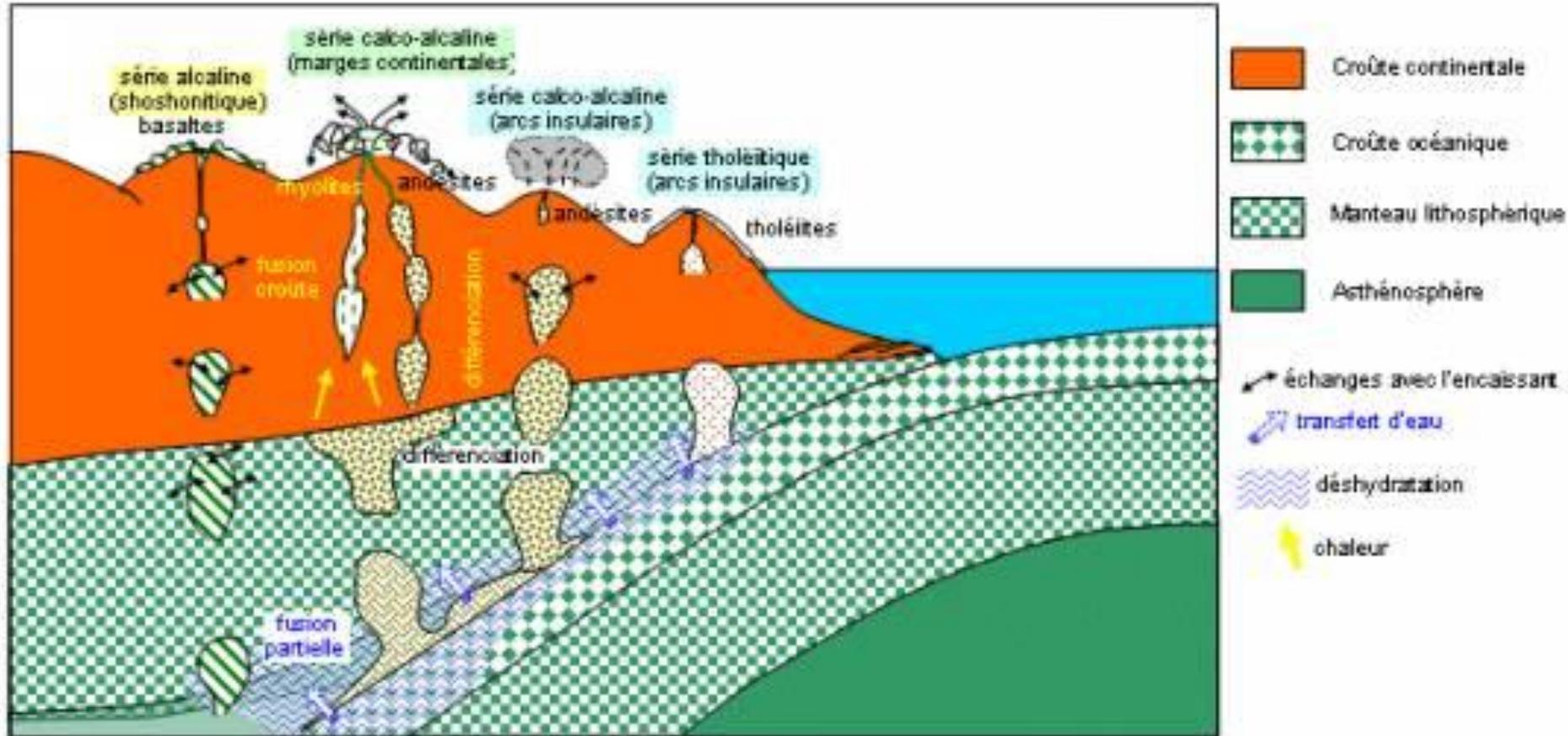
Rifts intracontinentaux
. série alcaline



Iles océaniques
points chauds
 . série tholéïtique
 . série alcaline

Exemple des séries volcaniques des zones de subduction

origine des séries volcaniques des zones de subduction
(d'après Girod, Mehier et Amaudric du Chauffaut)



Le dégagement des massifs intrusifs

- ✓ Parmi les roches plutoniques couramment rencontrées, on a le **granite**.
- ✓ Cependant, il existe un large éventail de roches plutoniques, variant par leur composition minéralogique.

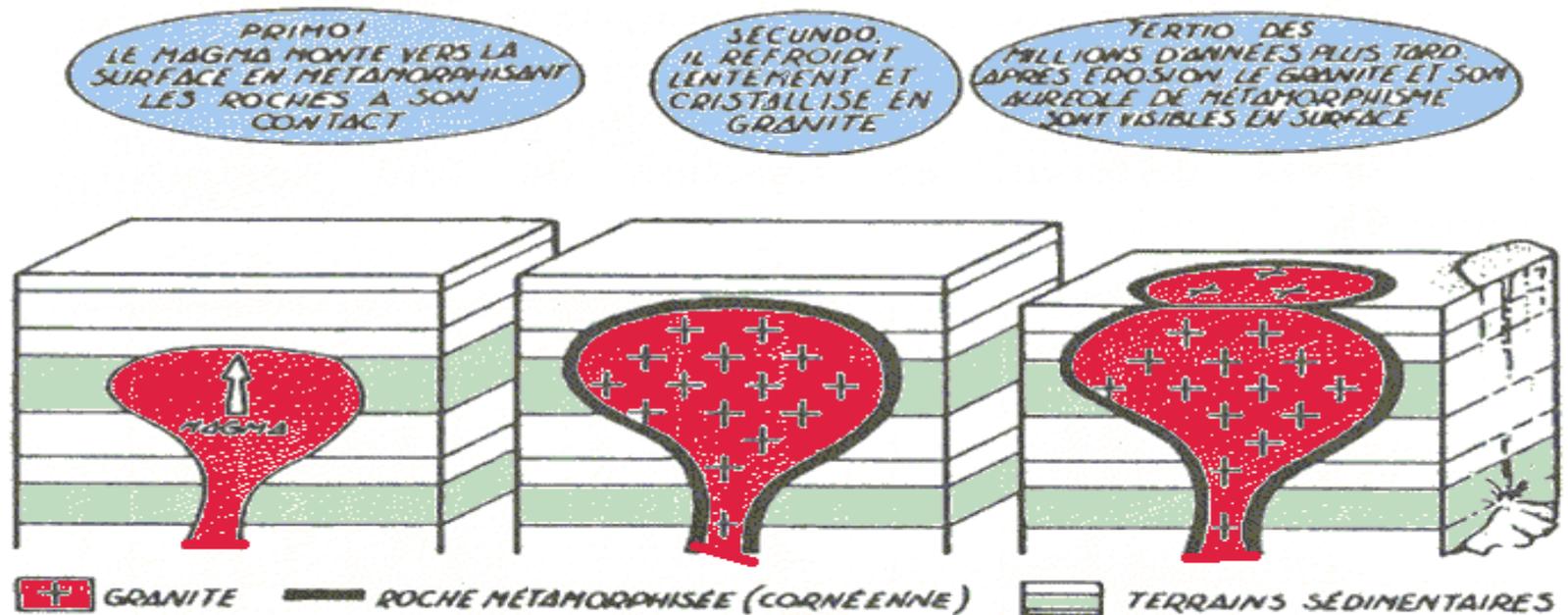
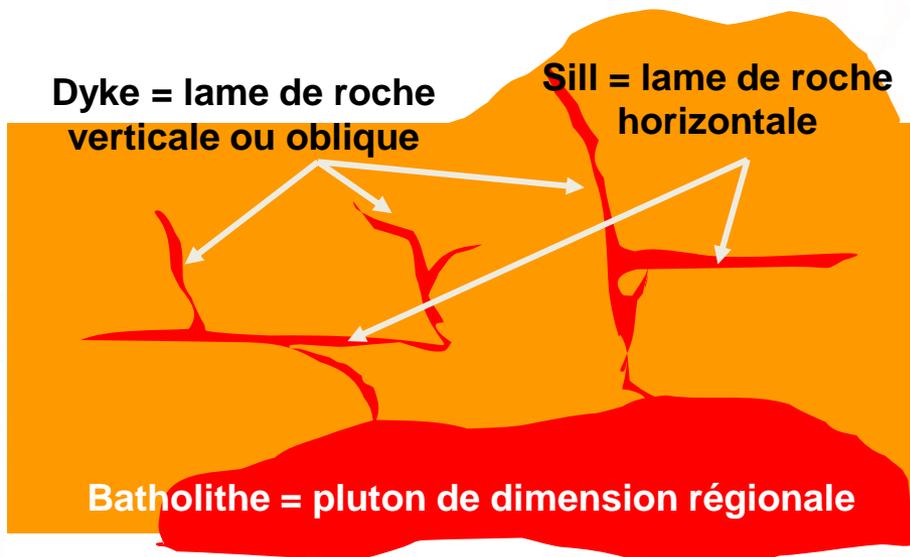


