

2023

# Les dossiers du géotechnicien

## NOTIONS DE BASE

### Minéraux et roches

(Version du 2 décembre 2023)



Janssens Benoît

## Table des matières

<b>1. MINÉRAUX ET CRISTAUX .....</b>	<b>3</b>
1.1 GENERALITES .....	3
1.1.1 Définitions.....	3
1.1.2 Arrangement des atomes au sein d'un cristal.....	3
1.2 IDENTIFICATION DES MINÉRAUX .....	4
1.2.1 Description visuelle et macroscopique .....	4
1.2.2 Analyse microscopique.....	7
1.3 CLASSIFICATION DES MINÉRAUX .....	8
<b>2. ROCHES ET PETROGRAPHIE.....</b>	<b>10</b>
2.1 NOTIONS .....	10
2.1.1 Définitions.....	10
2.1.2 Cycle des roches.....	10
2.1.3 Classification géologique des roches .....	12
2.2 IDENTIFICATION DES PIERRES.....	12
2.2.1 REMARQUE PREALABLE : Différence entre la structure et la texture .....	12
2.2.2 Identification visuelle.....	13
2.2.3 Analyse pétrographique .....	13
2.3 ROCHES SEDIMENTAIRES .....	15
2.3.1 Généralités .....	15
2.3.2 Classifications.....	17
2.3.3 Description des roches sédimentaires.....	20
2.4 ROCHES MAGMATIQUES .....	37
2.4.1 Généralités .....	37
2.4.2 Classifications.....	39
2.4.3 Description des roches magmatiques .....	43
2.4.4 Usages et intérêts économiques.....	46
2.5 ROCHES METAMORPHIQUES.....	47
2.5.1 Caractéristiques communes .....	47
2.5.2 Classifications.....	50
2.5.3 Description des roches métamorphiques .....	51
2.5.4 Usages et intérêts économiques.....	54
2.6 GISEMENTS PARTICULIERS .....	55
2.6.1 Latérite et bauxite ( <i>climat tropical</i> ) .....	55
2.6.2 Barytine ( $BaSO_4$ ).....	56
2.6.3 Onyx .....	56
2.6.4 Gisements métalliques .....	56
<b>3. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>57</b>

**REMARQUE IMPORTANTE :** Comme son nom l'indique, la série "Les dossiers du géotechnicien" s'adresse principalement aux géotechniciens et aux autres professions liées de près ou de loin à la géotechnique. De ce fait, chaque ouvrage ne reprend que les sujets intéressants d'un point de vue géotechnique.

NOTICE : Ce dossier a comme objectif d'être un ouvrage interactif d'informations. Ainsi, si vous souhaitez y ajouter des informations complémentaires, des remarques ou des commentaires, n'hésitez pas à me les communiquer, via l'adresse e-mail ([jbconseils2020@gmail.com](mailto:jbconseils2020@gmail.com)) ou via le site internet (<https://jbconseils.be>). Je me ferai un plaisir de les introduire dans une version actualisée du dossier ; d'où l'importance de vérifier la date du document que vous lisez par rapport à la version présente sur le site.

En effet, vous trouverez la dernière version ainsi que d'autres dossiers abordant d'autres thématiques à la rubrique Divers/Dossiers du géotechnicien.

Je vous remercie d'avance pour votre coopération.

**Benoît JANSSENS**

Conseiller géotechnicien indépendant

## 1. MINÉRAUX ET CRISTAUX

### 1.1 GENERALITES

#### 1.1.1 Définitions

Un *minéral* se définit comme *une substance naturelle se présentant aux conditions atmosphériques, sous forme de solide cristallin (à l'exception du mercure qui se présente à l'état liquide) et qui se caractérise par une formule chimique (nature des atomes), une structure cristalline définies et des propriétés physiques spécifiques*. La *minéralogie* est la *discipline qui étudie tous ces paramètres*.

En effet, les différents atomes constituant le minéral vont avoir tendance à s'assembler entre eux selon un dispositif bien particulier appelé *maille élémentaire*. La répétition régulière de cette maille dans l'espace dessine le *réseau cristallin*. L'ensemble forme ce qu'on appelle un *crystal*, soit *un solide dont les divers atomes sont arrangés de manière régulière et périodique*, contrairement au solide *amorphe* (verre). La *cristallographie* est la *discipline qui se consacre à la description des compositions, des structures et des propriétés des cristaux à l'échelle atomique*.

Ainsi, si le minéral représente la forme réellement observée d'un solide, le cristal en est la forme théorique solide. Un minéral qui n'a pas connu de contraintes lors de sa formation peut présenter une forme similaire à celle de sa maille élémentaire (*crystal automorphe*). C'est cela qui a également permis de réaliser la classification ci-dessous.

#### 1.1.2 Arrangement des atomes au sein d'un cristal

230 types de mailles élémentaires ont pu être identifiés dans la nature et classés par **Haüy** (19<sup>ème</sup> siècle) qui a répertorié 7 *systèmes cristallins* différents à partir des dimensions des faces (*a, b et c*) et des angles dièdres entre les faces ( $\alpha, \beta, \gamma$ ). Ils sont repris dans le tableau ci-dessous

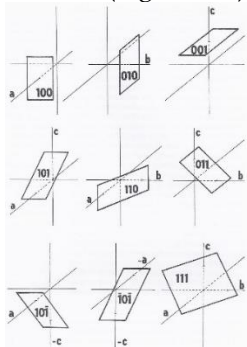
**Tableau 1.I - Les 7 systèmes cristallins de Haüy.**

Systèmes	Schéma	Caractéristiques	Exemples de minéraux
Triclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ Le centre = seul élément de symétrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Plagioclases</li> <li>➔ Disthène</li> <li>➔ Turquoise</li> </ul>
Monoclinique		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma$ Axe b et centre = éléments de symétrie	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Gypse</li> <li>➔ Malachite</li> <li>➔ Mica Orthose</li> <li>➔ Orpiment</li> </ul>
Orthorhombique		$a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Soufre</li> <li>➔ Aragonite</li> <li>➔ Olivine</li> <li>➔ Topaze</li> </ul>
Rhomboédrique		$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Calcite</li> <li>➔ Dolomie</li> <li>➔ Quartz</li> <li>➔ Corindon</li> <li>➔ Tourmaline</li> </ul>
Hexagonal		$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ$ et $\gamma = 120^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Béryl</li> <li>➔ Apatite</li> <li>➔ Néphéline</li> </ul>
Tétragonal ou Quadratique		$a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Zircon</li> <li>➔ Chalcopryrite</li> <li>➔ Rutile</li> </ul>
Cubique		$a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Pyrite</li> <li>➔ Grenat</li> <li>➔ Diamant</li> <li>➔ Halite</li> </ul>

**REMARQUE :** Autrefois, le terme *système cristallin* s'appliquait aux 2 échelles d'observation (*maille élémentaire et morphologie*) alors qu'actuellement, l'Union Internationale de Cristallographie les distingue. Le terme de *système réticulaire* est donné pour la symétrie de réseau tandis qu'il est conservé pour la symétrie morphologique.

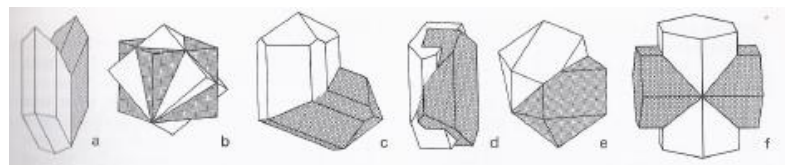
Dans certains cas, l'arrangement des atomes peut engendrer des particularités de forme ou de comportements :

- L'**isomorphisme** caractérise des *minéraux ayant la même structure cristalline mais des compositions chimiques différentes* comme la série des plagioclases et les carbonates rhomboédriques (*magnésite (Mg), rhodochrosite (Mn), smithsonite (Zn) et sidérite (Fe)*) ;
- Le **polymorphisme** correspond à une *composition chimique qui peut adopter des systèmes cristallins différents en fonction des conditions de cristallisation* comme par exemple, le trio andalousite – sillimanite – disthène ( $Al_2SiO_5$ ), les duos pyrite – marcasite ( $FeS_2$ ) et calcite – aragonite ( $CaCO_3$  : *rhomboèdre et orthorhombique*) ;
- Le **pseudomorphisme** est un *remplacement par moulage d'une cavité laissée vacante par un minéral disparu* ;
- L'**anisotropie** : Les propriétés physiques d'un cristal peuvent varier selon des orientations particulières suite à des variations d'arrangement des mailles élémentaires selon ces directions (*des généralement à des efforts tectoniques*). Cette orientation se représente par un **plan de symétrie** et le symbole fondamental d'orientation de **Miller** (Figure 1.1) ;



**Figure 1.1 :** Symboles fondamentaux de Miller et leurs orientations par rapport aux axes cristallins (source : internet).

- La **macle** est une *association de cristaux de même nature arrangés selon des lois géométriques précises et liées aux éléments de symétrie du système cristallin considéré*. Elle peut se faire par accolement selon une face bien définie ou par interpénétration de cristaux. Elle peut être **simple** (*deux cristaux associés*), **multiple** (*plusieurs cristaux*) ou **polysynthétique** (*nombreux cristaux minces*). Il existe des **macles primaires** formées au moment même de la croissance des cristaux et des **macles mécaniques** dues à des déformations secondaires (*fréquentes dans la calcite*).



**Figure 1.2 :** Exemples de macle : gypse (a), fluorite (b), rutile (c) orthose (d) cassitérite (e) et staurolite (f) (source : internet).

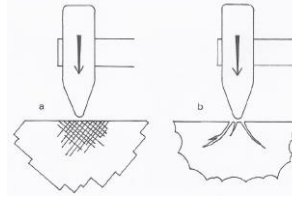
## 1.2 IDENTIFICATION DES MINÉRAUX

### 1.2.1 Description visuelle et macroscopique

Les paramètres suivants sont relativement facilement identifiables sur le terrain. Cependant, ces paramètres ne permettent que de mettre en évidence quelques cas bien typiques. Les minéraux les plus abondants ont souvent des propriétés similaires et il est difficile, voire impossible, de les distinguer des autres.

- La **couleur** n'est pas un guide fiable, vu les nombreuses teintes que peuvent avoir certains minéraux. Ainsi, le quartz peut aller de l'incolore au violet en passant par le blanc laiteux et le jaune ;
- La **densité** est une constante physique propre à chaque minéral. Elle dépend de la nature des atomes et de leurs arrangements respectifs. Si beaucoup de minéraux ont une densité comprise entre 2,5 et 6,5, ce paramètre permet de distinguer notamment le sel (2,1), la galène (7,5) et l'or (19,3) ;

- L'*effervescence sous l'acide chlorhydrique* (HCl) : Les carbonates sont décomposés chimiquement par l'acide et la réaction dégage des bulles de gaz carbonique ;
- La *cassure* et le *clivage* : un minéral peut se briser de différentes manières lors d'un choc par marteau. Si la fracture est irrégulière, le minéral possède une cassure. Par contre, s'il se brise selon des plans de faiblesse bien définis (*directions*), il s'agit d'un clivage. Ces plans correspondent bien souvent à des plans d'anisotropie. Ce critère permet d'identifier les minéraux non parfaitement développés ;



**Figure 1.3** : Différence entre le clivage (a) et la cassure (b) dans les minéraux (source : internet).

Plusieurs degrés de clivage existent (Tableau 1.II).

**Tableau 1.II - Classification des degrés de clivage et de cassure.**

Degré de clivage	Définition	Minéraux caractéristiques
Excellent	Le minéral se clive en fines lamelles dans un sens	Muscovite, gypse, chlorite
Très bon, parfait	Le minéral se clive en formes régulières délimitées par les plans de clivage	<u>Cube</u> : Galène, pyrite <u>Rhomboèdre</u> : Calcite
Bon	Plans de clivages moins visibles et pas toujours parfaitement droits	Feldspath, amphibole, pyroxène
Imparfait	Pas de manifestation nette du clivage. Les plans de séparation ont une surface inégale	Soufre, apatite
Très imparfait, rudimentaire ou inexistant	Pas de clivage mais une <b>cassure</b> irrégulière, souvent conchoïdale ou écailleuse	<b>Cassure</b> <u>Conchoïdale</u> : quartz, opale <u>Inégale</u> : Pyrite <u>Rugueuse</u> : Argent, or <u>Friable</u> : Grenat

- La *forme et la présence de structures particulières* telles que les macles, etc. ;

REMARQUE : La forme cristalline, les clivages, les macles et les microfractures interviennent dans les qualités mécaniques des minéraux. Ces facteurs d'anisotropie créent des zones de faiblesse dont l'influence varie suivant la direction des forces appliquées.

- L'*éclat d'un minéral* est la *propriété à réfléchir la lumière à partir d'une surface plane, propre et non oxydée (souvent un plan de clivage)*. Plusieurs éclats existent. Le même minéral n'a pas toujours le même éclat :
  - L'*éclat métallique* est un éclat fort des minéraux non transparents (*pyrite*) ;
  - L'*éclat semi métallique* est un éclat fort des minéraux transparents ou semi transparents à indice de réfraction de 2,6 à 3,0 (*cuprite*) ;

REMARQUE : *Indice de réfraction* ( $n = \sin i / \sin r$ ) : Indice traduisant le changement de vitesse de la lumière passant de l'air au minéral considéré.

- L'*éclat adamantin* est un éclat très fort des minéraux transparents à translucides à indice de réfraction supérieure à 1,92 résultant de la réfraction totale de la lumière (*cérite, diamant, zircon*) ;
- L'*éclat vitreux* est un éclat similaire au verre pour des minéraux transparents à translucide dont l'indice de réfraction va de 1,3 à 1,9 (*fluorite, quartz, corindon*) ;
- L'*éclat gras* présente l'aspect de papier gras souvent dû à l'inégalité de la surface de l'échantillon étudié (*opale, cordiérite*) ;
- L'*éclat nacré* est typique des minéraux transparents ou semi-transparentes à bon clivage en feuillets ou lamelles minces (*gypse*) ;
- L'*éclat soyeux* est caractéristique des minéraux fibreux (*asbeste*) ;

- L'*éclat mat* est très faible et caractéristique des minéraux d'apparence terreuse (*kaolinite*) ;
- L'*éclat terne* est caractéristique des cassures.

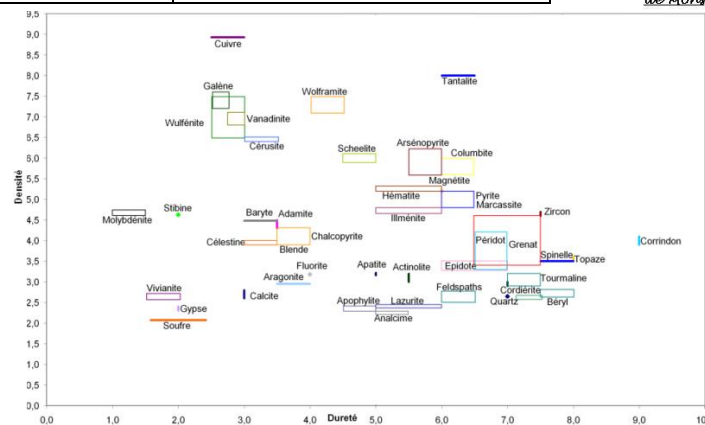
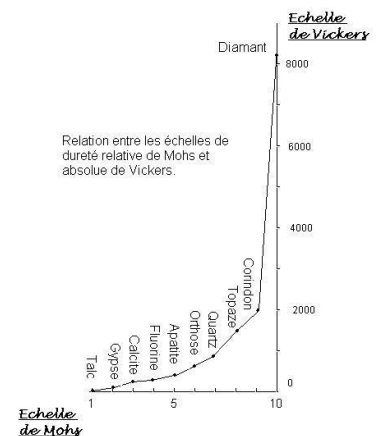


**Figure 1.4** : Exemples d'éclat des minéraux (source : internet).

- La *dureté* est déterminée à partir de l'observation de rayures sur l'ongle, l'acier ou le verre et fournit une position du minéral sur *l'échelle de Mohs*, des informations sur la résistance à l'usure et à l'abrasion ainsi que sur d'autres propriétés (*cohésion, résistance, plasticité, élasticité*) et sur le choix des outils de découpe de la roche. D'autres types de dureté existent pour des applications spécifiques en géotechnique comme l'échelle de Vickers, dureté Cerchar, etc. ;

**Tableau 1.III - Echelle de dureté Mohs et comparaison avec l'échelle absolue de Vickers et la densité**

Dureté	Minéral de référence	Test <i>in situ</i>
1	Talc	Rayé par l'ongle
2	Gypse	" "
3	Calcite	Rayé par l'acier
4	Fluorine	" "
5	Apatite	" "
6	Orthose	Raye légèrement le verre
7	Quartz	Raye le verre
8	Topaze	" "
9	Corindon	" "
10	Diamant	" "



**REMARQUE** : Il existe plusieurs moyens mnémotechniques pour retenir la succession des minéraux formant l'échelle de Mohs dont notamment celui développé par JB Conseils qui reprend la première lettre de chaque mot de la phrase suivante : **Ton Grand Chien Fuit A Orly Quand Tu Cours Derrière.**

- La *trace sur la porcelaine* ou *poudre* (pour matériaux dont la dureté Mohs est supérieure à 6) constitue un meilleur indicateur pour les minéraux opaques à faiblement translucides. Elle permet de distinguer les minéraux colorés des minéraux à couleur empruntée (*hématite*). La pyrite, bien que de couleur jaune-or, laisse une poudre noire ;
- L'*altérabilité et la solubilité* des minéraux régissent la qualité du matériau rocheux. Les micas et la serpentine s'altèrent facilement alors que la calcite est soluble.

À ces quelques caractéristiques, il faut ajouter éventuellement la radioactivité, le magnétisme, la fluorescence et le coefficient de dilatation thermique. Ce dernier paramètre peut être responsable de la fragmentation de certains minéraux (*clivés ou fracturés*).

## 1.2.2 Analyse microscopique

L'étude au microscope des minéraux contenus dans une lame mince (*épaisseur de 30 μm*) permet de distinguer tous les minéraux entre eux. Cette technique est peu utilisée à des fins géotechniques. Trois types de microscopes peuvent être utilisés :

- Le **microscope à lumière naturelle** distingue la forme et la couleur de quelques minéraux ;
- Le **microscope polarisant** est équipé de 2 polariseurs (*un avant la lame et un après la lame appelé analyseur*). La lumière polarisée se caractérise par des ondes vibrant dans une seule direction perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière (*contrairement à la lumière naturelle qui vibre dans toutes les directions*). Si les deux polariseurs sont parallèles, la lumière les traverse tous les deux et vibre dans un même sens. Par contre, si les deux polariseurs sont perpendiculaires et sans lame mince intermédiaire, aucune lumière n'est transmise à la sortie de l'analyseur. Le placement d'une lame mince entre les 2 polariseurs fait que la lumière est déviée et vibre dans plusieurs directions. En faisant tourner la platine, une à plusieurs phases d'extinction apparaissent et disparaissent selon des angles bien déterminés (*angle de réfringence*). Le minéral est alors dit **biréfringent**. Dans certains cas, des couleurs différentes apparaissent (**pléochroïsme**). Certains cristaux quasiment isotropes (*cristaux cubiques comme le grenat*) ne provoquent pas de biréfringence. Ce microscope permet aussi d'analyser la disposition des minéraux entre eux, de déterminer leur ordre de cristallisation et de mettre en évidence la structure de la roche ;
- Le **microscope métallogénique** étudie les minéraux opaques. La lumière est réfléchi sur la surface polie du minéral. Cette technique est principalement utilisée en métallogénie pour les minerais.

**Tableau 1.IV - Caractérisation des minéraux les plus fréquents.**

Minéraux	Formule chimique	Couleur	Poudre	Eclat	Dureté	Clivage	Forme spécifique	Densité
<b>Quartz</b>	SiO <sub>2</sub>	Incolore ( <i>pur</i> )	Blanche	Vitreux	7	Très imparfait <i>conchoïdale</i>		2,65
<b>Feldspath</b> Orthose Plagioclase	(K, Na) (AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) Ca (Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	Claire ( <i>blanc, rose, gris</i> )	Blanche	Vitreux	6 - 6,5	Bon		2,6-2,7
<b>Feldspathoïde</b> <i>Leucite</i> <i>Néphéline</i>	K(AlSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ) (Na <sub>3</sub> ,K) (AlSiO <sub>4</sub> )	Incolore, blanc Blanc, brun	Blanche	Vitreux Gras	5,5 - 6	Non clivable Imparfait	Prismes ou tabulaire	2,5 2,6
<b>Olivine</b>	(Mg,Fe) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> )	Olive à brune	Blanche	Vitreux	6,4	Très imparfait <i>conchoïdale</i>		3,3
<b>Amphibole</b>	(Mg,Fe) <sub>2</sub> (Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> ) (OH,F) <sub>2</sub>	Vert ou noir	Vert foncé	Vitreux	5 - 6	Bon (120°)	Forme prismatique très allongée	3,1
<b>Pyroxène</b>	(Mg,Fe) <sub>7</sub> (SiO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Vert pâle, vert foncé à noir			5 - 6	Bon (90°)	Forme allongée	3,5
<b>Mica</b> Biotite ( <i>noir</i> ) Muscovite ( <i>blanc</i> )	K(MgFe) <sub>3</sub> (Al Si <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (OH,F) <sub>2</sub> KAl <sub>2</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ) (OH,F) <sub>2</sub>	Clair à foncé	Blanche	Nacré	2,5 - 3	Excellent	Fin feuillet	2,7 - 3,4
<b>Grenat</b>	Composés (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Varié ( <i>rouge à vert</i> )	Blanche	Vitreux, gras, soyeux	6 - 7,5	Très imparfait ( <i>friable</i> )	Rhombododécaèdre	3,4 - 4,6
<b>Chlorite</b>	(Mg,Fe,Al) Mg <sub>3</sub> (Al,Si) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>	Vert	Blanche vert clair	Vitreux à nacré	2 - 2,5	Excellent		2,5 - 4,8
<b>Calcite</b>	CaCO <sub>3</sub>	Incolore	Blanche	Vitreux à nacré	3	Parfait		2,7
<b>Gypse</b>	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	Incolore, gris ou jaune	Blanche	Vitreux à nacré	2	Excellent	Lamelle	2,3
<b>Pyrite</b>	FeS	Jaune	Vert noir	Métallique	6,5	Très bon	Cubique à varié	5
<b>Hématite</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Brun rouge à noir	Rouge cerise	Métallique à mat	6,5	Non clivable		5,2
<b>Apatite</b>	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (OH,F,Cl)	Variée	Blanche	Vitreux à gras	5	Imparfait		3,2
<b>Kaolinite</b>	Al <sub>4</sub> (Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ) (OH) <sub>8</sub>	Blanc à gris	Blanche	Mat à nacré	1	Parfait	Terreux	2,6



## 1.3 CLASSIFICATION DES MINÉRAUX

Il existe plusieurs classifications des minéraux dont la plus fréquente est la *classification cristallogénétique de Strunz* (1938 et revue en 1970) qui distingue 9 groupes.

