

ROCHES MAGMATIQUES ACIDES ET LEURS MINERALISATIONS ASSOCIEES » SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Par :

SINGOMA DHESABA 2014

INTRODUCTION

Ce présent travail que nous avons l'honneur de présenter aux lecteurs fait suite à nos efforts intellectuels persévérés dans une recherche scientifique que nous avons eu à exploiter sur une synthèse bibliographique des roches magmatiques acides et leurs minéralisations associées.

La réalisation de cet travail est non seulement une preuve de la capacité intellectuelle des connaissances dont nous jouissons grâce à la formation acquise durant ces trois années écoulées mais aussi et surtout sanctionne la fin de notre premier cycle d'étude de graduat en géologie.

1. ETAT DE QUESTION

Lors de nos investigations, nous avons rencontré certains travaux menés sur des données similaires à notre sujet et d'autres visant autres objectifs dont les contenus de certains points, grâce à une étude d'analyse nous ont permis d'élaborer ce présent travail.

Pour nous écarter des travaux précédents, nous vous présentons alors ce travail traitant d'une synthèse bibliographique des roches magmatiques acides et leurs minéralisations associées.

2. PROBLEMATIQUE

Apartir des connaissances apprises, nous avons su que les roches magmatiques sont le produit du refroidissement et de la solidification

de bains silicatés en fusion, appelés magmas c'est-à-dire elles sont généralement et principalement constituées de la silice mais différenciées selon le pourcentage de leur teneur en SiO_2 et c'est ce qui fait l'objet de l'acide au sein d'une roche d'où deux types sont connus dont : la roche acide et basique.

La minéralisation en son tour est la concentration d'un minéral dans une roche. Cette concentration s'effectue grâce aux différents mécanismes principaux qui interviennent et en fonction de la silice qui constitue la roche.

En partant de ces connaissances ci-haut, nous présentons alors le principal problème qui nous préoccupe dans ce travail. Celui de présenter un travail synthétique et bibliographique des roches magmatiques acides et la minéralisation associée à ce type des roches.

En fait, notre préoccupation dans cette étude nous suscite les questions suivantes :

- Les roches magmatiques acides sont-elles à l'origine des minerais qui leur sont associées ? et quels sont les stades de leur formation ?
- Quels est l'ensemble des phénomènes liés à la formation des roches magmatique en général et le point spatial de leur orogénèse ?

Telles sont les préoccupations aux quelles nous tenterons d'élaborer notre travail tout au long de cette recherche scientifique.

3. HYPOTHESE

Selon MISENGA MULONDWA cité par Pr LISENJA l'hypothèse est définie comme une opinion anticipée à une ou plusieurs problèmes de recherche. Ainsi, il partage le même avis que RONGERE qui dit que, l'hypothèse est une formulation provisoire concernant la relation entre deux ou plusieurs variables contenant la formation à priori ou à posteriori d'une institution. Elle implique également une prise de position du chercheur face au fait observé ou à observer.

C'est ainsi qu'en nous référant à notre problématique nous formulons les hypothèses de la manière suivantes :

- L'ensemble phénomènes liés à la formation des roches magmatiques générales et les points spatiaux de la déformation sont :
 - Magmatisme intra-plaques ou d'anatexie crustale ;
 - Magmatisme d'origine intra-crustale ;
 - Magmatisme au niveau des zones de subduction.
- Les roches magmatiques acides sont à l'origine des minerais qui leur sont associées dans des conditions stables de P et T mais dès que ces conditions changent sur une formation rocheuse en place elle peut changer la nature et donner l'apparition à des nouveaux minéraux conduisant ainsi à une autre minéralisation.

4. METHODOLOGIE

Pour le traitement des données, nous avons recourir au méthode d'analyse qui nous a permis de faire une synthèse sur le thème de notre travail et Pour la récolte des données nécessaires à notre travail, nous avons recouru au technique documentaire qui nous a permis de consulter les ouvrages similaires à notre sujet dont les sources sont les suivantes : les livres à la bibliothèque, l'internet, les TFC et les mémoires et certaines notes des cours, qui nous ont permis d'aborder notre sujet dans une ligne à suivre sans doute possible. Raison pour laquelle comme les précédents ouvrages, il s'agit ici encore d'un travail collectif, fruit d'une recherche interdisciplinaire féconde rassemblant Géologues minières ainsi que les chimistes.