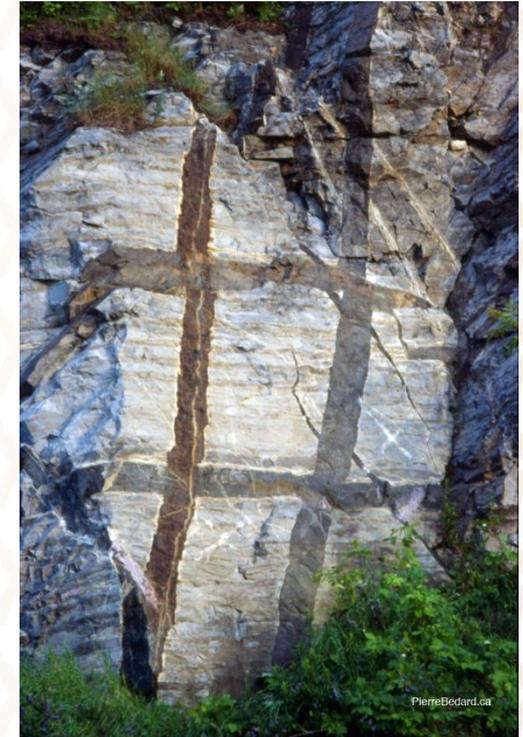
Figure 5 - Schéma de mise en place des roches plutoniques

Le dégagement des massifs intrusifs

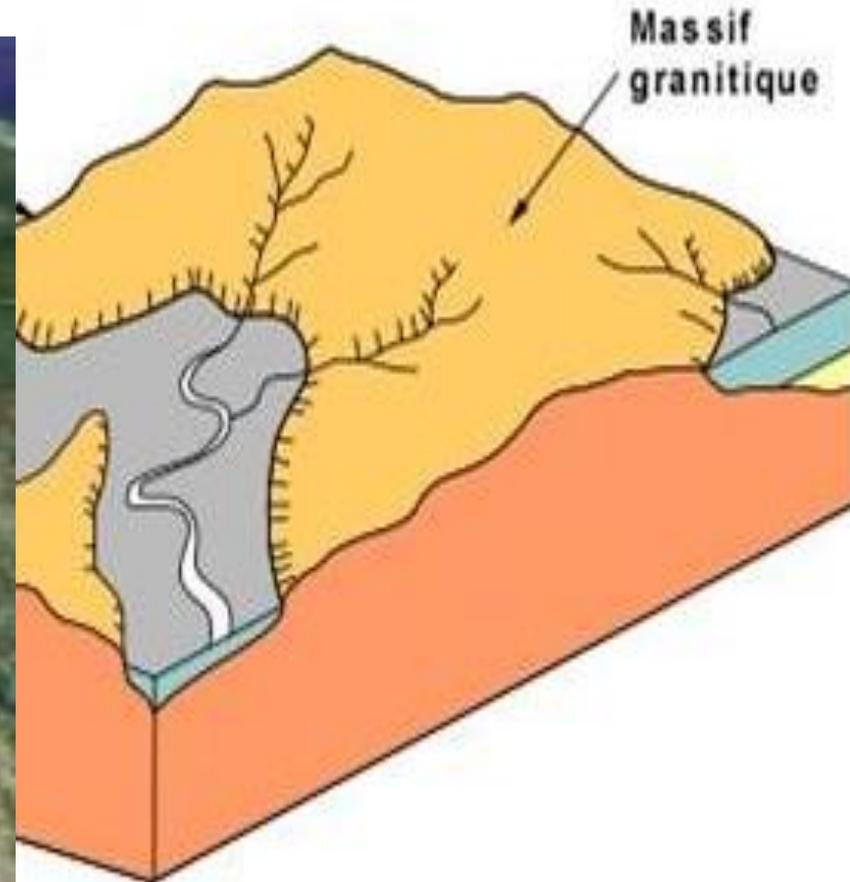
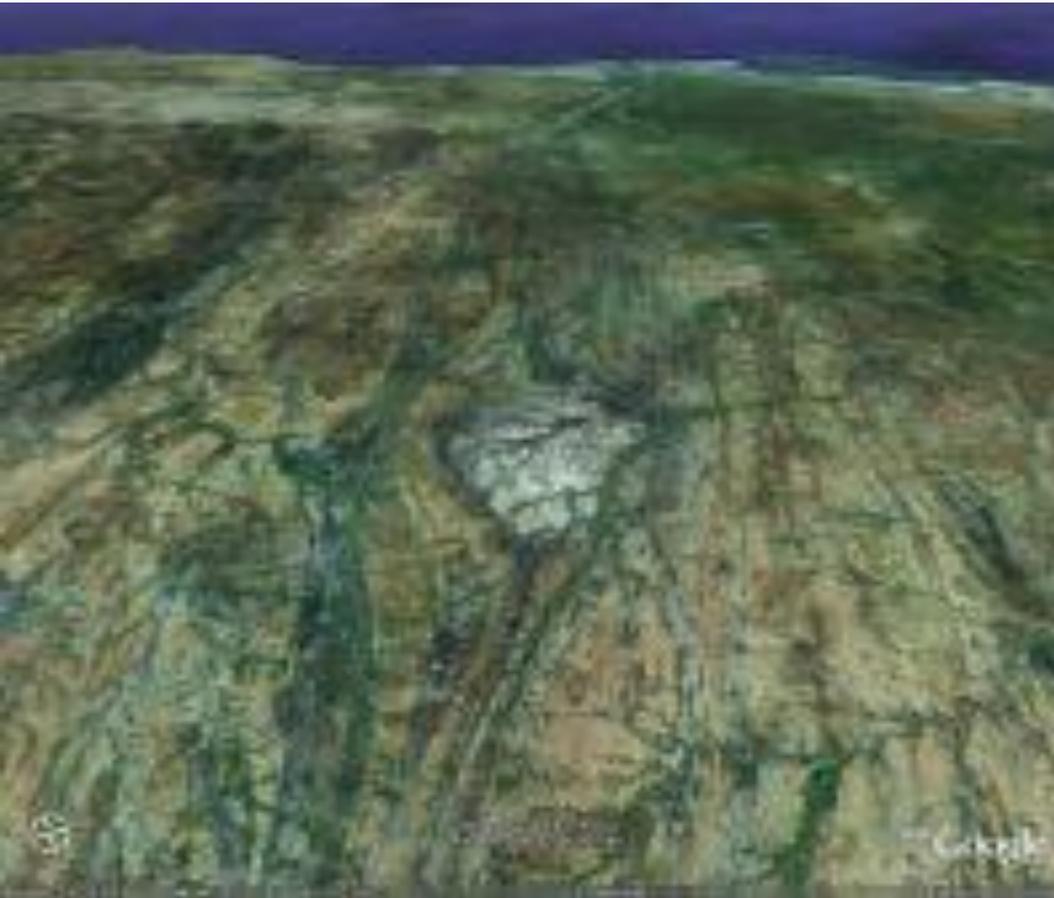
- En cassant et en déformant la croûte, les mouvements des plaques de lithosphère (géodynamique interne) peuvent entraîner vers la surface des roches qui ont refroidi en profondeur et/ou l'érosion (géodynamique externe) peut enlever les terrains qui les recouvrent.
- Le terme «**pluton**» désigne tous les types de massifs rocheux intrusifs. Les plutons sont abondants au Québec. Certains types communs sont le **sill**, le **dyke** et le **batholite**.



Dykes et sills



Le dégagement des massifs intrusifs



- Le

. Refroidissement rapide

de cristallisation (ou microlithes)

de silice



SA

C'est la roche la plus répandue

Andésitiques

Shoshonitiques

Volcanisme de subduction :

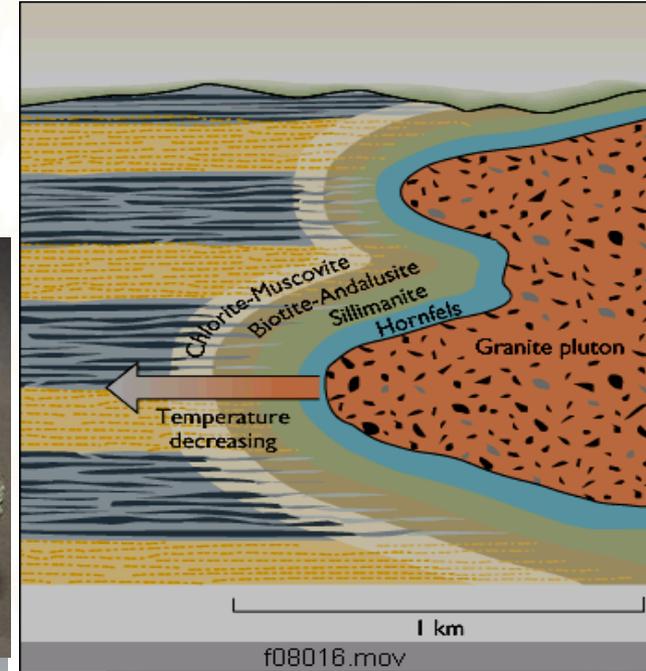
- Ceinture du pacifique
- Arcs insulaires...

