

Beste de savoir

Le granite : des chaînes de montagnes aux plages de sable

12 août 2019

Table des matières

1.	Localisation des granites	1
2.	Minéraux	2
2.1.	Quartz	3
2.2.	Feldspaths	5
2.3.	Micas	6
3.	Aspect du granite	7
3.1.	Couleur	8
3.2.	Texture	8
3.3.	Enclaves	9
4.	Formation et genèse	9
4.1.	Une roche plutonique	9
4.2.	Mécanismes de formation d'un granite	11
5.	Classification minéralogique et chimie des magmas	12
5.1.	Chimie de base des granites	12
5.2.	Classification de l'IUGS	13
5.3.	Classification SIMA	14
5.4.	Classification géodynamique	14
6.	Erosion et altération	15
6.1.	Fracturation	15
6.2.	Altération	15
6.3.	Chaos et arènes granitiques	16

Le granite est une roche assez courante sur la planète, qui se paye le luxe d'être une des principales roches magmatique de notre planète, avec le basalte. Elle est utilisée dans la construction des bâtiments depuis des millénaires. Il faut dire qu'elle possède de nombreux avantages :

- c'est une roche dure, très solide, idéale pour bâtir des constructions durables et solides comme des ponts ;
- elle est cohérente, formée d'un seul bloc bien solide, contrairement aux schistes qui se débitent en plaques naturellement ou à d'autres roches qui contiennent de nombreux points de fracture bien précis ;
- c'est une roche très peu perméable : idéale pour résister aux intempéries ;
- c'est aussi une roche qui ne s'altère pas facilement à cause de l'humidité : elle ne se dissout pas dans l'eau et se désagrège très lentement quand on la soumet à l'humidité.

1. Localisation des granites

Le granite est une roche qui est relativement rare à la surface de la planète : on en trouve surtout dans les profondeurs, à quelques kilomètres sous la surface du sol. Les affleurements de granite à la surface occupent souvent de grandes étendues, et se prolongent souvent sous terre

2. Minéraux

sur plusieurs kilomètres ou centaines de mètres, formant de véritables "gisements" de granite à ciel ouvert. Mais dans la majorité des cas, ces "gisements" sont enterrés sous terre, à plusieurs kilomètres de profondeur, sous des couches de sédiments assez épaisses.

Le granite forme une bonne partie des chaînes de montagne, notamment dans les profondeurs : une bonne partie de l'intérieur des montagnes est presque entièrement formé de granite. Les roches visibles à la surface des montagnes sont souvent granitiques, surtout pour les vieilles chaînes de montagne assez bien érodées. C'est pour cela qu'en France, on en trouve surtout en Auvergne (dans le massif central), dans les Alpes, et les Pyrénées, les Vosges, et la Corse. Mais on en trouve aussi en Bretagne, notamment sur la cote de granite rose : cela vient du fait que la Bretagne est le reste d'une ancienne chaîne de montagne totalement érodée, qui date de plusieurs centaines de millions d'années.

Cependant, il existe des granites qui ne sont pas liés à des chaînes de montagnes. Dans les faits, une grande partie des profondeurs de la croûte continentale est formée intégralement de granites, recouverts par des roches sédimentaires. C'est d'ailleurs grâce au granite que la croûte continentale est moins dense que la croûte océanique : le granite a une densité très faible comparé au basalte qui compose la croûte océanique. Ces granites se trouvent surtout dans les vestiges des premiers continents, conservés à l'intérieur des continents actuels : les cratons.

2. Minéraux

Chimiquement, le granite est essentiellement composé de silicium et d'oxygène : à eux deux, Si et O représentent plus de 68 % d'un granite, avec parfois des pointes à 80%, voire plus. Les minéraux du granite sont donc essentiellement composés d'atomes de silicium combinés plus ou moins directement avec des atomes d'oxygène. Le granite est ainsi une roche dite **felsique**, c'est à dire qu'elle contient une grande quantité de minéraux riches en silicium et oxygène, comme le Quartz ou les Feldspaths.

Le Silicium n'est capable de créer que 4 liaisons chimiques : il ne peut se lier qu'avec 4 autres atomes, des atomes d'Oxygène dans ce cas précis. Une fois les liaisons créées, on obtient toujours la même structure : un tétraèdre avec des atomes d'Oxygène au sommets, et un atome de Silicium au centre. Ce tétraèdre a pour composition chimique : Si O_4 .



