

Les roches. Les roches magmatiques

Définitions. Le cycle des roches

C'est un matériau qui entre dans la constitution de l'écorce terrestre quel que soit ses propriétés et son aspect physique. Une roche correspond à un agencement de minéraux les uns par rapport aux autres selon les lois de la cristallographie. Chaque roche a une architecture, une forme, les dimensions et une disposition particulière. On distingue 03 type des roches :

- **les roches magmatiques**, formées par la cristallisation du magma ;
- **les roches sédimentaires** qui proviennent de l'accumulation et la consolidation de sédiments ;
- Et enfin **les roches métamorphiques** qui résultent des transformations que subissent les roches lorsqu'elles sont soumises à des conditions de température et/ou de pression différentes de celles qui étaient présentes lors de la formation de la roche.

Trois grands types de roches forment la croûte terrestre. La figure 1 présente ces trois grands types, ainsi que les processus qui conduisent à leur formation. Ainsi présenté, il véhicule l'idée de la cyclicité des processus.

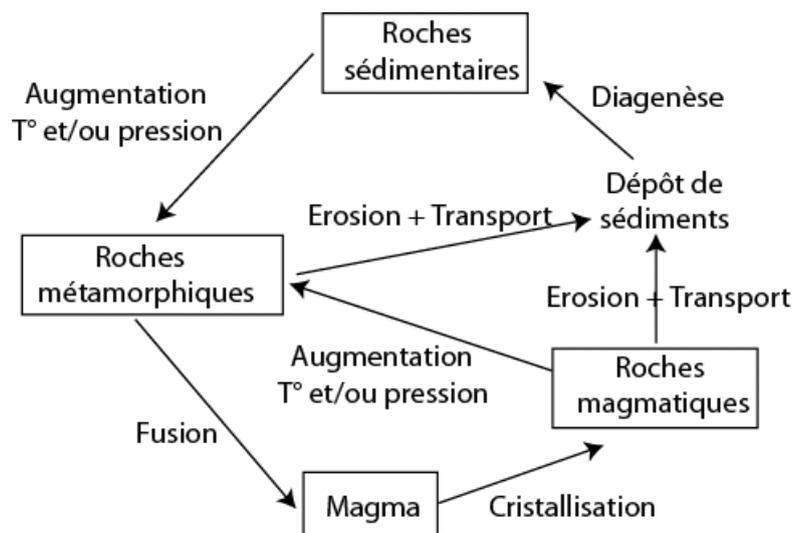


Figure 1 : le cycle des roches

I. Les roches magmatiques.

1. Définitions.

Les roches **magmatiques** résultent de la solidification (cristallisation, refroidissement) d'un **magma**. Le magma est un bain silicaté fondu, constitué d'une phase liquide (la plus importante), d'une phase solide (cristaux) et d'une phase gazeuse (0,1- 3%).

Selon le mode de refroidissement du magma, on distingue deux types de roches magmatiques :

- Les roches plutoniques : formées par le refroidissement lent du magma en profondeur. Le magma aura le temps de bien cristalliser, et la roche possédera de gros minéraux visibles à l'œil nu.
- Les roches volcaniques, formées par le refroidissement rapide du magma en surface. Les minéraux n'auront pas le temps de bien cristalliser. Les roches volcaniques sont donc caractérisées par la présence de minéraux invisibles à l'œil nu.

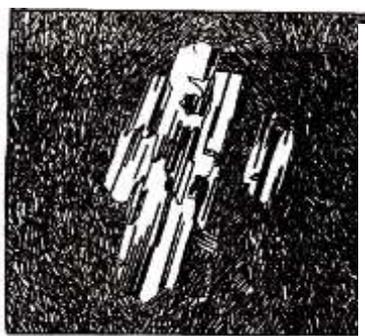
2. Texture des roches magmatiques

La texture (on parle parfois de structure) d'une roche magmatique est le terme utilisé pour décrire les dimensions, la forme et l'arrangement entre minéraux dans les roches magmatiques. Les principales textures sont les suivantes (figure 2) :