Volcanisme continental

- Massif central

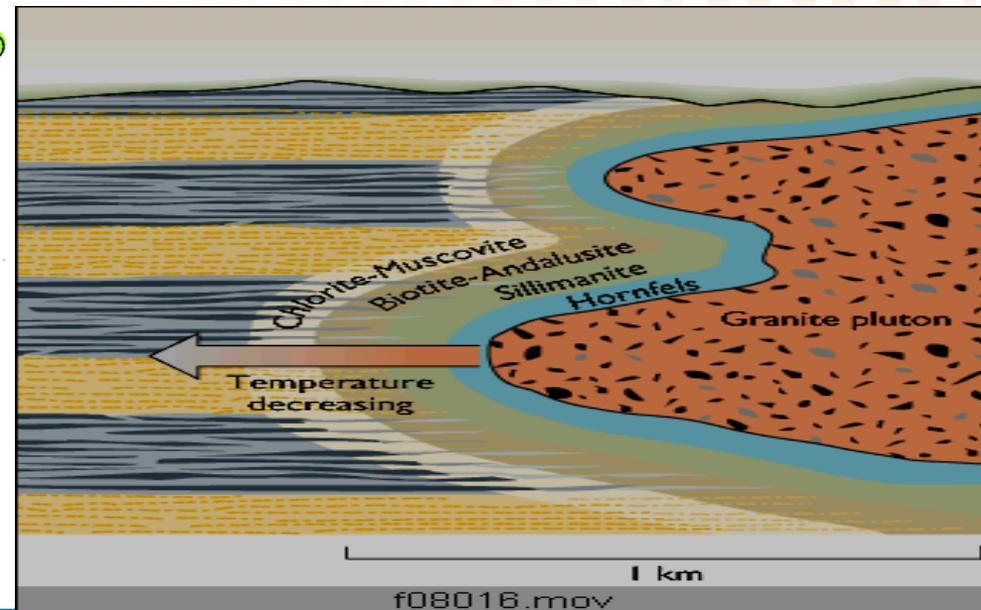
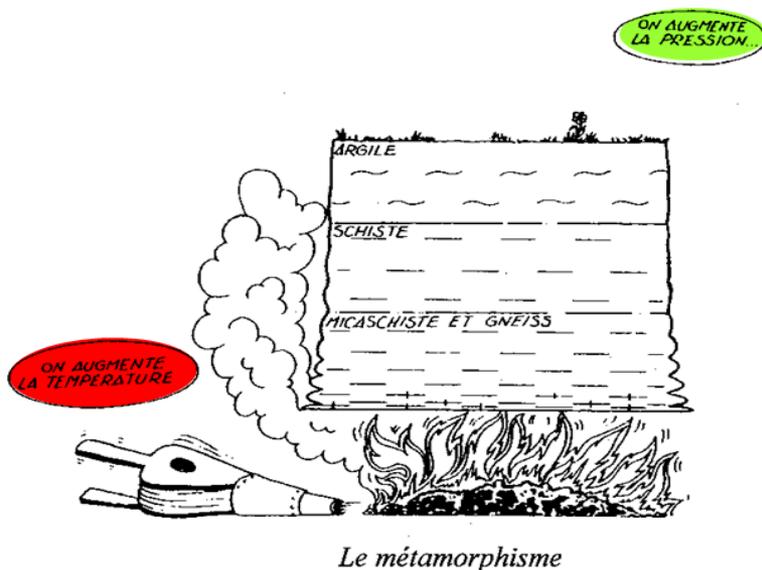


LES ROCHES MÉTAMOPHIQUES :



+ Les roches métamorphiques :

- ✓ dites aussi cristallophylliennes,
- ✓ formées par la recristallisation (et généralement la déformation) de roches sédimentaires ou magmatiques,
- ✓ sous l'action de la **température** et de la **pression** qui croissent avec la profondeur dans la croûte terrestre ou au contact d'autres roches.



Définitions et généralités

1. Métamorphisme

Ensemble des transformations qui entraînent un réarrangement à l'échelle atomique des éléments d'une roche, conduisant à une recristallisation à l'état solide (en présence ou non d'une phase fluide), sous l'effet de variations de **température**, de **pression** ou de **composition**.

2. Métasomatose

Changement de la **composition chimique** d'une roche résultant de phénomènes qui la laissent constamment et largement solide.

Définitions et généralités**3. Protolite**

Roche initiale ou **roche mère** qui, par une série de transformations **géothermobarométriques**, donne une roche métamorphique.

Exemple :

Roches magmatiques
Roches sédimentaires
Roches métamorphiques.

4. Paragenèse

Association de minéraux **syngénétiques** et jointifs. Le métamorphisme entraîne la transformation d'une paragenèse initiale en une nouvelle paragenèse.

Une roche métamorphique

=

Paragenèse du protolite + Paragenèse métamorphique + Paragenèse d'altération

- Lorsque le métamorphisme affecte une roche sédimentaire, on parle de **paramétamorphisme.**

Exemple 1 : **paragneiss** dérivé d'un grès métamorphisé.

- Lorsque le métamorphisme affecte une roche magmatique, on parle d' **orthométamorphisme.**

Exemple 2 : **orthogneiss** dérivé d'un granite métamorphisé.

- Lorsque plusieurs métamorphismes affectent une roche, on parle de **plyométamorphisme.**

Les roches métamorphiques :



transformation à l'état solide de roches préexistantes
(magmatique, sédimentaires ou métamorphiques)

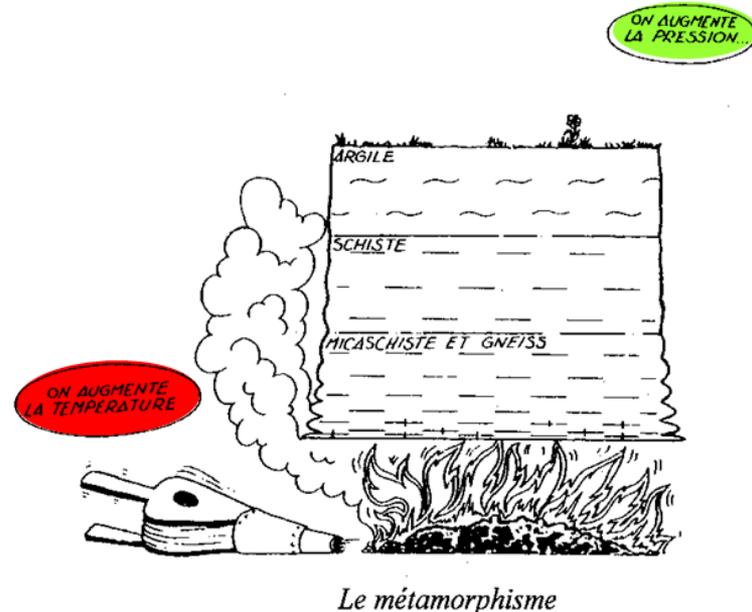
Ces transformations ont deux origines :

- **Augmentation de Température**
- **Augmentation de Pression**

Plusieurs types de métamorphismes :

- Haute **Température**/Basse **Pression** (HT/BP)
- Haute **Température**/Haute **Pression** (HT/HP)

•



Pour la classification, on ne va pas utiliser l'origine de la roche "mère", mais les conditions du métamorphisme, le type de transformation.

Diagenèse

Processus non destructifs de surface

Paramètres : **T** < 100°C et **P** < 1 Kb

Agents : eaux de surface

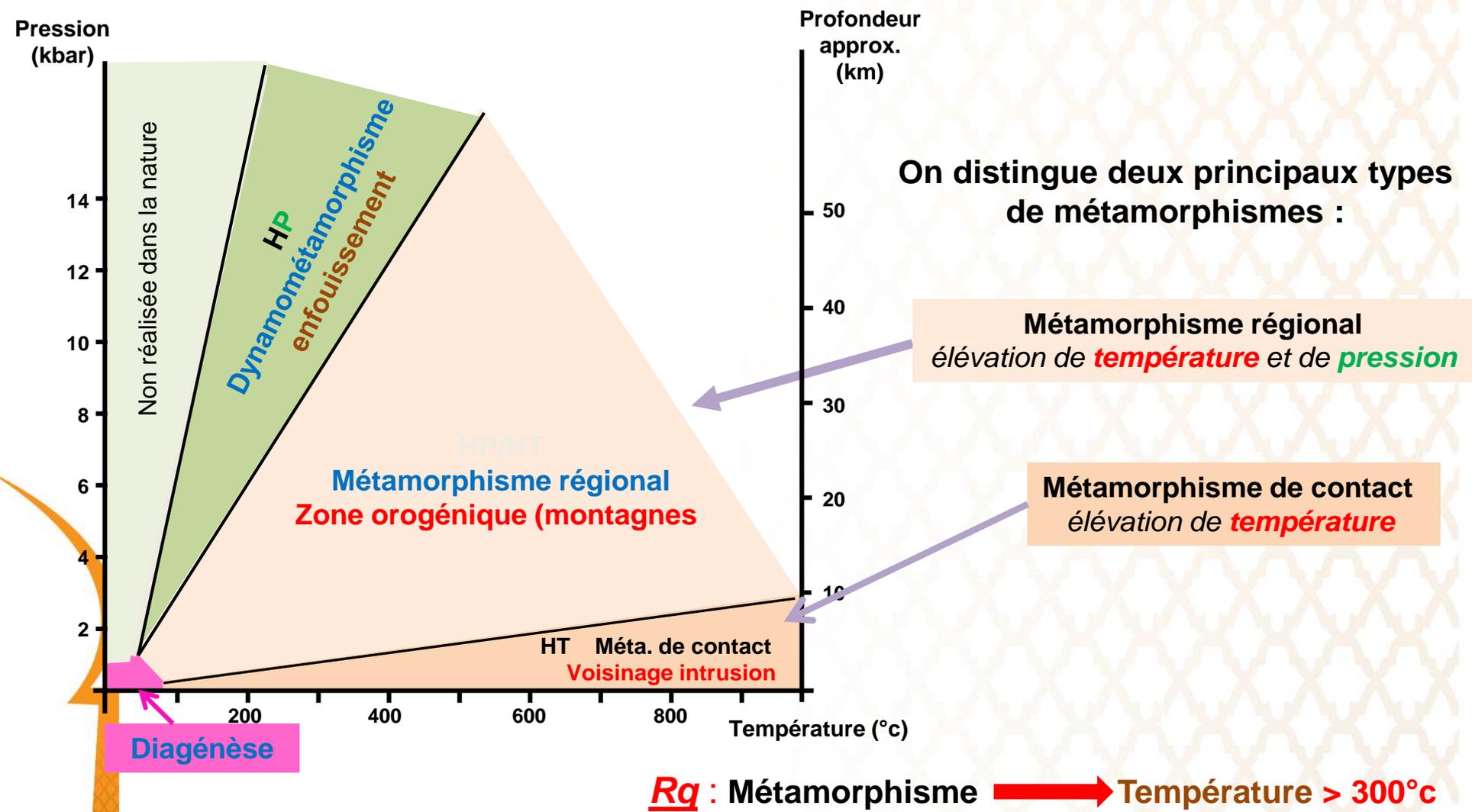
Métamorphisme

Processus non destructif intérieur

Paramètres : **T** > 100°C et **P** > 1 Kb

Agents : température, pression, liquides circulants

Les différents types de métamorphisme :