FIGURE 2. – Groupe fondamental des silicates

Ces minéraux, composés d'un grand nombre de ces tétraèdres, avec potentiellement des atomes intercalés entre ceux-ci, sont appelés des **silicates**. Ceux-ci sont les minéraux les plus courants dans la croûte terrestre, et nombreuses sont les roches composées d'un grand nombre de minéraux silicatés. Le granite est principalement formé de silicates, même si tous les silicates ne se retrouvent pas dans le granite : seuls certains silicates sont présents dans tout les granites, le Quartz notamment.

2. Minéraux

Suivant les silicates, les tétraèdres ne sont pas organisés de la même manière. On peut relier les tétraèdres de diverses manières : on peut les organiser en chaînes, en feuillets, etc. La structure utilisée pour ranger les tétraèdres ne sera pas la même selon les minéraux.

Certains minéraux sont intégralement composés de ces tétraèdres. Mais d'autres contiennent des atomes en plus, comme du Fer ou du Magnésium, qui s'intercalent entre les tétraèdres et servent de ponts qui relient des atomes d'Oxygène.

Le granite est une roche dont tous les minéraux sont des silicates. Tous les granites contiennent un même ensemble de minéraux :

- du Quartz ;
- des Feldspaths ;
- des Micas.

A côté, on peut trouver quelques minéraux accessoires en petites quantités, ou des impuretés, comme des Amphiboles. Mais la quasi-totalité du granite est composée de Quartz, Feldspaths, et de Micas. Voyons dans le détail ces minéraux.

2.1. Quartz

Le Quartz est le composant principal des grains de sable (grains de sable qui proviennent de l'érosion du granite, comme on le verra plus tard). On le trouve à l'état naturel sous la forme de cristaux, souvent de belle forme.

2.1.1. Forme

Les cristaux de Quartz qu'on trouve isolés dans la nature sont souvent très gros, et ont souvent une forme assez harmonieuse, qui ressemble à celle montrée ci-dessous. Mais dans le granite, les cristaux n'ont pas souvent cette belle forme, et sont souvent relativement petits.



FIGURE 2. – Forme d'un cristal de Quartz

2.1.2. Structure cristalline

Le Quartz est un minéral composé intégralement des tétraèdres vus au-dessus. La liaison entre les tétraèdres du Quartz est directe : il n'y a pas d'atome qui vient relier deux tétraèdres indirectement. A la place, les deux tétraèdres à relier mettent en commun un atome d'Oxygène.

2. Minéraux



FIGURE 2. – Liaison directe entre tétraèdres fondamentaux

L'ensemble est organisé de manière à ce que tout tétraèdre met en commun tout ses atomes d'Oxygène : chaque tétraèdre est relié ainsi à quatre autres tétraèdres. Les atomes d'Oxygène sont chacun relié à deux atomes de silicium : chaque atome d'Oxygène appartient à deux tétraèdres. A cause de cette propriété, la formule chimique du Quartz est : $\text{Si}_2 \text{O}_2$. Chaque tétraèdre a bien une formule qui est $\text{Si}_1 \text{O}_4$, mais vu qu'un atome d'Oxygène appartient à deux tétraèdres, cela signifie qu'on doit diviser par deux l'Oxygène, ce qui donne bien $\text{Si}_1 \text{O}_2$.

L'ensemble peut donner plusieurs structures cristallines, qui donnent des minéraux différents. Elle donnent respectivement :

- Quartz Alpha
- Quartz Bêta
- Tridymite
- Cristobalite
- Coesite
- Stishovite

La forme prise par le Quartz dépend de la température et de la pression lors de sa cristallisation.



FIGURE 2. – Image sous licence Creative Commons license Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0, créée par John Winter, disponible ici sur cette page : http://serc.carleton.edu/research_education/equilibria/simplephasediagrams.html

Le Quartz bêta est le plus fréquent dans le granite. La structure cristalline du Quartz bêta est illustrée dans le schéma ci-dessous. Étudiez bien celui-ci pour bien comprendre comment les atomes sont organisés dans le Quartz, si vous voulez vraiment comprendre sa structure cristalline.



FIGURE 2. – Structure cristalline du quartz

2. Minéraux

2.1.3. Couleur

A l'état pur, le Quartz est transparent, légèrement blanc. Mais il arrive qu'il contienne des impuretés qui lui donnent une belle couleur. Par exemple, il arrive que le Quartz devienne rose suite à l'ajout de quelques impuretés de Manganèse ou de Titane. Il peut aussi avoir une jolie couleur rouge si on ajoute de l'Hématite. On peut aussi citer l'Améthyste, du Quartz coloré en violet par de grandes quantités de Fer. Dans la citrine, le Fer n'est pas suffisamment abondant pour donner de l'Améthyste, et colore le Quartz en jaune.