5. OBJECTIFS DU TRAVAIL

Pour ce faire, nous nous sommes fixés comme objectifs les suivants :

- Présenter un support renfermant la connaissance un peu général sur les roches magmatiques acides ;
- Avoir une connaissance sur les dynamismes qui conduit à la formation des roches magmatiques acides.

- Présenter une explication brève sur les différents processus de la minéralisation liée aux roches magmatiques acide.

6. DIFFICULTES RENCONTREES

Au cours de ce travail, les difficultés que nous avons rencontrées sont les suivantes :

- L'insuffisance des données disponibles dans la bibliothèque facultaire ;
- L'insuffisance de la documentation relative à notre domaine de recherche ; le département de géologie n'étant qu'à ses débuts à l'UNIKIS ;
- Facteurs financiers car l'accès des données a beaucoup nécessité la consultation électronique ainsi les échanges avec les collègues de l'UNILU et de l'UNIKIN.

Mais malgré toutes ces difficultés connues, la solution à ces problèmes a abouti à un résultat satisfaisant que nous vous présentons dans la suite de ce travail.

DIVISION DU TRAVAIL

Hormis l'introduction et la conclusion, ce travail que nous avons l'honneur de vous présenter est divisé en trois chapitres qui sont les suivants :

- Chapitre un porte sur la généralité, nous pensons qu'il serait souhaitable si pas nécessaire de connaître d'abord et peut comprendre certains concepts clés à titre de définition qui constituent le sujet de ce travail. Il s'agit des généralités liées à la fixation de concept progrès d'une roche magmatique acide et la minéralisation ;
- Chapitre deux traite le contexte géologique général ; Cependant, les facteurs ou encore le dynamisme qui conduisent à la formation de cette roche magmatique suivi de sa mise en place. Il s'agit ici de présenter selon le contexte géologique le dynamisme exercé sur la formation en place pour former cette roche.

- Chapitre trois se focalise sur la minéralisation, nous cherchons à présenter les minéralisations associées à la mise en place des roches selon leur mode de formation. Il s'agit ici de présenter les différents stades et les gîtes de leurs formations

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1. DEFINITIONS DES CONCEPTS CLES

❖ UNE ROCHE

Du grec « petros » qui signifie pierre. Ainsi le dictionnaire géologique lui donne la définition suivante :

Elle est un matériau constitutif de l'écorce terrestre formé en général d'un assemblage des minéraux et présentant une certaine homogénéité statique ; le plus souvent dur et cohérent (pierre, caillou) parfois plastique.

En géologie, la notion de roche comprend donc tous les types de matériaux constituant l'écorce terrestre, y compris les sols meubles. Au vu de cette définition, on comprend alors que la nomenclature des roches est encore plus complexe que celle des minéraux, aucun système de classification ne fait l'unanimité chez les géologues. Les noms donnés aux roches, au cours des développements de la pétrographie, sont relatifs (entre autres) : soit à leur composition minéralogique, soit à leur morphologie extérieure, soit à la région ou à la localisation où elles ont été découvertes, soit encore à leur évolution.

D'autre part, à la différence des minéraux, les roches ne se développent pas les unes à côté des autres indépendamment, toutes les transitions peuvent exister entre les roches génétiquement voisines. Leur classification et subdivision sont des démarches intellectuelles.

❖ UN MAGMA

Est un bain naturel de silicates en fusion, pouvant contenir des cristaux ou des fragments de roches en suspension. Sa cristallisation conduit aux roches magmatiques appelées aussi une roche éruptive.(Durant et Paquet, 1997).

Un magma se caractérise par : sa composition essentiellement acide ou basique, sa température élevée (750° à 1.500°) et par sa viscosité qui lui confère une plus ou moins grande aptitude à couler (Durant et Paquet, 1997).