**Tableau 1.V - Classification cristallogénétique de Strunz. H et description des principaux minéraux constitutifs de la terre (1938 et revue en 1970).**

Groupes	Caractéristiques du groupe	Nombre d'espèces	Principaux types de minéraux
Éléments natifs	Formé d'un seul élément	80	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Cuivre natif (Cu)</li> <li>➔ Or (Au)</li> <li>➔ Argent (Ag)</li> <li>➔ Diamant, graphite (C)</li> <li>➔ Soufre (S)</li> <li>➔ Platine (Pt)</li> </ul>
Oxydes et hydroxydes	Présence d'oxygène	320	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Hématite (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Magnétite (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)</li> <li>➔ Corindon (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Limonite (FeO(OH).n H<sub>2</sub>O), goethite (FeO(OH))</li> <li>➔ Bauxite (Al(OH)<sub>3</sub>.n H<sub>2</sub>O)</li> </ul>
Sulfates, chromates, molybdates, tungstates	Présence de SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> .	230	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Anhydrite (CaSO<sub>4</sub>)</li> <li>➔ Gypse (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O)</li> <li>➔ Barite (BaSO<sub>4</sub>)</li> <li>➔ Wolframite ((Fe,Mn) WO<sub>4</sub>)</li> <li>➔ Wulfénite (PbMoO<sub>4</sub>)</li> </ul>
Sulfures ou sulfosels	Présence de S	350	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Pyrite (FeS)</li> <li>➔ Chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>)</li> <li>➔ Galène (Pbs)</li> <li>➔ Sphalérite (ZnS)</li> <li>➔ Cinabre (HgS)</li> </ul>
Halogénures	Présence d'halogènes (Cl, I, F)	130	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Halite (NaCl)</li> <li>➔ Fluorine (CaF<sub>2</sub>)</li> </ul>
Carbonates, nitrates et borates	Présence de CO <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	200	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Calcite (CaCO<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Dolomite (Ca,Mg.(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>)</li> <li>➔ Malachite (Cu<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Rhodochrosite (MnCO<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Nitratite (salpêtre) (NaNO<sub>3</sub>)</li> <li>➔ Borax (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.10H<sub>2</sub>O)</li> </ul>
Phosphates, arsénates, vanadates	Présence de PO <sub>3</sub>	250	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Apatite (Ca(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>(F,Cl,OH))</li> </ul>
Silicates	Présence de Si	92% minéraux	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Quartz (SiO<sub>2</sub>)</li> <li>➔ Feldspath orthose K.(Si<sub>3</sub>AlO<sub>8</sub>)</li> <li>➔ Feldspaths plagioclases Na.(Si<sub>3</sub>AlO<sub>8</sub>) → Ca. (Si<sub>2</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>8</sub>)</li> <li>➔ Feldspathoïdes</li> <li>➔ Mica noir, biotite K(Mg,Fe)<sub>3</sub> {Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>}</li> <li>➔ Mica blanc, muscovite KAl<sub>2</sub> {Si<sub>3</sub>AlO<sub>10</sub>(OH,F)<sub>2</sub>}</li> <li>➔ Amphibole (Mg,Fe)<sub>2</sub> (Si<sub>8</sub>O<sub>22</sub>) (OH, F)<sub>2</sub></li> <li>➔ Pyroxène (Mg,Fe)<sub>7</sub> (SiO<sub>3</sub>)<sub>2</sub></li> <li>➔ Olivine (Mg,Fe)<sub>2</sub> (SiO<sub>4</sub>)</li> <li>➔ Minéraux argileux (kaolinite) Al<sub>4</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>8</sub></li> </ul>
Composés organiques		30	

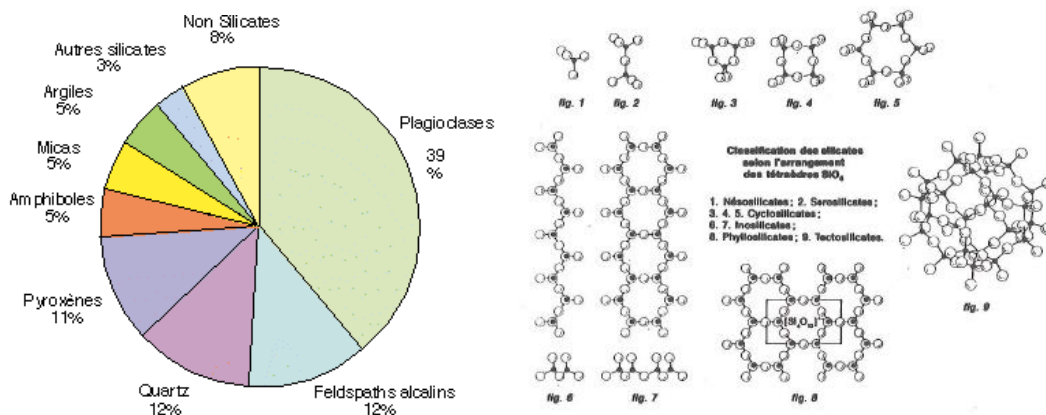
Au sein de cette classification, les silicates représentent une famille importante. Ils possèdent des tétraèdres de (SiO<sub>4</sub>)<sup>4-</sup> reliés entre eux, soit par des cations (*ions chargés positif*), soit par un ou plusieurs atomes d'oxygène.

Une classification spécifique des silicates basée sur l'agencement des tétraèdres recense 6 groupes.

**Tableau 1.VI- Classification des silicates**

Groupe	Caractéristiques du groupe	Types de minéraux *1	Caractéristiques des minéraux
Nésosilicates $SiO_4$	Tétraèdres isolés ou reliés par des cations	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Grenats</i></li> <li>◦ <i>Péridots</i> (<i>olivine, ...</i>)</li> <li>◦ Trio <i>sillimanite-disthène-andalousite</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➔ Série continue entre le pôle magnésien et le pôle ferreux.</li> <li>➔ Pas de cohabitation avec le quartz.</li> <li>➔ Caractéristiques des roches intrusives.</li> <li>➔ Sensibles à l'altération.</li> <li>➔ Caractéristique du métamorphisme.</li> <li>➔ Présent dans roches présentant un excès d'aluminium par rapport aux autres éléments.</li> </ul>
Sorosilicates $Si_2O_7$	Tétraèdres unis par paire avec un atome d'oxygène en commun.	◦ <i>Epidote</i>	
Cyclosilicates $Si_6O_{18}$	Disposition des tétraèdres en anneaux ⇒ Cristallisation préférentielle en prisme	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Tourmaline</i></li> <li>◦ <i>Axinite</i></li> </ul>	
Inosilicates $Si_2O_7$	Chaînes simples ou de rubans de tétraèdres	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Pyroxènes</i></li> <li>◦ <i>Amphiboles</i></li> </ul>	
Phyllosilicates $Si_2O_7$	Superposition de couches de tétraèdres en feuillets.	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Micas biotite</i> (<math>SiO_2</math> <math>Al_2O_3</math> <math>H_2K_2</math>)</li> <li>◦ <i>Argiles</i></li> </ul>	<p>Silicate d'alumine hydratés : Deux minéraux : la <i>muscovite</i> (<i>mica blanc</i>) et la <i>biotite</i> (<i>mica noir plus riche en magnésium et en fer</i>).</p> <p>Minéraux de très petite dimension, souvent issus de l'altération d'anciens minéraux.</p>
Tectosilicates $SiO_4$	Tétraèdres tous liés par leurs sommets	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Quartz</i> (<i>calcédoine, silex</i>)</li> <li>◦ <i>Feldspaths</i> (<math>Si_3AlO_8</math>)</li> <li>◦ <i>Feldspathoïdes</i> (<math>SiAlO_4</math>)</li> </ul>	<p>Minéral le plus fréquent et le plus stable</p> <p>Insertion difficile des autres ions (<i>altération faible</i>).</p> <p>Substitution possible de certains ions <math>Si^{4+}</math> par <math>Al^{3+}</math> avec une compensation de charge par <math>K^+</math>, <math>Na^+</math> ou <math>Ca^{2+}</math> ⇒ 2 sous- groupes</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ <u>Feldspaths alcalins ou potassiques</u> (<i>orthose K</i> ⇒ <i>albite Na</i>) Couleur rose à l'altération</li> <li>➔ <u>Plagioclases ou feldspaths calciques</u> (<i>albite Na</i> ⇒ <i>anorthite Ca</i>). Couleur verte à l'altération</li> </ul> <p>Sensibilité à l'altération variable (<i>selon la teneur en silice</i>).</p> <p>Minéraux alcalins rares caractérisés par une faible teneur en silice et une incompatibilité avec le quartz.</p>

\*1 : Les noms en gras italique correspondent à des groupes alors que les noms en italique simple correspondent à des éléments.



**Figure 1.5 : Répartition des minéraux et structure des silicates (source : internet).**

## 2. ROCHES ET PETROGRAPHIE

### 2.1 NOTIONS

#### 2.1.1 Définitions

Une **roche** se définit comme *tout matériau constitutif de l'écorce terrestre formé d'un assemblage de minéraux qui peuvent être, soit d'une seule nature (roche mono-minérale), soit de nature variable (roche poly-minérale)*, ces dernières étant les plus fréquentes. Dans les conditions de surface de la terre, la majorité des roches sont solides à l'exception de l'eau et des hydrocarbures. Les roches présentent une grande diversité d'aspects. Certaines sont cohérentes et dures (*basalte, grès, ...*) alors que d'autres sont friables (*craie ou talc*).

La **pétrographie** ou **pétrologie** est la *discipline qui étudie la description, la classification des roches ainsi que l'interprétation de leur genèse*. Cette dernière information permet de mieux comprendre l'histoire de la Terre.

En effet, les minéraux et donc les roches répondent aux changements physico-chimiques qu'ils subissent au cours de leur histoire. Les roches sont donc la mémoire de l'histoire géologique du massif. Par exemple, certains minéraux gardent en eux le "souvenir" des effets d'une haute pression, de paléoclimats ou d'une activité anormale en un élément chimique particulier.

#### 2.1.2 Cycle des roches

Le schéma ci-joint présente, en un coup d'œil, les 3 grandes familles de roches et les processus qui conduisent à leur formation. Ainsi présenté, il véhicule l'idée de la cyclicité des processus. Le **magma** est l'élément majeur du manteau supérieur et constitue donc le point de départ du cycle dont la durée moyenne est de 100 millions d'années.

La première étape concerne la cristallisation du magma qui engendre la formation de **roche magmatique** anciennement appelée **roche ignée**.

Lors de leur remontée à la surface par les mouvements tectoniques et dès qu'elles sont exposées aux conditions de la surface, ces roches subissent des phénomènes d'érosion et d'altération dont le résultat majeur est le départ de la majorité des composants sous diverses formes. Une partie est entraînée vers des bassins de dépôt où elles s'accumulent en strates donnant lieu à un sédiment.

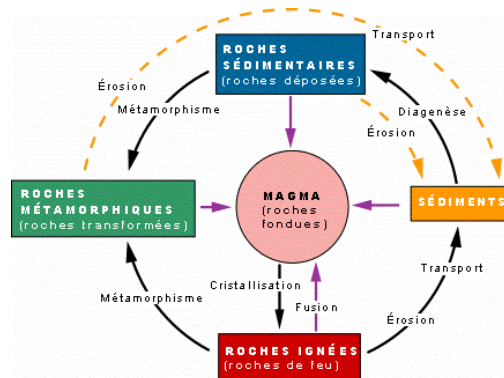


Figure 2.1 : Schéma simplifié du cycle des roches (source : internet).

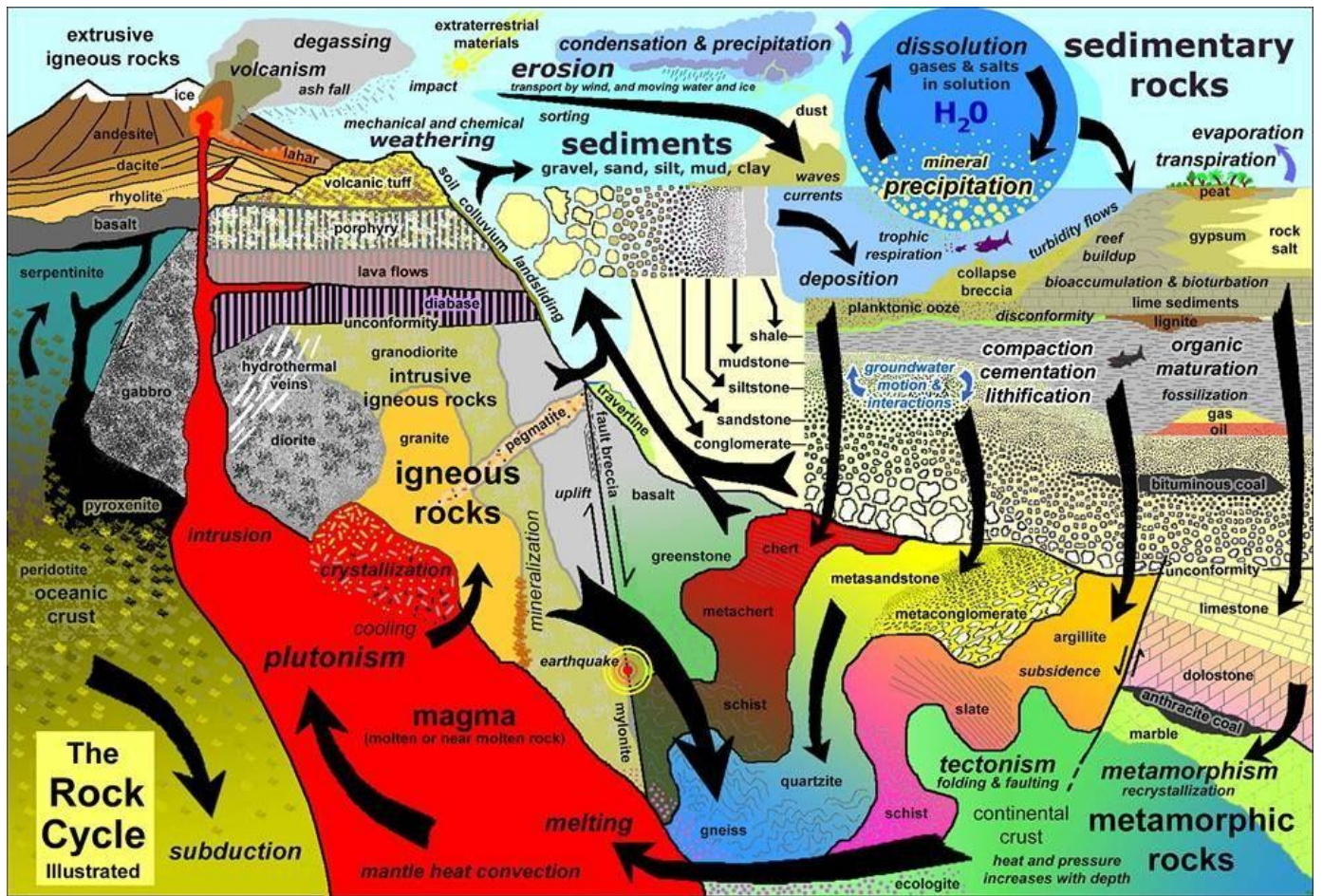


Figure 2.2 - Schéma complexe du cycle des roches (source : internet).

Au fil du temps, les sédiments s'enfonçant, subissent des phénomènes de *lapidification* (compactage avec expulsion de l'eau et cimentation des grains par cristallisation des ions contenus dans l'eau et des fragments dus au resserrage) engendrant une *roche sédimentaire* auquel peut s'ajouter une composante biologique qui donnent naissance à une roche sédimentaire biogène, tels que notamment les roches carbonatées et les hydrocarbures.

Par la suite, ces roches peuvent subir des mouvements tectoniques qui s'accompagnent de variations de température et de pression qui transforment les roches à l'état solide (*roche métamorphique*), à l'état mixte (*anatexie*) ou à l'état liquide (*magma*) ; ce qui nous ramène au point de départ du cycle.

La durée des différentes phases est très variable. Une roche en contact avec un magma peut se métamorphiser en quelques jours. Une roche sédimentaire peut mettre des millions d'années à se former ou à s'éroder.

La répartition des types de roches dans la croûte terrestre est la suivante : les roches magmatiques (65 %), les roches métamorphiques (27 %) et les roches sédimentaires (8 % dont 6 % de sédiments détritiques). Ces dernières sont principalement concentrées à la surface de la croûte.

## 2.1.3 Classification géologique des roches

D'après le mode de formation, trois familles de roches peuvent être mises en évidence avec des frontières pas toujours bien nettes (*par exemple, les tuffs sont des projections de roches magmatiques qui se disposent en strates comme les roches sédimentaires*). Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques majeures des différentes familles.

**REMARQUE** : Il existe un grand nombre de classifications de roches généralement adaptées au génie civil. Ces classifications sont abordées dans le volume consacré à la géomécanique.

**Tableau 2.I - Principales caractéristiques des grandes familles de roches.**

<b>Roches sédimentaires</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Transformations à l'état solide et en surface</li> <li>❑ Accumulation de dépôts de sédiments</li> <li>❑ Présence d'une stratification</li> <li>❑ Présence éventuelle de fossiles</li> <li>❑ Classification des roches :               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Les roches détritiques</li> <li>2. Les roches biogéniques</li> <li>3. Les roches évaporitiques</li> <li>4. Les roches pyroclastiques</li> </ol> </li> </ul>
<b>Roches magmatiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Transformations à l'état fluide (<i>magma</i>)</li> <li>❑ Activité magmatique et les volcans</li> <li>❑ Classification des roches :               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Les roches extrusives ou volcaniques (<i>surface</i>)</li> <li>2. Les roches intrusives ou plutonique (<i>profondeur</i>)</li> <li>3. Les roches hydrothermales</li> </ol> </li> </ul>
<b>Roches métamorphiques</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❑ Transformations à l'état solide et en profondeur par modification de T° et P</li> <li>❑ Présence éventuelle de schistosité et de foliation</li> <li>❑ Types de métamorphisme :               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Le métamorphisme de contact</li> <li>2. Le métamorphisme régional</li> <li>3. Le métamorphisme de choc</li> <li>4. Les météorites</li> </ol> </li> </ul>

## 2.2 IDENTIFICATION DES PIERRES

L'opération de caractérisation permet de déterminer les différentes applications où peuvent être utilisés le granulat. Cette phase passe par plusieurs étapes.

Si la présence de liants dans les granulats modifie leurs caractéristiques, la qualité de ceux-ci est également importante dans les propriétés mécaniques des matériaux traités.

### 2.2.1 REMARQUE PREALABLE : Différence entre la structure et la texture

L'emploi de ces notions entraîne d'importantes ambiguïtés, principalement en pétrographie. Bien que dépendant toutes les deux, des conditions de mise en place et de la composition chimique de la roche, leur limite dépend principalement de l'échelle à laquelle on se place. Une définition des termes est, à ce stade, nécessaire.

- **Texture** : Ensemble des caractéristiques observées à l'échelle microscopique (vision 2D) à partir de lames minces et qui concernent principalement la granulométrie, la forme et l'arrangement des grains entre eux. Ce terme est différent du terme "*habitus*" qui désigne la disposition d'un minéral pris isolément (ex : *habitus en aiguille de la tridymite*) ;

- **Structure** : Ensemble des caractéristiques observées à l'échelle macroscopique (vision 3D) à partir d'échantillons ou d'affleurements.

Ainsi, les textures rubanée et granuleuse deviennent à plus grande échelle et en 3 D, les structures foliées et grenues.

De plus, il existe des textures et structures spécifiques aux différents types de roches (voir ci-dessous).

### 2.2.2 Identification visuelle

L'identification visuelle d'une pierre ou d'une roche se base sur des critères rapides et faciles à déterminer sur terrain. Ce premier examen permet de déduire rapidement certaines caractéristiques et propriétés du matériau (*origine, couleur, odeur, ...*).

Les principaux critères sont les suivants.

- La **taille des grains** composant la roche peut varier de quelques microns (*roche à grains fins*) à plusieurs centimètres (*roches grenues*) ;
- La **présence d'une structure particulière** comme une stratification ou une schistosité permet de déterminer l'origine de la roche hétérogénéité des constituants ou de discontinuités.
- La **couleur** peut fournir des renseignements sur la présence de certains éléments tels que le fer (*couleur rouge*). En présence de roche homogène, la couleur peut être définie selon plusieurs méthodes :
  - *La Rock Color Chart* mise au point par la Geological Society of America (GSA - Boulder, Colorado) ou *la MUNSELL Color Chart* (révision de la GSA en 1999) est une charte spécialement adaptée pour les roches ;
  - *Le Natural Color System (NCS)* développé par les suédois (*Scandinavian colour institute*) est très complet ;
- La **réaction à l'acide chlorhydrique** (HCl 20%) : La présence d'un bouillonnement en réaction à l'acide chlorhydrique permet de vérifier la présence de carbonate. L'intensité du bouillonnement donne une indication de la teneur ;
- L'**état d'altération** est particulièrement intéressant à observer, notamment pour pour des granulats naturels issus de roche car il modifie les propriétés géomécaniques des matériaux en transformant certains minéraux en argiles. De plus, certaines roches peuvent évoluer rapidement et sont capables de perdre leurs résistances en des délais très brefs, notamment lors de tirs de mines ou de séismes (*ouverture de fissures*). Ces données peuvent être complétées par un examen pétrographique aux rayons X, une valeur au bleu de méthylène ainsi une valeur d'équivalent de sable. Selon les conditions climatiques, l'altération peut atteindre des profondeurs plus ou moins importantes. Le tableau ci-dessous fournit une classification sommaire de cet état.

**Tableau 2.II - Classification des états d'altération d'une roche.**

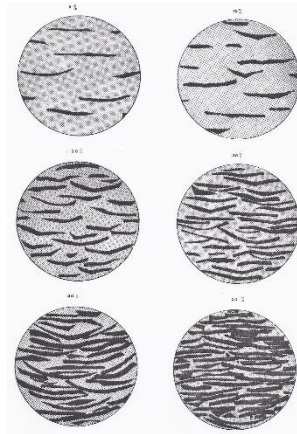
Etat d'altération de la roche	Description
Saine	Pas de trace visible d'altération, de décoloration ou de circulation d'eau orange sur les surfaces des discontinuités.
Peu altérée	Présence légère d'altération superficielle sur les faces des discontinuités.
Moyennement altérée	Présence d'altération au sein de la matrice mais la roche n'est pas friable. Traces de circulation d'eau orange assez fréquente.
Très altérée	Présence d'altération au sein de la masse rocheuse. Une partie de la roche est friable à la main. La masse est complètement décolorée. Présence d'un son particulier lors de coups de marteau.
Complètement altérée	Roche complètement friable en sol avec perte de toute structure initiale.

### 2.2.3 Analyse pétrographique

Bien que l'emploi de la pétrographie (*étude des roches*) dans la caractérisation des granulats ait été très utilisé dans le passé pour décrire un nouveau gisement ou une nouvelle extension de carrière, cette discipline est quelque peu abandonnée de nos jours. L'analyse pétrographique réalisée par un expert permet d'avoir une information sur certaines caractéristiques du granulat telles que le comportement au gonflement, la résistance au gel, etc. Elle permet également d'orienter le choix des essais de routine les plus représentatifs à exécuter.

Cette description consiste à examiner différents points :

- L'**identification minéralogique** de la roche se détermine notamment au moyen d'un microscope optique polarisant. Les minéraux transparents sont examinés en lames minces de quelques microns d'épaisseur et les minéraux opaques en sections polies de la roche par réflexion de la lumière ;
- La **teneur des différents minéraux** : Une bonne approximation du pourcentage des différents minéraux est obtenue à l'aide d'un compteur de points. Il faut compter au moins 1 000 points. Il est possible d'estimer la proportion de certains minéraux à partir de dessins comme ceux repris dans la figure dessous ;



**Figure 2.3 :** Estimation de l'abondance des grains (plats) au sein d'une lame mince (source : internet).

- L'**observation de la texture (2D)** fournit une indication concernant l'origine et la mise en œuvre de la roche permet de prédire certains comportements à l'eau et aux intempéries. Une structure schisto-argileuse peut conduire au gonflement de la roche, une structure poreuse à une faible résistance mécanique et à l'éclatement en présence de gel ;
- L'**état d'altération** peut être également mis en évidence par l'étude aux rayons X. L'altération conduit au développement d'argiles, à l'absorption d'eau et à la perte progressive des propriétés mécaniques. L'épaisseur d'altération est généralement plus poussée dans les régions à climat chaud et humide.

## 2.3 ROCHES SEDIMENTAIRES

La définition d'une roche sédimentaire est complexe à établir, tant les phénomènes qui peuvent intervenir sont diversifiés. La définition la plus simple peut se résumer à : Une *roche sédimentaire* est un *matériau qui a subi un processus de sédimentation à la surface de la terre ou à faible profondeur*.

L'étude des roches sédimentaires est importante en génie civil car, bien que ne représentant que 5 % du volume de l'écorce terrestre, elles occupent la majorité des terrains de couverture des continents (*4/5 de la surface*) sur des épaisseurs variables (*de 1 m à plusieurs dizaines de kilomètres*) et sont également présentes dans les océans.

De ce fait, ces matériaux sont fréquemment utilisés en construction, dans le domaine énergétique et dans de nombreux autres secteurs. C'est pour ces raisons qu'un grand nombre de ces roches nous sont très familières.

### 2.3.1 Généralités

#### 2.3.1.1 Caractéristiques communes

La majorité des roches sédimentaires possèdent les points communs suivants :

- Une *transformation en surface* : Ces matériaux sont issus de processus physiques, chimiques ou biologiques qui se mettent en place à faible profondeur lorsque les conditions du milieu (*température, pression, teneur en certains éléments, ...*), changent afin de retrouver un état stable. La notion de *faciès* permet de déterminer le type de processus ou le milieu de sédimentation qu'a connu la roche au moment de sa formation sur base de critères lithologiques (*lithofaciès*) ou paléontologiques (*biofaciès*). Ainsi, une roche peut avoir un faciès marin, argileux ou construit ;
- Une *roche sédimentaire peut exister, soit à l'état meuble (terrain meuble), soit à l'état induré (roche sédimentaire à proprement parlé)*. Certains éléments réagissent plus rapidement que d'autres aux modifications du milieu. Ainsi, des éléments grossiers ou bancs indurés peuvent apparaître au sein des terrains meubles. Ces éléments sont généralement caractérisés par la présence d'éléments fins et de propriétés mécaniques élevées (*silex, cherts, phanites, concrétions calcaires, etc.*) ;
- La *présence éventuelle de fossiles* : Une roche sédimentaire est la seule roche à contenir des fossiles dont l'étude (*paléontologie*) permet l'établissement d'une échelle chronologique relative. Une *roche sans fossile* est dite *azoïque* ;
- La *stratification* : La majorité des roches se caractérise par une superposition de couches distinctes (*bancs*) d'épaisseur variable et séparées par un joint de stratification qui constitue une anisotropie importante en géomécanique. Les couches sont horizontales à l'origine mais peuvent subir, par la suite, des processus tectoniques qui les plissent, les fracturent ou les décalent ;
- La *présence de structures spécifiques* qui permettent de reconstituer la mise en œuvre des couches (*paléogéographie*).

#### 2.3.1.2 Notions de stratigraphie

La *stratigraphie* est la *discipline qui étudie la succession des dépôts sédimentaires*, généralement arrangées en couches (*ou strates*). Elle permet d'établir la chronologie stratigraphique relative en se basant notamment sur les deux principes suivants :

- Le *principe d'identité paléontologique* : Deux couches renfermant les mêmes fossiles stratigraphiques (*durée de vie limitée et extension géographique importante*) ont le même âge ;
- Le *principe de superposition* : Une couche sédimentaire est plus récente que celle qu'elle recouvre en l'absence de mouvements tectoniques qui auraient pu les renverser.