2.1.4. Dureté

Le Quartz est un minéral très dur. Les géologues utilisent souvent une échelle pour quantifier la dureté d'un minéral : l'échelle de Mohs, graduée de 1 à 10. Le quartz atteint un score de 7 sur cette échelle : il est capable de rayer le verre.

Il faut dire que les autres silicates sont composés de chaînes ou de feuillets de tétraèdres reliées par des liaisons assez fragiles : les feuillets peuvent partir uns par uns donnant une altération par écaillage, ou les atomes d'une chaîne peuvent partir un par un, altérant progressivement la roche. Le Quartz n'a pas ces zones de faiblesses entre feuillets ou chaînes : l'ensemble forme un amas compact de tétraèdres reliés par des liaisons fortes.

C'est un minéral qui est aussi résistant à l'altération par l'eau. Il ne se dissout pas dans l'eau, même en utilisant de grande quantité d'eau, en utilisant une eau chargée en ions, en laissant des milliers d'années faire leur œuvre, etc. Tous les minéraux du granite ne peuvent pas en dire autant, même s'ils sont aussi très résistants à l'altération hydrique.

2.2. Feldspaths

Le quartz n'est cependant pas le seul minéral présent dans le granite : on trouve aussi des **Feldspaths**. Ceux-ci sont des minéraux (en fait, une catégorie de minéraux), qui sont composés non seulement des tétraèdres du dessus, mais aussi d'Aluminium : ce sont des silicates d'Aluminium. Dans ces Feldspaths, un quart des tétraèdres de silice est modifié : l'atome central de Silicium est remplacé par un atome d'Aluminium.

2.2.1. Feldspaths purs

L'aluminium des Feldspaths a une particularité : il peut former 5 liaisons chimiques, soit une de plus que nécessaire pour former un tétraèdre. La liaison en trop va lier l'Aluminium avec un autre élément chimique, qui dépendra du Feldspath. Ainsi, la formule chimique d'un Feldspath est de la forme $X Al Si_3 O_8$, avec X un autre élément chimique compatible avec l'Aluminium.

L'élément en question peut être :

- du Calcium ;
- du Potassium ;
- et du Sodium.

2. Minéraux

Il existe trois minéraux purs, dont tous les atomes d'aluminium sont reliés à un même élément chimique :

- l'**Albite**, de formule chimique $\text{Na Al Si}_3 \text{O}_8$;
- l'**Anorthite**, de formule chimique $\text{Ca Al Si}_3 \text{O}_8$;
- l'**Orthoclase**, de formule chimique $\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$;

2.2.2. Mélanges

Mais il existe des Feldspaths qui sont une composition chimique intermédiaire entre ces trois minéraux : on peut les voir comme des mélanges, dans lesquels chaque atome d'aluminium n'est pas relié au même élément chimique.

Les **Feldspaths alcalins** contiennent du Sodium et du Potassium, mais pas du tout de Calcium : ce sont des intermédiaires entre l'Albite et l'Orthoclase. Ceux-ci sont au nombre de deux :

- l'Anorthoclase ;
- la Sanidine.

A coté, on trouve des intermédiaires entre l'albite et l'anorthite : les **Feldspaths plagioclases**. Ils sont au nombre de quatre :

- Oligoclase ;
- Andesine ;
- Labradorite ;
- Bytownite.



FIGURE 2. – Licence CC BY-SA 3.0 - Andrew Wickert à partir d'une image d'Eurico Zimbres.

Il existe d'autres Feldspaths, beaucoup plus rares, comme la Celsiane ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), le Hyalophane ou la Buddingtonite. Mais nous n'en parlerons pas ici, vu qu'ils sont inexistantes ou trop rare dans les granites.

2.3. Micas

Le granite contient aussi d'autres minéraux : les **Micas**. Ces Micas sont des minéraux assez particulier. Pour faire simple, il s'agit d'une classe de minéraux définie par une composition chimique particulière, qui font partie des silicates. On peut simplifier assez fortement en disant qu'il s'agit de silicates d'aluminium hydratés, comme les Feldspaths (la différence étant la composition chimique exacte).

Leur couleur est généralement transparente, même si des variantes colorées existent : on trouve notamment des micas blancs et noirs dans les granites.

3. Aspect du granite

Ces Micas sont des phyllosilicates, c'est à dire qu'ils sont formés de couches, de feuillets de tétraèdres. La conséquence, c'est que ces minéraux sont très fragiles : leur dureté est de 2 à 3 sur l'échelle de Mohs. Ainsi, ces Micas s'érodent facilement : les feuillets s'enlèvent un par un, assez facilement, notamment au contact de l'eau.

Il existe environ 37 Micas différents, dont seulement deux sont présents dans le granite :

- la **Biotite** ;
- et la **Muscovite**.