Notons que l'on peut obtenir un bain de silicates artificiellement en broyant finement des minéraux silicatés (feldspaths, quartz ou minéraux argileux) et en portant l'ensemble à de hautes températures (les suites réactionnelles de Bowen).

De manière générale et fortement simplifiée, on distingue principalement deux types de magmas suivant leur teneur en silice, dont : magma hypersilicieux et hyposilicieux et la différence est telle que les préfixes l'indique.

❖ UNE MINERALISATION

Rappelons qu'en sciences de la vie, il s'agit du passage d'une matière organique de son état organique à l'état minéral. C'est-à-dire les éléments chimiques qu'entrent dans la constitution des êtres vivants et passent ainsi alternativement de l'état minéral à l'état organique et vice versa en traversant des circuits plus ou moins longs et complexes appelés cycles biogéochimiques ou mieux biogéochimiques. Dans cette évolution, la matière organique finit par être minéralisée complètement avec le temps. C'est le cas des matières organiques fraîches et l'humus.

Dans le cas de la science géologique, le concept de « minéralisation » veut dire :

- Soit la concentration d'un minéral dans une roche ou une région sous formation de gisements de matières précieuses. Cas de l'or, cuivre, diamant, argent, etc.

- Soit aussi l'accumulation et transformation des matières organiques dans des conditions où leur minéralisation complète est empêchée. Ce qui aboutit à la formation des roches organiques ou carbonées qui sont des hydrocarbures. C'est le cas des roches organiques telles que le charbon, le pétrole, du gaz méthane, du bitume, tourbe, etc.

I.2. QU'EST-CE QUE ROCHE MAGMATIQUE ACIDE

Selon l'auteur Schumann, les roches magmatiques ou éruptives (encore appelées roches ignées) ; seraient le produit du refroidissement et de la consolidation des bains silicatés en fusion, appelés magmas. Ce refroidissement pouvant se faire soit à la surface de la terre (donnant les roches volumiques ou extrusives), soit au sein de l'écorce terrestre (donnant les roches plutoniques ou intrusives). (Schumann, 1989).

Les roches ignées ou magmatiques résultent de la solidification des magmas, c'est-à-dire de quantités importantes de matière particulièrement ou entièrement fondue. Le magma se trouve à une température qui varie entre 700 et 1 300°C dans les niveaux les plus profonds de l'écorce terrestre. Souvent on parle des roches éruptives effusives ou volcaniques pour désigner celles qui arrivent à la surface du globe où elles se solidifient, et ceux de roches éruptives intrusives ou plutoniques lorsque la solidification du magma se fait en profondeur. On peut aussi utiliser le terme plus large de roches ignées, qui souligne l'origine commune de ces roches à une température élevée quelles que soient leurs conditions de refroidissement. Le terme des roches magmatiques, également utilisé au sens large, suppose qu'elles se sont formées aux dépend d'un bain fondu. Certains auteurs s'opposent à cette définition et pensent que les granites se sont formés par transformation de roches préexistantes à l'état solide.

I.2.1. ORIGINE ET NATURE DES ROCES MAGMATIQUES ACIDES

L'origine et nature exacte des magmas ne peuvent être étudiées que de manière indirecte car on ne peut observer le magma liquide, sauf dans le cas des coulées de lave. En profondeur, le magma se trouve dans des réservoirs ou des chambres magmatiques qui ne communiquent pas

directement avec la surface. Le seul moyen de connaître sa nature consiste à étudier la composition chimique, la minéralogie, les structures et textures des roches intrusives qui dérivent de sa consolidation et que l'érosion des couches sous-jacentes amène à l'affleurement.