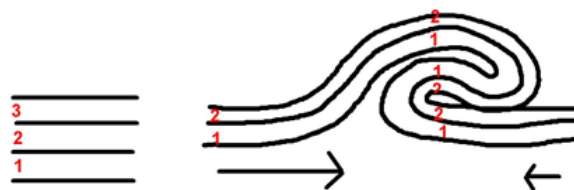


Figure 2.4 : Principes de superposition des couches et d'une éventuelle inversion (source : internet).



Cette discipline fait également intervenir différentes divisions :

- La **division lithostratigraphique** est basée sur la nature des terrains sans tenir compte de leur contenu en fossiles. Cette division est utilisée pour définir les différentes couches géologiques d'une région. Plusieurs niveaux existent :
  - La plus petite division est la **couche** ;
  - Plusieurs couches constituent un **membre** ;
  - Plusieurs membres forment une **formation** ;
  - Plusieurs formations constituent un **groupe**.
- La **division biostratigraphique** est fondée sur le contenu en fossiles. Elle ne convient donc que pour certaines roches.
  - La division de base est la **biozone** ou **cénozone**.
- La **division chronostratigraphique** est basée sur un ensemble de couches appartenant à un intervalle de temps bien spécifiques. C'est un moyen de datation des roches. Elle est reprise dans les grandes classifications mondiales.

Il existe également la **stratigraphie séquentielle** qui interprète la succession des séquences des dépôts par le jeu des variations du niveau marin.

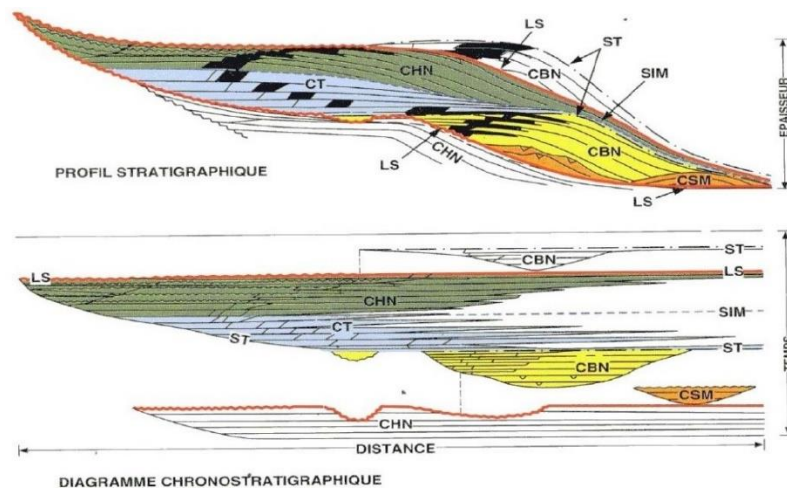


Figure 2.5 : Principe de la stratigraphie séquentielle (source : Institut numérique).

### 2.3.1.3 Textures et structures des roches sédimentaires

#### a. Textures fréquentes des roches sédimentaires

Les textures les plus fréquemment rencontrées dans les roches sédimentaires sont :

- **Texture empâtée** : Les grains ne sont pas jointifs mais noyés dans une abondante matrice ;
- **Texture réticulée** ou **crystalline** : Les grains sont jointifs à leur sommet et les interstices sont comblés par un liant relativement peu abondant ;
- **Texture quartzitique** : Les cristaux de quartz sont souvent soudés entre eux par de la silice secondaire. Le liant est peu ou inexistant. Toute cassure de la roche passe au travers des grains ;
- **Texture clastique** : Assemblage de grains irréguliers, brisés ou usés en contact plus ou moins intime les uns aux autres ;
- **Texture fossilifère** : Présence de débris fossiles dans la lame. La roche est alors bioclastique.
- **Texture résultant du classement des particules** : Assemblage des grains selon un ordre granulométrique.

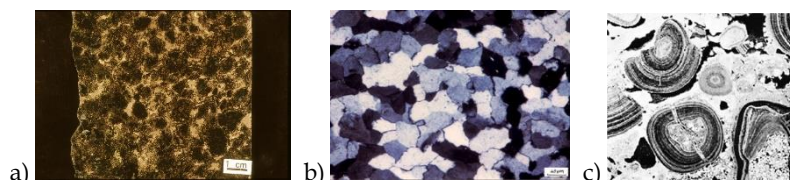


Figure 2.6 : Principales textures des roches sédimentaires - a) texture réticulée, b) texture quartzitique et c) texture fossilifère (source : internet).

## b. Structures fréquentes des roches sédimentaires

Les structures les plus fréquemment rencontrées dans les roches sédimentaires sont :

- **Structure massive** : La roche est homogène, sans joints discernables ;
- **Structure stratifiée** : La roche est composée d'une superposition de strates distinctes ;
- **Structure fossilifère** : La roche contient des fossiles ;
- **Structure lenticulaire** : La masse est limitée dans toutes les directions ;
- **Structure concrétionnée** : La roche contient des concrétions abondantes et variables en nature et en dimension telles que les oolithes (*formation en eaux salées et agitées à partir d'un nucleus*).

## 2.3.2 Classifications

REMARQUE : La majorité des classifications n'abordent pas l'âge géologique de la roche et donc le nombre de cycles orogéniques subis. Or, ces cycles affectant les propriétés de la roche, il peut donc y avoir des variations importantes de caractéristiques pour une même roche. Ainsi, un calcaire primaire (*soumis à plusieurs cycles orogéniques*) a des caractéristiques différentes, notamment en termes de densité et de résistance qu'un calcaire tertiaire.

### 2.3.2.1 Classification générale

Une classification générale distingue 4 familles différentes de roches sédimentaires sur base de leur origine. Au sein de ces différentes familles existent des classifications spécifiques.

- La **roche détritique terrigène** ou **roche silicoclastique** est composée d'éléments hétéroclites et remaniés. Elle résulte de la transformation d'anciennes roches instables par un ensemble de mécanismes de détérioration (*altération, érosion*) suivi de processus de transport et de dépôt. Une fois déposées, certaines parties subissent des phénomènes de **diagenèse** ou **lithification** (*compaction des matériaux*) qui permettent de distinguer deux groupes :
  - **Les terrains meubles** se caractérise par l'absence ou la faible présence d'une soudure entre les éléments. La résistance à la compression est généralement inférieure à 2,5 MPa. Les membres principaux sont l'argile, le limon ou silt, le sable, les graviers, la tourbe et la vase ;
  - **La roche à proprement parlé** se caractérise par la présence d'une cohésion plus ou moins forte entre les grains (*résistance à la compression  $R_c > 2,5$  MPa*).
- La **roche biogène** résulte de **différents processus biologiques** : La production de substances organiques sous forme de complexes solubles (*chélates*) et l'accumulation de substances organiques d'êtres morts qui se concentrent en un endroit. Certaines roches biogènes ont une origine détritique ;
- La **roche évaporitique** résulte d'une **aridification du climat ayant provoqué l'évaporation de l'eau et une forte concentration de sels** qui précipitent sous forme de minéraux en bassins fermés et peu profonds (*marais salants*) ;
- La **roche pyroclastique** résulte de l'**accumulation de projections volcaniques** plus ou moins remaniées par l'air et l'eau.

**Tableau 2.III - Classification générale des roches sédimentaires.**

Famille	Classe	Sous Classe	Éléments
<b>Roche détritique terrigène</b> ou <b>roche clastique</b>	<i>Terrain meuble</i>	Lutites	<i>Argile, vase, boue, turbidite Silt, limon, læss</i>
		Arénites	<i>Sable</i>
		Rudites	<i>Graviers, galets, blocs Moraine, éboulis</i>
	<i>Roche</i>	Pélites	<i>Argilite, schiste Siltite</i>
		Arénites	<i>Grès, psammite, arkose Quartzite, Graywacke</i>
		Rudites	<i>Conglomérat, poudingue, brèche</i>
<b>Roche biogène</b>	<i>Roche carbonatée</i>	Calcaire	<i>Calcaire massif, à fossile, brèchique Sparite, micrite</i>
		Dolomie	<i>Dolomie primaire et secondaire</i>
		Autres roches	<i>Marne, craie</i>
	<i>Roche carbonée</i>	Charbon	<i>Tourbe, lignite, houille, charbon, graphite</i>
		Hydrocarbures	<i>Pétrole, gaz, bitume</i>
	<i>Roche siliceuse</i>	Avec fossile	<i>Radiolarite, diatomite</i>
Sans fossile		<i>Silex, chert, phtanite, gaize</i>	
<b>Roche évaporitique</b>	<i>Roche saline</i>		<i>Gypse, anhydrite, halite</i>
	<i>Roche phosphatée</i>		<i>Phosphate</i>
	<i>Roche ferrugineuse</i>	Oxyde et hydroxyde	<i>Hématite, limonite</i>
		Carbonate	<i>Sidérose</i>
		Argileuse	<i>Glauconite, bauxite</i>
		Sulfure	<i>Pyrite</i>
<b>Roche pyroclastique</b>	<i>Roche à grains fins</i>	Terrain meuble	<i>Cendre, tonstein</i>
		Roche	<i>Cinérite, tonstein</i>
	<i>Roche à grains grossiers (<math>\varnothing &gt; 2mm</math>)</i>	Terrain meuble	<i>Lappili, pouzzolane</i>
		Roche	<i>Tuf, ignimbrite</i>

Un autre type de classification est la représentation triangulaire qui fait intervenir différentes granulométries (*argiles, limons, sables*), minéraux (*quartz, argiles, calcite, etc.*) ou composants (*Ca, Si, ...*) ou des particularités (*débris de roche, etc.*). Ce type de figuration ne permet pas la représentation de toutes les roches, escamote certains caractères essentiels et ne permet qu'une approche partielle d'une bonne définition de la roche.



**Figure 2.7 :** Exemple de représentation triangulaire des roches sédimentaires (source : internet).

## 2.3.2.2 Classifications normalisées des roches sédimentaires (EN 12 670, PTV 844)

La classification reprise dans la PTV 844 concerne uniquement les roches utilisées dans le domaine de la construction. Comme elle tient compte surtout de la nature prédominante de la roche plutôt que d'une genèse, deux grandes familles sont présentes :

- La **roche riche en silice** regroupe les roches d'origine détritique (*roches silicoclastiques*) et les roches d'origine (bio)chimique (*roches siliceuses*) ;
- La **roche carbonatée** regroupe les roches contenant du calcium sous différentes formes. La classification est axée en premier lieu sur **la présence ou non de dolomite**, élément qui peut avoir de l'importance dans le vieillissement de la pierre et de la patine prise, ainsi que de la présence d'éléments détritiques (*quartz et glauconie*). Par la suite, la distinction se fait sur base de la **texture et de la présence ou non de fossiles macroscopiquement reconnaissables** (*fossilifère ou non*) et d'oolithes. Dans le cas d'une roche fossilifère, il faut préciser le fossile dominant (*par exemple, crinoïdes, coquilles de brachiopodes, lamellibranches*).

**Tableau 2.IV – Classification des roches sédimentaires utilisées dans le domaine de la construction (PTV 844).**

NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4	NIVEAU 5	
2	roches sédimentaires				
	2.1	Silicoclastiques + siliceuses			
		2.1.1	grès		
			2.1.1.1	quartzarénite	
			2.1.1.2	litharénite	
			2.1.1.3	arkose/subarkose	
			2.1.1.4	wacke	
			2.1.1.5	grès calcaireux	
			2.1.1.6	grès ferrugineux	
		2.1.2	grès schisteux		
		2.1.3	argilite/"shale"		
		2.1.4	marnes		
		2.1.5	silice/roches silicifiées		
		2.1.6	conglomérat-poudingue-brèche		
	2.2	carbonatées			
		2.2.1	calcaire		
			2.2.1.1	micritique	
			2.2.1.2	fossilifère	
				2.2.1.2.a	à coquilles de brachiopodes
				2.2.1.2.b	à crinoïdes
				2.2.1.2.c	à coquilles de mollusques*
				2.2.1.2.d	à organismes récifaux**
			2.2.1.3	oolitique	
			2.2.1.4	tuf /travertin	
			2.2.1.5	bréchiforme	
		2.2.2	calcaire dolomitique		
			2.2.2.1	micritique	
			2.2.2.2	fossilifère	
			2.2.2.3	oolitique	
			2.2.2.4	tuf /travertin	
			2.2.2.5	bréchiforme	
		2.2.3	dolomie calcaire		
		2.2.4	dolomie		
		2.2.5	calcaire détritique		

\* : coquilles de mollusques dont lamellibranches, céphalopodes (orthoceras), gasteropodes etc.  
 \*\* : organismes récifaux dont coraux, spongiaires, algues, et certains mollusques (=Rudistes) etc.

La classification de la norme NBN EN 12670 est celle de Folk (*voir plus loin*), classification surtout utilisée dans le cadre pétrographique (*examen microscopique*). Toutefois, cette classification peut être également appliquée en se basant sur un simple examen à la loupe.

## 2.3.3 Description des roches sédimentaires

### 2.3.3.1 Matériaux détritiques terrigènes ou clastiques

#### a. Généralités

Ces matériaux abondants sont le résultat de processus de dégradation mécanique, d'altération et d'érosion qui s'opèrent à la surface de la terre sur un matériau rocheux de base. Les particules enlevées sont ensuite transportées et déposées dans un bassin de sédimentation souvent marin pour former un sédiment meuble. Par enfouissement, ce matériau subit des phénomènes de *diagenèse* qui le consolide en roche sédimentaire terrigène. Une partie des particules reste sur place et constitue un *dépôt résiduel* (voir chapitre plus loin). Les matériaux détritiques couvrent de grandes étendues et sont stratifiés.

*Une roche détritique est donc composée de minéraux résiduels (quartz + micas + feldspaths) et de minéraux néoformés (phyllosilicates, chlorites, hématite), le tout pouvant être lié par un ciment (la teneur dépend de la nature de la roche initiale : siliceuse, carbonatée).*

Ils apparaissent, soit à l'état meuble, soit à l'état de roche. Des bancs indurés peuvent être présents dans les formations meubles.

La taille des particules constituant la roche, le degré de triage de ces particules, leur forme et leur nature apportent des renseignements précieux sur le mode et la longueur de transport qu'elles ont subi. Par exemple, *la taille assez grande et la forme anguleuse des éléments d'une brèche indiquent que les éléments se sont accumulés à proximité de la source ; l'aspect des grains de quartz des sables est différent s'ils ont été transportés par l'eau ou par le vent ; les conglomérats issus des glaciers sont généralement polygéniques (galets de nature diverse) et mal triés, alors que les conglomérats fluviaux sont mieux triés.*

Ils présentent souvent des structures qui permettent de reconstituer la polarité des couches et l'environnement de l'époque (*but de la paléogéographie*).

#### b. Classification

La classification des roches détritiques repose principalement sur la taille des particules présentes. Il est commode de les situer dans un tableau à double entrée en fonction de la taille des éléments remaniés et de leur degré de consolidation (*classification de Wentworth*).

Trois familles existent à l'intérieur desquelles il convient de distinguer les roches meubles et les roches consolidées :

- $\varnothing < 60 \mu\text{m}$  : *Lutites* (terrain meuble) et *pélites* (roche) ;
- $60 \mu\text{m} < \varnothing < 2 \text{ mm}$  : *Arénites* ;
- $2 \text{ mm} < \varnothing$  : *Rudites*

**Figure 2.8 :** Classification de Wentworth (source : internet).

Dimensions		Roches meubles		Roches consolidées
2 - 4 m	R U D I T E S	BLOCS	très gros	CONGLOMERATS
1 - 2 m			gros	
0,50 - 1 m			moyens	
0,25 - 0,50 m		petits		
125 - 250 mm		GALETS	gros	
65 - 125 mm			petits	
32 - 65 mm	E S	CAILLOUX ou	gros	
16 - 32 mm			moyens	
8 - 16 mm		petits		
4 - 8 mm		très petits		
2 - 4 mm		GRAVIERS	granules	
1 - 2 mm	A R É N I T E S	SABLES	très grossiers	QUARTZITES GRES ARKOSES
0,5 - 1 mm			grossiers	
250 - 500 $\mu\text{mm}$			moyens	
125 - 250 $\mu\text{mm}$			fins	
60 - 125 $\mu\text{mm}$		très fins		
30 - 60 mm	L U T I T E S	SILTS	grossiers	"SILTSTONES"
15 - 30 mm			moyens	
8 - 15 mm			fins	
4 - 8 mm			très fins	
2 - 4 mm	T E S	ARGILES	grossières	SCHISTES
1 - 2 mm			moyennes	
0,5 - 1 mm			fines	
0,25 - 0,5 mm			très fines	
0 - 0,5 mm	COLLOIDES			

**REMARQUE :** Cette classification ne signale pas les proportions des divers constituants. Ainsi, le terme grès est utilisé pour une roche riche en quartz, arkose lorsque les feldspaths abondent et grauwacke pour des matériaux variés d'origine en partie volcanique (*quartz, feldspath, mica, amphibole, pyroxène, éléments pyroclastiques*). Le calcaire peut être présent dans un conglomérat et dans une arénite plus ou moins biogène (*sable oolithique*).

#### c. Description

##### c.1 *Lutites et pélites* ( $\varnothing < 60 \mu\text{m}$ )

La majorité des grains ont un diamètre inférieur à 20  $\mu\text{m}$  et sont des argiles. La petite taille souligne un dépôt calme et remaniable et une difficulté de les déterminer.

### Tableau 2.V - Description des principales lutites

<b>Aleurite</b>	Sédiment meuble à grains très fins ( $10 \mu\text{m} < \varnothing < 100 \mu\text{m}$ ).
<b>Argile</b> <i>Argile bariolée</i> <i>Argile schisteuse (shale)</i> <i>Argile plastique (clays)</i> <i>Glaize</i> <i>Argile résiduelle</i> <i>Bentonite</i>	Sédiment meuble constitué de particules très fines ( $\varnothing < 2\mu\text{m}$ ). Matériau pratiquement imperméable et sensible à l'eau ( <i>tassement ou gonflement</i> ). Plusieurs types existent : Argile constituée de plusieurs couleurs. Argile présentant un délitage et une composition minéralogique hétérogène. Argile possédant une composition minéralogique homogène. Argile très plastique. Argile à résidus insolubles de calcaire accumulés dans les poches de dissolution. Argile formée par l'altération de cendres volcaniques. Sert dans les boues de forage.
<b>Boue ou Mudflow</b> <i>Debris flow</i>	Terme général désignant tout sédiment meuble fin gorgé d'eau pouvant s'écouler. Terme anglais désignant une boue contenant de gros éléments ( <i>galets, blocs</i> ).
<b>Limon</b>	Sédiment argileux et silteux d'origine continentale ( <i>fleuve, lagune ou éolien</i> ).
<b>Lœss</b> <i>Lehm</i> <i>Ergeron</i>	Sédiment argileux et silteux d'origine éolienne. Excellent classement et donne une bonne terre arable. Il est caractéristique d'une zone glaciaire ( <i>désert froid</i> ). Partie supérieure et décalcifiée d'une couche de lœss Partie inférieure, brun clair d'une couche de lœss enrichie en calcaire (avec concrétions nommées "poupées du lœss").
<b>Silt</b>	Terme anglais pour un sédiment meuble constitué de particules de $2 < \varnothing < 63 \mu\text{m}$ souvent riches en quartz. Terme également utilisé pour désigner une roche détritique consolidée.
<b>Vase</b> <i>Sable mouvant, quicksand</i>	Sédiment meuble fait de particules organiques très fines colloïdales et gorgé d'eau ( <i>jusqu'à 80% du poids</i> ). Matériau pauvre en calcaire. La couleur varie selon la composition : noire ( <i>matières organiques, odeur fétide</i> ), rouge ( <i>oxyde de fer</i> ), jaune à noir ( <i>limon</i> ) et verte ( <i>glauconie</i> ). Elle se dépose dans les eaux tranquilles ( <i>fleuves, estuaires, mer, lacs et marais</i> ). Vase aux importantes propriétés thixotropiques ( <i>changement rapide dur - liquide</i> ).

### Tableau 2.VI - Description des principales pélites.

<b>Ardoise ou schiste ardoisier</b>	Terme industriel définissant un schiste présentant un débitage régulier et donc exploitable.
<b>Argilite</b>	Terme ambigu utilisé pour définir, soit une roche argileuse ( <i>faiblement compactée et ne présentant pas de litage bien marquée</i> ), soit une argile schisteuse ( <i>shale</i> ).
<b>Kaolin</b>	Roche argileuse riche en kaolinite [ $(\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$ ], blanche et friable. Elle résulte d'une altération superficielle ou hydrothermale de roches acides ou de schistes.
<b>Phyllade ou phyllite</b>	Terme imprécis ayant plusieurs définitions : <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ensemble de schistes ardoisiers et de schistes à séricite et à chlorite se débitant en fines plaquettes luisantes (<i>définition francophone</i>) ;</li> <li>● Ardoise gréseuse grossière se débitant en plaques épaisses (<i>autre définition francophone</i>) ;</li> <li>● Roche argileuse légèrement métamorphique présentant une schistosité et une orientation privilégiée des grains suite à la présence de conditions de température et de pression plus importantes que le schiste (<i>définition anglophone</i>).</li> </ul>
<b>Schiste</b> <i>Schiste argileux</i> <i>Ampélite</i>	Roche sédimentaire détritique riche en particules argileuses et caractérisée par la présence d'une schistosité ( <i>léger métamorphisme</i> ). Roche argileuse caractérisée par un débitage plus ou moins grossiers parallèlement à la stratification ( <i>faible métamorphisme</i> ). Schiste noir riche en matières carbonneuses ( <i>soin des vignes</i> ).
<b>"Shale"</b> <i>Ampélite</i>	Terme anglais désignant une roche sédimentaire litée ( $\neq$ argilite) à grain très fin. Son remplacement par les termes schiste argileux, schiste ou argile litée est recommandé. Shale noire riche en matières organiques et pyrite et utilisée autrefois dans l'alun.
<b>Silt ou siltite</b>	Roche silteuse ( <i>ou limoneuse</i> ).
<b>Tonstein</b>	Roche argileuse compacte, comportant un mélange de kaolinite et d'illite et formant de minces niveaux repères dans les couches du Westphalien ( <i>syn. gord et escaille</i> ).
<b>Turbidite</b>	Couche de sédiments détritiques déposée en une fois par un courant de turbidité au fond des océans. L'épaisseur varie de quelques centimètres à 2 mètres. Elle se présente selon une certaine séquence ( <i>séquence de Bouma</i> ) qui comprend 5 niveaux de bas en haut caractérisé par une granulométrie de plus en plus fine ( <i>galets <math>\Rightarrow</math> argiles</i> ).

## c.2 Arénites ( $60 \mu\text{m} < \varnothing < 2 \text{mm}$ )

Ils contiennent assez bien de quartz et peu de matières organiques ; d'où leur couleur claire. La taille des grains visibles au microscope implique une certaine énergie de transport.

**Tableau 2.VII - Description des arénites meubles.**

<b>Sable</b>	Sédiment meuble de granulométrie comprise entre 60 $\mu\text{m}$ et 2 mm. Plusieurs classifications sur base de leur nature ( <i>quartz, calcaire, etc.</i> ) ou de leur dépôt ( <i>terrestre, fluviatile, marin, éolien, ...</i> ).
<i>Arène</i>	Sable grossier issu de l'altération superficielle des granites et des gneiss.
<i>Tempestite</i>	Lit sableux déposé par une tempête.
<i>Sablon</i>	Sable très fin.

**Tableau 2.VIII - Description des arénites rocheuses**

<b>Arkose ou feldsparénite</b>	Roche riche en feldspaths (25-50%) et généralement en quartz ( $\leq 60\%$ ) avec un ciment ( <i>argile, calcite, oxyde de fer</i> ) liée à l'altération de granite et gneiss ( <i>altération et érosion rapide = arénisation</i> ). De couleur rouge, rosée à grise ( <i>contraste avec la couleur foncée des grauwackes</i> ), elle présente des grains peu usés, un mauvais classement et une stratification entrecroisée.
<b>Grauwacke</b> ( <i>"graywacke, greywacke"</i> )	Grès foncé ( <i>gris-vert à gris</i> ) contenant des fragments de roches parmi lesquelles figurent des schistes ( <i>microbrèche</i> ) enrobés dans une matrice à grains fins assez abondante et résultante d'un dépôt fort turbulent. Il est en général bien stratifié et alterne avec des bancs d'argilites. C'est un terme qui a été utilisé dans le passé pour désigner d'autres roches.
<b>Grès</b>  <i>Molasse, Mollasse</i>	Roche sédimentaire détritique caractérisée par une importante teneur en grains de quartz ( $< 85\%$ ) unis par un ciment de nature variable : <i>siliceux</i> ( <i>quartz</i> ), <i>quartzeux</i> ( <i>quartz microgrenu</i> ), <i>calcaire, dolomitique, ferrugineux</i> ( <i>limonite</i> ) et <i>opalifère</i> ( <i>glauconie et opale</i> ).  Grès grossier tendre à ciment calcaire pouvant contenir des feldspaths et des débris de roche ou de coquilles.
<b>Macigno</b>	Grès micacé à grain fin et à ciment calcaire ( <i>Belgique</i> ) ou une variété de grauwacke granoclassé de faciès flysch. Ce terme ne doit plus être utilisé en Belgique.
<b>Psammite</b>  <i>Psammoschiste</i>	Grès à ciment fréquemment argileux, riches en micas détritiques ( <i>micas blancs surtout</i> ) groupés en minces lits, d'où un délitage facile en plaquette et dalles. En Belgique : les psammites du Condroz sont bien connues. C'est un ancien terme à éviter.  Grès à grain fin à texture empâtée et à matrice argileuse ou sériciteuse.
<b>Quartzite</b>  <i>Orthoquartzite</i> <i>Protoquartzite</i> <i>Quartzophyllade</i>	Roche sédimentaire siliceuse compacte, à cassure conchoïdale lisse ou finement esquilleuse en général clair et d'aspect gras. Elle est composée de gros grains de quartz se touchant les uns aux autres ( <i>structure quartzitique</i> ). Une légère matrice de quartz néoformés ( <i>cherts</i> ) peut combler les vides.  Grès ou quartzite exclusivement siliceux. Terme anglais à éviter en français.  Grès comportant 5 à 25 % de débris de roches.  Roche métamorphisée présentant une alternance de minces lits de quartzite et de phyllade.