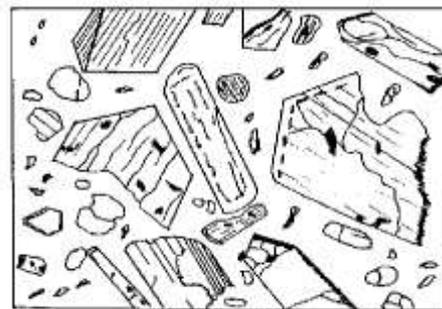
- Texture **grenue (ou phanéritique)** : concerne les roches magmatiques dont les minéraux sont visibles à l'œil nu (de grandes tailles). C'est le cas des roches plutoniques.
- Texture **microlithiques (ou aphanitique)** : concerne les roches magmatiques qui ne montrent pas de cristaux visibles à l'œil nu. C'est le cas des roches volcaniques.
- Texture **vitreuse** : concerne les roches magmatiques qui sont entièrement ou en grande partie constituées de verre. C'est le cas des roches magmatiques qui ont refroidi très rapidement (en général sous l'eau).
- Texture **porphyrique** : concerne les roches magmatiques qui possèdent de gros minéraux (phénocristaux) au milieu d'une texture aphanitique ou vitreuse. C'est le cas des roches magmatiques ayant subi deux temps de refroidissement (lent puis rapide).



Texture grenue



Texture microlithique



Texture porphyrique

Figure 2 : textures des roches magmatiques

3. Modes de mise en place des roches magmatiques (figure 3)

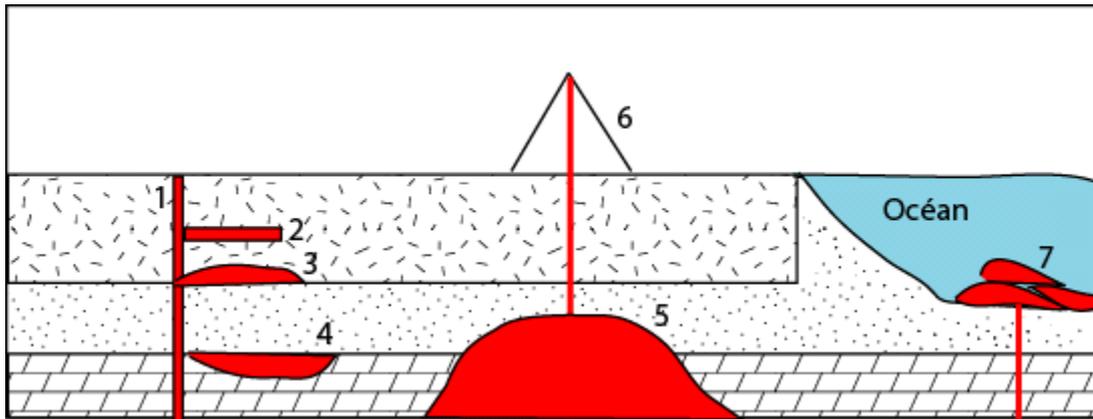


Figure 3 : principaux modes de gisement des roches magmatiques

- 1 : dyke** : la roche magmatique recoupe les roches encaissantes.
2 : sill : la roche magmatique est parallèle aux roches encaissantes (concordante).
3 : laccolite : structure de roche magmatique concordante à surface inférieure plane et surface supérieure convexe vers le haut.
4 : lopolite : structure de roche magmatique concordante en forme de cuvette plate.
5 : batholite : grand massif de roche magmatique qui recoupe l'encaissant.
6 : volcan : relief en forme généralement conique constitué par l'empilement de laves et/ou de projections ayant atteint la surface.
7 : laves en coussins (Pillow-Lavas) : laves mises en place sous l'eau.

4. Différents types de magmas

Les types de magmas sont déterminés par leurs compositions chimiques, températures, teneurs en gaz et viscosité (résistance à l'écoulement). Ainsi, on distingue trois grands types de magmas :

- 1- Les magmas basiques ou basaltiques** : 45-55 % SiO_2 , riche en Fe, Mg, Ca, pauvre en K, Na. La température des ces magmas : 1000 – 1200°C. Pauvres en gaz et peu visqueux.
- 2- Les magmas intermédiaires ou andésitiques** : 55-65 % SiO_2 , intermédiaire en Fe, Mg, Ca, K, Na. La température des ces magmas : 800 – 1000°C. Teneurs en gaz et viscosité intermédiaire.
- 3- Les magmas acides ou rhyolitiques** : 65-75 % SiO_2 , pauvre en Fe, Mg, Ca, riche en K, Na. La température des ces magmas : 600 – 800°C. Riches en gaz et très visqueux.