Etant donné que les roches ignées, aussi bien, intrusives qu'extrusives sont constituées essentiellement par des minéraux silicates (ou par du verre ayant la même composition que les silicates), il est logique de penser que le magma est constitué par un bain fondu de silicates. On peut fondre au laboratoire des échantillons des roches ignées en les chauffant à des températures élevées (1000° à $1\ 300^{\circ}\text{C}$). Si l'on opère sous pression et en présence d'éléments volatiles, la température de fusion de la roche et de ses minéraux est beaucoup plus basse (650°C à 950°C). On sait que les magmas contiennent des quantités variables d'éléments volatiles qui abaissent le point de fusion de nombreux silicates, inférieures à celles requises pour fondre les roches au laboratoire. En effet, les températures qui existent dans différents niveaux de la croûte terrestre ne sont pas suffisantes pour fondre des roches en l'absence d'éléments volatiles qui sont souvent observés à l'état gazeux aux événements des volcans actifs. Il s'agit de vapeur d'eau, d'anhydride carbonique, d'hydrogène, de chlore, de fluor (sous forme d'acide) et de nombreux autres gaz. A l'origine, ces gaz sont en solution dans les magmas en raison de la pression élevée, ils contribuent à diminuer la viscosité du bain fondu et augmenter leur pouvoir intrusif. Les teneurs en éléments volatils présents dans les magmas atteignent quelques unités pourcent en poids ; les derniers résidus de cristallisation sont enrichis en éléments volatiles.

Les structures des roches ignées démontrent qu'au moment de l'intrusion du magma dans les roches encaissantes et de son éruption sous forme de lave, celui-ci contient déjà des phases solides sous forme de phénocristaux intra-telluriques. L'état normal du magma en profondeur est celui d'une suspension de cristaux dans un liquide plus ou moins visqueux. Des substances qui, à pression ordinaire et à la température du magma, devraient être à l'état gazeux, sont dissoutes dans le bain fondu de la

pression élevée. L'origine primaire du magma est encore mal connue et fait l'objet de discussions entre les chercheurs. La question qui se pose est la suivante : dérivent-ils des niveaux les plus profonds de l'écorce terrestre où l'état physique de la matière est mal connu, ou bien proviennent-ils, comme le pensent certains, de fusion plus ou moins complète de roches préexistantes amenées par des dislocations de la croûte dans des niveaux profonds où la température élevée provoque la liquéfaction des minéraux à point de fusion bas. Ce qui fait que chaque type de magma a un mode de genèse qui lui est propre.

I.3. REPARTITIONS GEOGRAPHIQUES

Selon C.E. Wegman et ses disciples la plupart des roches plutoniques de composition granitique et grano-dioritique dériveraient de la granitisation des roches préexistantes métamorphique ou sédimentaires ou ignées de composition différente de celle du granite. Il se produirait un processus métasomatique dans les niveaux inférieurs de la croûte terrestre avec l'apport de certains éléments de celles des magmas liquides. Par contre, le cas des granites intrusifs, capables de traverser brutalement les roches encaissantes, doit être rapproché du mode de formation des magmas liquides. Les éléments chimiques présents dans le bain fondu sous forme de groupement ioniques s'unissent pendant le processus de cristallisation pour former des structures ordonnées qui sont à l'origine des édifices cristallins des minéraux. Les groupements ioniques sont représentés par des tétraèdres SiO_4 et AlO_4 , auxquels se joignent des groupements complexes de composition voisine (AlSiO_4 , AlSi_2O_6 , AlSi_2O_8 , SiO_2 , etc) analogues à ceux des réseaux cristallins des silicates. Les éléments volatiles dissous dans le magma diminuent le degré de fusion de magma.

I.3. Répartition géographique des roches magmatique ACIDE

Comme nous avons appris dans le point précédent les roches magmatiques acides sont celles contenant plus de la silice dans leur composition. C'est pourquoi lorsque la teneur en silice est élevée (75%) le magma en fusion est très visqueux et s'écoule donc lentement à travers l'écorce terrestre. Il cristallise alors presque entièrement lors de son

ascension vers la surface et seuls subsistent les minéraux stables en présence d'un excès de SiO_2 . Ce type de magma engendre les roches granitiques représentant près de 95% des roches d'intrusion au sein des roches préexistantes.