## c.3 Les rudites ( $\varnothing > 2 \text{mm}$ )

La grande taille des grains implique des zones de dépôts de forte turbulence.

**Tableau 2.IX - Description des rudites meubles**

<b>Agglomérat</b>	Terme général désignant un dépôt meuble détritique composé d'éléments grossiers.
<b>Bloc</b>	Particule meuble de diamètre $\varnothing > 200 \text{mm}$ .
<b>Caillou</b> <i>Cailloutis</i>	Terme commun pour désigner tout débris de roche de cette taille.  Formation meuble composé de cailloux.
<b>Eboulis</b>	Dépôt détritique de pied de versant. L'eau ( <i>neige, ruissellement</i> ) peut classer les matériaux, ce qui donne un certain litage et une cimentation et donc une nappe. Les éboulis anciens sont en général fixés et encroûtés.
<b>Galet</b>	Particule meuble et arrondie de diamètre $20 < \varnothing < 200 \text{mm}$ .
<b>Gravier</b>	Particule meuble de diamètre $2 < \varnothing < 20 \text{mm}$ ( <i><math>\varnothing</math> variable selon classification</i> ).
<b>Moraine</b> <i>Till</i>	Dépôt glaciaire composé de grains hétérogènes d'un point de vue granulométrie et lithologie.  Terme anglais désignant un dépôt morainique non consolidé ou une argile à bœaux.

**Tableau 2.X - Description des rudites rocheuses.**

<p><b>Conglomérat</b></p> <p><i>Poudingue</i> <i>Brèche sédimentaire</i></p>	<p>Roche formée de plus de 50% de débris grossiers de diverses roches liés par une matrice. Les grains de couleur variable sont souvent résistants (<i>quartz, silex</i>). La roche est en général mal stratifiée et en dépôt lenticulaire.</p> <p><u>Une nomenclature se base sur la forme des grains</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Éléments arrondis ou galets.</li> <li>● Éléments anguleux témoin d'un faible transport.</li> </ul> <p><u>Une nomenclature se base sur la composition des débris : <i>monogénique</i> (éléments de même nature et présent en gisement limité) ou <i>polygénique</i> (éléments de nature diverse).</u></p>
--	--

## LUTITES



Argile



Argilite



Limon



Siltite



Tonstein



Turbidite



Sable



Grès



Quartzite



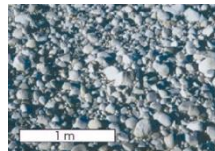
Arkose



Psammite

## ARENITES

## RUDITES



Gravier



Conglomérat

**Figure 2.9 :** Exemples de matériaux détritiques terrigènes (source : internet).

### 2.3.3.2 Roches biogènes

#### a. Généralités

Les roches biogènes sont le résultat d'une activité biologique qui intervient à différentes sources :

- L'*accumulation des substances organiques mortes* qui se concentrent, soit sur place, soit plus loin après avoir subi un transport (*dissolution et précipitation*) ;
- La production de *substances organiques* qui réagissent avec la matière minérale pour former des complexes solubles (*chélates*) tels que les hydrocarbures ;
- L'*absorption de certains éléments* nécessaires à la constitution de leur squelette ou de leur coquille, ce qui modifie les paramètres physico-chimiques du milieu.

**REMARQUE :** Certaines roches biogènes ont une origine évaporitique.

Selon la nature des matériaux formés, plusieurs familles de roches existent :

- Les *roches carbonatées* (riches en carbonate  $\text{CaCO}_3$ ) sont les plus fréquentes ;
- Les *roches carbonées* (riche en carbone C) ;
- Les *roches siliceuses* (silice).



## b. Roches carbonatées

Une roche carbonatée regroupe principalement les calcaires et les dolomies et est formée majoritairement de carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$  : *calcite*) et de matériaux détritiques (*argiles, quartz*) en quantité souvent faible et provenant de conditions de transport et sédimentation. Le calcaire pur est rare.

REMARQUE : Il n'existe pas de limite nette entre les différentes familles mais bien une transition progressive. Ainsi, un calcaire devient progressivement une dolomie à fur et à mesure que sa teneur en magnésium augmente et devient une marne si la concentration en argile augmente.

Elle présente une grande solubilité dans l'eau et peut précipiter lorsque les conditions physico-chimiques du milieu deviennent favorables en donnant lieu à de nouveaux cristaux, oblitérant souvent les anciennes structures. De plus, le magnésium étant plus abondant dans l'eau que le calcium, la dolomie tend à remplacer le calcaire (*dolomie secondaire*).

Elle réagit plus ou moins vivement avec l'HCl (*dilué à 10 %*) selon la réaction suivante ; ce qui permet de distinguer ces roches des autres.



Elle mérite une attention particulière en raison de son abondance et de ses comportements imprévisibles et évolutifs (*développement de karsts*).



Figure 2.10 : Exemples de calcaires. De gauche à droite, calcaire blanc ou clair – calcaire gris – calcaire bleu (source : internet).

Un certain nombre de calcaire sont parcourus de joints noirs d'épaisseur millimétriques très irréguliers appelés *joints stylolithiques* qui correspondent à des surfaces de dissolution (*formées sous l'influence de fortes pressions*) dans lesquelles se reconcentrent les minéraux insolubles.

Un très grand nombre de classifications concernant les roches calcaires existent. Le présent ouvrage en décrit brièvement quelques-unes des plus courantes.

### b.1 Classification générale des calcaires

La classification générale distingue 4 familles de calcaire :

- Le *calcaire détritique* ou *clastique* est composé d'éléments détritiques transportés et déposés avant d'être éventuellement liés par une matrice ou un ciment. Le dépôt peut être marin (*fond des mers*) ou continental (*grotte, rivière ou lac*) ;
- Le *calcaire construit* ou *récifal* est issu de l'activité *in situ* d'organismes marins (*coraux, algues, etc.*). Il n'a pas subi de transport particulier. Les éléments sont souvent en position de vie ;
- Le *calcaire de recristallisation* concerne un réarrangement de la matière sans modification chimique du milieu ;
- Le *calcaire de métasomatose* concerne un réarrangement de la matière avec modification chimique du milieu. La dolomie secondaire en est un des résultats.

### b.2 Classifications de terrain pour les calcaires

Ces classifications sont basées sur un nombre limité de critères visuels et facilement observables sur le terrain comme la présence ou pas de fossiles et de corps étrangers et la taille des grains (*en cas d'absence de corps étrangers*). Elles fournissent un nom général à la roche.

Plusieurs auteurs en ont développé (*Fookes et Higginbottom : 1975, Burnett et Epps : 1979 ou Harris : 1982*).

La classification ci-dessous permet de définir la roche de la manière suivante :

**Calcaire + Présence de corps étranger ou taille des grains (si pas de corps étrangers) + couleur**

**Tableau 2.XI - Classification de terrain pour les calcaires.**

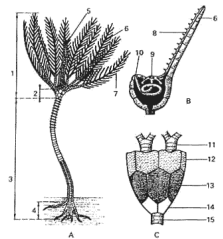
Particules particulières	Sous variantes	Taille des grains	Dénomination
Pas de fossiles		Grains extra fins	➔ Calcaire lithographique
		Grains non visibles	➔ Calcaire massif à grains fins
		Grains difficilement visibles	➔ Calcaire massif à grains moyens
		Grains visibles à l'œil nu	➔ Calcaire massif à gros grains ou grenu
Une espèce prédominante de fossiles	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crinoïdes</li> <li>• Récif</li> <li>• Coquillages</li> <li>• Foraminifères</li> <li>• etc.</li> </ul>	(Eventuellement)	➔ Calcaire à crinoïdes (à entroques)
			➔ Calcaire récifal, Calcaire construit
			➔ Calcaire à coquilles
			➔ Calcaire à foraminifères
			➔ Calcaire à ...
Plusieurs espèces de fossiles mélangés	Aspect entier	(Eventuellement)	➔ Calcaire fossilifère
	Débris roulés	(Eventuellement)	➔ Calcaire à fossiles roulés
	Débris anguleux	(Eventuellement)	➔ Calcaire à esquilles
Corps étranger	Oolithes (0,5 - 2mm)	Présence d'un nucléus	➔ Calcaire oolithique, Calcaire pisolithique
		Absence d'un nucléus	➔ Calcaire pseudo-oolithique
	Nodule d'argile		➔ Calcaire noduleux
	Sable		➔ Calcaire sableux
	Fins graviers	Grains visibles à l'œil nu	➔ Calcaire graveleux, Calcaire granuleux

**REMARQUE :** Définition de termes utilisés dans le tableau.

**Crinoïde :** Echinoderme constitué d'une tige (pédoncule) constituée de petits cylindres creux (**articles** ou **entroques**) monocristallins au bout duquel se trouve un calice ramifié.

**Calcaire à entroques :** Calcaire principalement constitué de débris de crinoïdes et caractéristique de certains niveaux du Tournaisien et du Trias moyen appelés **Petit granit** en Belgique.

**Foraminifère :** Organisme unicellulaire marin en forme de coquille à plusieurs loges.



### b.3 Classification basée sur la taille des grains

Cette classification s'inspire de la classification des roches détritiques (*taille des grains*) et s'est adaptée aux roches carbonatées. Elle distingue trois familles :

- **Calculutite :** Calcaire formé de grains dont le diamètre est inférieur à 63 µm (argile et silt) ;
- **Calcarénite :** Calcaire formé de grains dont le diamètre est compris entre 63 µm et 2 mm (sable) ;
- **Calcirudite :** Calcaire formé de grains dont le diamètre est supérieur à 2 mm (graviers).

### b.4 Classification de Folk (1959)

La classification de **Folk** se base sur la nature des éléments grossiers (*allochèmes*) et du ciment (*orthochème*). Elle concerne l'ensemble des roches carbonatées et les dolomies ; c'est pourquoi elle est très utilisée en domaine pétrolier.

Elle fournit la formule suivante :

**Nom = PREFIXE 1** (type prédominant d'allochème) + [**PREFIXE 2** (nature de l'allochème)] + **SUBSTANTIF** (granulométrie de l'orthochème) + [**un à plusieurs ADJECTIFS** (précision sur la nature du ou des principaux constituants)]

Exemple : une biocalcisparite est un calcaire formé de débris biologiques entourés de grains de  $\varnothing > 10 \mu\text{m}$ .

Il importe ainsi de définir quelques termes :

- L'**allochème** se rapporte aux **éléments étrangers généralement de petite taille (< 2 mm) ayant subi un transport dans le bassin après leur formation**. Pour les éléments supérieurs à 2 mm, il convient de parler de rudites. Ces éléments qui peuvent apparaître séparément ou en association ont reçu dans le langage international, les diminutifs repris ci-dessous. Dans le cas de plusieurs allochèmes, le terme est mixte (Ex : biopelsparite).

**Tableau 2.XII – Terminologie internationale des allochèmes spécifiques aux calcaires clastiques.**

Terme	Définition	Diminutif
Bioclaste	Débris d'organisme fragmenté ( <i>voire non fragmenté ou encrouté</i> ) ayant subi un transport et un dépôt.	Bio
Intraclaste	Fragment carbonaté contemporain au dépôt peu ou pas consolidé et n'ayant subi de transport qu'au sein du bassin.	In
Lithoclaste	Débris carbonaté provenant de roches déjà constituées.	---
Oolithe	Grain sphérique ou ovotide de diamètre inférieur à 2 mm dont l'enveloppe possède une texture concentrique autour d'un noyau ( <i>nucleus</i> ) fait en débris de fossiles ou grains de quartz.	Oo
Pisolithe	Grain similaire à l'oolithe mais dont le diamètre est supérieur à 2 mm.	---
Pelloïdes ou pellets	Grain ovoïde généralement constitué de petits grains de calcite et de matière organique et ne disposant pas d'une structure concentrique autour d'un noyau. Ce grain résulte soit d'une opération d'attrition sur le fond, soit de remaniements, soit d'actions biologiques ( <i>origine fécale</i> ).	Pel

- L'**orthochème** se définit comme *l'ensemble des particules fines englobant les allochèmes (matrice ou ciment)*. Il existe 3 types différents selon les conditions de dépôt :
  - **Micrite** (acronyme de *micro calcite*) : Particules de diamètre <5 µm formant une matrice ;
  - **Sparite** : Particules de diamètre >10 µm formant un ciment ;
  - **Dismicrite** : Cas intermédiaire (5 < Ø < 10 µm). Il s'agit souvent d'une micrite recristallisée en sparite.

La classification de Folk distingue 5 types de roches carbonatées :

- **Type 1 - Roche allochimique spathique** : Calcaire contenant plus de 10 % d'allochèmes entre lesquels est présente la sparite. Elle est le témoin d'un environnement hydrodynamique de haute énergie ;
- **Type 2 - Roche allochimique microcristalline** : Calcaire contenant plus de 10 % d'allochèmes entre lesquels est présente la micrite. Elle est le témoin d'un environnement hydrodynamique de faible énergie ;
- **Type 3 - Roche microcristalline** : Calcaire contenant moins de 10 % d'allochèmes ;
- **Type 4 - Calcaire construit** ou **biolithite** : Deux termes sont utilisés : le **biostrome** pour de grande étendue et le **bioherme** pour les faibles étendues ;
- **Type 5 - Dolomie secondaire de substitution**. Les termes "**roche dolomitée**" ou "**roche dolomitique**" sont utilisés (*incertitude sur le type de dolomie*).

**Tableau 2.XIII - Classification des calcaires selon FOLK (1959).**

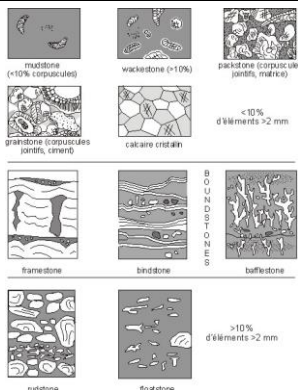
ROCHES CARBONATÉES		CALCAIRES, CALCAIRES PEU DOLOMITISÉS, DOLOMIES PRIMAIRES				DOLOMIES SECONDAIRES DE SUBSTITUTION													
		roches allochimiques allochèmes > 10 %		roches orthochimiques microcristallines allochèmes < 10 %		TYPE 5 avec fantômes d'allochèmes   sans fantômes d'allochèmes													
		TYPE 1 r. allochimiques spathiques (ciment spath. > boue microcrist.)	TYPE 2 r. allochimiques microcristallines (ciment spath. < boue microcrist.)	TYPE 3 1% < allochèmes < 10% allochèmes < 1%				TYPE 4 roches de bioherme											
composition volumétrique des allochèmes	intraclastes > 25 %	intrasparrudite intrasparite	intramicrudite intramicrite	selon les allochèmes dominants	micrite à intraclastes	micrite à oolites	micrite (si homogène) dismicrite (si hétérogène) dolomicrite (si dolomie primaire)	biolithite	selon les allochèmes dominants	dolomie intraclastique	dolomie oolitique	dolomie biogénique	dolomie pelletolaïdale	dolomie cristalline (grenue à microcristalline)					
	oolites > 25 % (et pisolites)	oosparrudite oosparite	oomicrudite oomicrite												micrite fossilifère	micrite à pellets	dolomie pelletolaïdale		
	intraclastes < 25 %	biosparrudite biosparite	biomicrudite biomicrite															micrite à pellets	dolomie pelletolaïdale
	oolites < 25 % R-fossiles, bioclastes, pelloïdes																		
	oolites < 25 %	pelsparite	pelmicrite															dolomie pelletolaïdale	dolomie pelletolaïdale
	oolites < 25 %																		
oolites < 25 %			dolomie pelletolaïdale	dolomie pelletolaïdale															

## b.5 Classification de Dunham (1962)

La classification de *Dunham* se base sur l'arrangement des différents éléments hétérogènes entre eux. Elle a été modifiée par la suite (*Embry et Klován* : 1972).

**Tableau 2.XIV - Classification des roches calcaires selon DUNHAM (1962) et EMBRY & KLOVAN (1972).**

Présence d'éléments grossiers	% éléments grossiers (> 2 mm)	Catégorie de calcaire	Composants liés entre eux avant dépôt	% matrice micritique	Nom	Définition	
Oui	0 - 10	Calcaire détritique	Non	0	Grainstone	Calcaire détritique dont les éléments grossiers jointifs entre eux, forment l'ossature de la roche. Il n'y a pas de matrice micritique mais éventuellement une matrice sparitique.	
				1 - 40	Packstone	Calcaire similaire au grainstone mais contenant une matrice micritique.	
				40 - 90	Wackestone	Calcaire détritique où les éléments grossiers présents à plus de 10 % ne sont plus jointifs mais baignent dans une matrice micritique qui forme l'ossature.	
				90 - 100	Mudstone	Calcaire détritique contenant moins de 10% d'éléments grossiers.	
	10 - 100	Calcaire récifal	Oui	Boundstone		Framestone	Calcaire récifal représentant l'ossature même des organismes coloniaux ( <i>coraux, stromatolithes, etc...</i> ).
						Bindstone	Calcaire récifal constitué d'organismes encroûtants.
						Bafflestone	Calcaire récifal avec des organismes dressés ( <i>algues</i> ) en position de croissance qui piègent les sédiments calcaires par déflexion.
	10 - 100	Présence de débris jointifs				Rudstone	Calcaire récifal contenant de gros débris jointifs ( $\varnothing > 2 \text{ mm}$ ).
						Floestone	Calcaire récifal contenant de petits débris jointifs ( $\varnothing > 2 \text{ mm}$ ).
	Non	Calcaire de recristallisation		Calcaire cristallin		Calcaire constitué uniquement d'une matrice	



**Figure 2.11** : Classification des roches calcaires selon DUNHAM (1962) et EMBRY & KLOVAN (1972).

## b.6 Dolomie

La *dolomie* est une roche carbonatée contenant au moins 50 % de carbonate dont plus de la moitié sous forme de *dolomite* ( $\text{Ca.Mg}(\text{CO}_3)_2$ ). Elle ne fait pas effervescence à HCl dilué à 10 % mais bien à l'HCl pur. Elle ne raie pas le verre.

Il existe deux types distincts de dolomie selon leur origine :

- La *dolomie primaire* ou *orthodolomie* est une roche massive à grains très fins (1-20  $\mu\text{m}$ ) formée dans un environnement sursaturé (*précipitation d'eau de mer*). Elle ne contient habituellement pas de fossile et présente une faible réaction à HCl pure ainsi qu'une forte odeur nauséabonde ;
- La *dolomie secondaire* est une roche brunâtre formée par dolomitisation totale ou partielle d'un ancien calcaire souvent poreux (*oolithique, organo-détritique et récifale*). Une partie du Ca est remplacée par du Mg plus fin ; d'où un aspect carié (*nombreux petits vides et disparition des anciennes structures*).

Des grains recristallisés plus grossiers de dolomie sont présents. Elle réagit plus fortement à l'HCl pur selon son degré d'altération. C'est la dolomie la plus fréquente et la plus évolutive (*problèmes à long terme*).

**REMARQUE :** le processus de *dolomitisation* se fait à l'état solide (*métasomatisme*).

La dolomie a un comportement plus cassant que le calcaire.

Il existe une transition progressive entre les calcaires et les dolomies lié au processus de dolomitisation.

**Tableau 2.XV - Description de la série calcaire - dolomie.**

SÉRIE CALCAIRE - DOLOMIE	➔	<i>Calcaire</i>	95 -100 % calcite + 0 - 5 % dolomie
	➔	<i>Calcaire magnésienne</i>	90 - 95 % calcite + 5 - 10 % dolomie
	➔	<i>Calcaire dolomitique</i>	50 - 90 % calcite + 10 - 50 % dolomie
	➔	<i>Dolomie calcareuse</i>	10 - 50 % calcite + 50 - 90 % dolomie
	➔	<i>Dolomie</i>	0 - 10 % calcite + 90 - 100 % dolomie

### b.7 Autres roches carbonatées

D'autres roches appartiennent à cette famille.

**Tableau 2.XVI - Description des autres roches carbonatées.**

<b>Boue calcaire</b>	Boue riche en matière carbonatée
<b>Brèche carbonatée</b>	Roche contenant plus de 50% de débris anguleux carbonatés ( $\varnothing > 2 \text{ mm}$ ) pris dans un ciment.
<b>Calcschiste</b>	Terme ambigu désignant, soit une roche calcaire devenue schisteuse sous l'influence mécanique, soit un calcaire schisteux fait d'une alternance de fins lits calcaires et de fins lits argileux ( <i>terme désuet</i> ).
<b>Cargneule</b> (Syn : <i>rauhwacke</i> , <i>carnieule</i> )	Roche pseudo-bréchique d'aspect carié, contenant un liant calcaire imprégné d'oxydes de fer dans lequel sont individualisés des fragments de calcaire et de dolomie noirâtre et zonaire de teinte jaune à brun rouille. Le terme est utilisé abusivement aux dolomies cavernueuses et aux fausses brèches formées par dolomitisation incomplète d'un calcaire.
<b>Craie</b>	Roche claire à grains fins constituée en grande majorité de carbonates (90%) sous forme de coccolithes ( <i>particules mégafines issus d'algues</i> ), de végétaux unicellulaires et de quelques foraminifères. Le ciment est peu abondant. Dépôt en bassin peu profond. C'est une roche poreuse, friable et tachant les doigts. Bonnes qualités géotechniques mais très sensible au remaniement et à l'eau ( <i>perte des caractéristiques</i> ). Une nomenclature est basée sur la présence d'éléments particuliers comme des organismes, des minéraux ou un ciment sableux.
<b>Marbre</b>	Terme commercial désignant un calcaire susceptible d'avoir un beau poli ( <i>ornement</i> ).
<b>Marne</b>	Roche à grains fins composée d'un mélange de calcaire (30-40%) et d'argile (60-70%), témoin d'un milieu peu profond. Roche de couleur claire à l'aspect terreux qui happe la langue et réagit à l'HCl. Caractéristiques géomécaniques très différentes en fonction de la composition chimique. Sa sensibilité à l'eau est fonction de la teneur en argile.
<i>Meulière</i>	Calcaire ayant subi une silicification incomplète et une décalcification qui confèrent à la roche, un aspect carié et vacuolaire. Présente dans le Bassin de Paris, elle est utilisée en construction.
<i>Perle de caverne</i>	Bille calcaire blanchâtre de diamètre inférieur à 5 cm trouvée dans les vasques des grottes où l'agitation fréquente de l'eau a permis le dépôt en couches concentriques autour de petits débris.
<i>Pierre de Gobertrange</i>	Calcaire gréseux gris clair, parfois veiné de minces filets discontinus d'un calcaire blanc crayeux à grain fin, d'âge Bruxellien. Exploité pour la construction des vieux monuments.
<b>Travertin</b>	Dépôt calcaire ou gypseux formé par précipitation biologique à partir d'eaux riches en sels ( <i>carbonate et sulfate</i> ). Il a un aspect concrétionné ou vacuolaire de couleur beige et peut contenir quelques fossiles. Roches tendre, poreuse, friable et légère.
<i>Tuf</i>	Synonyme dans le langage courant pour exprimer un travertin souvent pulvérulent.
<b>Tuffeau</b>	Roche tendre peu cohérente qui peut durcir à l'air tels que certaine craie grossière ( <i>Touraine</i> ) ou calcaire grenu, sableux ( <i>Cipty, Maestricht</i> ).

## c. Roches carbonées

Une **roche carbonée** est une *roche issue de l'accumulation, de l'enfouissement et de la transformation de sédiments riches en matières organiques d'origine végétale ou animale*. Elle dispose d'un certain pouvoir calorifique ; d'où son nom également de roche combustible.

Selon son état et son origine, elle comporte deux familles.

### c.1 Roches charbonneuses

Une **roche charbonneuse** se définit comme une *roche (état solide) combustible foncée formée d'une accumulation de débris végétaux en milieu réducteur et ayant subi le phénomène de **carbonisation** ou de **carbonification***.