2.3.1. Muscovite

La Muscovite contient, en plus des traditionnels Silicium et Oxygène, de l'Aluminium, du Potassium, et de l'Hydrogène, avec parfois un peu de Fluor. C'est un Mica plutôt blanc, qui donne de beaux reflets presque métalliques.



FIGURE 2. – Rob Lavinsky, iRocks.com – CC-BY-SA-3.0

2.3.2. Biotite

La Biotite est un minéral sombre, presque noir. La encore, on peut dire qu'il s'agit d'un silicate d'Aluminium hydraté, auquel on aurait ajouté du Fer et du Magnésium.



FIGURE 2. – Image prise par Fred Kruijen, sous licence CC-BY-SA 3.0

3. Aspect du granite

Reconnaitre un granite n'est pas réellement compliqué. Les granites n'ont pas tous le même aspect, mais quelques régularités se dégagent, qui permettent d'identifier facilement ceux-ci.

3. Aspect du granite

3.1. Couleur

Tous les granites n'ont pas la même couleur : cela va du blanc laiteux à un granite sombre, en passant par des intermédiaires colorés comme un rose affirmé. Les granites blancs sont appelés des leucogranites. Les granites roses sont courants, notamment sur le littoral breton, ce qui a valu son nom à la côte de granite rose (Côtes d'Armor).



FIGURE 3. – Exemples de granites de couleur différentes

La couleur dépend des minéraux qui composent le granite. Par exemple, les granites roses doivent leur couleur à des impuretés présentes dans les Feldspaths. Généralement, la couleur du granite dépend de l'Orthose, vu qu'il s'agit du minéral le plus abondant dans le granite.

3.2. Texture

D'ordinaire, le granite semble être composé de grains, généralement de petite taille, souvent visibles à œil nu. Chaque grain est un minéral, un cristal bien précis. On dit qu'il a une **texture grenue**. Les roches à texture grenue, sont toutes des roches magmatiques (éventuellement métamorphiques).



FIGURE 3. – Granite

Il existe plusieurs sous-classes de textures grenues, qui sont présentées dans le tableau suivant.

Texture	Description
Aplitique	Cristaux très fins, à peine visible à l'œil nu, voire invisibles.
Pegmatitique	Cristaux énormes, de grande taille, supérieure à la taille d'un grain de riz.
Porphyroïde	Certaines portions de la roche sont aplitiques, alors que d'autres sont pegmatitiques.

Certains granites sont dits **orbiculaires** : ils sont composés de petites boules riches en Feldspaths et en micas.

4. Formation et genèse

<http://zestedesavoir.com/media/galleries/1331/>

FIGURE 3. – Licence CC-BY-SA 2.0, auteur brewbooks, USA Disponible sur wikicommons

Dans certains granites, la présence de minéraux va modifier quelque peu l'aspect de la roche. Certains granites contiennent ainsi des Pyroxènes, des Amphiboles, des Grenats, etc.

3.3. Enclaves

Il arrive que le granite contienne des morceaux de roches incorporés dans le granite. Le granite entoure des blocs de roche métamorphiques, blocs qui font entre quelques centimètres et quelques mètres. Ces blocs sont appelés des **enclaves**. Celles-ci sont fréquentes dans les roches magmatiques, qu'elles soient volcaniques ou plutoniques, et le granite ne fait pas exception.

4. Formation et genèse

La formation des granites est longtemps resté un sujet de débat parmi les géologues. Durant les années 50/60, les géologues se sont affrontés pour savoir quel était le mécanisme de formation des granites : métamorphisme, anatexie, fusion du manteau, etc.

4.1. Une roche plutonique

Fort heureusement, nous disposons de plusieurs indices sur l'origine du granite. Ces indices convergent vers la même conclusion. Le granite est une roche qui se forme par solidification d'un magma sous les profondeurs de la Terre : on parle de **roche plutonique**.

4.1.1. Indices chimiques

Les granites sont très pauvres en carbone, le taux de Carbone dépassant rarement les 1 à 2%. Il ne peut donc d'agir d'une roche sédimentaire organique, comme les Calcaires. En effet, la matière vivante est très riche en Carbone, qui se retrouve dans les roches sédimentaires organiques, composées de résidus d'organismes morts.

Un dernier indice laisse penser que les granites se sont formés à haute température : la structure cristalline des cristaux de Quartz. Le granite contient des cristaux de Quartz bêta et Alpha stables au-delà de 870°C, mais pas de Tridymine, ou de minéraux formés à plus haute température. La présence d'Orthose, et l'absence totale de Sanidine dans le granite est aussi un indice similaire : la Sanidine se forme au-delà des 1000°C, alors que l'orthose cristallise à plus basse température.