Ce qui fait que la plus grande partie des roches magmatiques acides se situent géographiquement en profondeur sous forme d'intrus au sein d'une structure préexistante tel que le cas de :

➤ Granites syénites, Granodiorites, Diorites Gobro et Péridotite.

Certes une question peut venir de votre attention, celle de :

Pourquoi trouve-t-on les roches acides à la surface ?

Cela se justifie de la manière suivante :

Lors de leur ascension, si la vitesse d'émission est rapide, il est brassé au cours de son expulsion, il peut s'enrichir considérablement en silice en raison du processus de sédimentation des minéraux précédemment formés. On obtient alors des liquides successifs qui, d'hyposilicieux, deviennent progressivement hypersilicieux. Tel est le cas des : trachite, rhyolite, rhyodactile et basalte et ce mécanisme est appelé la différenciation magmatique.

Et afin signalons aussi le mécanisme d'érosion des matières qui fait porter une roche magmatique cristallisée en profondeur à la surface.

I.4. Composition chimique des roches magmatiques acides

Pour ce qui concerne la composition chimique des roches magmatiques acides il nous sera très utile et indispensable de présenter les minéraux contenant plus de 65% en poids de SiO_2 car sans ce dernier on ne peut pas parler d'acide au sein d'une roche.

C'est ainsi que la classification en fonction de l'acidité de la roche magmatique se portera sur les minéraux qui contiennent plus des proportions de la silice en eux.

On a tendance à confondre richesse en silice et saturation de la roche en silice. En principe, la richesse en silice exprime l'acidité d'une roche, c'est-à-dire le rapport de la quantité d'oxygène fixée par silice à la quantité d'oxygène fixée par tous les autres cations, on distingue alors :

- Les roches acides $\text{SiO}_2 > 65\%$, cas des granites
- Les roches intermédiaires $52\% < \text{SiO}_2 < 65\%$ cas des basaltes
- Les roches ultrabasiques $\text{SiO}_2 < 45\%$ cas des péridotites

Ici nous mettons surtout notre attention sur les roches acides et intermédiaires car leur composition minéralogique fait l'objet de ce point.