Environ 80% des magmas émis par les volcans sont basaltiques, et les magmas andésitiques et rhyolitiques représentent ~10% chacun du total.

Remarques

- Durant les 2 premiers milliards d'années qui ont suivi la naissance de la Terre existaient des magmas plus chauds qui ont donné naissance à des roches appelées *Komatiïtes*. La température de ces magmas est estimée entre 1400 et 1600°C. Ces magmas contenaient moins de 45% de SiO_2 et sont appelés : magmas **ultrabasiques**. Les magmas ultrabasiques n'existent plus aujourd'hui à la surface de la Terre.

- Signalons aussi l'existence d'une lave très rare de faible température (lave qui a la température la plus basse connue, 500°C) : la **carbonatite** (lave alcaline très riche en calcium). Un seul volcan actif émet actuellement des carbonatites : le Lengai, en Tanzanie.
- Différence entre magma et lave : la lave est le liquide séparé du gaz (magma dégazé).

5. Classification des roches magmatiques

Une classification simplifiée des roches magmatiques est basée sur la texture (roche volcanique ou plutonique), la composition chimique et la minéralogie (tableau 1).

En ce qui concerne la composition chimique, les roches magmatiques sont essentiellement composées d'oxygène et de silicium (ces deux éléments forment plus de 70% de la composition chimique des roches magmatiques) exprimées sous forme de pourcentage en silice (SiO₂). On distingue ainsi :

- Les roches acides : SiO₂ > 65 %. Exemple : granite.
- Les roches intermédiaires : 52 % < SiO₂ < 65 %. Exemple : andésite.
- Les roches basiques : 45 % < SiO₂ < 52 %. Exemple : basalte.
- Les roches ultrabasiques : SiO₂ < 45 %. Exemple : péridotite.

En ce qui concerne la minéralogie, les roches magmatiques sont surtout composées de quartz, feldspaths (alcalins et plagioclases), olivine, pyroxènes, amphiboles et micas.

		Acide	Intermédiaire	Basique	Ultrabasique
Texture	Plutonique	Granite	Diorite	Gabbro	Péridotite
	Volcanique	Rhyolite	Andésite	Basalte	
	Vitreuse	Obsidienne			
		Minéraux présents			
		Quartz Feldspaths alcalin Micas	Plagioclase Na-Ca Amphibole	Plagioclase Ca Pyroxène	Pyroxène Olivine

II. Les roches sédimentaires :

Introduction :

Les roches sédimentaires sont les roches qui résultent de l'accumulation et du compactage de débris d'origine minérale (dégradation d'autres roches), organique (restes de végétaux ou d'animaux, fossiles), ou de précipitation chimique.

Elles se forment sur la surface de la terre, ou au fond des eaux et résultent de l'action des agents d'érosions et du transport et de l'activité des êtres vivants ou des phénomènes purement physiques ou chimiques se sont donc les roches Exogènes.

II.1. Processus de sédimentation :

La formation des roches sédimentaire passe par plusieurs étapes :

L'altération superficielle (Stade de Les processus de l'altération superficielle de la roche mère sont de trois types biologiques.

Les processus mécaniques (ou physiques) sont ceux qui désagrègent mécaniquement la roche, comme l'action du gel et du ouvre progressivement ces dernières. L'action mécanique des racines des arbres ouvre aussi les fractures.

Altération mécanique (pluie, variation de température gel et dégel), Existence de fissures + eau + gel + dégel donne éclatement de la roche ;

L'altération chimique est très importante : plusieurs silicates, comme les feldspaths, souvent abondants dans les roches ignées, sont facilement attaqués par les eaux de pluies et transformés en minéraux des argiles (phyllo silicates) pour former des boues. Modification de la composition chimique (cristallographie) ;

Certains organismes ont la possibilité d'attaquer biochimiquement les minéraux. vont chercher dans les minéraux les éléments chimiques dont ils ont besoin.