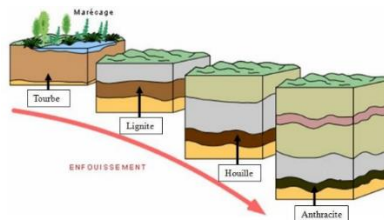
Ce processus se déroule en deux étapes :

- Les débris végétaux présents sous un climat chaud et humide (*végétation luxuriante*) s'accumulent dans un milieu marécageux situé, soit sur le continent (*tourbière limnique*), soit dans un bassin deltaïque situé en bordure de mer (*tourbière paraliatique*) ;
- Cette accumulation subit un enfouissement accompagné de la destruction de la cellulose par des micro-organismes anaérobies (*enrichissement en C*), un compactage qui élimine progressivement l'eau, les matières volatiles et les anciennes structures fossiles et d'une réduction de l'épaisseur de la couche.

Beaucoup de gisement sont autochtones ; ce qui signifie que la matière végétale s'est accumulée à l'endroit où les végétaux se sont développés. Ce caractère est prouvé par l'existence sous la couche d'un "**mur**", soit un sol de végétation fossilisée perforé par des racines en position de vie.

La roche est constituée d'une quantité variable de matières organiques transformées en combustibles, de débris végétaux (*de moins en moins abondants avec la profondeur*) et de quelques matières minérales qui subsistent sous forme de cendres après combustion.

Leur classification est basée sur la teneur en carbone et en matières volatiles et donc sur l'évolution de la transformation.



**Figure 2.12** : Transformation de la tourbe en anthracite (source : tpecharbonroyer).

**Tableau 2.XVII - Description des principales roches charbonneuses selon teneur croissante en carbone.**

Nom	% C	Teinte	Caractéristiques
<b>Tourbe</b>	< 55 - 60	Brune	Sédiment léger, peu compacté car formé principalement de mousse ( <i>surtout des sphaignes</i> ) et d'eau. Se retrouve fréquemment dans les vallées alluviales et pose des problèmes de tassement. Dégage beaucoup de fumées, peu de chaleur et nombreux résidus.
<b>Lignite</b>	60 - 75	Brun noir	Roche d'aspect terne à débris ligneux de bois contenant de 30 à 40 % d'humidité et de matières volatiles ainsi que des teneurs élevées en soufre ( <i>jusqu'à 8%</i> ). Brûle peu ( $PCI = 10 \text{ MJ/kg}$ ).
<b>Houille</b>	70 - 92	Noire mate à brillante	Roche légère riche en débris résistants à la compaction tels que les spores, les spicules. Se découpe en cubes selon 3 familles de joints. Brûle bien ( $PCI = 32 - 39 \text{ Mj/kg}$ ). La nomenclature est basée sur leur teneur en matières volatiles : <ul style="list-style-type: none"> <li>➔ <b>Charbon maigre</b>                    8 - 12 %</li> <li>➔ <b>Charbon demi-gras</b>            12 - 20 %</li> <li>➔ <b>Charbon gras</b>                    20 - 33 %</li> <li>➔ <b>Charbon flambant gras</b>        &gt; 33 %</li> </ul>
<b>Charbon sub-bitumineux</b>	72 - 76	Noire	Charbon contenant entre 15 et 30 % d'humidité et très peu de soufre. Peut contenir des carbonates ( <i>sidérite, calcite</i> ). Utilisé pour la génération thermique.

<b>Charbon bitumineux ou charbon mou</b>	76 - 92	Noire	Charbon dense souvent formé de couches claires et sombres bien définies ne contenant pas plus de 20% d'humidité. Peut contenir des teneurs variables en soufre et autres éléments nocifs. Utilisé principalement pour la production d'électricité, de coke et pour le chauffage
<b>Anthracite ou charbon dur</b>	92 - 99	Noire brillante	Charbon dur riche en carbone et pauvre en matières volatiles et en eau. Ne salit pas les mains. Reste solide lors de la carbonisation en chaudière.
<b>Graphite</b>	100	Noire	Terme ultime de la carbonification appartenant au métamorphisme



**Figure 2.13 :** Exemple de tourbe – lignite – houille – charbon et anthracite (source : internet).

D'autres roches contiennent également du charbon.

**Tableau 2.XVIII - Description des roches charbonneuses annexes.**

<b>Ampélite</b> (schiste alunifère)	Schiste argileux noir, très charbonneux, chargé de très fins grains de pyrite, qui servait autrefois à l'amendement des terres à vignes.
<b>Charbon sapropélique</b>	Charbon dérivé de la putréfaction de spores, d'algues ou de végétaux. Il s'agit d'un charbon compact et dur, montrant un éclat terne à cireux et une cassure conchoïdale. Riche en matières volatiles.
<b>Gayet</b>	Charbon homogène, non zoné, à cassure généralement conchoïdale, pouvant constituer tout ou partie de l'épaisseur d'une couche et représentant du charbon sapropélique. On distingue des gayets d'algues ( <i>Boghead</i> ), des gayets de spores ( <i>Cannel coal</i> ) et des gayets de débris ( <i>Pseudo-cannel coal</i> ).
<b>Coke</b>	Produit poreux et dur provenant du charbon bitumineux cuit dans des fours à de hautes températures.
<b>Schlamm</b>	Matériau pulvérulent, peu soufré et résidu de l'extraction et de la préparation du charbon en Lorraine et en Belgique.

Ces roches peuvent s'inscrire dans une séquence rythmique et donner lieu à une classification locale comme la *classification appliquée au bassin houiller liégeois* basée sur le pourcentage et la dimension des grains de quartz et la texture des roches. Le critère d'homogénéité de la roche est également pris en considération.

**Tableau 2.XIX - Classification des roches du bassin houiller de Liège.**

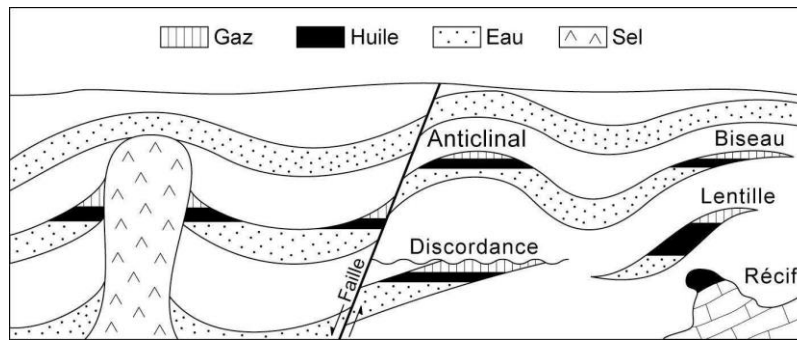
N°	Type lithologique	% SiO <sub>2</sub>	Ø grains	Texture
1	Schiste argilo-silteux	20	< 80 µm	Empâtée
2	Schiste argilo-silteux à nodules carbonatés	15		
3	Schiste argileux à radicules	10		
4	Schiste légèrement gréseux homogène	40	10 - 200 µm	Réticulé et empâtée
5	Schiste légèrement gréseux straticulé	45		
6	Schiste gréseux homogène	55		
7	Schiste gréseux straticulé	60		
8	Grès homogène	80	10 - 300 µm	Réticulée à quartzitique
9	Grès straticulé	70		
10	Grès à "flaser structures"	-		

**REMARQUE :** Le grès à "flaser structures" est caractérisé par de fines traînées et fins chevelus argileux noyés dans la masse.

### c.2 Roches hydrocarbonées

Une *roche hydrocarbonée* est un produit sous forme liquide ou gazeuse issu de la transformation de la matière organique (principalement du plancton) emprisonnée dans des sédiments dits sapropélites par dégradation biochimique puis thermique. Elle a tendance à être piégée dans une *roche réservoir* ou *roche-magasin* lors de sa remontée vers la surface. Elle n'est jamais présente dans la roche où elle a pris naissance.

Le résultat donne lieu à la formation de composés hydrocarbonés tels que les paraffines (C<sub>n</sub> H<sub>2n+2</sub>), les naphthalines (C<sub>n</sub> H<sub>2n</sub>) et les benzènes (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>).



**Figure 2.14 :** Types de réservoirs pour roches hydrocarbonées (source : internet)

Ils ont des propriétés combustibles exploitables. Cependant, la probabilité qu'a un géotechnicien de les rencontrer à proximité de la surface est très faible à l'exception des schistes bitumineux.

**Tableau 2.XX - Description des roches hydrocarbonées.**

<b>Asphalte</b>	Substance semi liquide brune à noire liée à l'oxydation du pétrole qui imprègne les roches poreuses.
<b>Bitume</b> <i>Goudron</i>	Terme regroupant tous les hydrocarbures naturels libres ( <i>huiles de pétrole et asphaltes</i> ) solubles dans le sulfure de carbone, par opposition au pyrobitume qui est extrait des roches ( <i>schiste bitumeux</i> ) par distillation. Au sens vulgaire, substance hydrocarbonée ayant été utilisé dans les revêtement de chaussées et des trottoirs.
<b>Gaz naturel</b>	Gaz riche en hydrocarbures.
<b>Pétrole</b>	Liquide noir et moins dense que l'eau ( <i>tendance à remonter vers la surface via les pores et piégeage dans une roche réservoir surmontée de couches imperméables</i> ). Après l'accumulation de débris organiques en milieu aquatique confiné, il y a transformation des lipides et protéines en kérogène puis en hydrocarbures par des micro-organismes avec libération de méthane en petite quantité, d'azote et d'oxygène sous forme de CO <sub>2</sub> .



**Figure 2.15 :** Exemple de bitume pur (à gauche) et d'un schiste bitumeux (à droite) (source : internet).

### 2.3.3.3 Roches siliceuses

Une *roche siliceuse* se définit comme une *roche riche en silice (> 50%) liée à des processus biologiques ou chimiques*. Elle raie le verre.

**REMARQUE :** Ces roches se distinguent d'une roche terrigène (*débris de silice*) par la présence de nouveaux grains.

Si la majorité des roches siliceuses résulte de l'activité d'organismes à structure siliceuse tels que *radiolaires, spongiolites* et *diatomites* dans une eau de mer riche en silice, une minorité (*cherts, silex, meulières*) résulte d'une précipitation chimique ou d'un remplacement par de la silice, soit en cours de formation (*dépôt primaire*), soit lors de la phase de cimentation ou d'altération (*dépôt secondaire*). Il s'agit souvent d'"accidents". On peut leur associer certaines roches silico-alumineuses néoformées (*certaines argiles et glauconites*).



**Tableau 2.XXI - Description des roches siliceuses.**

<b>Chert</b>	Roche siliceuse cryptocristalline contenant des spicules fins entourés d'un ciment cristallin de silice. De couleur souvent sombre, il se présente en bancs continus ou sous forme de rognons et représente des accidents siliceux.
<b>Diatomite</b>	Sédiment meuble ou roche siliceuse constituée de diatomites De couleur claire, cette roche légère et poreuse est utilisée comme abrasif et absorbants ( <i>explosifs</i> ).
<b>Gaize</b>	Grès formé d'un mélange de débris siliceux, de silice chimique dont la matrice calcaire initiale est remplacée par la silice et de couleur variable selon la teneur ( <i>vert = glauconie</i> ).
<b>Tuffeau, meule</b>	Accident siliceux dans les calcaires de couleur gris à rouille ( <i>altération</i> ) et se présentant souvent en masse irrégulière, arrondie ou anguleuse, massive et homogène ( <i>meulière compacte</i> ) ou d'aspect bréchique ( <i>meulière caverneuse</i> ). Matériaux de construction et meule.
<b>Jaspe</b>	Roche siliceuse cryptocristalline issue de la silicification d'une vase à radiolaires. De couleur rougeâtre (oxyde de fer), c'est une roche dense, opaque à peu translucide.
<b>Phtanite</b>	Roche siliceuse à grain très fin de quartz ( $< 20 \mu m$ ) moulés les uns dans les autres avec quelques zones d'opale, pouvant contenir des radiolaires ou de l'argile et de couleur grise. Elle se découpe en petits blocs parallélépipédiques. Roche très abrasive. Roche à cassure finement esquilleuse, opaque, grise à noire ( <i>présence de matière graphiteuse et charbonneuse</i> ).
<b>Radiolarite</b>	Roche siliceuse constitué de radiolaires et de couleur souvent rouge ( <i>oxyde de fer</i> ), se présentant en fins bancs.
<b>Silex</b>	Concrétion siliceuse en forme de rognons disposés généralement en lits. De couleur variable, la matière est compacte, la cassure conchoïdale donnant des arêtes tranchantes. Une mince croûte blanche ( <i>cortex ou tunique</i> ) entoure le silex et ne doit pas être confondue avec une autre croûte blanche ( <i>patine</i> ) dont s'entourent les silex longtemps exposés à l'air.

### 2.3.3.4 Roches évaporitiques

Une *roche évaporitique* est une *roche formée par évaporation de l'eau de mer et précipitation chimique de sels sous forme de minéraux suite à de nouvelles conditions du milieu (aridification, variation de température, etc.)*.

Sa formation est associée aux bassins fermés, peu profonds, qui offrent une grande surface à l'évaporation (*marais salants*).

Les principaux sels précités sont des sulfates (*gypse, anhydrite*), des chlorures (*halite, sylvinite, carnallite*), des carbonates (*aragonite, dolomite, magnésite*), plus rarement des nitrates et des borates.

Plusieurs types existent.

#### a. Roches salines

Une *roche saline* se dépose dans des conditions très particulières selon une séquence chimique simple très sensible aux variations du milieu et à la circulation des fluides. L'évaporation joue un rôle essentiel dans leur genèse. Cette séquence chimique est la suivante, par ordre de précipitation :

#### Gypse - Anhydrite - Halite

Cette roche est sensible aux phénomènes de dissolution suite à des circulations d'eau. Cela provoque la création de vides pouvant atteindre des dimensions énormes. L'évolution de ces vides en direction de la surface peut créer des effondrements très dangereux pour les constructions.

Le gypse utilisé pour la fabrication du plâtre et l'halite pour l'exploitation du sel ont fait l'objet d'exploitations souterraines dans le passé et dont l'existence pas toujours connue, est préjudiciable à la stabilité des terrains sus-jacents avec l'apparition d'effondrements.

Elle se caractérise par un comportement particulier face aux contraintes tectoniques. Au lieu de plisser ou de se fracturer comme les autres, elle flue, pouvant former des dômes (*réservoir potentiel d'hydrocarbures*).

**Tableau 2.XXII - Description des roches salines.**

<b>Albâtre</b>	Masse finement grenue de gypse, ressemblant au marbre de Carrare..
<b>Anhydrite</b>	Sulfate de calcium non hydraté ( $CaSO_4$ ) de couleur blanche avec des teintes bleue, grise et se présentant en forme lamellaire, fibreuse, granulaire ou compact.
<b>Barytine</b>	Sulfate de baryum ( $BaSO_4$ ) présent en concrétion très dense.
<b>Gypse</b>	Sulfate de calcium hydraté $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ de couleur blanchâtre et se présentant sous diverses formes, rayée par l'ongle ( $\neq$ anhydrite). Il est particulièrement soluble dans l'eau pure (2,01 g/l). Il forme avec l'eau du plâtre et a un comportement très plastique.
<b>Halite ou sel gemme</b>	Chlorure de sodium ( $NaCl$ ) blanc ou coloré ( <i>rosé à gris</i> ) par des impuretés.
<i>Rose des vents</i>	Variété de gypse formé grâce à l'action du vent dans le désert.
<b>Sylvinitite</b>	Chlorure de potassium ( $KCl$ ) blanc ou coloré en raison des impuretés contenues.



**Gypse**



**Anhydrite**



**Filon de barytine**

**Figure 2.16 : Exemples de roches salines (source : internet).**

**b. Roches siliceuses**

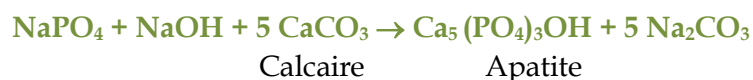
Il s'agit d'accidents (cfr. chapitre ci-dessus).

**c. Roches phosphatées**

Une *roche phosphatée* est une *roche riche en phosphate* ( $P_2O_5$ ) présents essentiellement sous forme de fluorapatite ( $Ca_5(PO_4)_3F$ ). Les dépôts de phosphates sédimentaires ou phosphorites (%  $P_2O_5 > 20$ ) sont relativement rares bien que le phosphate soit présent dans beaucoup de roche mais en quantité mineure.

Elle peut avoir 2 origines possibles :

- Une *altération de minéraux phosphatés* (apatite, turquoise, monazite, chalcophile) mis en solution dans l'eau. En mer, le phosphate  $PO_4^-$  est fixé par les organismes (*squelettes, dents et excréments*). A leur mort, de nouvelles solutions phosphatées se forment et sont précipitées sur la plateforme continentale à une profondeur comprise entre -30 et -100 m ou dans les grottes ;
- Une *origine de décalcification* selon la réaction suivante :



Elle comporte 3 types :

- La *phosphorite nodulaire* ou *litée* est le résultat d'une accumulation le long de la bordure océanique, formant, de ce fait, généralement un dépôt de grande dimension. Le mécanisme est la présence en phase de transgression, de courants d'upwelling qui favorisent la prolifération de phytoplanctons provoquant périodiquement une mortalité massive des poissons avec apport d'os et de matière organique riche en phosphore dans le sédiment. Le processus de transgression est accompagné d'une baisse d'apport terrigène réduisant la dilution des phosphates dans le sédiment ;
- Le "*bone bed*" est un niveau graveleux plus ou moins enrichi en débris de poissons et formé lorsque les courants de vague ou de marée concentrent les éléments les plus lourds en dépôts ponctuels. Au cours de la diagenèse, une phosphatisation plus poussée des sédiments (*croissance de nodules autour des fragments osseux, cimentation, ...*) peut avoir lieu ;
- Le *guano* provient des déjections d'oiseaux et représente un bon gisement de phosphate. La percolation dans le soubassement carbonaté des solutions dérivées du guano peut être responsable d'une phosphatisation secondaire.

Le phosphate est présent sous différentes formes : *Pseudo-oolithes* (fins grains arrondis), *minéraux bien cristallisés, débris* ou *concrétions* (nodules). Il contient souvent de la glauconie, des débris fossiles de grande taille, des matériaux détritiques et des hydrocarbures.

**Tableau 2.XXIII - Description des roches phosphatées.**

<b>Phosphorite</b>	<p>Terme imprécis pour une concrétion de phosphate disséminée dans une roche phosphatée. Aux Etats-Unis, le terme phosphorite est synonyme de roche phosphatée.</p> <p>Roche de décalcification caractéristique de grotte et de poche qui présente un encroûtement blanc jaune et peut contenir des argiles résiduelles et des concrétions ferrugineuses ou manganifères. Elle provient du lessivage des organismes et des excréments.</p>
--------------------	--



**Phosphorite**



**Développement de guano**

**Figure 2.17 :** Exemples de roches phosphatées (source : internet).

**d. Roches ferrugineuses et manganésifères**

Une *roche ferrugineuse* est une *roche qui contient plus de 10% de fer* sous forme de  $Fe^{2+}$  ou de  $Fe^{3+}$ . De même, une *roche manganésifère* (plus rare) est une *roche qui contient plus de 10% de manganèse*. Les deux roches sont souvent plus denses que les roches classiques.

Les ions de fer sont généralement présents dans les formes suivantes :

- La *sidérite* ou *carbonate de fer* ( $FeCO_3$ ) se forme suite à la perte de  $CO_2$  en milieu réducteur ou par remplacement de l'ion Ca avec conservation des structures antérieures ;
- Les *silicates hydratés* (*chamosite* et *glauconite*) sont liés à l'activité biologique sur des eaux saturées ;
- Les *oxydes et hydroxydes* (*hématite*, *limonite*) se forment en milieu oxydant éluvial (*argile sidérolithique*, *latérites*) ou marin (*minerais oolithiques du type "minette" ou grès ferrugineux*) ;
- Les *sulfures* (*pyrite*, *marcassite* :  $FeS$ ) sont associés à des processus de substitution (*géodes*, *nodules*).

La roche manganésifère est souvent étroitement liée aux roches ferrugineuses principalement de type oxydes, hydroxydes et carbonates.

**Tableau 2.XXIV - Description des roches ferrugineuses.**

<b>Alun</b>	Groupe de minéraux résultant généralement de l'altération de schiste riches en pyrite, par l'action de solutions sulfuriques sur des silicates de potassium et d'aluminium. L'alun était utilisé autrefois pour fixer les teintures.
<b>Bauxite</b>	Roche argileuse ( <i>kaolinite</i> ) contenant des hydrates de carbone et titanés ( <i>rutile</i> ) avec une structure pisolithique. De couleur blanche à rouge ( <i>fonction de la teneur en fer</i> ), c'est une roche tendre. C'est la roche mère de l'aluminium.
<b>Limonite</b>	Hydroxyde de fer ( $Fe(OH)_{2,3}$ ) présent sous forme oolithique. Couleur jaune brun.



**Bauxite**



**Limonite**



**Limonite oolithique**



**Alun**

**Figure 2.18 :** Exemples de roches ferrugineuses (source : internet).

**e. Roches sulfatées et nitratées**

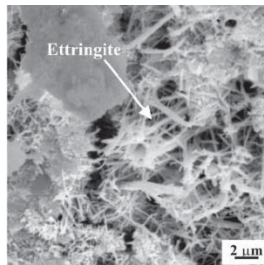
Une roche sulfatée est une roche riche en sulfates.

Les sulfates présentent la particularité de réagir chimiquement avec les aluminates en présence d'eau. Ce *phénomène d'alcali-réaction* qui aboutit à la formation de minéraux expansifs tels que l'*ettringite*, est souvent à l'origine de désordres importants sur les ouvrages fondés dans les sols renfermant des sulfates et traités à la chaux ou au ciment ainsi que sur les bétons enterrés selon le type de ciment utilisé.

<b>Caliche</b>	Terme ambigu désignant, soit un dépôt de nitrates alcalins du désert de l'Atacama ( <i>Amérique du Sud</i> ), soit une variété de croûte dure.
<b>Ettringite</b>	Minéral composé de sulfate de calcium et d'aluminium hydraté ( $Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}.26 H_2O$ ) dont la formation engendre un gonflement, notamment néfaste dans le domaine de la construction. Elles apparaissent souvent à l'état naturel dans les calcaires métasomatisés. Plusieurs type existent :
<i>Ettringite primaire</i>	Ettringite se formant rapidement et généralement en même temps que les autres minéraux. Le gonflement est donc compensé lors de la cristallisation de la matrice.
<i>Ettringite secondaire</i>	Ettringite se formant ultérieurement à la cristallisation de la roche au contact de l'eau, de l'alumine et du sulfate de calcium. Le gonflement ne pouvant être repris par les vides présents, il apparait des phénomènes ponctuels de gonflements avec développement de fissure.
<i>Ettringite de masse</i>	Ettringite se formant à haute température et présente généralement dans le béton de masse.



Ettringite primaire



Ettringite secondaire



Caliche

**Figure 2.19 :** Exemple de sulfates (source : internet).

### 2.3.3.5 Roches pyroclastiques

De faible abondance, les roches pyroclastiques sont le résultat de l'expulsion par les volcans explosifs, de *nuées ardentes* ou *tephras* qui sont en réalité composés d'une importante quantité de gaz brûlants à très forte pression et d'une masse considérable de débris de lave (*depuis la cendre jusqu'au bloc*) qui se déplacent à grande vitesse (100 km/h à plus), parfois sur d'importantes distances. Par la suite, ces débris se déposent et sont plus ou moins remaniés par l'air et l'eau. Ils sont présents généralement sur de vastes étendues.

Cette famille joue le rôle de transition entre la roche sédimentaire (*présence de strates*) et la roche volcanique (*origine du matériau*).

**Tableau 2.XXV - Description des roches pyroclastiques.**

	Ø < 2mm	Ø > 2mm	Meuble	Roche	
<b>Cendre</b>	○		○		Fragments fins (Ø < 2mm) de roches éruptives. De couleur blanchâtre à noire, elle brunit par altération et donne des sols fertiles.
<b>Cinérite</b>	○			○	Roche formée de cendres (Ø < 2 mm), de couleur blanche à noire, souvent tendre et poreuse.
<b>Tonstein</b>	○			○	Roche à grain très fin (Ø < 2mm), issue de l'altération de cendres. De couleur claire, elle est peu plastique et constitue un bon repère stratigraphique ( <i>Houiller</i> ).
<b>Lahar</b>	○	○	○		Boue constituée de matériaux pyroclastiques non consolidés et résultant de glissement suite à de forte pluie ou lors d'une éruption sous-glaciaire.
<b>Lappilis ou pouzzolane</b>		○	○		Fragments moyens à grossiers (Ø > 2mm) de roches éruptives.
<b>Agglomérat</b>		○		○	Assemblage chaotique et cimenté de débris anguleux de lappilis (Syn. : <i>brèche volcanique</i> ).
<b>Tuff ou tuffite</b>	○	○		○	Roche formée de fragments hétérogènes (Ø), pouvant présenter un granoclassement.
<b>Ignimbrite Tuf soudé</b>				○	Roche poreuse de granulométrie variée ( <i>fragments de verre, de cristaux, de débris de roche et de gaz</i> ), produit d'éruption explosive qui peut s'étendre sur de vastes étendues. Les éléments grossiers sont généralement concentrés vers le haut. Présence de grains soudés par la chaleur dans leur partie interne et caractère plan de la surface supérieure des dépôts.