I.4.1. en fonction du degré de saturation en silice

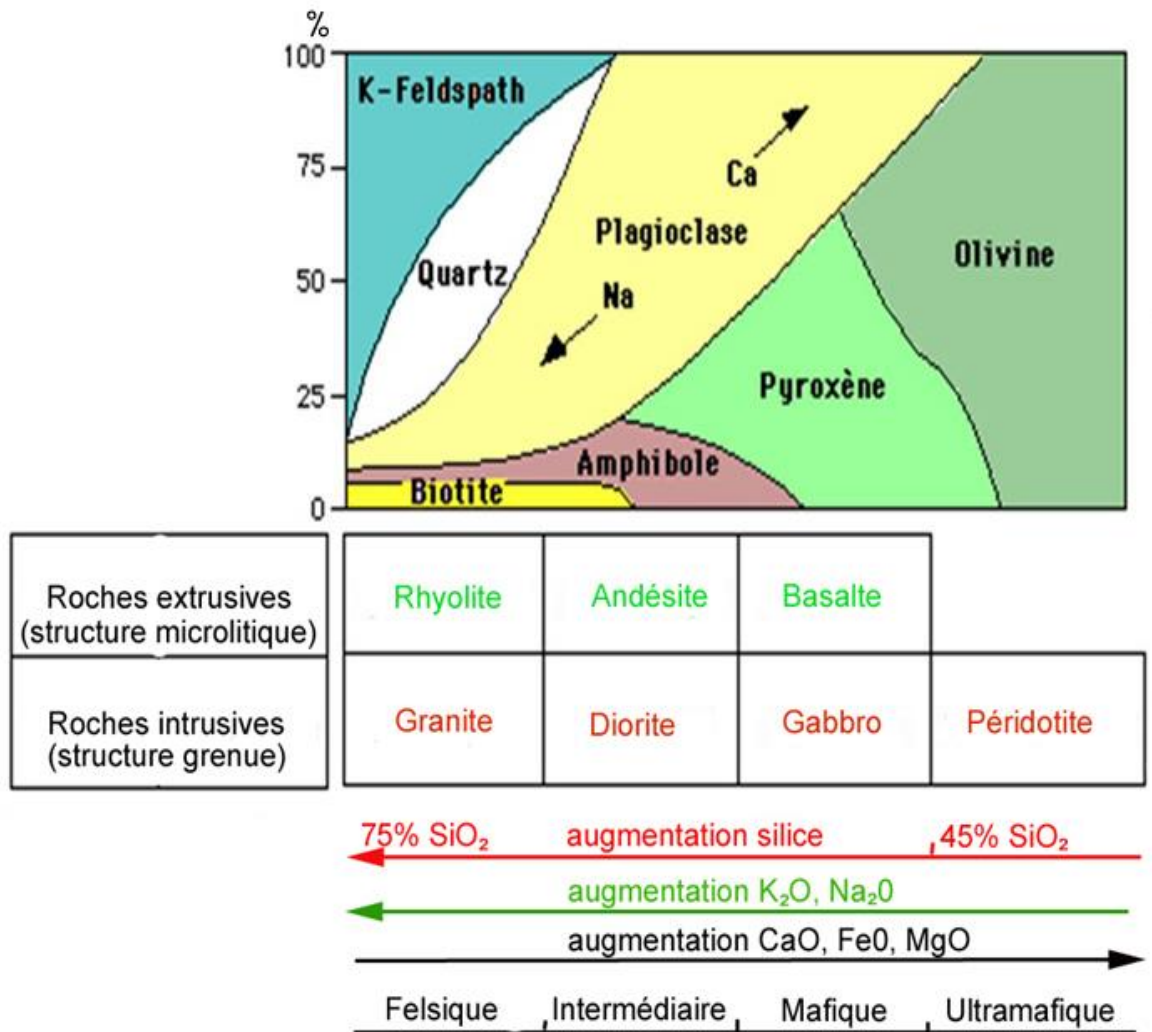
La silice est présente dans tous les silicates, mais lorsqu'elle est très abondante dans le magma ($> 65\%$), elle peut s'individualiser et former du Quartz. On dit que la roche est sousaturée, si la quantité de la silice est inférieure à 45% des feldspathoïdes apparaissent car ce sont des minéraux qui requièrent peu de silice pour se former, donc Quartz et feldspathoïdes s'excluent mutuellement, un magma ne pouvant être à la fois riche et pauvre en SiO_2 .

Dans ce cas on dit que la roche est sous-saturée ou extrêmement sous-saturée selon que l'on observe ou non des feldspathoïdes.

Les familles à F_{K-Na} (roches alcalins). Les roches à F_{K-Na} et plagioclases (roches calco-alcalines), les roches à plagioclases (roches calco-sodique mais celles qui sont dépourvues de feldspaths contiennent le feldspathoïde sont alors basique et ont une proportion élevée des ferromagnésiens. Donc celles à plagioclases riches en albite sont dites roches à plagioclases acide.

I.4.2. composition minéralogique approchée des roches éruptives plutoniques

Pour insister sur les limites de variation des compositions chimiques (minéralogiques) des principales roches, nous avons vivement souhaités vous présenter ce tableau n°1 qui est le résultat du travail de (Pomerole & Renard, 1997).



Qui vous permettra de connaître chacune des grandes familles des roches éruptives avec sa composition ou proportion chimique des minéraux et pour ceux qui seront intéressés par cette partie, nous vous conseillerons de lire aussi le travail d'après Streckeisen (1966) qui a travaillé sur l'incompatibilité de Quartz et feldspathoïdes.

EN RESUME

En ce qui concerne la composition chimique des roches magmatiques acides, nous nous résumons à classer ces minéraux parmi les principaux minéraux constitutifs de l'écorce terrestre dans la famille de lithophile (de loin la plus importante) se trouvant à l'état de silicates : Li, O, Na, Mg, Al, Si, K, Na, Ti, Rb, Sr, Ba, Th, U.