L'action combinée de ces trois mécanismes produit des particules de toutes tailles. C'est là le point de départ du processus général de la sédimentation.

Le transport :

Outre le vent et la glace, c'est surtout l'eau qui assure le transport des particules. Selon le mode et l'énergie du transport, le sédiment résultant comportera des structures sédimentaires variées.

- _ Transport par roulement
- _ Transport par traction
- _ Transport par saltation
- _ Transport par suspension

La sédimentation :

Tout le matériel transporté s'accumule dans un bassin de sédimentation, ultimement le bassin marin, pour former un dépôt. Les sédiments se déposent en couches successives dont la composition, la taille des particules, la couleur, etc., varient dans le temps selon la nature des sédiments apportés.

Diagenèse

On appelle diagenèse les transformations physiques et chimiques qu'ils subissent après leurs dépôts et qui les transforment en roches sédimentaires. La diagenèse s'accomplit à faible profondeur et à faible température, mois de 100 à 200°C, ce qui la distingue du métamorphisme. Les facteurs de la diagenèse :

- _ Les êtres vivants
- _ L'action de l'eau
- _ Action des facteurs physiques (pression, température, mouvement tectonique)

II.2. Principales roches sédimentaires

i)- formation

D'après l'origine, on distingue les roches détritiques, roches chimiques et roches organiques.

- **Les roches d'origine détritiques**

Au bord d'une rivière ou de la mer. La roche est plus ou moins fissurée, sous l'effet du gel et dégel, les fragments tombent au pied, la rivière les enlève, les transporte et les dépose plus loin, les dépôts ainsi formés sont des sédiments. Souvent les débris sont soudés les uns aux autres par un ciment, la roche qui était meuble à l'origine, se trouve consolidée et dure.

Cinq étapes principales conduisent aux roches dures détritiques :

1- Elaboration sur place des fragments

- 2- Leurs enlèvements ou mobilisation
- 3- Le transport
- 4- Le dépôt, sous forme de sédiments meuble
5. La cimentation qui les transforme en roches cohérentes.

Peuvent être meubles ou consolidées

Exemple : cimentation du sable (meuble) donne le Grés (consolidé)

- **Les roches d'origine organique**

Après la mort d'animaux ou de plantes, les parties dures ou résistantes, s'accumule et donne des roches sédimentaires.

- **Les roches d'origine chimique**

L'évaporation se produit à l'air libre dans des lagunes sur salée, l'eau s'évapore, le sel reste et se dépose.

Exemple : Diatomites (polissage),
Radiolarites (utilisé par les bijoutiers).

ii. Les roches siliceuses

Elles se forment par précipitation de la silice (SiO_2) dans des eaux saturées (origine chimique) ou par extraction de la silice de l'eau de mer par des organismes pour constituer leurs tests qui par accumulation et lithification donneront des roches dures (origine biochimique). Ces roches sont essentiellement formées d'opale (silice hydratée) et de calcédoine. Le terme **chert** est utilisé pour désigner l'ensemble des roches siliceuses d'origine chimique ou biochimique.

Les principales roches siliceuses d'origine biochimique sont : les **radiolarites** formées par les tests de radiolaires (zooplancton marin) et les **diatomites** formées par l'accumulation de tests de diatomées (algues siliceuses).

La principale roche siliceuse d'origine chimique est le **silex**, accident siliceux en milieu calcaire. C'est une roche qui a été utilisée comme outils (flèches, haches, pour allumer le feu) par les hommes préhistoriques.

iii. Roches évaporitiques (roches salines)

Composées de chlorures ou de sulfate, les roches salines sont en grande majorité des résidus d'évaporation de l'eau de mer ou de lagunes, d'où le nom d'évaporites.

La précipitation des minéraux évaporitiques se fait, entre autres, dans les grandes lagunes en bord de mer, lagunes qui se mesurent en plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres carrés, dans des régions où l'évaporation excède la précipitation.