Le fait que la roche soit entièrement cristallisée laisse penser qu'il ne peut pas s'agir d'une roche volcanique : celles-ci refroidissent rapidement au contact de l'air, et n'ont pas le temps de

4. Formation et genèse

totalemment cristalliser. Seule une portion de la lave cristallise, laissant des zones vitreuses, sans structure cristalline véritable. Et ne parlons même pas des roches provenant de l'accumulation de cendres ou de projectiles comme les bombes volcaniques ou les lappilis : il n'y a alors presque pas de cristaux.

Les conditions de formation du granite sont à l'origine de sa texture grenue et de la forme de ses cristaux, propre à tous les granites.

Premièrement, la texture s'explique par la vitesse de solidification du magma. En effet, la solidification du magma dans les profondeurs est relativement lente, vu que celle-ci a lieu à des pressions et des températures relativement élevées. Cette solidification lente permet aux cristaux de bien grossir, contrairement à un refroidissement rapide qui vitrifie la roche sans que les cristaux aient eu le temps de grossir : les cristaux formés sont donc de gros cristaux, qui ont une grande taille, ce qui explique la texture grenue du granite.

La forme des cristaux s'explique aussi par un refroidissement progressif du magma. En effet, la température de solidification du Quartz est inférieure à celle des Feldspaths et des Micas, ce qui fait que les Feldspaths et les Micas se forment avant les cristaux de Quartz. En conséquence, les cristaux de Micas et de Feldspaths ont ainsi toute la place qu'ils veulent pour se former, alors que les cristaux de Quartz doivent remplir les vides qui restent. Et ces vides ne sont pas toujours très grands, et ne laissent pas au Quartz le loisir de bien former de beaux cristaux bien grands et réguliers : les cristaux de quartz d'un granite sont donc souvent relativement petits, et n'ont pas une forme parfaite et régulière.

4.1.2. Absence de fossiles

Quelques indices semblent attester que le granite n'est pas une roche sédimentaire. On peut remarquer que le granite ne contient jamais de fossiles. On peut aisément en déduire qu'il ne peut donc s'agir d'une roche sédimentaire détritique : si c'était le cas, on trouverait des fossiles dans le granite, même s'ils sont très rares. Mais ce n'est pas le cas : aucun granite n'a jamais contenu de fossile.

4.1.3. "Gisements" de granite

Les granites sont souvent regroupés en amas ou en filons, qui laisse penser que les granites se forment à partir de magma solidifié. Ces structures sont assez diverses, et sont présentes chez presque toutes les roches plutoniques de la planète : batholites, sills, dykes, laccolites, lopolites, etc.

Certains granites sont entourés de roches métamorphiques, preuve que leur formation se fait à haute température et sous de fortes pression. Ces **auréoles métamorphiques** sont composées de roches dont la composition chimique ressemble de plus en plus à celle du granite au fur et à mesure que l'on se rapproche de celui-ci, mais ces roches conservent un feuilletage dû au métamorphisme ou à la sédimentation. Ces auréoles sont souvent un signe que de métamorphisme de contact. A noter que ces auréoles ne sont pas présentes chez tous les granites.

4.2. Mécanismes de formation d'un granite

Néanmoins, il ne faut pas pour autant croire que tous les granites se forment de la même manière : sans cela, on n'aurait pas des granites de compositions chimiques différentes, comme vu plus haut. Pour simplifier, des granites différents se forment à partir de magmas différents, qui ne se sont pas formés de la même manière ou qui n'évoluent pas à l'identique. Il existe donc plusieurs mécanismes de formation de granites, que nous allons voir immédiatement.

4.2.1. Ultra-métamorphisme et anatexie

Le premier type de granite provient d'un métamorphisme poussé à l'extrême, comme on en trouve lors de la formation des chaînes de montagnes. Les roches de la croûte sont tellement chauffées et soumises à de fortes pressions qu'elles finissent par fondre pour donner du magma. Ce magma va alors migrer vers la surface, en formant des "bulles" qui peuvent remonter au travers de la croûte terrestre, avant de se solidifier. On parle de granites d'**anatexie**.

Certains de ces magmas se forment non seulement à cause des fortes pressions et températures, mais aussi grâce à l'intrusion d'eau dans les roches destinées à fondre. En effet, l'eau a un effet assez contre-intuitif sur les silicates : elle diminue leur point de fusion. Une roche silicatée va fondre plus rapidement et à des températures plus faibles si elle est hydratée. Évidemment, la composition chimique est alors différente de celle de magmas d'anatexie pure : l'eau réagit chimiquement avec le contenu du magma et modifie légèrement les minéraux formés.