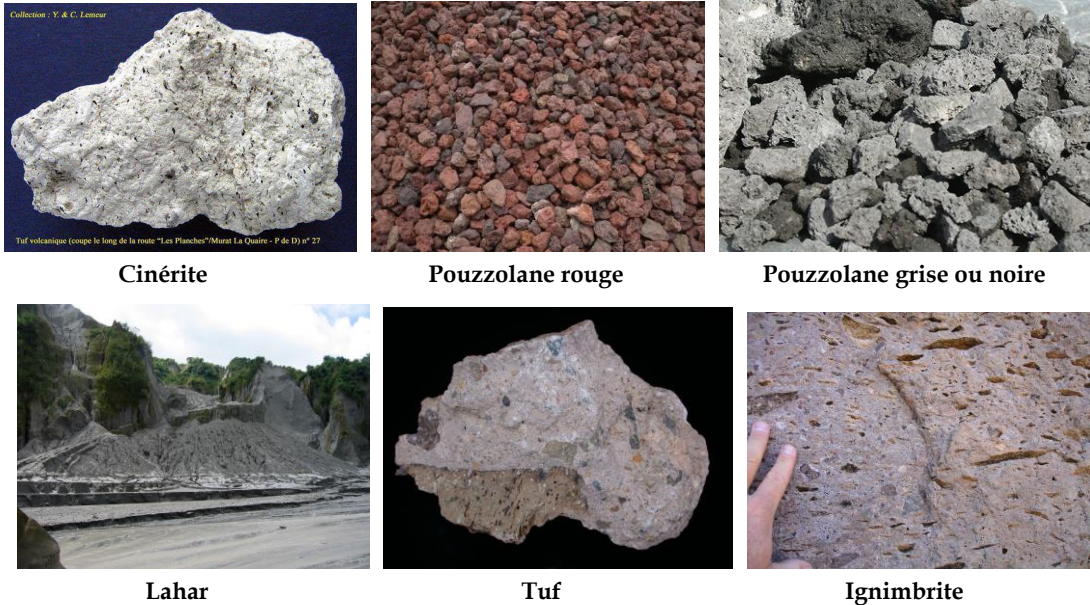


Figure 2.20 : Exemples de roches pyroclastiques (sources : internet).

### 2.3.3.6 Usages et intérêts économiques

Certaines roches sédimentaires sont utilisées directement pour leurs résistances mécaniques ou leurs propriétés chimiques.

- Les *terrains meubles* sont utilisés en fonction de leur nature lithologique, granulométrie et du classement de leurs éléments :
  - Certaines *argiles (kaolinite)* interviennent dans la fabrication de briques (*maçonnerie, terre crue*), tuiles, céramiques et porcelaines alors que d'autres (*montmorillonite*) sont utilisées pour le dégraissage des laines et le raffinage des huiles. Une certaine quantité d'argile intervient dans le cru de ciments spéciaux (*ciment blancs, ciment low-alkalis, etc.*). Une partie intervient dans les dispositifs d'étanchéité pour le génie civil ;
  - Certains *silts* sont également utilisés dans les tuiles, les briques, poteries et les céramiques ou utilisés comme matériaux de terrassement ;
  - Les *sables et graviers* sont utilisés comme granulats ou interviennent dans la fabrication de verre. Certains sables contiennent de petites quantités en terres rares.
- Les *roches sédimentaires* peuvent être utilisées dans les applications suivantes :
  - Les *granulats*. Les principales roches sédimentaires utilisées sont le calcaire, la dolomie, le grès et le quartzite ;
  - La  *pierre de taille*  pour la construction (*immeuble, pont, barrage, mur de soutènement, digue, etc.*). Les matériaux les plus couramment utilisés sont le calcaire, le grès et le quartzite ;
  - La  *matière première pour ciment, chaux et plâtre*  provient principalement du calcaire (*marneux ou pas*) et du gypse ;
  - Les *combustibles* comme les hydrocarbures, le charbon et la lignite. Son exploitation génère toutefois une grande production de CO<sub>2</sub>.

C'est dans les roches sédimentaires que se situent les principaux gîtes de fer, d'aluminium, de manganèse et de magnésium, et dans les alluvions les "placers" à or, à platine ou à pierres précieuses.

Enfin, deux propriétés particulières, la porosité et la perméabilité leur confèrent un rôle essentiel en permettant l'accumulation locale des fluides qui percolent à travers l'écorce terrestre. Il s'agit, soit des hydrocarbures qui migrent à partir des "roches mères" vers des pièges sédimentaires ou structuraux, soit de l'eau qui s'accumule dans des nappes. La recherche de ces pièges est une des applications majeures de la géologie.

## 2.4 ROCHES MAGMATIQUES

### 2.4.1 Généralités

#### 2.4.1.1 Caractéristiques communes

Les principales caractéristiques d'une roche magmatique sont les suivantes :

- Elle résulte de la **crystallisation d'un magma** (mélange visqueux en fusion à une température comprise entre 1 100 et 1 500°C). La remontée de ce dernier vers la surface s'accompagne d'une diminution de température mais surtout d'une forte réduction de la pression. Selon le mode de refroidissement, il existe 3 grandes familles :
  - Les **roches éruptives, extrusives ou volcaniques** se caractérisent par un refroidissement et une chute de pression très rapide à brutal où les grains n'ont pas eu le temps de s'organiser pour donner lieu à des minéraux visibles ;
  - Les **roches intrusives ou plutoniques** se caractérisent par un refroidissement plus lent qui permet une organisation des composants en minéraux visibles ;
  - Les **roches hydrothermales** sont un cas particulier puisqu'elles sont formées à partir de gaz ou de solutions de fluide à haute température.
- La **crystallisation différenciée** : Les principaux minéraux présents dans les roches magmatiques cristallisent à des moments différents lors du refroidissement du magma selon un certain ordre d'apparition (*diagramme de Bowen*). Au fur et à mesure de sa cristallisation, la composition chimique du magma devient de plus en plus acide. Selon la taille des cristaux dans une roche magmatique, il est possible de connaître son temps de refroidissement et son lieu de refroidissement.

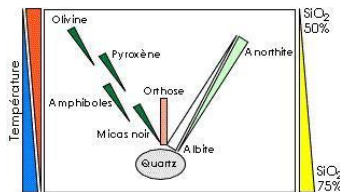


Figure 2.21 : Diagramme de Bowen concernant la cristallisation différenciée du magma (source : internet).

- La **présence de séries** : Un même magma peut fournir une succession de roches différentes déterminées par une série magmatique qui dépend des nombreuses conditions de formation. Trois à quatre séries principales existent : la **série tholéitique**, la **série alcaline**, la **série calco-alcaline** et les **mobilisats granitiques** (roches plutoniques uniquement).

#### 2.4.1.2 Types de gisement (roches intrusives)

La grande caractéristique des roches magmatiques intrusives est leur refroidissement dans une chambre magmatique. Celle-ci peut se présenter sous diverses formes. Chaque forme se caractérise par un comportement géomécanique et hydrogéologique différents.

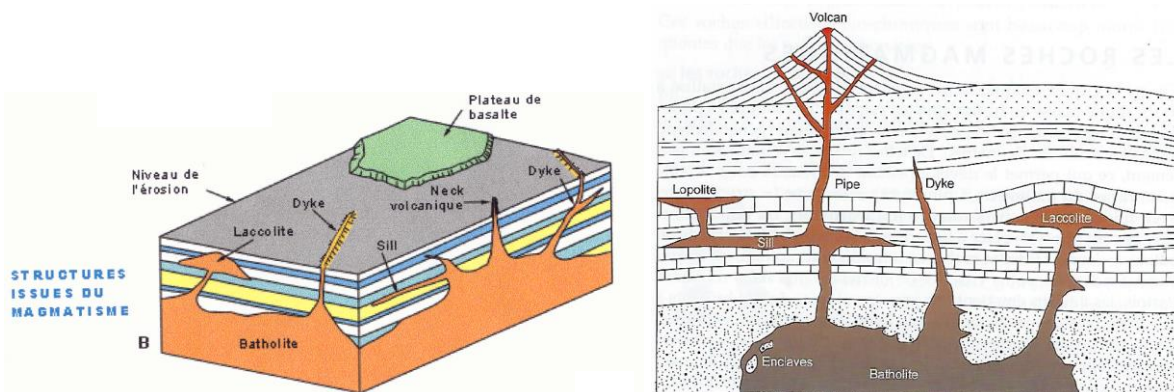


Figure 2.22 : Principales formes de chambres magmatiques (source : internet et Dejonghe (2007)).

**Tableau 2.XXVI - Principaux types de chambre des roches intrusives.**

FORMES	CARACTERISTIQUES
Batholithe	Vaste masse intrusive ( <i>pouvant atteindre plus de 100 km</i> ) de composition siliceuse se développant à travers tout un massif. Selon la profondeur de mise en place, 3 types : <i>catazonal</i> (HP, HT avec formation de migmatites), <i>mésazonal</i> (moyenne T et P) ou <i>épizonal</i> (faible T et P).
Dyke	Filon ou veine mince à large ( <i>ouverture comprise entre quelques centimètres et plusieurs kilomètres</i> ) et recoupant l'encaissant. Après érosion, il peut former une véritable barrière topographique.
Pipe ou neck <i>Pipe diamantifère</i>	Cheminée cylindrique verticale remplie de lave solidifiée et de morceaux de roche encaissante arrachée lors de la remontée du magma. Un exemple en Belgique est le pipe de Quenast ( <i>porphyre</i> ). Sorte de pipe riche en diamant suite à des conditions spécifiques de refroidissement.
Phacolithe	Corps concordant présent dans des roches plissées dont la mise en place s'est faite de manière passive. La composition du magma est variable.
Sill	Corps largement répandu, concordant à la structure de la roche encaissante non plissée, de faible épaisseur liée à l'épanchement d'un magma très visqueux. Une différenciation des minéraux peut être présente. Un exemple en Belgique est le sill de Lessines ( <i>porphyre</i> ).
<i>Laccolite</i>	Forme de sill lenticulaire dont la <i>surface inférieure</i> est plane et correspond généralement à une structure de la roche encaissante. Elle est due à un épanchement à faible profondeur d'une magma dense. Un exemple en Belgique est le laccolite de la Helle ( <i>tonalite</i> ).
<i>Lopolithe</i>	Forme de sill lenticulaire dont la <i>surface supérieure</i> est plane et correspond généralement à une structure de la roche encaissante.

Lors de la fin de la consolidation d'un massif magmatique, des cassures apparaissent généralement dans les roches encaissantes ainsi que dans les zones du massif déjà cristallisées suite à une contraction par refroidissement ou des déformations tectoniques. Le liquide magmatique résiduel s'injecte dès lors dans ces fissures et engendre un cortège de filons. Les roches qui y cristallisent sont généralement plus acides et la présence d'éléments volatils abondants peut provoquer la formation d'une roche anormalement grenue dénommée *pegmatite*. Ces filons présentent souvent un intérêt économique car certains éléments chimiques (*Sn, Cu, Pb, Zn, etc.*) y sont présents.

### 2.4.1.3 Textures et structures des roches magmatiques

La texture et la structure varient avec les conditions de mise en place et de refroidissement et avec la composition chimique du magma.

#### a. Textures fréquentes des roches magmatiques (2D)

La texture dépend principalement du mode de refroidissement :

- *Texture vitreuse* ou *amorphe* : Pas de cristaux visibles mais un aspect de verre, témoin d'un refroidissement ultra rapide ;
- *Texture microcristalline, microlitique, hypocristalline* ou *aphanitique* : Majorité de cristaux invisibles à l'œil nu (*microlites*) sauf quelques grains ;
- *Texture microgrenue* : Présence majoritaire de grains visibles au microscopique (> 50 %) et de grains visibles ;
- *Texture grenue, holocristalline, macrocristalline* ou *phanéritique* : La majorité des grains sont visibles à l'œil nu avec une taille très variable allant du millimètre à plusieurs centimètres. Il s'agit d'une texture caractéristique du refroidissement lent ;
- *Texture porphyrique* : Présence de quelques cristaux visibles à l'œil nu au sein de la matrice microcristalline ou vitreuse. Dans le cas de cristaux relativement bien développés (*phénocristaux*), il s'agit d'une texture *porphyroïde*.

REMARQUE : Le magma, lors de sa remontée, peut arracher des débris de roches encaissantes ; ce qui forme des *xénolithes* ou des *xénocristaux* noyés dans le matériau qu'il convient de différencier de la texture porphyroïde.

#### b. Structures fréquentes des roches magmatiques (3D)

- *Structure massive* : La roche est homogène et isotrope ;
- *Structure colonnaire* : La roche est débitée par des joints de retrait parfois disposés en prismes ;
- *Structure fluidale* : L'orientation parallèle de zones donnant un aspect rubané par l'alternance de bandes foncées et claires et évoquant un flux ;

- **Structure vésiculaire** : Structure d'une lave dont les constituants volatils se sont échappés suite à la diminution de pression en donnant un aspect spongieux ;
- **Structure à inclusions** : Structure dans laquelle sont observés des assemblages de minéraux identiques au cours du refroidissement ou des débris de roche encaissante lors de sa remontée (*xénolithe*) ;
- **Structure porphyrique** : Structure composée de grands cristaux de roches magmatiques pris dans une matrice de fins cristaux de composition similaire. Cette structure s'explique par une cristallisation en deux temps. Le magma a d'abord connu un refroidissement à grande profondeur (*formation de grands cristaux*) avant que tout le mélange remonte vers la surface pour y connaître un refroidissement rapide du magma restant qui se transforme ainsi en petits grains et forme ainsi la matrice ;

REMARQUE : La roche exploitée à Quenast, Saintes et Lessines n'est en réalité pas un porphyre mais une microdiorite.

- **Structure pegmatitique** : Présence de cristaux de taille importante (*décimétrique*).

## 2.4.2 Classifications

Il existe un grand nombre de classifications des roches magmatiques (*pratiquement chaque grand spécialiste a sa classification*), tant il existe une grande diversité de paramètres de classification (*origine, couleur, minéralogie, texture, granularité, etc.*).

### 2.4.2.1 Classification basée sur la couleur

La couleur dépend de la nature des minéraux composant la roche. Ainsi, les silicates (*quartz et feldspaths*) ont une couleur claire tandis que les minéraux contenant des ions Fe et Mg ont une couleur foncée.

Sur base de sa couleur, une roche peut être classée dans une des trois catégories suivantes :

- Une **leucocrate** ou **roche felsique** est de couleur claire car les minéraux clairs (*acides*) dominent sur les minéraux colorés (< 30% total). Elles correspondent aux roches sursaturées ;
- Une **mésocrate** a un pourcentage en éléments colorés compris entre 30 et 60 % du volume total. Elle regroupe les roches saturées ;
- Une **mélanocrate** ou **roche mafique** est sombre car riche en éléments ferromagnésiens (> 60 % d'éléments colorés). Elle caractérise les roches sous saturées.

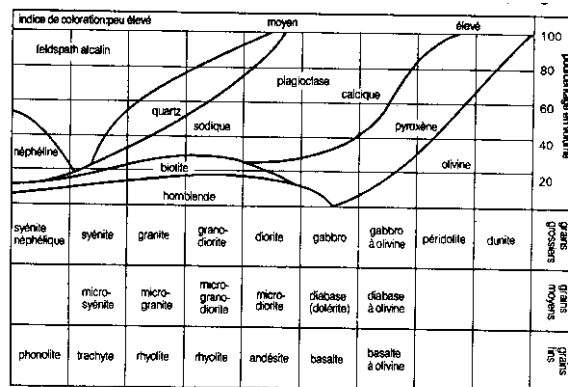


Figure 2.23 : Classification des roches magmatiques selon leur couleur (source : internet).

### 2.4.2.2 Classification simplifiée basée sur la teneur en silice

Cette classification se base sur la teneur en silice qui est un élément très abondant dans les roches magmatiques. Elle est souvent reprise dans d'autres classifications.

Tableau 2.XXVII - Classification simplifiée des roches magmatiques sur base de leur teneur en SiO<sub>2</sub>.

Pourcentage de SiO <sub>2</sub> (%)	Famille de roche	Exemple
> 66	Acide	Granite, syénite
52 – 66	Intermédiaire	Granodiorite
45 – 52	Basique	Diorite, gabbro, basalte, andésite
< 45	Ultrabasique	Péridodite, dunite



## 2.4.2.3 Classifications de Streckeisen (1967) et IUGS (1973)

La classification de **Streckeisen** est basée sur la texture et la minéralogie. Elle donne lieu à d'autres classifications. Elle a été modifiée par l'IUGS (*International Union of Geological Sciences*).

Elle présente comme avantage, le fait d'être relativement simple à utiliser sur le terrain (*première estimation*) tout en fournissant des renseignements sur l'origine, la nature et les caractéristiques de la roche. Des lames minces et des analyses chimiques (*notamment pour les roches éruptives*) permettent d'affiner les observations de terrain.

Plusieurs opérations sont nécessaires pour rentrer dans le tableau qui se présente sous forme de deux triangles renversés sur base de la teneur en SiO<sub>2</sub>. Le tableau supérieur concerne les **roches acides** ou **saturées** tandis que le tableau inférieur concerne les **roches basiques** ou **sous saturées**. Un troisième triangle s'applique pour les roches riches en olivines et pyroxènes (> 90%).

**REMARQUE :** Aucune roche ne peut figurer dans les deux premiers triangles en raison de l'incompatibilité chimique entre le quartz (*roches saturées*) et les feldspathoïdes (*roches sous saturées*).

- La première opération consiste à déterminer le **diamètre moyen des grains** afin de distinguer les roches éruptives (*termes en rouge*) et les roches intrusives (*termes en noir*) ;
- La deuxième opération consiste à **déterminer les proportions relatives de 3 des 5 minéraux** (ou familles de minéraux) que sont le quartz, les feldspaths alcalins, les feldspaths plagioclases, les feldspathoïdes et les ferromagnésiens (*triangle à part si teneur supérieure à 90%*). Leur reconnaissance est généralement aisée à faire sur le terrain à l'exception de la néphéline qui présente des similitudes avec le quartz. Ces similitudes disparaissent lors de l'examen à la lame mince ;
- La troisième opération consiste à **fournir un nom à la roche**. Certaines cases contiennent deux noms. Celui-ci est généralement accompagné d'un ou plusieurs adjectifs comme par exemple, **leucogranite** (*granite pauvre en minéraux mafiques*) ou **melagranite** (*riche en minéraux mafiques*), granite rose à biotite, basalte à olivine.



**Figure 2.24 -** Classification de Streckeisen (1967 - 1974). Les noms en majuscules sont des roches intrusives tandis que les noms en minuscules correspondent aux roches éruptives (source : internet).

Par contre, elle présente les inconvénients suivants :

- **Elle demeure arbitraire** car les variations de composition chimique et minéralogique sont progressives et continues comme l'indiquent certains noms de roche (*granodiorite, monzosyérite, ...*) ;
- **Elle ne couvre pas toutes les roches magmatiques**. Ainsi, les roches dont le nom provient principalement de la texture et secondairement du contenu minéralogique telles que les pegmatites, les obsidiennes, les tuffs et les brèches ne sont pas reprises. De même, les roches mono-minérales sont souvent ignorées ;
- **Il peut y avoir deux noms pour une même case** : La distinction se fait alors sur d'autres paramètres non repris dans le diagramme. Ainsi, le gabbro se distingue de la diorite par une teneur plus riche en éléments mafiques (> 35% - *identification visuelle*) et par une composition plus calcique (*analyse en laboratoire*). De même, la distinction entre un basalte et une andésite est basée sur la teneur en SiO<sub>2</sub> (>

52% pour l'andésite) et moins sur la composition du plagioclase (composition plus sodique pour l'andésite) qui est plus difficile à apprécier en raison de la présence d'un zonage ;

- Elle ne met pas en évidence l'abondance relative des diverses familles. 95 % des roches plutoniques sont des granites alors que 90 % des roches volcaniques sont des basaltes.

### 2.4.2.4 Classification de Clayton, Simons et Matthews (1982)

Cette classification est basée sur la texture et la teneur en SiO<sub>2</sub>.

Tableau 2.XXVIII - Classification des roches magmatiques selon Clayton, Simons et Matthews (1982).

		% SiO <sub>2</sub>	Acide	Intermédiaire	Basique	Ultrabasique
		Texture	Teinte claire car riche en quartz et feldspaths	Teinte claire à sombre	Teinte sombre car plus riche en éléments ferromagnésiens	Teinte sombre
		Densité	Faible (2,6)	Moyenne (2,7 - 2,8)	Elevée (2,9)	
		Composition minéralogique	Quartz + Feldspath + Mica	Feldspath	Feldspath + Feldspathoïde	Olivine
		Densité	Roche légère			Roche lourde
Roche intrusive	60 mm	<b>Pegmatitique</b>	<b>Pegmatite</b> Roche constituée de grands minéraux bien développés et de quartz, de feldspaths, de micas et minéraux accessoires			
	2 mm	<b>Grenue</b> (> 50 % des grains visibles à l'œil nu) Refroidissement lent dans des grandes poches	<b>Granite</b> <b>Granodiorite</b>  Roche constituée de plus de 20 % de minéraux équigranulaires de quartz et de feldspaths en abondance	<b>Diorite</b> <b>Syénite</b>  Roche constituée de moins de 20 % de minéraux ± équigranulaires de quartz et de feldspaths + hornblende	<b>Gabbro</b> <b>Norite et ijolite</b>  Roche sombre à verdâtre constituée de nombreux feldspaths plagioclases, d'augites et de quelques olivines Roche souvent dense	<b>Péridotite</b> <b>Dunite</b>  Roche granulaire constituée d'olivine (40-100%) et de pyroxène sans feldspath.  Dunite : Roche contenant 90 à 100 % d'olivine
	0,06 mm	<b>Microgrenue</b> (< 50 % des grains visible à l'œil nu) Refroidissement moyen dans des dykes ou sills	<b>Microgranite</b>  Composition similaire au granite	<b>Microdiorite</b> <b>Porphyre</b>  Composition similaire au diorite	<b>Dolérite</b>  Composition similaire au gabbro	<b>Serpentinite</b>  Roche vert foncé à noire de composition = péridotite avec nombreux minéraux fibrés et/ou lités. Toucher doux
Roche extrusive		<b>Microlithique</b> (<10 % des grains visibles à l'œil nu) Refroidissement rapide	<b>Rhyolite</b> <b>Felsite</b>  Roche rose et souvent litée	<b>Trachyte</b> <b>Andésite</b>  Roche de couleur moyenne à sombre et fréquemment <i>porphyrique</i>	<b>Basalte</b>  Roche noire ( <i>fraîche</i> ) à gris vert ( <i>altérée</i> ). Roche souvent vésiculaire à amygdaloïdale	<b>Pyroxenolite</b>  Roche foncée constituée de pyroxènes (60-100%) et d'olivine
		<b>Vitreuse</b> (Pas de minéraux)	<b>Obsidienne</b> <b>Ponce</b> <b>Pechstein</b>			

### 2.4.2.5 Classifications chimiques

Il existe également un grand nombre de classifications basées sur la composition chimique principale de la roche. La majorité des roches ignées sont composés principalement de 8 éléments chimiques (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K et Mg). Cette composition théorique peut contraster avec la composition réelle de la roche.

Parmi celles-ci, il convient de citer la *classification CIPW* (Cross, Iddings, Pirsson et Washington - 1902).

## 2.4.2.6 Classification normalisée des roches magmatiques (PTV 844)

Cette classification concerne l'ensemble des pierres intervenant dans la construction. Il s'agit d'une classification simplifiée basée sur la classification de Streckeisen à laquelle certaines normes (NBN EN 12670) font référence.

Elle est faite en fonction des proportions des minéraux essentiels présents dans la roche. Elle est utilisée en microscopie en quantifiant précisément les différents minéraux mais elle est également d'usage pour une description macroscopique sachant que la quantité et la nature relative des principaux minéraux confère un aspect macroscopique variable à la roche. Pour exemple, un granite montre souvent une couleur dominante rose (*minéraux gris et rose de grande taille*) ponctuée de petits minéraux noirs, un gabbro, une couleur foncée et une diorite, un aspect plus gris.

Cette classification distingue 3 catégories de roches ignées :

- Les **roches plutoniques** de profondeur à refroidissement lent ;
- Les **roches volcaniques** (*effusives*) à refroidissement rapide ;
- Les **roches filoniennes** (*péri-plutoniques ou hypovolcaniques*).

Outre ces trois familles, il existe des roches intermédiaires entre plutoniques et volcaniques. Elles se caractérisent par une structure microgrenue (*grains à peine visibles à l'œil*).

La roche est dite **acide** si le minéral dominant est le quartz et **basique** si le minéral dominant est de nature ferro-magnésienne comme les pyroxènes.

**REMARQUE :** Le PTV 844 signale qu'en Belgique, la seule roche de ce type est dénommée "porphyre" mais qu'il s'agit en réalité d'une microdiorite quartzitique à structure porphyrique (*présence de gros grains*). Elle appartient à la classe 1.3.2.1.