Les principales roches évaporitiques sont : le **gypse** ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et l'anhydrite (CaSO_4), le **sel gemme** ou **halite** (NaCl) et le sel de potasse ou **sylvite** (KCl).

iv. Les roches carbonatées

Les roches carbonatées sont formées essentiellement de calcite (CaCO_3), d'aragonite (CaCO_3) ou de dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Les roches carbonatées riches en calcite (ou aragonite) sont appelées **calcaires**, alors que celles riches en dolomite forment les **dolomies**. Les calcaires constituent plus de 10 % des roches sédimentaires (figure 1).

L'eau de mer contient une grande quantité de carbonate de calcium (CaCO_3) dissoute. De nombreux organismes utilisent ce carbonate de calcium pour former leurs squelettes et autres parties dures de leurs corps. Quand ces organismes meurent, les courants marins brisent ces fragments en petits morceaux appelés sédiments bioclastiques. La roche formée par la lithification de ces sédiments est appelée **calcaire bioclastique**, ce qui indique que cette roche s'est formée par des processus biologique et clastique. D'autres calcaires et les dolomies résultent de la précipitation directe de carbonates (origine chimique) : **dolomies primaires, stalactites, stalagmites, calcaires lithographiques, travertins**.

Pour faire la différence entre calcaires et dolomies, on utilise le test de l'acide. Les calcaires font effervescences à l'acide (HCl), alors que les dolomies ne le font pas.

En général, les dolomies contiennent toujours un certain pourcentage de calcite et vice-versa (les calcaires contiennent aussi un certain pourcentage de dolomite).

v- Roches carbonées

Ce sont des roches formées essentiellement de carbone. Les principales roches sont les charbons (tourbe, houilles, lignite et anthracite) et les pétroles, on les appelle aussi les roches combustibles.

Les charbons (du latin carbona = charbon) désigne des roches sédimentaires stratifiées, combustibles, de couleur sombre, formées principalement de débris végétaux. On distingue plus précisément :

- la tourbe (65% de C), légère, brune, formée d'un amas de plantes enrichies en carbone.
- le lignite (70-75% de C), brun noir et terne, à débris ligneux bien reconnaissables, à pouvoir calorifique de l'ordre de 5000 kcal/kg.
- la houille ou charbon (voir figure 2.17) (85% de C), noire, mate ou brillante, tachant les doigts, bon combustible, plus au moins friable.
- l'anthracite (92-95% de C), noir, brillant, ne tachant pas les doigts, possède le pouvoir calorifique le plus élevé plus de 8000 kcal/kg.

vi. Les roches ferrifères et phosphatées

Les roches phosphatées (phosphate) sont essentiellement d'origine organique (dents et os d'animaux) et sont constituées d'apatite. Les roches ferrifères sont riches en oxydes de fer comme la bauxite (roche formée par l'altération des granites) ou le fer oolithique.

III. Les roches métamorphiques :

Introduction

Les roches métamorphiques sont issues de la transformation de roches ignées ou sédimentaires sous l'effet de température et/ou de pressions élevées. Deux grands types de métamorphisme produisent la majorité des roches métamorphiques : le métamorphisme de contact et le métamorphisme régional. Un troisième type est plus restreint : le métamorphisme de choc.

Degrés du métamorphisme (grade)

Le grade ou degré du métamorphisme est le terme utilisé pour décrire les conditions de température et de pression sous lesquelles la roche s'est formée (figure 1).