Cette anatexie peut faire fondre soit des roches sédimentaires métamorphosées, soit des roches de la croûte profonde. Dans les deux cas, les magmas formés n'ont pas la même composition chimique.

Une dernière méthode de formation des granites est possible, une fois que les chaînes de montagnes commencent à s'éroder. Quand l'érosion est bien avancée, la montagne commence à remonter par isostasie : le poids des roches érodées ayant disparues, les roches situées en-dessous ne sont plus écrasées et remontent alors vers la surface. Lors de cette remontée, les roches refroidissent lentement, alors que la pression à laquelle elles sont soumises baisse fortement. Cela peut être suffisant pour faire fondre les roches, ce qui donne un granite assez spécifique.

4.2.2. Différentiation d'un magma

Dans d'autres cas, les granites naissent à partir de la fusion du manteau de la Terre. Le magma formé remonte en surface, à travers la croûte, mais se solidifie avant d'atteindre la surface. Lors de cette solidification, le magma va se différencier : certains minéraux vont se cristalliser en premier et vont quitter le magma. Vu que les minéraux pauvres en silice cristallisent en premier, le magma s'enrichit en silice, ce qui tend à donner une roche de plus en plus proche du granite.

Mais cela ne suffit pas à créer un granite. Ce magma doit aussi être contaminé par les roches environnantes, dans lesquelles il se solidifie : elles fondent et s'ajoutent au magma formé. Le mélange entre roches encaissantes fondues et magma primaire forme alors un granite.

Cette fusion a lieu dans certains cas bien précis :

- lors d'une subduction ;
- dans une dorsale océanique ;

5. Classification minéralogique et chimie des magmas

- lors de la formation d'un rift.

Dans chaque cas, la composition chimique du granite est différente.

Dans le cas des dorsales et des rifts, le magma provient de la fusion du manteau par baisse de pression, sans apport d'eau : les minéraux seront alors faiblement hydratés, et cela se ressentira sur la composition chimique. La différence entre croûte continentale et océanique va faire que la contamination par les roches encaissantes ne donnera pas le même granite :

- pour un rift, le magma a une composition alcaline ;
- dans le cas d'une dorsale, le granite provient d'un magma basaltique fortement différencié et donne des granites métalumineux.

Pour la subduction, le granite se forme alors à partir d'un manteau hydraté : l'eau quitte la plaque subductée et va faire fondre le manteau. Cet apport d'eau donne naissance à des magmas andésitiques qui donneront un granite à la composition chimique particulière, généralement des granites métalumineux . La différence entre croûte continentale et océanique va faire que la contamination par les roches encaissantes ne donnera pas le même granite suivant qu'il s'agit d'une subduction océan-continent ou océan-océan.

5. Classification minéralogique et chimie des magmas

La roche qui se rapproche le plus chimiquement du granite est une roche volcanique nommée la **rhyolite** : granite et rhyolite ont une composition chimique presque identique. Évidemment, les minéraux de ces deux roches ne sont pas les mêmes : la rhyolite cristallise rapidement et peu de minéraux ont le temps de se former.

5.1. Chimie de base des granites

Compte tenu des minéraux qui composent le granite, on en déduit rapidement que celui-ci est très riche en silice ($\text{Si}_2 \text{O}_2$) : celle-ci est présente dans tous les minéraux essentiels du granite. La teneur en Aluminium est aussi importante, vu qu'on en trouve dans les Feldspaths et les micas (mais pas dans le Quartz). On trouve aussi du Potassium, du Sodium, et du Calcium, présents dans les Feldspaths, ainsi que du Magnésium, du Fer, de l'Hydrogène, en petites quantités.

La composition chimique typique du granite est la suivante :

- SiO_2 70 à 77 % ;
- Al_2O_3 11 à 15% ;
- K_2O 3 à 5 % ;
- Na_2O 3 à 5 % ;
- Fe 2 à 3% ;
- CaO 1% ;
- MgO et TiO_2 moins de 1%.

Mais il faut quand même faire attention. Les granites ne sont pas tous identiques : différents granites n'ont pas les mêmes compositions chimiques. Généralement, cette différence de composition chimique se traduit par des taux différents de minéraux : certains granites sont plus riches en Plagioclases, et d'autres en Feldspaths alcalins.

5.2. Classification de l'IUGS

La classification minéralogique de l'IUGS des roches plutoniques en général, se base essentiellement sur la teneur en Quartz, Feldspaths alcalins, et Plagioclases.



FIGURE 5. – Classification d'une partie des roches magmatiques plutoniques

Suivant le type de granite, le taux de certains composés chimiques varie. On retrouve une différence dans les taux :

- d'Aluminium, et précisément de Al_2O_3 (l'alumine) ;
- de Sodium et de Potassium, et précisément de Na_2O et de K_2O ;
- et de Calcium, ou plus précisément de CaO .