**Tableau 2.XXIX – Classification des roches magmatiques selon le PTV 844.**

NIVEAU 1		NIVEAU 2		NIVEAU 3		NIVEAU 4	
1	roches ignées						
		1.1	plutoniques				
				1.1.1	acide		
						1.1.1.1	syénite
						1.1.1.2	granite
						1.1.1.3	granodiorite
				1.1.2	neutre		
						1.1.2.1	diorite
						1.1.2.2	monzonite
				1.1.3	basique		
						1.1.3.1	gabbro
				1.1.4	ultrabasique		
						1.1.4.1	péridotite
						1.1.4.2	dunite
				1.1.5	foïdolite		
		1.2	volcaniques				
				1.2.1	acide		
						1.2.1.1	trachite
						1.2.1.2	rhyolite
						1.2.1.3	dacite
				1.2.2	neutre		
						1.2.2.1	andésite
						1.2.2.2	latite
				1.2.3	basique		
						1.2.3.1	basalte
				1.2.4	ultrabasique		
						1.2.4.1	téphrite
				1.2.5	pyroclastique		
						1.2.5.1	tuf volcanique
		1.3	filoniennes (subvolcaniques)				
				1.3.1	acide		
						1.3.1.1	pegmatite
						1.3.1.2	microsyénite
						1.3.1.3	aplite
				1.3.2	neutre		
						1.3.2.1	microdiorite
				1.3.3	basique		
						1.3.3.1	microgabbro/dolérite
						1.3.3.2	dolérite

## 2.4.3 Description des roches magmatiques

### 2.4.3.1 Roches éruptives, extrusives ou volcaniques

Suite à une arrivée brutale en surface et donc à un refroidissement très rapide, la lave se fige sur place et ne permet pas à ses éléments constitutifs de se combiner et de se développer. La texture est dès lors vitrifiée (*pas de cristaux visibles*) ou microgrenue avec développement de quelques phénocristaux (*cristaux visibles à l'œil nu*) ou de microlites flottant dans un fond amorphe. Dans le cas de refroidissement ultra-rapide, le magma forme un verre isotrope appelé obsidienne.

Le phénomène de cristallisation fractionnée est souvent observé au sein d'un même gisement.

La lave qui arrive à la surface, peut avoir 2 comportements distincts :

- Un **comportement visqueux** : La lave se meut à très faible vitesse et se fige à proximité de la source. Une mince couche superficielle solide se forme rapidement, en dessous de laquelle la lave continue à fluer. Cette couche superficielle a tendance à se briser en blocs irréguliers en donnant un aspect chaotique ;
- Un **comportement fluide** : La lave se meut à une vitesse plus rapide (10 - 70 km/h) et peut dès lors, se figer à plus grande distance de la source. Grâce à leur fluidité, elles peuvent donner lieu à de nombreuses formes telles que les laves cordées, les perles et les cheveux de Pelé.

Les coulées volcaniques représentent d'excellents réservoirs aquifères pour autant qu'elles possèdent une structure vacuolaire et des joints ouverts

**Tableau 2.XXX - Description des roches extrusives ou volcaniques.**

<b>Andésite</b>	Roche volcanique basique de couleur foncée et constituée principalement de feldspath plagioclase ( <i>de type sodique</i> ) et de biotite ou de hornblende en plus petite quantité. La roche apparaît sous forme de coulée de lave et de dyke.
<b>Basalte</b>	Roche volcanique de couleur vert foncé et composée principalement de feldspath plagioclase ( <i>de type calcique</i> ) et de pyroxène. Cette roche courante a souvent une texture vésiculaire, préservant les restes des bulles produites par la vapeur en expansion quand la lave se refroidit et se solidifie.
<b>Eurite</b>	Roche souvent volcanique à grains fins formée d'un mélange intime de quartz et de feldspath.
<b>Labradorite</b>	Roche volcanique riche en plagioclase ( <i>labrador</i> ), pauvre en minéraux ferromagnésiens et souvent associée au basalte.
<b>Leucitite</b>	Roche volcanique rare formée de feldspathoïde ( <i>leucite</i> ) pris dans une pâte noirâtre à augite ou parfois à olivine.
<b>Phonolite</b>	Roche volcanique de couleur grise à verdâtre et contenant des feldspaths, des feldspathoïdes ( <i>néphéline</i> ) et quelques éléments ferromagnésiens. Elle se caractérise par un son particulier lorsque de coups sur les dalles.
<b>Ponce</b>	Roche très poreuse due aux gaz présents dans la roche fondue. Roche légère utilisée comme abrasif et dont la majeure partie du volume est constituée de cavités.
<b>Pyroxenolite</b>	Roche volcanique ultrabasique, noire et composée principalement de pyroxènes. Parfois appelé pyroxénite.
<b>Rhyolite</b>	Roche volcanique acide composée principalement de quartz (20-60%), de feldspaths et de micas. De couleur gris à rouge claire, sa texture est vitreuse et contient peu de phénocristaux. Sa structure est variée ( <i>en bandes, en lignes ou uniforme</i> ). C'est l'équivalent volcanique du granite.
<b>Obsidienne</b>	Il existe de nombreuses variétés entièrement vitreuses tels que :
<b>Pechstein</b>	<i>Espèce de rhyolite complètement vitreuse de couleur noire et à cassure lisse brillante.</i>
<b>Perlite</b>	<i>Espèce de rhyolite complètement vitreuse de couleur brune, hydratée et à l'aspect poisseux.</i>
<b>Trachyte</b>	<i>Espèce de rhyolite complètement vitreuse riche en H<sub>2</sub>O et se fragmentant en petites sphères.</i>
	Roche volcanique composée principalement de feldspath et d'un peu de quartz. De couleur grise, cette roche est un peu poreuse et donc légère.



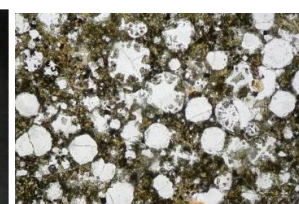
**Andésite**



**Basalte**



**Labradorite**



**Leucitite**



Figure 2.25 : Exemples de roches extrusives ou volcaniques (source : internet).

## 2.4.3.2 Roches intrusives ou plutoniques

Une roche intrusive se caractérise par les caractéristiques suivantes :

- La **mise en place en profondeur** : Elle se met en place en profondeur dans une poche où les variations de température et de pression sont plus faibles. Le refroidissement est donc plus lent ; ce qui permet l'apparition et le développement des minéraux. La roche ainsi obtenue présente des minéraux visibles à l'œil nu et imbriqués les uns contre les autres (*structure grenue à pegmatitique*) ;
- La **présence de différents cristallisations fractionnée** : Le refroidissement lent du magma dans une poche provoque plusieurs comportements qui s'entremêlent les uns aux autres :
  - Une **cristallisation fractionnée des silicates**. Les premiers minéraux insolubles dans le magma s'édifient librement en cristaux aux formes bien faites (*cristaux idiomorphes*). A fur et à mesure du refroidissement, d'autres minéraux apparaissent, comblent les espaces vides et donnent des cristaux aux faces mal définies ;
  - Une **différenciation gravifique** est réalisée, via des phénomènes de diffusion, de courants de convection et de migration des minéraux qui répartissent les minéraux néoformés suivant leur poids spécifique. Les minéraux denses s'enfoncent dans le magma tandis que les minéraux légers remontent. Cela conduit à la superposition d'entités chimiques distinctes ;
  - Une **différenciation chimique** fournit une séparation entre les roches basiques (*gabro*) et les roches acides (*granite*) en passant par les roches intermédiaires (*diorite*). Les roches acides sont les plus répandues ;
  - Une **différenciation résiduelle** : La concentration de gaz (*vers le sommet de la poche*) modifie la structure des minéraux existants. Ainsi, en bordure de massifs granitiques, sont observés souvent des roches riches en bore et en fluor (*apatite, tourmaline, etc*). Cette différenciation donne lieu à des gîtes métallifères.
- La **forme du gisement** : Deux types distincts existent, principalement au niveau des granites :
  - Le **massif discordant ou post-tectonique** est un *massif circonscrit* parfois appelés *batholite* qui recoupe à l'emporte-pièce, la roche encaissante. Il ne s'enracine pas très profondément mais forme un véritable champignon avec une épaisseur parfois importante (*plusieurs kilomètres*). Le contact avec la roche encaissante montre une transformation thermique de celle-ci dite métamorphisme de contact ;
  - Le **massif concordant ou syntectonique** est un *massif dont les limites constituent une transition progressive entre un granite et la roche encaissante* appelé généralement *granite d'anatexie*.

Dans le cas de formation à faible profondeur, la roche encaissante ayant un comportement cassant, a tendance à se fissurer et le magma s'infiltrer à travers ces fissures.

Le tableau ci-dessous ne décrit pas les roches intermédiaires telles que les granodiorites, les monzodiorites, etc.

**Tableau 2.XXXI - Description des principales roches intrusives ou plutoniques.**

<b>Anorthosite</b>	Roche intrusive intermédiaire, grenue de couleur blanchâtre à grisâtre et composée principalement de feldspath plagioclase (80-90%) et de quelques minéraux isolés ( <i>pyroxène, hornblende, biotite et parfois grenat, spinelle corindon</i> ). Ressemble à un granite.
<b>Diorite</b>	Roche intrusive intermédiaire grenue de couleur gris - blanc et composée principalement de feldspath plagioclase ( <i>de nature sodique</i> ) et d'amphibole ( <i>alumine dominante</i> ). Le quartz et les pyroxènes sont rares ou absents. Elle se présente sous forme de petit massif isolé ou est liée à certains granites et gabbros. Un exemple en Belgique est le porphyre de Quenast ( <i>microdiorite</i> ).
<b>Tonalite</b>	Espèce de diorite contenant beaucoup de quartz souvent interstitiel. Un exemple en Belgique est la tonalité de la Helle.
<b>Gabbro</b>	Roche intrusive intermédiaire grenue de couleur vert foncé et composée principalement de feldspath plagioclase ( <i>de nature calcique</i> ) et de pyroxène. Cette roche est facilement altérée avec saussuritisation <sup>1</sup> des plagioclases et ouralisation des pyroxènes.
<b>Dolérite</b>	Roche similaire au gabbro, caractérisée par des grains visibles seulement à la loupe.
<b>Diabase</b>	Dolérite altérée verte. Ce terme désigne une dolérite dans la littérature anglo-saxonne.
<b>Granite</b> <i>(voir remarque)</i>	Roche intrusive acide de couleur tachetée et composée principalement de grains de 2 à 5 mm de quartz, de feldspaths, de micas et d'amphiboles. La texture est souvent isométrique. Roche très résistante à l'altération et très fréquente. Assez bien répandu à la surface de la terre.
<b>Pegmatite</b>	Granite à gros grains rosés de feldspath K dus à un refroidissement exceptionnellement lent de ces derniers.
<b>Ijolite</b>	Roche intrusive ultrabasique, grenue de couleur claire et composée de 50 à 70 % de feldspathoïdes ( <i>néphéline</i> ). Elle est exceptionnelle.
<b>Kimberlite</b>	Roche intrusive ultrabasique microgrenue de couleur sombre contenant de l'olivine, du mica, des débris de roche encaissante et parfois des diamants. Cette roche s'est mise en place rapidement dans une cheminée.
<b>Lamprophyre</b>	Roche filonienne microgrenue grise constitué principalement de mica noir et/ou d'amphibole brune ( <i>jusqu'à 25 %</i> ) et d'un peu d'olivine et de quartz ( <i>composition variée</i> ). Cette roche contient des enclaves.
<b>Kersantite</b>	Variété de lamprophyre à grands cristaux de biotite et d'olivine altérée.
<b>Monzonite</b>	Roche intrusive, basique, grenue de couleur claire et composée d'un mélange de feldspath alcalin et de feldspath plagioclase. Il s'agit de faciès de transition entre les syénites et les diorites.
<b>Péridotite</b>	Roche intrusive composée d'olivine (40-100%), de pyroxène et d'amphibole.
<b>Pyroxénite</b>	Roche composée presque entièrement de pyroxène.
<b>Hornblendite</b>	Variété rare formée essentiellement de hornblende.
<b>Serpentine</b>	Olivine totalement altérée.
<b>Porphyre</b>	Roche intrusive à structure porphyrique de couleur variée souvent sombre montrant de grands cristaux de feldspath dispersés dans une matrice aphanitique. Le clivage est peu présent. Bonnes résistances mais polissage rapide.
<b>Syénite</b>	Roche intrusive basique composée principalement de feldspath et d'un peu de quartz. Cette roche ressemble beaucoup au granite.

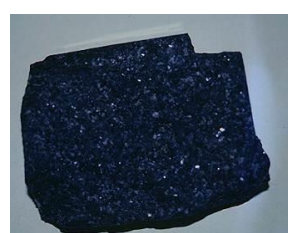
**REMARQUE :** Il existe une différence entre les termes granite et granit. Le granite est un terme géologique désignant une roche magmatique intrusive alors que le granit est un terme utilisé par les professionnels de la filière pierre et désignant une roche plutonique à texture grenue dont le granite. Il peut également désigner un calcaire à grains fins.



**Anorthosite**



**Diorite**



**Gabbro**



**Granite**

<sup>1</sup> Saussuritisation : Altération du plagioclase en épidote.

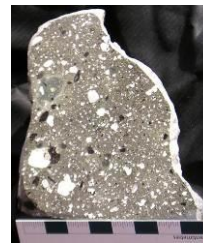
Ouralisation : Transformation du pyroxène en amphibole vert pâle (*actinote et hornblende*).



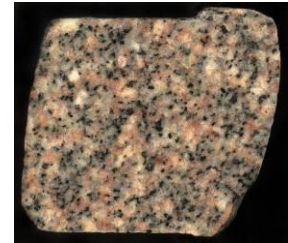
Ijolite



Kimberlite



Lamprophyre



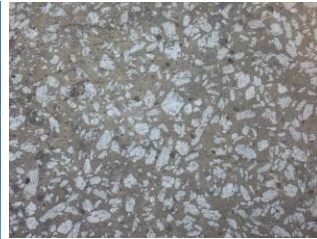
Monzonite



Pegmatite



Peridotite



Porphyre



Syénite

Figure 2.26 : Exemples de roches intrusives ou plutoniques (source : internet).

## 2.4.4 Usages et intérêts économiques

- Une **roche intrusive** (*granite, gabbro, porphyre, etc.*) fournit un bon matériau de construction, de décoration ou d'empierrement (*pavés, dalle, ballast, etc.*), en raison de ses très bonnes caractéristiques. Les filons à pegmatite présentent un grand nombre d'éléments chimiques utiles (*Sn, Cu, Pb, Zn, ...*) et de minéraux de grande taille exploités industriellement tels que les micas (*chauffage, éclairage, électricité*) et le quartz (*optique, propriétés piézoélectriques*) ;
- Une **roche éruptive** (*basalte, rhyolite, ...*) peut être utilisée comme matériaux de décoration et comme granulats (*empierrement, ballast*) en raison de ses bonnes propriétés. Par contre, elle ne peut être utilisée comme pierre de taille, étant donné la grande difficulté de débitage en blocs à l'exception de certains basaltes ;
- La **Pierre ponce** et la **cinérite** conviennent à la fabrication de matériaux légers de construction, d'isolants calorifiques et acoustiques. Des produits similaires (*pouzzolanes*) sont utilisés en mélange avec le ciment Portland pour former certains ciments particuliers. D'autres produits, comme la perlite (*sorte d'obsidienne*), est également utilisée dans la fabrication de charges et d'engrais. Enfin, la bentonite issue de l'altération des cendres volcaniques, est utilisée dans de nombreuses applications (*boue, fonderie, ...*) ;
- Les **fumerolles** et **autres sources de vapeurs volcaniques** fournissent des matières exploitées par les usines chimiques comme les carbonates d'ammonium et de sodium, l'acide borique, le soufre, le méthane et l'hélium. Ce sont également des sources d'énergie à bas prix.

Du point de vue exploitation, les variations latérales de nature et de structures, l'empilement de couches très hétérogènes (*laves, scories, cendres*), l'altération inégale surtout en climat chaud et humide ainsi que la présence de nombreux joints conditionnent les modes d'extraction. De plus, les fortes résistances (*compression et traction*) nécessitent l'application de techniques particulières de creusement.

## 2.5 ROCHES METAMORPHIQUES

### 2.5.1 Caractéristiques communes

#### 2.5.1.1 Principales propriétés communes

Les roches métamorphiques se caractérisent par les propriétés communes suivantes :

- Une **transformation à l'état solide** : Toute roche métamorphique résulte d'une transformation à l'état solide ou semi fluide d'une roche préexistante instable suite à des modifications physiques (*principalement température et pression*) et/ou chimiques du milieu. La roche néoformée devient alors en équilibre avec les nouvelles conditions du milieu. Le métamorphisme est compris entre la fin de la diagenèse et la fusion partielle (*migmatite*) ou totale (*anatexie*) des roches ;
- Un **changement minéralogique** : Le métamorphisme se traduit par l'apparition et la croissance de nouveaux minéraux stables avec (*métamorphisme allochimique* ou *métasomatisme*) ou sans apport supplémentaire d'ions (*métamorphisme isochimique*). La présence de certains minéraux (*andalousite, sillimanite, cyanite*) permet de connaître le degré de métamorphisme de la roche ;
- **L'influence de la roche parentale** :
  - Une origine sédimentaire fournit une roche **paramétamorphique**. Ainsi, une argilite se transforme selon l'intensité du métamorphisme, en ardoise, phyllite ou schiste métamorphique. Une arkose (*composition d'un granite*) donne lieu à un **paragneiss**. Un calcaire se transforme en marbre ;
  - Une origine magmatique fournit une roche **orthométamorphique**. Ainsi, un granite ou une rhyolite se transforme souvent en **orthoigneiss**. Un basalte devient une amphibolite ;
  - Une origine métamorphique fournit une roche **polymétamorphique**. En général, le métamorphisme s'opère en condition croissante de température. Cependant le métamorphisme qui apparaît lors de la diminution de température, est appelé métamorphisme *rétrograde*.
- Une **modification de la texture et de la structure** avec généralement apparition d'une certaine orientation liée à l'application d'une contrainte unidirectionnelle (*schistosité, foliation, boudinage, microplissement, etc.*). Les nouveaux minéraux sont appelés **blastes** ;
- Les **variations temporelles des paramètres du métamorphisme** :
  - La **température** (100-800°C) accélère les processus de transformation. L'augmentation de la température provient, soit de l'enfouissement progressif de la roche à grande profondeur (*gradient thermal de 3°C/1 km*), soit de la mise en place d'un massif magmatique chaud à proximité. Le métamorphisme est dit **progressif**. Dans le cas où la température intervient seule, il s'agit d'un **métamorphisme thermal** (*cas rare*) ;
  - La **pression** (1 - 4 kbars) intervient à deux niveaux :
    - La **pression confinée** ou **hydrostatique** augmente avec la profondeur et modifie les propriétés physiques des roches, les rendant plus ductiles, voire capables de fluer. Cette pression tend à inhiber les réactions qui impliquent une augmentation de volume par le départ de composés gazeux (*destruction de la calcite par le départ du CO<sub>2</sub>*) et tend à produire des minéraux denses tels que les grenats et la cyanite ;
    - La **pression déviatorique** ou **contrainte déviatorique** liée aux mouvements tectoniques, se caractérise généralement par une anisotropie. De plus, selon la température, plusieurs comportements sont observés. A faible température, la roche subit un broyage des grains (*comportement cassant*) donnant une **roche cataclastique**. Par contre, à haute température, la recristallisation de la matière fournit une **tectonite** ;
  - La **présence d'un fluide interstitiel** dans les fissures interstitielles et les plans de clivage lors du métamorphisme permet un échange permanent d'ions entre la phase solide et la phase liquide facilitant ainsi les principales modifications (*destruction des anciens et apparition de nouveaux grains*), l'augmentation de la vitesse des réactions entre les minéraux et la migration éventuelle d'éléments chimique en dehors du système ;
- La **suppression quasi totale du passé de la roche** : Le métamorphisme a tendance à supprimer toutes traces du passé de la roche, bien que peuvent subsister certaines associations de minéraux, des reliques d'anciens minéraux, d'anciennes textures ou structures. Pour cette raison, Il est très difficile de pouvoir dater ces roches.



## 2.5.1.2 Types de métamorphisme

Le métamorphisme se traduit par de nombreux processus intervenant dans plusieurs contextes géologiques. Il faut noter qu'à l'exception du métamorphisme d'impact, les autres types montrent une gradation.

**Tableau 2.XXXII - Types de métamorphisme**

Type de métamorphisme		Paramètres			Orientation	Contexte géologique	Types de roche
		T°	P	Fluide			
Local	De contact	●				Intrusion proche de magma ⇒ Développement zonaire et limité.	Schiste tacheté, schiste noduleux et cornéenne
	Cataclastique ou Dynamique	(●)	●	(●)	●	Zone d'influence des failles et charriage ⇒ bréchification et granularisation.	Mylonite, brèche.
	Impact	●	●	●		Impact de météorites à grande vitesse.	Microtectite + minéraux denses et coésite ( <i>grains de quartz fracturé</i> ).
	Hydrothermal	(●)	(●)	●		Réactions chimiques dues à la circulation de fluide ( <i>fonds des océans et rides océaniques</i> ) ⇒ <b>Métasomatisme</b>	Skarn
	Rétrométamorphisme	●	●			Transformation en une autre roche métamorphique de plus faible intensité	
Régional	Enfouissement	●	●	(●)	●	Enfouissement des roches	Grande variété de roches métamorphiques Présence locale d'anatexie
	Dynamothermique ( <i>formation de montagne</i> )	●	●	(●)	●	Présence d'une schistosité ou d'une foliation	

## 2.5.1.3 Textures et structures des roches métamorphiques

Il existe une grande variété de textures et de structures dans les roches métamorphiques.

Les minéraux métamorphiques croissent dans la roche à l'état solide en se "battant" avec leurs voisins afin d'acquérir le plus grand volume. Cela donne naissance à des textures différentes de celles des roches magmatiques et caractérisées par plusieurs paramètres.

- La **forme des grains** : La majorité des grains (*anhédrales*) présente des formes entières bien définies. Toutefois, certains grains présentent des contours bien définis dans une, deux ou les trois directions (*euhédrales*) tels que les micas. Le quartz et les feldspaths ont une structure cristalline plus lâche et se présentent exceptionnellement en beaux grains ;
- La **taille des grains** peut être très variable et dépend des nombreux paramètres. Certaines roches métamorphiques contiennent des grains plus grossiers appelés **porphyroblastes** qui, ayant grandi en même temps que le reste de la roche ou peu après, montrent des déformations de la texture de la roche et contiennent de nombreuses inclusions (*texture poeciloblastique*) disposés soit selon le réseau cristallin du minéral constitutif, soit n'importe comment ;
- La **présence éventuelle d'une contrainte déviatorique** qui engendre une orientation préférentielle des éléments sous forme de linéation, de schistosité ou de foliation qu'il convient de définir à ce stade :
  - **Linéation** : Terme général désignant toute structure linéaire acquise tectoniquement et donnant lieu à des lignes parallèles entre elles ;
  - **Schistosité métamorphique** (*cleavage en anglais*) : Feuilletage plus ou moins serré acquis sous l'influence de contraintes tectoniques, distinct de la stratification et selon laquelle la roche peut se débiter en lames plus ou moins régulières et épaisses ;
  - **Foliation** : Structure fournissant une différenciation pétrographique donnant ainsi un aspect rubané à la roche.

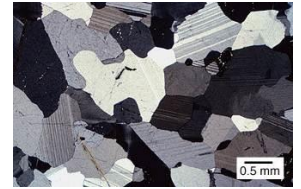
- **Boudinage** : Tronçonnage par étirement d'une couche rigide entre deux couches plastiques donnant lieu à des boudins séparés entre eux par des matériaux des couches plastiques ou de nouvelles cristallisations ;
- **Microplissement** : Plis de petite taille.

### a. Texture sans foliation visible

REMARQUE : Bien que fortement dépendante de la nature de la roche parentale, la texture permet également de déterminer le type de déformation. Un certain nombre de textures se termine par "blastique" en raison de la présence de reliques issues de la roche originelle.

Les principales textures sans foliation visible sont les suivantes :

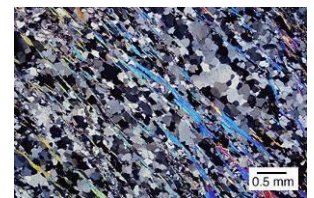
- **Texture cataclastique** : Ensemble de petits grains fracturés et broyés ;
- **Texture cornéenne** : Majorité de grains sans orientation préférentielle à l'exception de certains minéraux unidirectionnels plus grossiers (*micas*). Cette texture témoigne d'un environnement libre de contraintes déviatoriques ;
- **Texture granulaire** : Cas particulier de texture cornéenne liée à l'apport de fluides interstitiels ;
- **Texture granoblastique** : Ensemble de grains fortement indentés et imbriqués les uns dans les autres sans orientation préférentielle. Si une certaine orientation est observée, on parle de texture **granoblastique orientée**. Les feldspaths ont souvent des limites planes s'interceptant selon des angles de 120° (*texture granoblastique polygonal*) ;
- **Texture diablastique** : Ensemble de minéraux isométriques qui s'interpénètrent fortement (*à l'inverse de la texture granoblastique*) ;
- **Texture porphyroblastique** : Présence de gros cristaux (**porphyroblaste**) au sein d'une trame plus fine. Plusieurs sous-types sont observés selon 2 caractéristiques complémentaires :
  - **Forme des porphyroblastes**
    - **Texture idioblaste** faite de porphyroblastes euhédrales (*toutes surfaces bien développées*) ;
    - **Texture xénoblaste** faite de porphyroblastes anhédrales (*quelques surfaces bien définies*).
  - **Présence d'inclusions**
    - **Texture poeciloblastique** produite lorsque les faces d'un minéral ont englobé des inclusions de leur entourage durant sa croissance ;
    - **Texture hélicitique** où les porphyroblastes montrent, via leurs inclusions, des traces de pivotement (*structure en S*).
- **Texture coronaire** en forme d'anneau constitué d'un à plusieurs minéraux, situé autour d'un autre minéraux ou d'une autre structure et formé par réaction avec son entourage ;
- **Texture pseudomorphe** produite lorsqu'un ou plusieurs minéraux remplacent un autre minéral tout en maintenant la forme initiale.