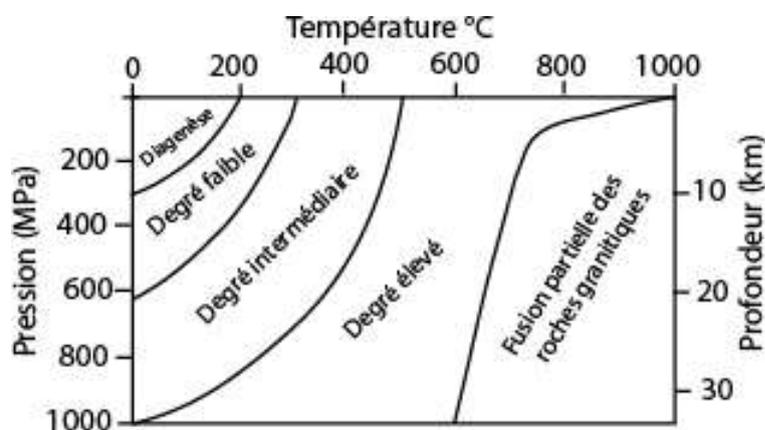


Figure 3. 1 : degrés du métamorphisme

- Le métamorphisme de faible degré se produit à des températures situées entre 200 et 320°C, à relativement faible pression. Les roches du faible degré de métamorphisme sont caractérisées par la présence de minéraux hydratés (minéraux qui contiennent de l'eau dans leur structure cristalline) : minéraux argileux, serpentine, chlorite.
- Le métamorphisme de degré élevé se produit à des températures supérieures à 320°C à relativement forte pression. Avec l'augmentation du degré du métamorphisme, les minéraux hydratés deviennent moins hydratés en perdant H₂O, avec apparition de minéraux non hydratés quand le degré du métamorphisme devient très élevé. Exemple de minéraux faiblement hydratés et non hydratés qui caractérisent le métamorphisme de degré élevé : la muscovite, minéral hydraté qui disparaît aux degrés très élevés ; la biotite, minéral hydraté qui demeure stable à des degrés très élevés du métamorphisme ; le pyroxène, minéral non hydraté ; le grenat, minéral non hydraté.
- Lorsque les roches enregistrent une augmentation de la pression et de la température, on parle de métamorphisme **prograde**. Ce métamorphisme indique l'enfouissement de la roche.
- Lorsque les roches enregistrent une diminution de la pression et de la température,

on parle de métamorphisme **rétrograde ou rétro métamorphisme**.

Ce métamorphisme indique l'exhumation de la roche.

a- Facteurs de métamorphisme

i- Augmentation de la température

Au cours d'un enfoncement sous de nouvelles couches de sédiment, les roches sont soumises à des températures de plus en plus élevées à cause du gradient géothermique.

Lorsque le magma très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures.

La tectonique est aussi un facteur de l'élévation de température.

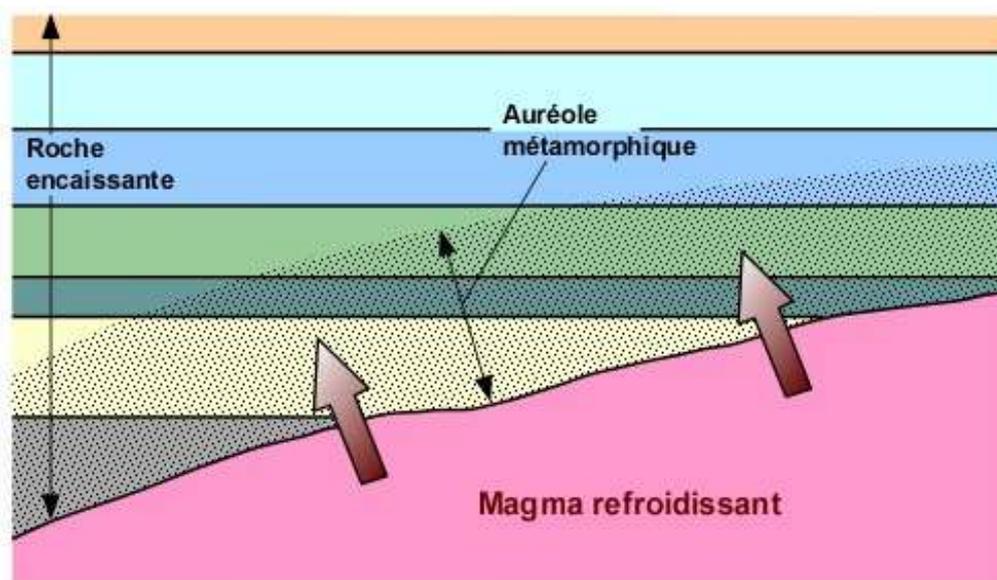


Figure 3.2 : Influence du magma

ii- Augmentation de la pression

La pression s'accroît en profondeur en même temps que la température, les pressions qu'elles subissent s'élèvent progressivement.

iii- Le temps Se fait en temps assez long. Exemple : la craie comprimée à 600 atmosphères pendant quelques instants ne subit pas de transformation notable, mais elle se transforme en calcaire cohérent si on la maintient sous pression pendant 17 ans.

b) Les types de métamorphisme

Le métamorphisme de contact.