Les facteurs de transformation :

Augmentation de Température :

- Remontée d'un magma en surface (Métamorphisme de contact)
- Enfouissement des couches géologiques en profondeur (Proximité du manteau)

Augmentation de Pression :

- Pression Lithostatique (poids des terrains supérieurs)
- Pression des fluides emprisonnés dans la roche
- Tectonique (pression orientée en zones de subduction et de collision)

Les facteurs de transformation :

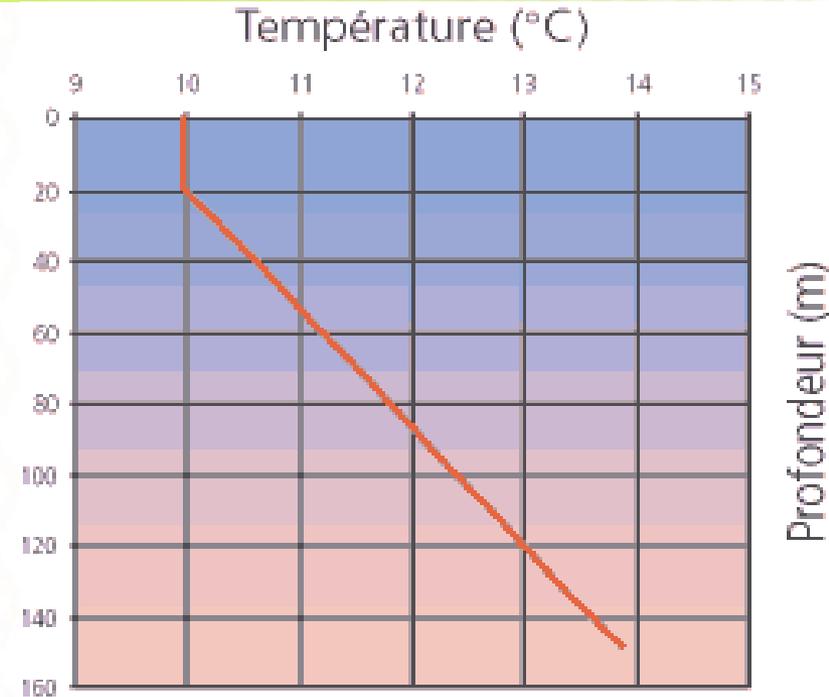
La température :

➤ Le gradient géothermique

Valeur moyenne **1°C / 30m**

Origine de la chaleur interne : chaleur d'accrétion planétaire +
chaleur latente de cristallisation du noyau + énergie radioactive.

« Une roche qui est enfouie en profondeur subit une hausse progressive de la température ».



Les facteurs de transformation :

La température :

➤ Les hausses ponctuelles de température : le contexte géodynamique

Ce sont des zones où les processus magmatiques plutoniques et volcaniques sont importants.

- Zones de rifting (rift)
- Zones d'accrétion (dorsale océanique)
- Zones de subduction (arc et cordillère volcanique)
- Zones de collision (racine crustale des orogénèses)
- Zones de points chauds (volcanismes intra-plaque)

«Les roches encaissantes au contact des réservoirs magmatiques subissent une hausse de température ».

Les facteurs de transformation :

La pression :

La pression est la force par unité de surface exprimée en N/m^2 (1 Newton par mètre carré ce qui vaut 1 Pascal).

La pression atmosphérique n'a aucun effet sur les processus métamorphiques.

La pression lithostatique (pression solide **Ps**) augmente avec l'enfouissement d'une roche avec la profondeur.

Les facteurs de transformation :

La pression :

- Pression lithostatique de type hydrostatique ou pression de confinement.
- Equilibre dynamique et contrainte normale, sans cisaillement ou déformation.
- Champs de contrainte tectoniques (**contexte géodynamique**)
- Suppression **tectonique orientée**.

L'eau :

- Agent diffuseur d'éléments chimiques
- Agent réactif
- Agents de rupture des liaisons faibles

« L'eau accélère les échanges d'ions entre les phases minérales en transformation »

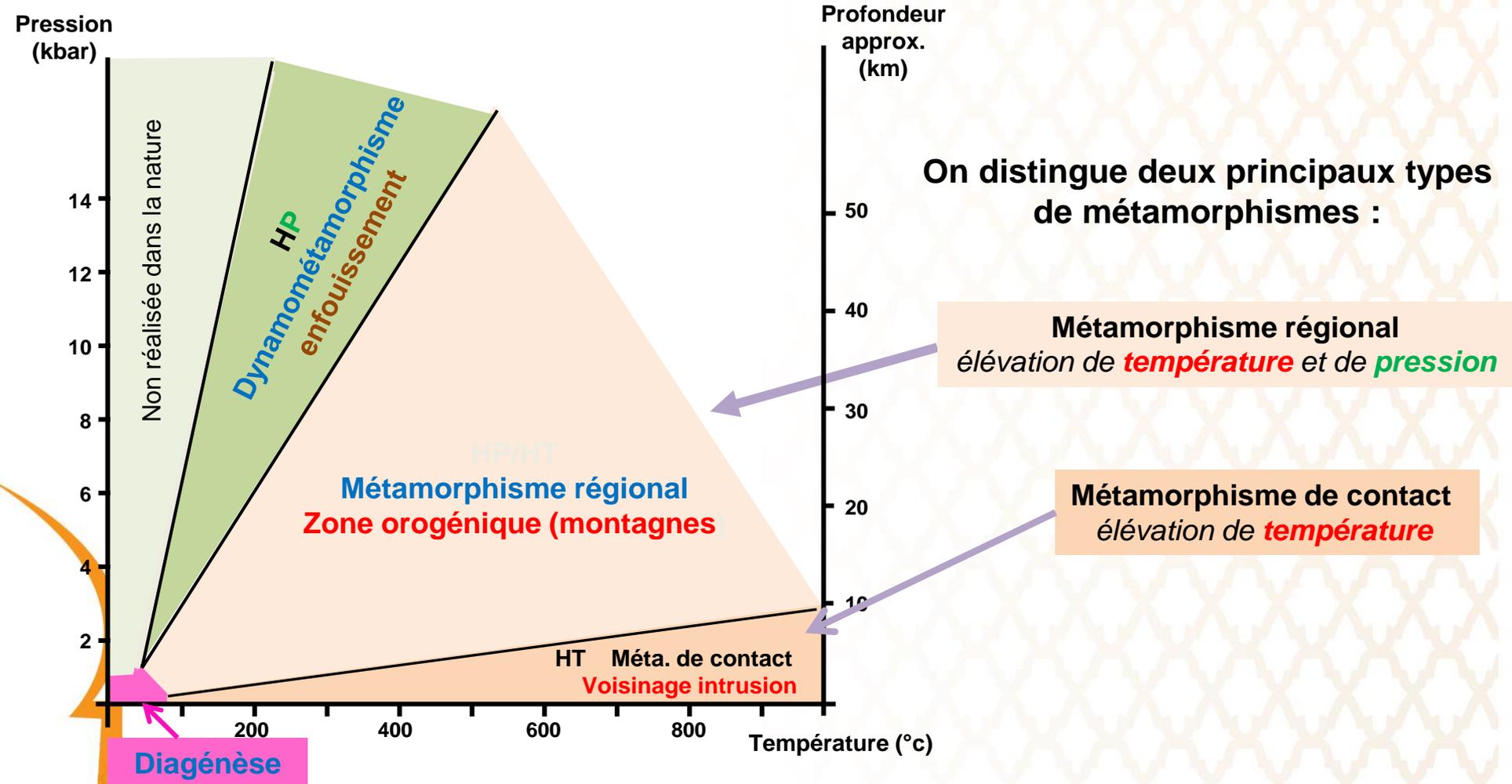
Eau interstitielle (diagenèse)

Eau secondaire (réaction métamorphique)

Eau marine (hydrothermalisme marins)