### b. Texture avec foliation visible

Les principales textures avec foliation visible sont les suivantes :

- **Texture foliée** : Alignement de minéraux allongés (*mica*) dans une matrice quartzo - feldspathique ;
- **Texture schisteuse** : Alignement de grains grossiers (*visibles à l'œil nu*) de micas.
- **Clivage ardoisier** : Alignement de très fins grains de micas dans une ardoise ;
- **Texture phylliteuse** : Alignement ondulé de fins grains de micas ;
- **Texture gneissique** : Superposition grossière de couches de couleur claire (*quartz, feldspath*) et de couches sombres (*mica*). Certains quartzites et marbres contenant initialement des couches d'argile se sont métamorphisés en donnant un aspect gneissique.



### c. Structures

REMARQUE : Les termes appliqués aux structures sont équivalents à ceux utilisés pour définir les textures. Le lecteur doit également se référer au paragraphe ci-dessus.

## 2.5.2 Classifications

Etant donné la multitude et la complexité des phénomènes métamorphiques et la grande diversité des roches, il existe un grand nombre de classifications souvent très complexes.

Certaines classifications ont été développées sur base de la présence de minéraux essentiels mais également accessoires permettant de définir les températures et pressions qui ont été exercées au moment du métamorphisme. Cette information nécessite une analyse pétrographique détaillée.

D'autres classifications sont basées sur la présence ou non de textures distinctes ou pas comme la schistosité.

### 2.5.2.1 Classification d'Eskola (1915)

Eskola a déterminé un ensemble de faciès dans lesquels des assemblages de minéraux correspondent à des conditions bien déterminées de température - pression. Ainsi, on parle de *faciès à zéolithes* pour un faciès caractérisé par la prédominance de zéolithes témoins de faible pression et faible température.

Une version moderne de cette classification est reprise dans le diagramme illustré ci-dessous.

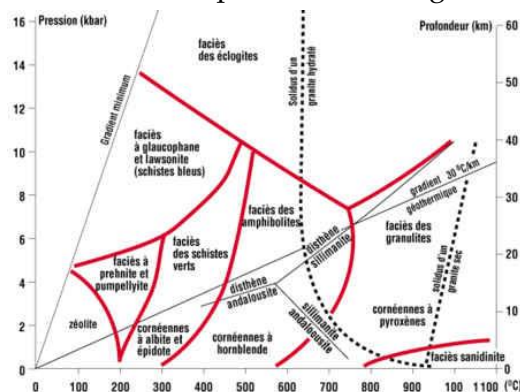


Figure 2.27 : Classification des roches métamorphiques selon Eskola (source : internet).

Outre les différents faciès, ce diagramme comprend un ensemble d'informations supplémentaires telles que les courbes de gradient géothermique (*normal* :  $\Delta 3^{\circ}\text{C}/10\text{ m}$  et *minimum*), les courbes de mélange pour un granite ainsi que le domaine de stabilité de l'andalousite - sillimanite - disthène (3 minéraux au composition chimique identique).

### 2.5.2.2 Classification des séries de MIYASHIRO (1965)

Les variations de pression et de température permettent de définir des "climats" métamorphiques qu'il ne faut pas confondre avec l'intensité de métamorphisme car, dans chaque climat, on peut rencontrer tous les degrés de métamorphisme. Cette classification des "climats" métamorphiques ou séries, a été élaborée par Miyashiro au cours des années soixante, à partir de l'étude des ceintures métamorphiques de l'arc japonais.

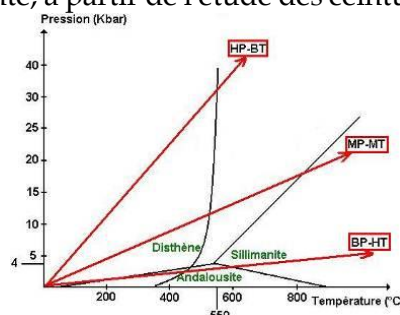


Figure 2.28 : Classification des climats métamorphiques selon Miyashiro (source : internet).

Suivant les gradients différents de pression et température, trois séries sont présentes :

- La *série Abukuma* caractérisée par un contexte *basse pression - haute température* (BP - HT) , correspond à un métamorphisme océanique hydrothermal ou à une tectonique de type détente post-collisionnelle ;
- La *série Barroviennne* caractérisée par un contexte *moyenne pression - moyenne température* (MP - MT), correspond à une tectonique de type collision ;
- La *série Franciscaine* caractérisée par un contexte *haute pression - basse température* (HP - BT) correspond à une tectonique de type subduction.

## 2.5.2.3 Classification normalisée des roches métamorphiques (PTV 844)

Cette classification concerne uniquement les principaux matériaux utilisés en construction et est principalement basée sur la présence ou non d'une foliation.

**Tableau 2.XXXIII - Classification des roches métamorphiques selon le PTV 844.**

NIVEAU 1	NIVEAU 2	NIVEAU 3	NIVEAU 4
3	roches métamorphiques		
	3.1	foliées	
		3.1.1.	ardoises
		3.1.2.	phyllade/quartzophyllade
		3.1.3.	micaschiste
		3.1.4.	gneiss
		3.1.5.	amphibolite/éclogite
		3.1.6.	mylonite
	3.2	non-foliées	
		3.2.1.	marbre
			3.2.1.1 marbre calcitique
			3.2.1.2 marbre dolomitique
		3.2.2.	quartzite
		3.2.3.	migmatite
		3.2.4.	roche hornfelsique
		3.2.5.	granulite
		3.2.6.	serpentine*

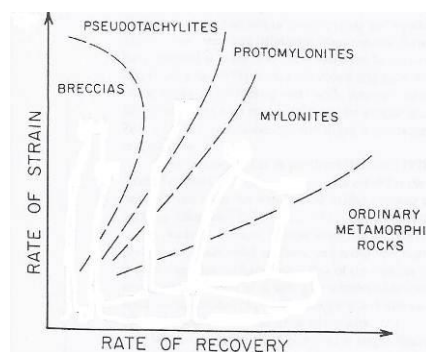
## 2.5.2.4 Classifications spécifiques aux roches de faille (mylonites)

Une classification spécifique aux roches situées dans les failles est basée sur la destruction de la texture préexistante et sur le degré de recristallisation. Deux familles existent :

- La **cataclasite** est une *roche caractérisée par un broyage des grains et se traduisant par l'apparition de brèches, de microbrèche ou de gouges associées principalement à un mouvement de type "stick-slip"*. Elle se marque par l'absence de foliation. Dans certain cas, un mouvement rapide de la faille peut provoquer la fusion partielle de la roche et donné lieu à une **pseudotachylite** ;
- La **mylonite** est un *terme général pour une roche cohérente, à grains fins et présentant une foliation ainsi que des processus cristallins syngénétiques à la déformation (principalement de type cisaillement)*. Au sein de cette famille, existent plusieurs classifications telles que celle de Bellière (1971) ou celle de Wise (1984).

**Tableau 2.XXXIV- Classification des mylonites selon Wise (1984) basée sur la proportion de porphyroclastes.**

Proportion de porphyroclastes (%)	Dénomination
< 10	Protomylonite
10-50	Orthomylonite
> 50	Ultramytonite



**Figure 2.29 :** Schéma de répartition des roches mylonitiques selon Wise (1984).

Dans certains cas, les roches soumises à une recristallisation poussée sont appelées **porphyroblastiques** plutôt que l'ancien terme blastomylonite (*terme trop confus*).

## 2.5.3 Description des roches métamorphiques

C'est une idée très répandue de croire que la terminologie et la classification des roches métamorphiques est très difficile à comprendre vu la complexité des paramètres intervenants. La terminologie est à la fois descriptive et génétique car, outre les paramètres du métamorphisme (*température, types de pression, fluide interstitiel*), il faut également tenir de la nature de la roche parentale.

Pour donner un nom précis à la roche, il convient de procéder à un examen visuel suivi d'une description pétrographique en lame mince.

- L'*examen visuel* permet d'attribuer un nom grossier à la roche par une détermination des structures et des principaux minéraux visibles. Cet examen convient généralement au géotechnicien ;
- L'*examen en lame mince* permet d'affiner le nom de la roche par observations des associations minéralogiques, de déterminer les conditions du milieu ( $T^\circ$ ,  $P$ ) en faisant intervenir les notions de paragenèse (*association caractéristique de minéraux*) et de faciès (*domaine de  $T^\circ$  et  $P$* ) et ainsi de mieux comprendre le parcours de la roche. A ces faciès, correspondent des zones ou *isogrades* de métamorphisme (*terrain présentant le même degré de métamorphisme*) qui permet de distinguer l'*anchizone*, l'*épizone*, la *mészone*, la *catazone* et l'*ultrazone*.

**Tableau 2.XXXV - Description des roches métamorphiques des roches peu ou pas foliées.**

Roches peu ou pas foliées		Origine	H et P
<b>Amphibolite</b>	Roche constituée principalement d'amphibole verte ( <i>hornblende</i> ) et de feldspath à clivage médiocre.	Varié	HP
<b>Cornéenne</b> <i>"Hornfel"</i>  <i>Tactite</i>	Roche à grain très fin ( <i>non visible à l'œil</i> ) fortement enchevêtré. De couleur souvent sombre, c'est une roche dense et dure dont les cassures ont un aspect corné et liée au métamorphisme de contact. Présence autour de gisement de porphyre de Quenast.  Roche de couleur très variée : vert ( <i>hornblende</i> ), rouge ( <i>grenat</i> ) ou blanc verdâtre ( <i>diopside</i> ).	Varié	HT, BP
<b>Coticule</b>	Roche spécifique principalement constituée de grenats manganésifères ( <i>spessartite</i> ) microscopiques cimentés par une masse interstitielle séricitique ou chloritique. Roche exploitée dans le passé pour sa dureté exceptionnelle comme pierre à aiguiser. L'exemple en Belgique est le coticule de Vielsalm.	Sédiment volcano-clastique	
<b>Eclogite</b>	Roche à grain grossier de grenat rose et de pyroxène vert. Cette roche peu fréquente se présente en bandes ou en lentilles ou comme enclaves dans les roches magmatiques.	Gabbro, basalte	HT, HP
<b>Granulite</b>	Roche à grain fin polygonal de quartz et de feldspath dominant, à foliation fine et frustre et caractéristique d'un métamorphisme élevé. De couleur claire. Cette roche est proche des gneiss à la différence que les micas n'ont pu se développer.		HT, HP
<b>Marbre</b>  <i>Cipolin</i>	Roche à grain grossier de calcite ou de dolomie recristallisée. De couleur variée ( <i>impureté</i> ), c'est une roche plus tendre et plus friable.  Terme désignant également toute roche au beau poli sans tenir compte de l'origine.	Calcaire dolomie	MT, MP
<b>Métaconglomérat</b>	Roche à clastes reconnaissables issus d'un ancien conglomérat.		BT
<b>Mylonite</b>	Roche à grain fin produite par une déformation ductile intense. Plusieurs classifications.		MT, HP
<b>Pyroxénite</b>	Roche constituée principalement de pyroxène. C'est une roche très rare.		
<b>Quartzite</b>	Roche à grain grossier principalement de quartz recristallisé. De couleur claire, c'est une roche généralement dense et dure.	Grès	MT- MP
<b>Serpentinite</b> <b>Serpentine</b>	Roche constituée principalement de serpentine et d'oxydes de fer et issu de l'altération de roche magmatique basique à ultrabasique. De couleur vert noir, c'est une roche assez tendre pouvant contenir de l'asbeste.	Péridotite	HP
<b>Skarn</b>	Roche à grain grossier de calcite et de dolomie transformée par métasomatisme ( <i>ajout de Si, Al, Fe et Mg</i> ) suite à l'intrusion proche de magma.	Calcaire dolomie	HT, BP

**Tableau 2.XXXVI - Description des roches métamorphiques des roches foliées.**

	Roches foliées	Origine	H et P
<b>Ardoise</b> ("slate")	Roche foncée à grains très fins ( <i>non visible à l'œil</i> ) de phyllosilicates et clivée par de nombreuses surfaces planes fines. Elle est plus dure que le schiste bien que de composition similaire.	Schiste	BT, MP
<b>Gneiss</b>	Roche à grain moyen à grossier, à foliation de lits quartzo-feldspathiques ( <i>clair</i> ) et de lits micacés ( <i>sombre</i> ). C'est une roche dense et fréquente.	Varié	HT, HP
<b>Migmatite</b>  <i>Anatexite</i>	Roche à grain grossier, à foliation peu marquée ou confuse et traversée par une alternance de couches de couleur différente. Roche à la limite entre le métamorphisme et le magmatisme avec fusion partielle des minéraux clairs ( <i>anatexie</i> ). Roche résultant d'une anatexie partielle.	Granite, gneiss	HT, HP (près du point de fusion)
<b>Phyllade</b>	Roche à grain fin ( <i>peu visible à l'œil</i> ) de phyllosilicates et clivée par de nombreuses surfaces moyennement planes. De couleur foncée, elle a un aspect de soie. Terme imprécis <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ensemble de schistes ardoisiers et de schistes sériciteux et chloriteux</li> <li>● Ardoise gréseuse grossière se débitant en plaques épaisses</li> <li>● Pour les anglais, roche faiblement métamorphique à grain très fin (<i>plus fin qu'un schiste</i>)</li> </ul>	Schiste	
<b>Schiste</b>  <i>Micaschiste</i> <i>Talcschiste</i> <i>Schiste vert</i>	Roche à grain fin ( <i>visible à l'œil</i> ) de phyllosilicates à texture schisteuse. De couleur foncée. Grande variété sur base du minéral prédominant : Schiste riche en micas. Schiste riche en talc. C'est une roche blanchâtre au toucher savonneux. Roche foliée composée de chlorite, d'épidote et d'actinolite et verte.	Schiste	MT, MP
<b>Stéatite</b>	Roche riche en talc utilisée pour ses capacités thermiques élevées ( <i>poêle masse, résistance électrique</i> )	Schiste	HT, HP



Figure 2.30 : Exemples de roches métamorphiques (source : internet).

### 2.5.4 Usages et intérêts économiques

Les roches métamorphiques font l'objet d'exploitations aériennes ou souterraines pour divers emplois :

- **Matériaux de construction** tels que l'ardoise (*tuile*), les quartzite (*granulat*) ;
- **Matériaux de parement** tels que le marbre ;
- **Matériaux à usage particulier** tels que la serpentine et le talc. La **stéatite** est utilisée en raison de son pouvoir calorifique élevée, notamment dans un poêle à masse.

## 2.6 GISEMENTS PARTICULIERS

Un **gisement** se définit comme *toute masse de substance (métallique ou non) susceptible d'être exploitée avec profit (= minéral)*.

### 2.6.1 Latérite et bauxite (climat tropical)

La **latérite** (du latin *later, brique*) est une roche meuble ou indurée très diversement colorée, rouge, brune, noire, rose ou violet (dû au manganèse) qui se forme par altération sous climat tropical (climat chaud et humide) de roches siliceuses ou carbonatées d'origine sédimentaire ou magmatique. C'est la raison pour laquelle elle se trouve en domaine intertropical, soit 33 % de la couverture des continents. La couleur rouge provient de la teneur en fer.

Lors de l'altération, les minéraux de base les plus instables (*feldspaths*) et les ions solubles quittent le milieu. Les autres (*quartz, divers silicates et carbonates*) restent sur place ou se transforment pour former une latérite. Cette pierre est donc constituée de minéraux anciens souvent altérés, de minéraux néoformés tels que des argiles et des oxydes et hydroxydes de fer (*hématite, limonite, goéthite*), d'aluminium (*gibbsite, corindon, ...*) et de débris de roches oxydées en surface. D'autre part, ce matériau est appauvri (*par lessivage*) en silice et en éléments nutritifs fertilisants (*Ca, Mg, K, Na*) bien que des grandes forêts y soient présentes. Si la teneur en alumine est importante ou que la roche se développe au-dessus d'une roche carbonatée, une latérite est appelée **bauxite**.

Il y a autant de latérite qu'il y a de roches d'origine. De nombreuses classifications existent sur base de leur morphologie, leur composition ou leurs processus pédogénétiques. Trois grands types de sols constituent les horizons latéritiques : les sols ferrugineux, les sols ferrallitiques, les ferrisols.

La transition avec la roche de départ est progressive et parfois épaisse (*de quelques mètres à plus d'une centaine de mètres*). On passe ainsi de la roche mère à une saprolithe, une formation tachetée et finalement une **cuirasse** ou **carapace** (terme ultime et consolidation suite au contact à l'air).

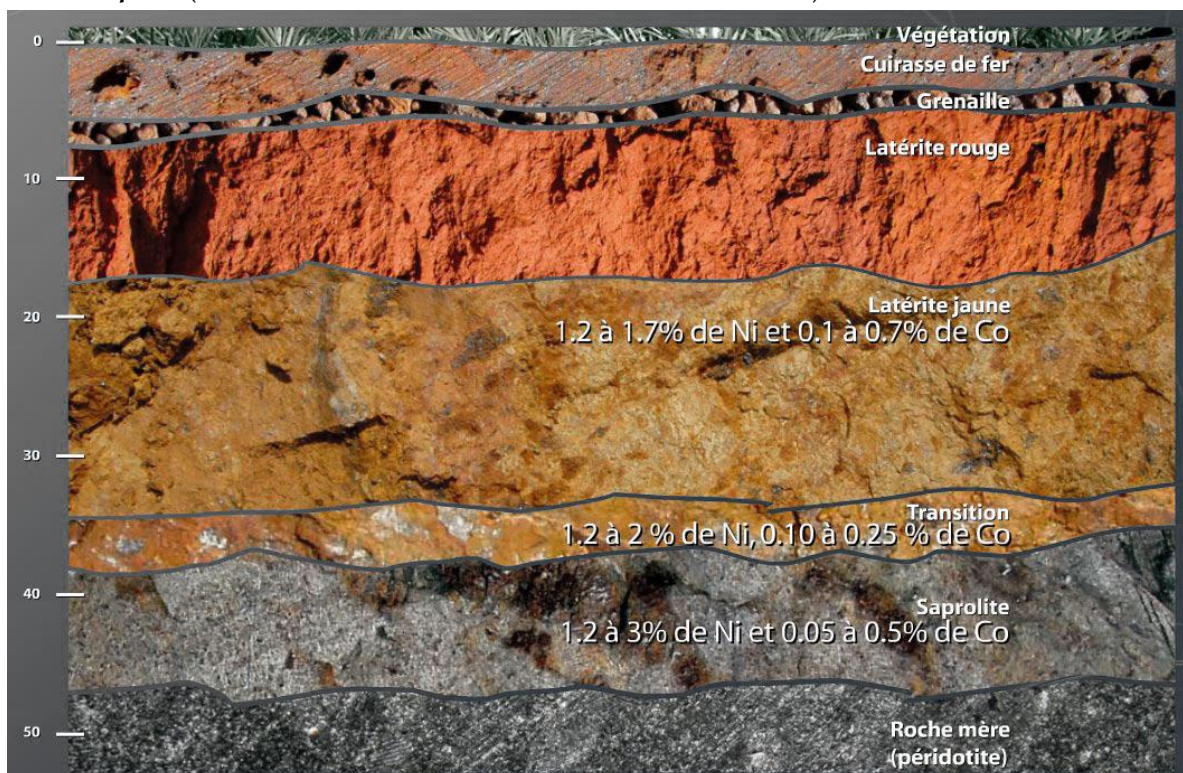


Figure 2.31 – Schéma classique d'un sol latéritique (Source internet : Z' Shell-Ter).

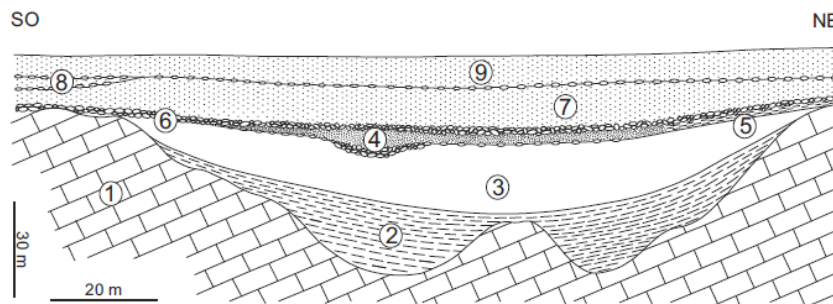
Elle est principalement utilisée comme matériau pour la construction de briques (*découpe facile de la roche fraîche suite à la présence d'une certaine mollesse et consolidation du matériaux par séchage avec augmentation des résistances aux conditions météorologiques*) ; d'où le surnom de "terre à briques"; Elle peut être traitée pour servir de revêtement de route. La bauxite est exploitée comme minéral d'aluminium, de manganèse, de titane et occasionnellement de chrome et de vanadium.

Il s'agit généralement d'une réserve importante d'aquifères.



## 2.6.2 Barytine ( $BaSO_4$ )

En Belgique, les gisements de barytine sont principalement localisés dans des dépressions karstiques creusées dans le calcaire viséen. Le corps minéralisé n'est pas homogène en teneur et en structure allant de blocs plurimétriques à des lamelles millimétriques. Plusieurs hypothèses existent dont celle de [de Magnée \(1947\)](#) qui suppose leur formation au toit d'un filon minéralisé (*chapeau barytique*) ou celle de [Demaiffe et Dejonghe \(1990\)](#) qui propose une précipitation de la barytine par mélange de 2 eaux : Une eau riche en sulfates provenant du calcaire viséen et l'autre chargée en baryum provenant des terrains meubles supérieurs.



**Figure 2.32** – Coupe du gisement de barytine de Fleurus (d'après [Dejonghe, 1990](#) modifié) : 1. Calcaire (Formation de Viesville) ; 2. Couche de shales noirs pyriteux, sables et galets (Formation du Hainaut); 3. Corps minéralisé de barytine; 4. Sable et galets; 5. Couche d'argile grise à verdâtre ; 6., 7. et 8. Formation de Bruxelles; 9. Limons quaternaires (source : internet).

La barytine est utilisée dans un certain nombre d'applications :

- Un **additif permettant d'augmenter la densité des boues** de forage (pétrolier) afin de juguler les dégagements gazeux dans une colonne de forage ;
- Un **additif pour la coloration** de peintures, le glaçage de papier, la fabrication de certains verres et émaux ainsi que de bétons lourds ;
- La **fabrication d'écrans servant à la radiographie** des voies digestives.

Des gisements de barytine ont été exploités entre 1870 et 1991 dans la région de Fleurus, dans un premier temps sous forme de galeries souterraines et par la suite (1979) dans une carrière ouverte au lieu-dit Bertaimont. Ce dernier gisement long de 450 m, large de 350 m et épais de 35 m, a permis d'extraire 1,3 millions de tonnes de minerais (*Baroid Minerals*).

## 2.6.3 Onyx

Il existe deux types distincts d'onyx : les **onyx siliceuses** (apatite) et les **onyx calcaires** (anhydrite, aragonite).

### 2.6.3.1 Onyx siliceuse (apatite)

Les onyx siliceux se caractérisent par la réaction générale suivante :  $H_3SiO_4^{aq} \rightarrow SiO_2 \cdot nH_2O + H^+ + H_2O$   
La réaction donc à la précipitation d'un silicate hydraté connu sous le nom d'opale.

Cette réaction dépend principalement des paramètres suivants :

- Le **pH** : Si le pH augmente, cela signifie que la teneur en  $H^+$  augmente et que l'opale précipite ;
- La **teneur en  $H_2O$**  : Si la teneur en  $H_2O$  augmente, l'opale précipite ;
- La **température**.

La stratification des onyx est différente de la stratification sédimentaire.

L'onyx est utilisé pour fabriquer des accessoires comme des statues, des œufs polis ou des cendriers.

### 2.6.3.2 Onyx calcaire (aragonite et anhydrite)

L'onyx calcaire n'est que de l'aragonite ou de la calcite de couleur blanche, jaune, brune ou verdâtre, toujours zonées. Il se forme par dépôt de sources chaudes ou de concrétions stalactiformes.

## 2.6.4 Gisements métalliques

Au sein des différentes familles de roches peuvent se concentrer des gisements métalliques qui sont souvent des concentrations de métaux au sein d'un espace restreint.

### 3. BIBLIOGRAPHIE

DEJONGHE L. (2007) : "*Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie – 3<sup>ème</sup> édition*" – Ministère de la Région Wallonne – Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGRNE).

(1987) : "*La grande encyclopédie des minéraux*" Editions Gründ

FOUCAULT A. et RAOULT J.-F. (1988) : "*Dictionnaire de géologie (3<sup>ème</sup> édition)*" : Edition Masson.

#### Autres sources :

Cours de géologie à l'ULg

Internet et Wikipédia