Le métamorphisme de contact est celui qui se produit dans la roche encaissante au contact d'intrusifs.

Lorsque le magma encore très chaud est introduit dans une séquence de roches froides, il y a transfert de chaleur et cuisson de la roche encaissante aux bordures.

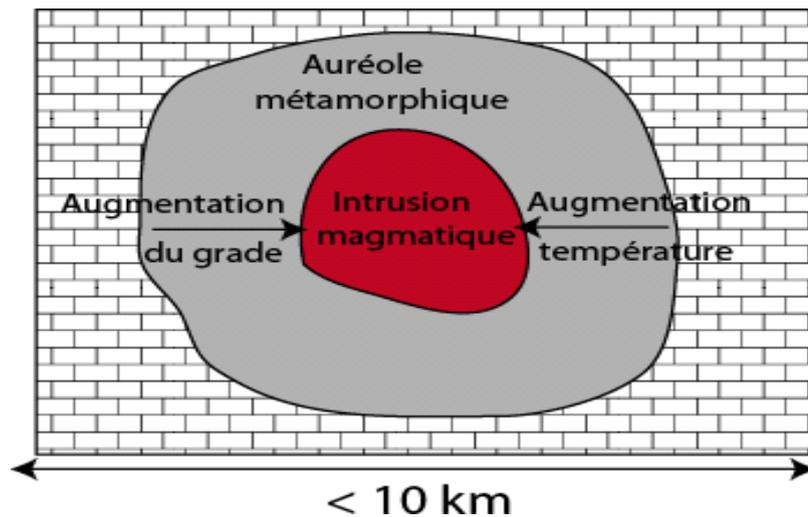


Figure 3.3 : métamorphisme de contact

Le métamorphisme de choc.

Le métamorphisme de choc est celui produit par la chute d'une météorite à la surface de la planète. Le choc engendre des températures et des pressions énormément élevées qui transforment les minéraux de la roche choquées, des températures et des pressions qui sont bien au-delà de celles atteintes dans le métamorphisme régional.

Métamorphisme régional (ou général) (figure 3.4)

Le métamorphisme régional affecte de grandes superficies (plusieurs dizaines de milliers de kilomètres carrés) qui sont le siège de déformations tectoniques et contraintes orientées. Il se produit au cœur des grandes chaînes de Montagnes sous des conditions de haute température-haute pression. Les roches métamorphiques formées sont toujours orientées et très déformées (schistes, micaschistes, gneiss).



Figure 3.4 : le métamorphisme régional se produit au cœur des chaînes de Montagnes

Métamorphisme hydrothermal

Il est lié à des circulations de fluides (eau) à température élevée. Ces fluides réchauffent les roches traversées et leur apportent des éléments chimiques (phénomène appelé métagénèse). Ce type de métamorphisme se rencontre dans les régions volcaniques.

Métamorphisme d'enfouissement

Ce type de métamorphisme se produit dans des bassins sédimentaires profonds à la base des séries sédimentaires épaisses de plusieurs kilomètres lorsque la température dépasse 300°C en l'absence de contraintes orientées. Ce métamorphisme est peu marqué et se manifeste par la formation de nouveaux minéraux (essentiellement les zéolithes). Le métamorphisme d'enfouissement suit la diagenèse et précède le métamorphisme régional.