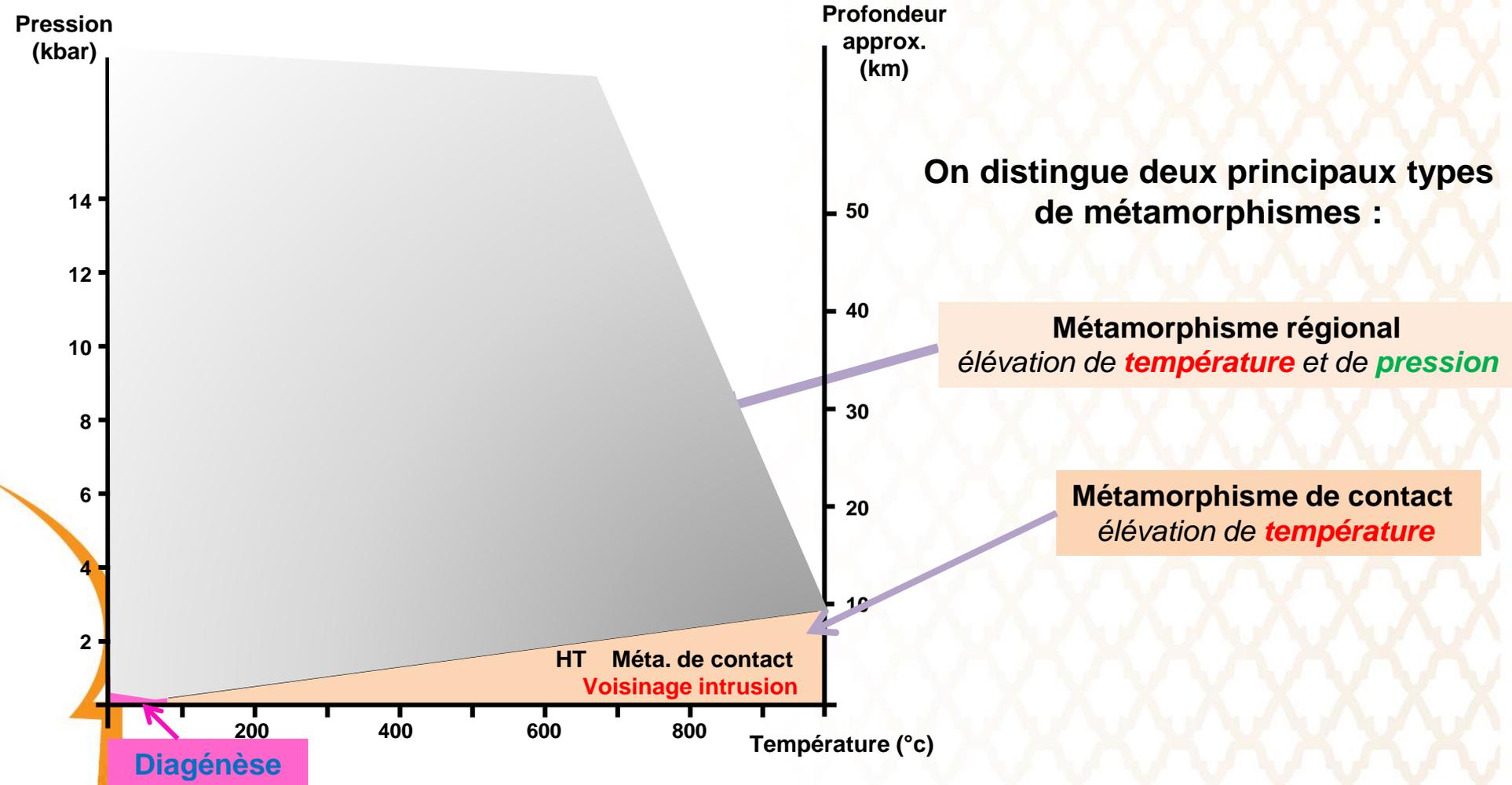
Eau continentale (hydrothermalisme continental)

Les différents types de métamorphisme :



Rq : Métamorphisme ➡ Température > 300°C

Les différents types de métamorphisme :



Les différents types de métamorphisme :

Le métamorphisme de contact = (métamorphisme thermique ou thermométamorphisme)

Augmentation thermique (200 – 800°C) au contact des intrusions magmatiques (plutoniques, filoniennes).

Auréoles métamorphiques (cm, hm)

- ✓ Paragenèse minérales de haute température au contact des intrusions,
- ✓ Métasomatose importante

Exemple :



- les cornéennes, les schistes tachetés et les schistes noduleux,

- les quartzites,



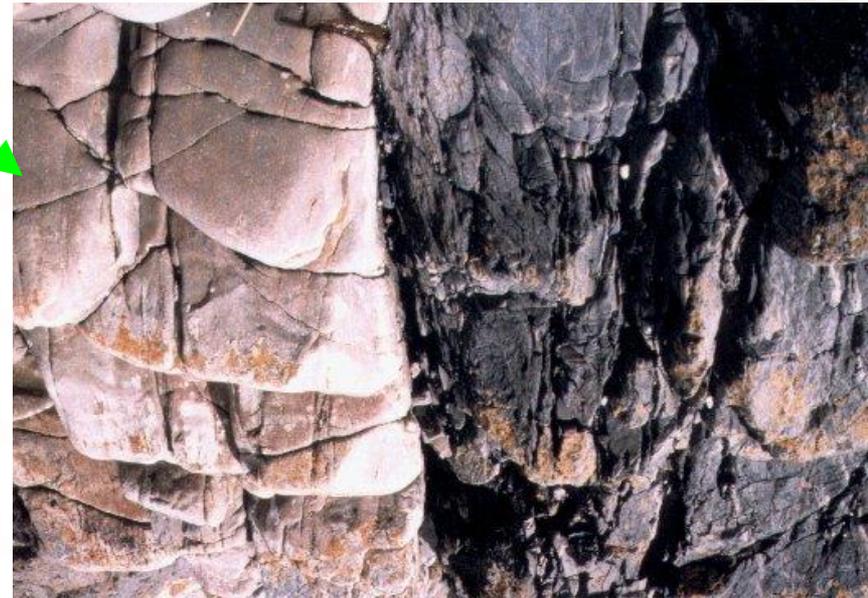
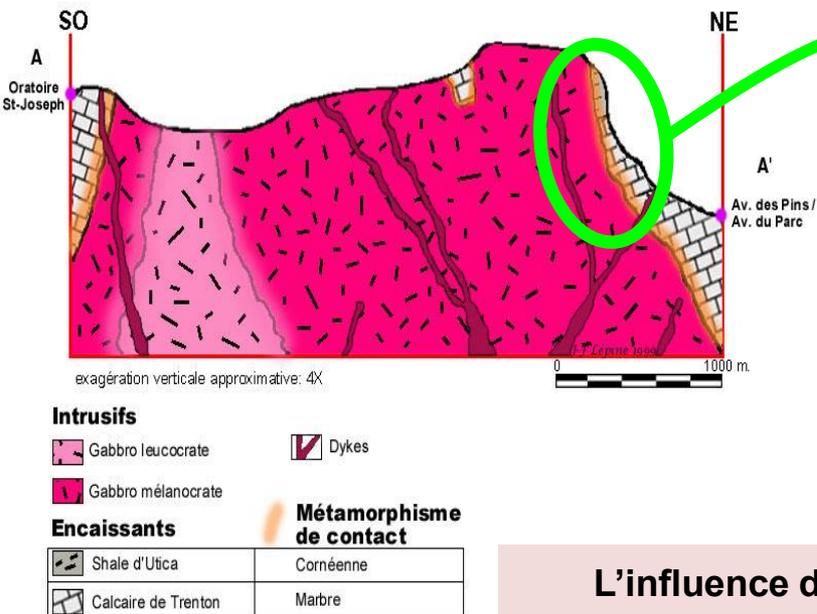
- les marbres.

Le métamorphisme de contact

Facteur : uniquement la température (remontée d'un pluton magmatique)

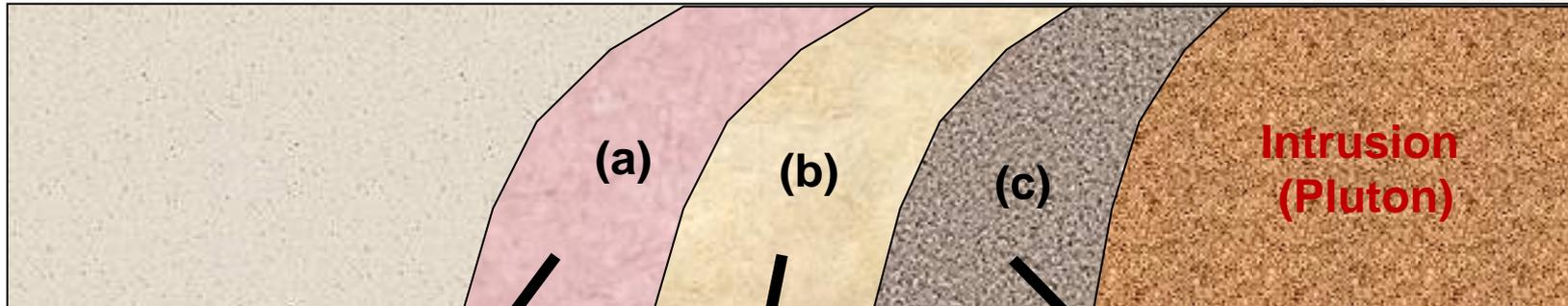
⇒ A son contact, les roches existantes subissent de fortes températures.

Recristallisation des roches en présence, avec apparition de **minéraux nouveaux**.