Le principe de cette classification est simple, et se base sur la formule chimique des Feldspaths. Ceux-ci se composent d'Aluminium, de Silicium et d'Oxygène. Lors de la formation du granite par solidification du magma, le Silicium et l'Oxygène ne manquent pas pour former des cristaux, peu importe qu'il s'agisse de Quartz, Feldspaths, de Micas, etc. Par contre, les autres éléments sont utilisés pour fabriquer du Feldspath.

Si on a trop d'Aluminium, mais pas assez de Potassium, Sodium, et Calcium, il restera de l'Aluminium qui ne pourra se transformer en Feldspaths. Ainsi, les minéraux formés après les Feldspaths sont eux aussi riches en Aluminium : Muscovite, Codiérite, Andalousite, Sillimanite, Grenat, etc. Les granites **peralumineux** proviennent d'un magma de ce genre. Avec ces granites, le taux d'alumine est supérieur au taux de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$.

Mais les deux autres granites naissent à partir de magmas dans lesquels tout l'Aluminium ne peut pas être utilisé pour former des Feldspaths : il manque du Sodium, du Potassium, ou du Calcium. Suivant l'élément en trop, on obtient soit un granite alcalin, soit un granite métalumineux.

Dans le premier cas, il restera du Calcium en trop (plus précisément, $\text{Al} < 2\text{Ca} + \text{Na} + \text{K}$, et $\text{Al} > \text{Na} + \text{K}$). Les minéraux formés après les Feldspaths sont alors riches en Calcium. Les minéraux fréquents dans ces granites sont les Hornblendes et de la Biotite). On obtient des granites **métalumineux**. Dans ces granites, le taux d' Al_2O_3 est intermédiaire entre le taux de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ et celui de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$.

Dans l'autre cas, le Potassium et le Sodium seront utilisés pour former des minéraux alcalins, comme les Amphiboles ou les Pyroxènes. Cela donne des granites **alcalins**, où le taux de Al_2O_3 est inférieur au taux de $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$.

Cette classification fait la différence entre trois grands types de granites :

- alcalins : riches en Aluminium ;
- métalumineux : pauvres en Aluminium avec un excès de Calcium comparé au Potassium et au Sodium ;

5. Classification minéralogique et chimie des magmas

- peralumineux : pauvre en Aluminium et avec un excès de Potassium et de Sodium comparé au Calcium.

5.3. Classification SIMA

Une classification beaucoup utilisée par les chercheurs est la classification SIMA, qui différencie les granites suivant leur composition chimique, mais aussi leur mode de formation. L'idée derrière cette classification est que des mécanismes de formations des magmas différents donneront naissance à des magmas chimiquement différents.

Les granites sont classés en quatre classes, qui sont détaillées ci-dessous. Mais je tiens toutefois à préciser que cette classification a quelques problèmes et est clairement approximative.

Classe de granite	Composition chimique	Mécanismes de formation supposés
Classe S	Peralumineux, riches en Potassium et Sodium. Contiennent fréquemment de la Muscovite, de la Tourmaline, du Grenat, de la Biotite, de la Cordiérite, etc.	Fusion (ultra-métamorphisme) de sédiments lors de la création de chaînes de montagnes.
Classe I	Riches en Calcium et Sodium, de type metalumineux. Contiennent fréquemment de la Hornblende.	Fusion (ultra-métamorphisme) de la croûte profonde lors de la création de chaînes de montagnes ou lors d'une subduction.
Classe M	Riches en Calcium et Sodium, de type métalumineux.	Fusion du manteau, lors d'une subduction ou dans une dorsale océanique.
Classe A	Riches en Alumine, en Fer, et en silice, de type alcalins. Contiennent fréquemment de la Muscovite, de l'Andalousite, de la Biotite, de la Cordiérite, etc.	Formation d'un rift (extension en domaine continental).

Selon cette classification les granites S et I proviennent de la fusion de la croûte : ils proviennent d'une anatexie par ultra-métamorphisme. Dans les faits, c'est vrai seulement pour les granites S, mais certains granites de type I ne respectent pas cette règle.

De plus, il se peut que certains magmas se mélangent dans une chambre magmatique ou un pluton, et donnent des granites intermédiaires. D'autres problèmes se posent avec cette classification, qui est fortement critiquée de nos jours, même si elle reste une référence incontournable.