Tableau 1 : comparaisons entre les différents types de métamorphisme

Type	Description	Effets	Exemples de roches ou minéraux	T	PO	PL	F
Contact	Forte augmentation de la température autour des intrusions magmatiques	Apparition de nouveaux minéraux sans orientation de la roche	Cornéennes	***			
Régional	Métamorphisme de fort degré caractéristique des chaînes de Montagnes.	Roches subissant une augmentation de la température et de la pression et sont toujours orientées	Ardoises Micaschistes Schistes Gneiss	***	***	***	*
Enfouissement	Métamorphisme se produisant à grandes profondeurs à la base d'épaisses couches sédimentaires	Transformations minéralogiques sans changement structurales	Zéolithes	*		***	*
Cataclastique	Intéresse de faibles volumes de roches le long des surfaces de failles	Minéraux orientés, bréchification	Mylonites Brèches tectoniques	*	**		
Hydrothermal	Dues à la circulation de fluides qui apportent des éléments chimiques	Métasomatisme (changement dans la composition, chimique des minéraux)	Skarns	*			***
Impact	Se produit dans les lieux de chutes de grosses météorites	Choc intense produisant des minéraux denses (de hautes pressions) à la surface de la Terre	Shatter cones Quartz choqués Stishovite Coésite Diamant	***	***		

T : température ; PO : pression orientée ; PL : pression lithostatique ; F : fluides.

c) Série des roches métamorphiques

Le gros des roches métamorphiques (en volume) provient du métamorphisme régional. Il est rare que l'on puisse déterminer si une roche métamorphique vient de la transformation de telle ou telle roche (roche d'origine) à telle ou telle pression et température (trajet en P, T de la roche, c'est-à-dire son histoire métamorphique).

d) Classification des roches métamorphiques

Les roches métamorphiques sont soumises à des températures et/ou pressions différentes de celles où elles se sont formées. Les roches se transforment à l'état solide. Ces transformations sont d'ordre :

- **minéralogiques** avec apparition de nouveaux minéraux qui sont plus stable dans les nouvelles conditions de température et/ou pression.
- **structurale** avec recristallisation de minéraux et/ou alignement des minéraux selon des plans bien définis due à l'application de contraintes orientées.

Une classification simplifiée des roches métamorphiques est basée sur la structure de la roche : roche **orientée (ou foliée) ou non orientée**.

Les roches orientées sont classées selon le grade (degré) du métamorphisme (tableau 2) : la granulométrie des grains minéraux augmente avec le degré du métamorphisme.

On distingue les structures orientées suivantes :

- **La schistosité** : feuilletage plus ou moins serré de certaines roches acquis sous l'influence de contraintes tectoniques orientées, en particulier celles qui prédominent au sein des chaînes de montagne en formation. La texture est alors caractérisée par une orientation préférentielle des minéraux, dont l'aplatissement ou l'allongement se développent dans une même direction.
- **La foliation** : structures de roches métamorphiques, où à la schistosité s'ajoute une différenciation pétrographiques entre les feuillets. On aura une alternance de bandes claires et sombres, chaque bandes étant caractérisée par des minéraux particuliers (exemple gneiss avec alternance de bandes quartzo-feldspathiques et bandes micacées).

Tableau 2 : Classification des roches foliées (orientées)

Conditions du Métamorphisme	200-300°C	300-450°C	> 450°C
Degré du métamorphisme	Faible	Moyen	Elevé
Nom de la roche	Ardoise	Schiste	Gneiss
Description de la roche	Les minéraux sont invisibles à l'œil nu. La couleur de la roche est foncée et montre un clivage caractéristique. Transformation des pélites et argiles.	Les minéraux sont de tailles moyennes. Les micas sont souvent visibles. Résultent de la transformation de roches argileuses, ardoises, granites et basaltes.	Roches à grains grossiers, foliées avec alternance de bandes claires et sombres. Les bandes peuvent être plissées. Résultent de la transformation de roches argileuses, schistes et granites.

**Figure 3.5** Principales roches métamorphiques

Les roches non orientées sont classées selon leur composition chimique (tableau 3). Cette composition dépend de la nature de la roche mère ou originelle appelée : **protolithe**.

Tableau 3 : Classification des roches non orientées

Nom de la Roche	Marbre	Quartzite	Anthracite
Minéral	Calcite (CaCO ₃)	Quartz	Carbone cristallin
Description de la roche	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du calcaire et de la dolomie	Roche dure à gros grains. Résulte de la transformation du grès.	Roche dure, noire. Résulte de la transformation du charbon.