L'influence du métamorphisme de contact peut se voir sur quelques dizaines de centimètres jusqu'à quelques centaines de mètres

Le métamorphisme de contact



b/ Schistes noduleux

Cristaux de phyllithe (même famille que les micas) + andalousite.

c/ Cornéennes

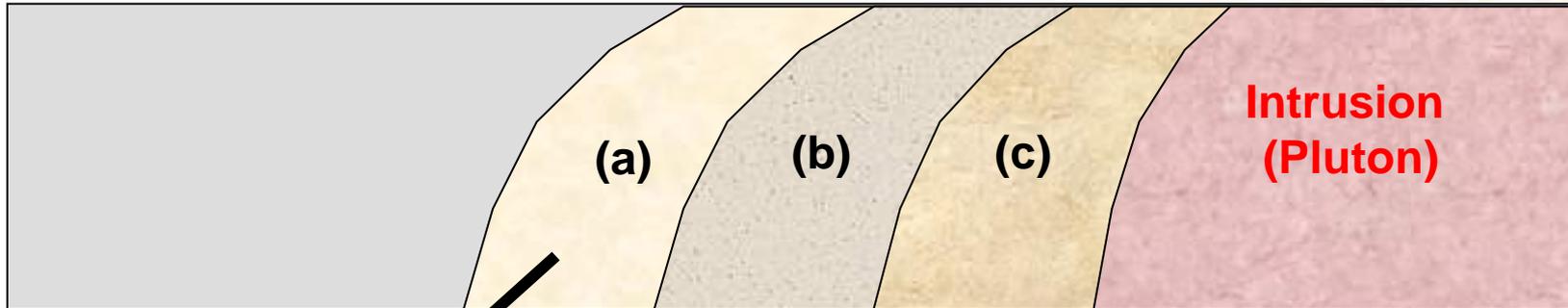
Roches massives à grains fins, sombres, + souvent andalousite.

a/ Schistes tachetés

Gros cristaux de cordiérite sans formes particulières

Le métamorphisme de contact

Exemple : Si la roche présente sur place est de type argilite.

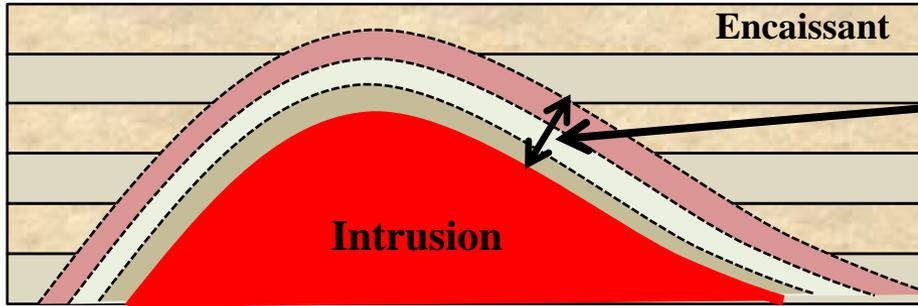


a/ Schistes tachés
Gros cristaux de cordiérite
formes particulières

Contact granite / cornéenne

Le métamorphisme de contact

Etape 1: Vue en coupe



Etape 2 : Erosion

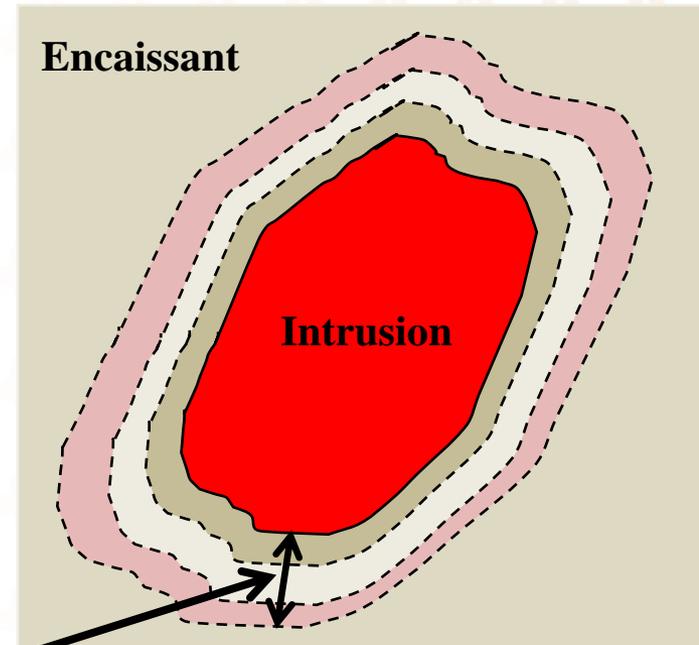


Métamorphisme de contact :

- Zone métamorphisée restreinte (**filons, plutons**)
- Processus **allochimique**
- Isotropie/anisotropie des structures formées
- Gradient métamorphique dans l'auréole de contact.
- Auréole de métamorphisme (cm / hm).

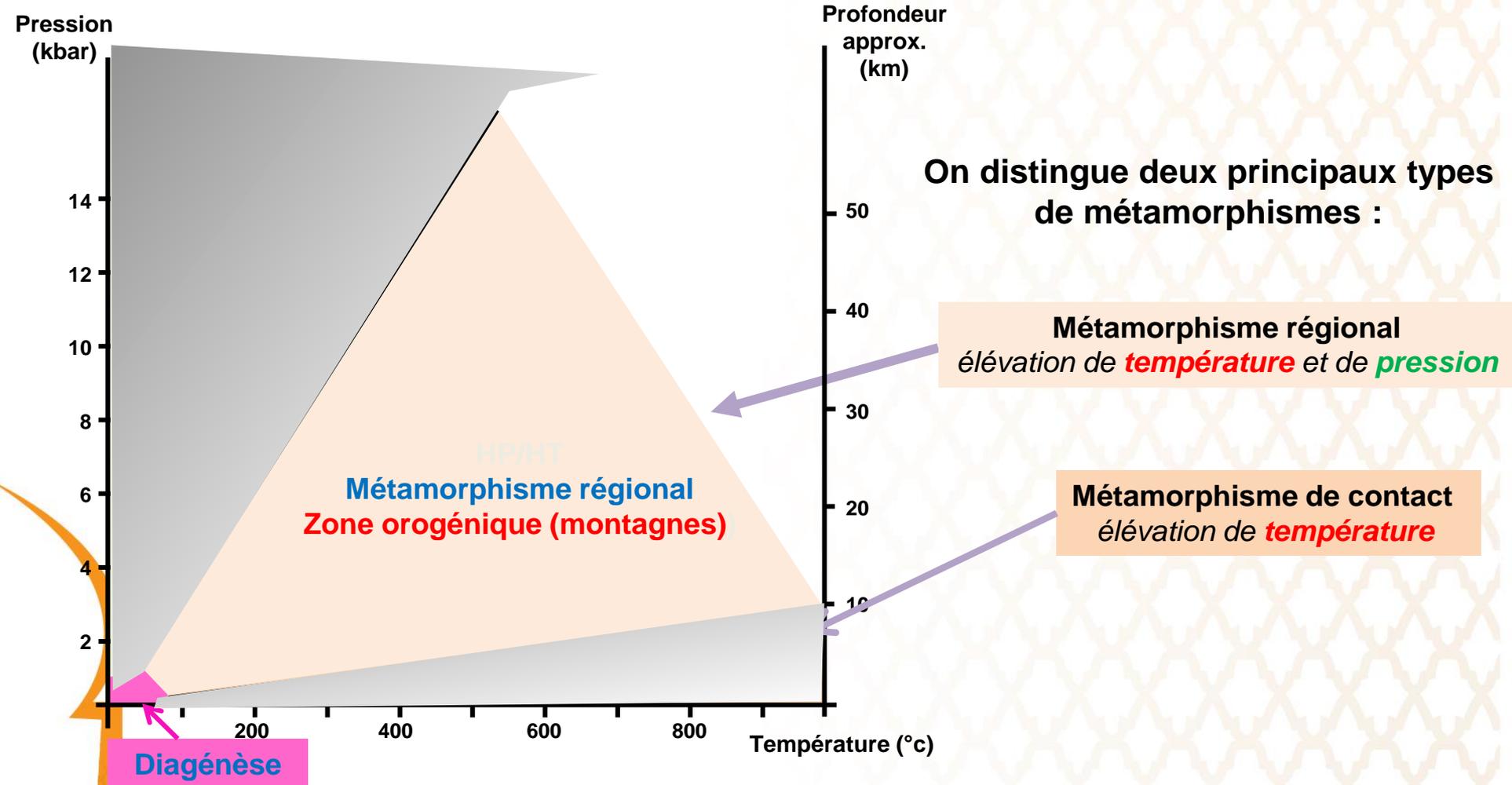
Métamorphisme

Vue du haut



Auréole de métamorphisme

Les différents types de métamorphisme :



Le métamorphisme régional

Cette fois, la **température** et la **pression** jouent.

Elles définissent les conditions thermodynamiques du métamorphisme.

Plus l'enfouissement des roches en profondeur est important, plus la **pression** et la **température** sont importantes, plus le **métamorphisme** est important.