5.4. Classification géodynamique

De nos jours, on utilise des classifications géodynamiques des granites, nettement plus fiables que la classification SIMA. Ces classifications sont nombreuses, mais aucune n'a pu s'imposer

6. Erosion et altération

de manière certaine jusqu'à aujourd'hui. Dans les très très grandes lignes, ces classifications font toutes la différence entre 6, 7, ou 8 types de granites, et prennent en compte les différents mécanismes de formation exposés plus haut. Vous pouvez avoir un aperçu de la classification utilisée par le Bureau de Recherche Géologique et Minière en suivant ce lien : [Il ne faut pas confondre granite et granite ↗](#).

6. Erosion et altération

Le granite est une roche dure, qui ne s'altère pas rapidement avec l'humidité. En somme, elle résiste bien à l'érosion. Mais il ne faut pas croire qu'elle est éternelle.

6.1. Fracturation

Un massif de granite solidifié contient généralement quelques fractures. Ces fractures peuvent provenir de la contraction du granite lors de son refroidissement, ou d'une compression (lors de la formation des chaînes de montagnes, par exemple).

Ces fractures vont faciliter l'érosion, et notamment l'action de l'eau. Par exemple, elle vont augmenter la surface de contact avec l'eau d'infiltration. De plus, l'eau peut geler à l'intérieur des fractures, et casser le granite : on parle de gélifraction).

6.2. Altération

Les minéraux du granite vont réagir avec l'eau, sans pour autant se dissoudre, donnant des argiles et des ions : Minéraux + Eau -> Argiles + Ions. Cette altération va toucher différemment les minéraux du granite : le Quartz sera épargné, tandis que les autres minéraux seront fortement altérés. Il ne restera alors que des grains de Quartz, avec quelques minéraux isolés : on obtient du sable.

6.2.1. Micas

Les Micas noirs (la Biotite) exposés à l'air et à l'humidité vont perdre leur éclat noir, et donner une couleur dorée au granite : c'est le phénomène de **bauéritisation**. On en trouve un exemple dans les Alpes : à partir d'une certaine altitude, les granites exposés ont été altérés, et ont un léger reflet doré. De plus, les micas noirs vont se **chlorifier** : ils vont perdre du Potassium et du Fer, et se charger en eau.

Les Micas blancs (la Muscovite) ne s'altèrent pas, mais l'érosion et l'eau vont débiter progressivement les feuilletés uns par uns et les enlever. Quelques réactions chimiques peuvent tout de même avoir lieu, mais elles sont assez marginales.

Les Feldspaths font partie des premiers minéraux touchés par l'altération. Les Plagioclases sont les plus touchés par ce processus, bien devant les Feldspaths alcalins. Ils vont se transformer en minéraux argileux, comme la Kaolinite, en Damourite, etc : l'altération des Feldspaths donne des argiles.

6. Erosion et altération

Sous climat tempéré, le Quartz n'est pas altéré : Silicium et Oxygène ne réagissent pas avec l'eau quand la température est trop basse et l'humidité insuffisante. Mais sous climat très chaud et humide, comme dans les zones tropicale, le Quartz peut être altéré par l'eau après de longues périodes de temps.

6.3. Chaos et arènes granitiques

Avec l'action de l'eau, le granite va progressivement se fragmenter suite à l'élargissement des fractures. Il va former de véritables **boules de granites**, posées les unes à coté des autres. Les boules vont ensuite s'écailler, chaque écaille se transformant en sable progressivement l'une après l'autre.

Le sable va s'accumuler au sol, devant les boules de granites, ou dans les fractures : il forme une **arène granitique**. Cette arène est formée de cristaux de Quartz, d'argiles, de Feldspaths, etc.

Avec le temps, les vents ou les eaux de ruissellement vont emporter l'arène granitique et dégager les boules de granite, sans leur sable : on obtient alors un **chaos granitique**.



FIGURE 6. – Auteur : Hansueli Krapf. Licence CC-BY-SA 3.0

Le sable emporté hors des arènes granitiques se retrouve sur les plages de sable blanc ou jaune. Mais attention : du sable peut se former par altération et érosion de n'importe quelle roche, et pas seulement du granite. Ainsi, le sable d'une plage peut provenir de l'érosion de gneiss, de grès, ou de toute autre roche. On peut aussi trouver des plages de sable noir par altération de basaltes, par exemple.

Si le granite est une roche assez commune, il existe d'autres roches tout aussi intéressantes et très souvent abordées dans les livres de géologie :

- grès ;
- brèches et conglomérats ;
- charbon et pétrole ;
- gneiss ;
- marbres ;
- schistes ;
- ophiolites ;
- basaltes/gabbros ;
- etc.

J'espère que ce tutoriel vous aura intéressé, et qu'il vous a donné envie de vous renseigner plus en détail sur d'autres roches (et la géologie en général).