Recristallisation des **roches** (sédimentaires, magmatiques ou déjà métamorphiques) **avec** :

→ apparition de minéraux nouveaux (**T°** et **P**)

→ apparition de structures particulières (**P**)

Les différents types de métamorphisme :

Le métamorphisme régional = métamorphisme général

- Structure de très grandes dimensions.
- Liens avec un contexte géodynamique régional.

a) Le métamorphisme d'enfouissement

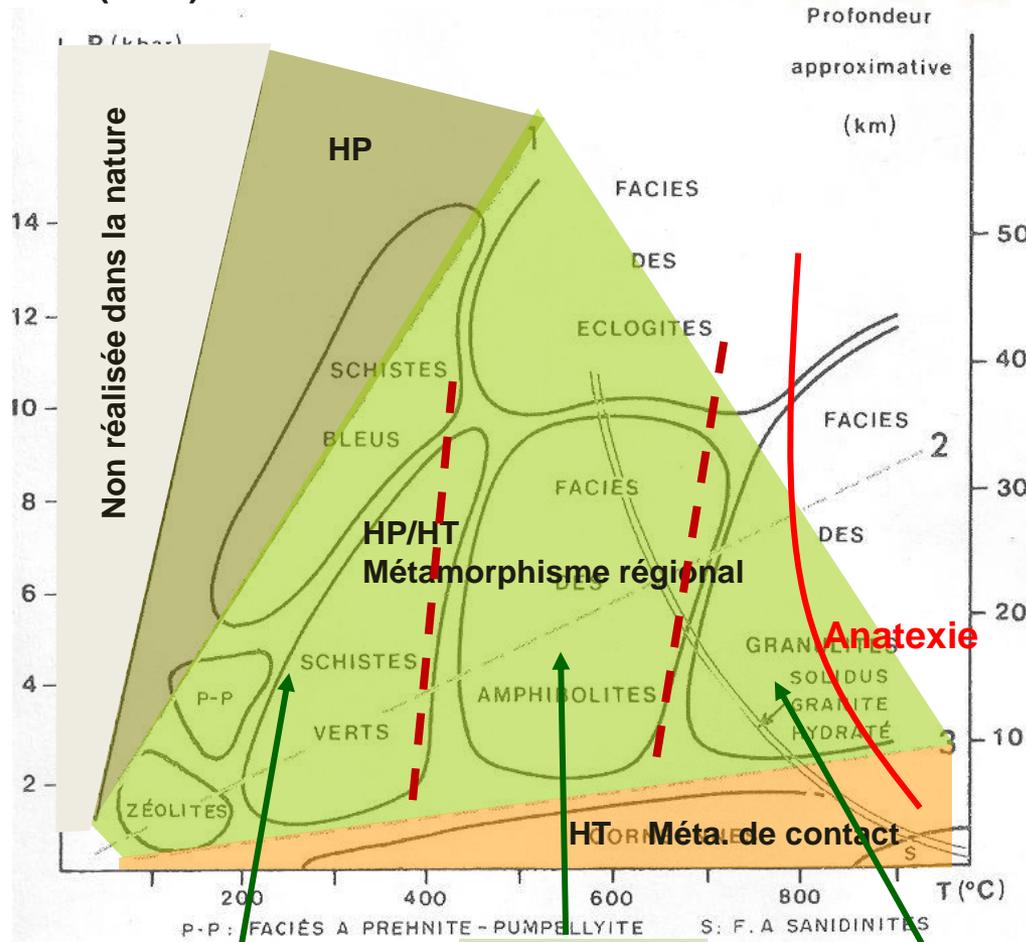
Il se trouve à la base de séries sédimentaire épaisses non plissées (plusieurs Kms) (400 – 450°C).

b) Le métamorphisme thermodynamique

- Chaînes de montagnes. Les protolites subissent de très fortes contraintes tectoniques orientées (et des augmentations thermiques plus ou moins importantes) (jusqu'à 700 – 800°C),
 - Les roches sont plissées et/ou faillées
 - Schistosité de flux et foliation de structure
 - **Migmatites** (fusion partielle)

Les Zones du métamorphisme Régional :

Pression (kbar)



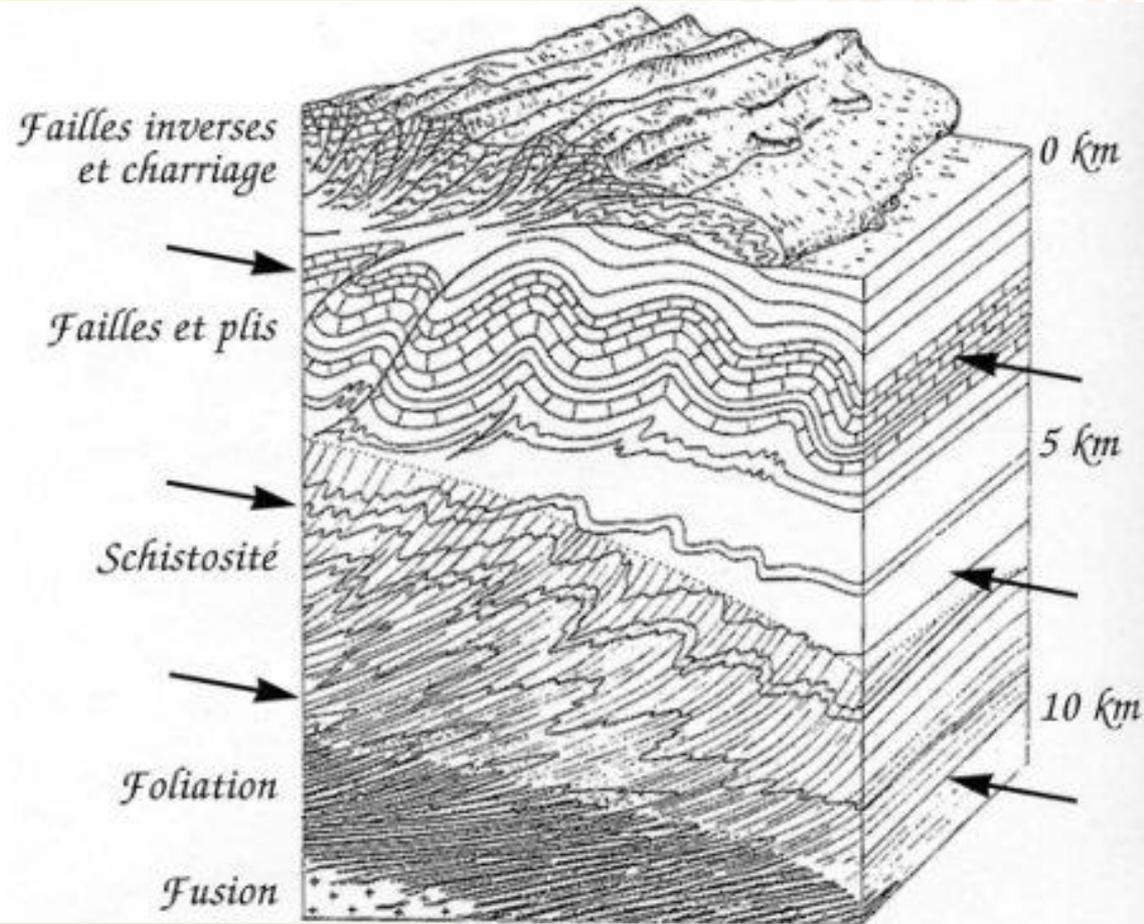
Epizone

Mesozone

Catazone

Les Zones du métamorphisme Régional :

Zones	T°	Roches	Minéraux
EPIZONE	T° < 450°	Schistes ardoisiers Schistes sériciteux	Chlorite (vert) Séricite
MESOZONE	T° < 650°	Gneiss/Micaschistes Amphibolites	Micas Amphiboles
CATAZONE	T° > 700°	Granulites	Feldspaths Grenats Sillimanites
ANATEXIE	T° > 900°	Granites d'anatexie	Olivines Pyroxènes

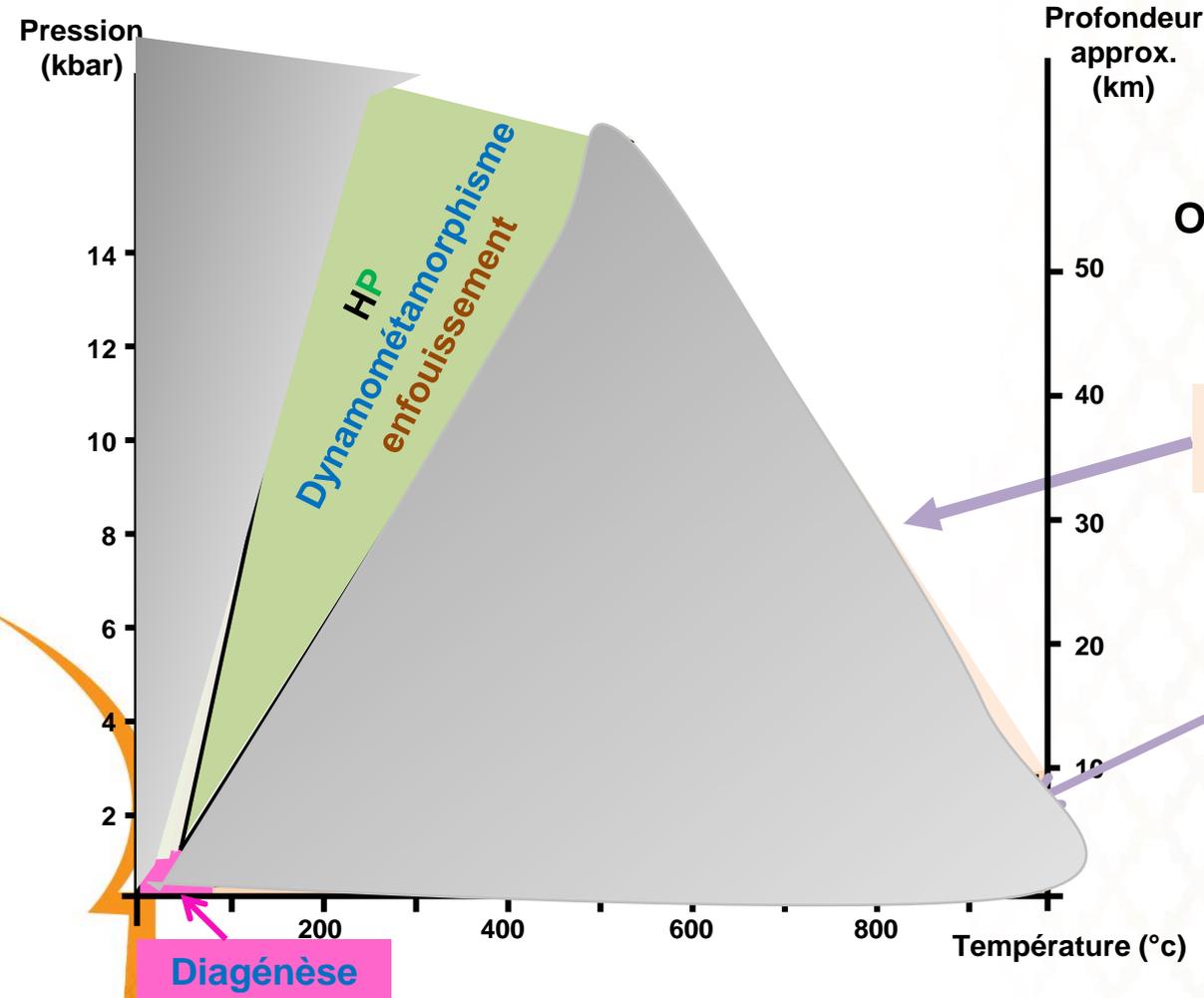


Métamorphisme régional :

- Zone métamorphisée étendue (montagnes, bassin sédimentaire)
- Processus isochimiques
- Isotropie/anisotropie des structures formées
- Passage progressif vers la fusion partielle (migmatites)

Les différents types de métamorphisme :

Le métamorphisme de haute pression : Dynamométamorphisme



On distingue deux principaux types de métamorphismes :

Métamorphisme régional
élévation de **température** et de **pression**

Métamorphisme de contact
élévation de **température**

Les différents types de métamorphisme :

Le métamorphisme de pression = (métamorphisme dynamique)

- Augmentation de **pression**, dans des plans de faille ou de cassure,
- Schistosité de fracture et bréchification.

Mylanite

Le métamorphisme hydrothermal :

- Zones de circulation de fluides à haute **température** (x 100°C) en relation avec les zones volcaniques et plutoniques.
- **Métasomatose** fréquente.

Exemple :

serpentinisation des roches basiques et ultra-basiques de la croûte océanique.

Les transformation des roches métamorphiques

→ Déformation mécanique des roches qui provoque des structures particulières.

On en distingue :

Schistosité :

Orientation préférentielle des minéraux : alignement des minéraux dans le plan perpendiculaire à la direction de la pression.

Roche caractéristique de l'**épizone** et de la **mésozone**.

Structure originelle (litage) disparue.

Structure des : Schistes et Micaschistes

roche d'origine: argiles, ...

Schistosité



21 10:51

Les transformation des roches métamorphiques

On en distingue également :

Foliation :

- Recristallisation dans les directions de foliation et plan de schistosité.
- Alternance de bandes **sombres** (ferromagnésiens) et de bandes **claires** (Quartz, feldspaths)

Structure des : **Gneiss**

roche d'origine: **Granite, roche sédim.,**

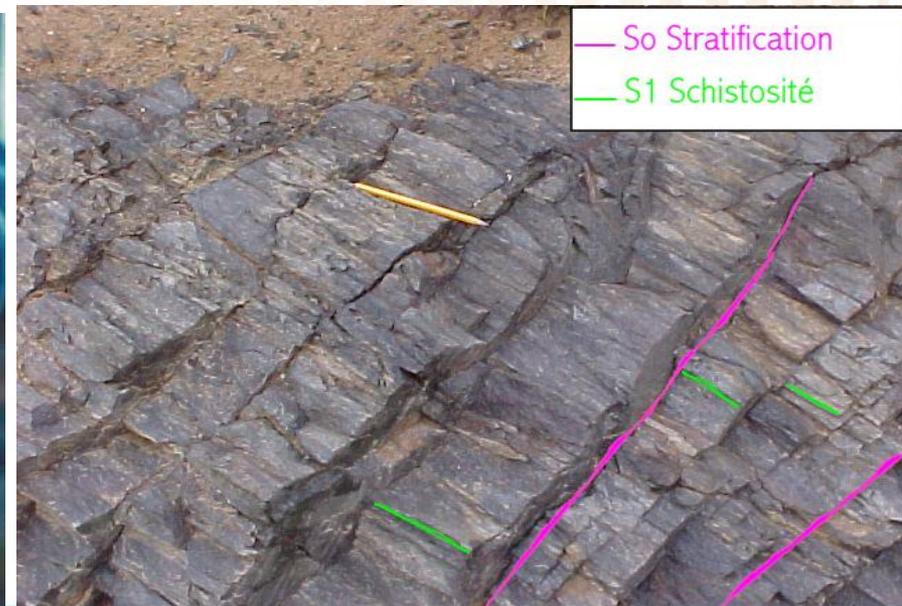


Structure des roches métamorphiques

Définitions et généralités

Schistosité : feuillage plus ou moins serré présenté par certaines roches métamorphiques, distinct de la stratification, et selon lequel elles peuvent se débiter en lames plus ou moins épaisses et régulières.

Foliation : structure de certaines roches métamorphiques où, à la schistosité, s'ajoute une différenciation pétrographique entre des lits constitués de minéraux différents.



Structure des roches métamorphiques

Texture cristallines :

Texture granoblastique :

Cristaux de tailles sensiblement égales en grains indentés et fortement engrenés sans orientation préférentielle apparente.

- Quartzite
- Marbre
- Cornéenne



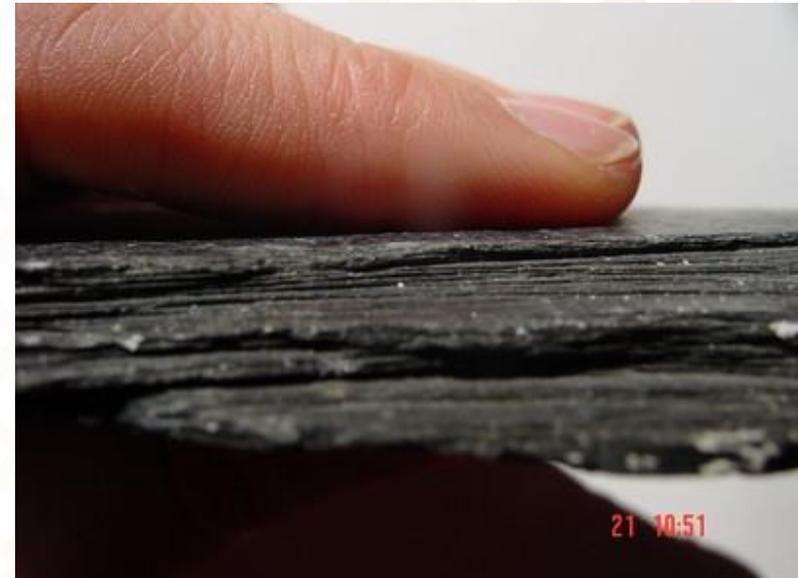
Structure des roches métamorphiques

Texture cristallines :

Texture lépidoblastique :

Cristaux en lamelles, empilés les uns sur les autres, formant des lits parallèles entre eux, et dont la direction générale est celle des plans de **schistosité** ou celle de **foliation**.

□ Schiste



Structure des roches métamorphiques

Texture cristallines :

Texture granolépidoblastique :

S'applique à la structure des roches métamorphiques montrant des lits de cristaux en lamelles et parallèles alternant avec des lits de minéraux engrenés et de même taille.

- Micaschiste**
- Gneiss**



Structure des roches métamorphiques

Texture cristallines :

Texture porphyroblastique :

Cristaux de grandes tailles, porphyroblastes, dans une matrice de cristaux plus fins.

- **Marbre**



Les transformation des roches métamorphiques

Les Transformations :

Transformations Minéralogiques :

Tout minéral n'est stable que sous certaines conditions de **T°** et **P**.

Si on change ces conditions, on a une recristallisation :

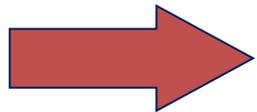
➔ **Apparition de nouveaux minéraux** (ex. grenat)

Les transformation des roches métamorphiques

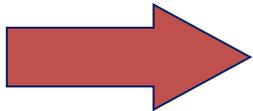
Les Transformations :

Transformations structurales :

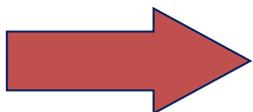
Orientation ou réorientation des minéraux en présence.



Schistosité



Foliation



Equante



© geology.com

Les transformation des roches métamorphiques

Déformation mécanique des roches qui provoque des structures particulières.

Structure équante : Pas d'orientation préférentielle des minéraux.

Structure originelle conservée.

Métamorphisme de contact.

Souvent pour les roches composées d'un seul minéral