D'où la deuxième famille représente celle de la Sidérophile qui se trouve à l'état métallique et enfin la troisième famille est celle de la chalcophile se trouvant à l'état de sulfures (Masson 1966).

NB : Ces derniers sont stables dans des conditions précises de températures, de pression et de milieu chimique et dès que ces conditions changent les éléments peuvent précipiter puis donner apparition à un autre.

I.5. STRUCTURE DES ROCHES MAGMATIQUES ACIDE

Comme notre point I.4 nous dit que les roches magmatiques acides sont celles qui contiennent une proportion élevée de silice dans leur composition et conduisent à la formation de type des roches plutoniques géographiquement localisé en profondeur.

C'est pourquoi cette classification structurale de ces roches magmatiques acides sera étudiée uniquement pour les roches plutoniques et certaines roches filoniennes.

Notons qu'en général cette classification structurale des roches est basée sur l'aspect rendu par l'organisation et la taille des différents minéraux constitutifs d'une roche magmatique quand on observe un échantillon tant à l'œil nu qu'au moyen d'une loupe ou encore au microscope.

❖ STRUCTURE GRENUE

Quand une roche est complètement cristallisée, elle est donc le produit d'un refroidissement lent à très lent qui se produit dans la croûte terrestre. En conséquence, seules les roches plutoniques et certaines roches filoniennes présentent cette structure.

Si la roche est cristalline, ce n'est pas pour autant que la structure des différents minéraux est apparente. A ce fait de développement d'un

minéral est entravé par celui de ses voisins. Seules certaines roches présentent des cristaux bien développés dans leur système cristallin.

D'autres part, la taille des différents minéraux peut considérablement varier, principalement en fonction de la vitesse de refroidissement.

- **Roches à structure grenue normale** : pour lesquelles les grains ont approximativement la même taille, semblable à celle d'un grain de blé. C'est le cas de la majorité des granites et des granodiorite.
- **Roches à structure aplitique** : pour lesquelles les grains ont également la même taille mais sont plus petits, à peine visibles à l'œil nu. C'est le cas de la plupart des diorites et gabbros.
- **Roches à structure pegmatitique** : à l'inverse de la structure précédente, les minéraux présentent une taille semblable mais importante. Ces roches sont le produit d'un refroidissement très lent. Même si leur composition minéralogique est semblable à celle des roches grenues (granites typique), on parle donc en général de pegmatites.
- **Roches à structure porphyrique** : pour lesquelles les minéraux ont des tailles fortes différentes. Certains minéraux sont centimétriques dans une masse cristalline formée de minéraux millimétriques ou infra-millimétriques. C'est le cas de certaines roches filoniennes.

❖ **STRUCTURE MICROGRENUE**

La roche est entièrement cristallisée mais les différents minéraux sont indifférenciables à l'œil nu et très difficilement au moyen d'une loupe. C'est le cas des roches filoniennes et de la périphérie des massifs plutoniques (surtout celles qui rapidement qu'au cœur de la chambre magmatique) dans ce cas certaines roches pourront présenter des cristaux de grande taille dans une masse cristalline microgrenue (cf. roches porphyriques).

CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL

II.1. Cadre Géodynamique

Le Magmatisme

C'est l'ensemble des phénomènes liés à la formation et aux déplacements des **magmas**.

On appelle **magma** un liquide silicaté à haute température ($>600^{\circ}\text{C}$) contenant des gaz dissous qui donne par refroidissement une **roche magmatique**. Un silicate étant un minéral (SiO_4) dont le motif élémentaire est un tétraèdre formé d'atomes de silicium et d'oxygène auxquels peuvent s'ajouter des atomes d'aluminium sous forme d'alumine (Al_2O_3) et des atomes de fer et de magnésium.

II.1.1. Magmatisme intra-plaques ou d'anatexie crustale.

Au cours de l'orogénèse consécutive à la rencontre de deux plaques continentales, l'épaississement crustal s'accompagne de la fusion partielle ou **anatexie** de la croûte donnant un magma de composition granitique, on parle de magmatisme d'anatexie crustale.

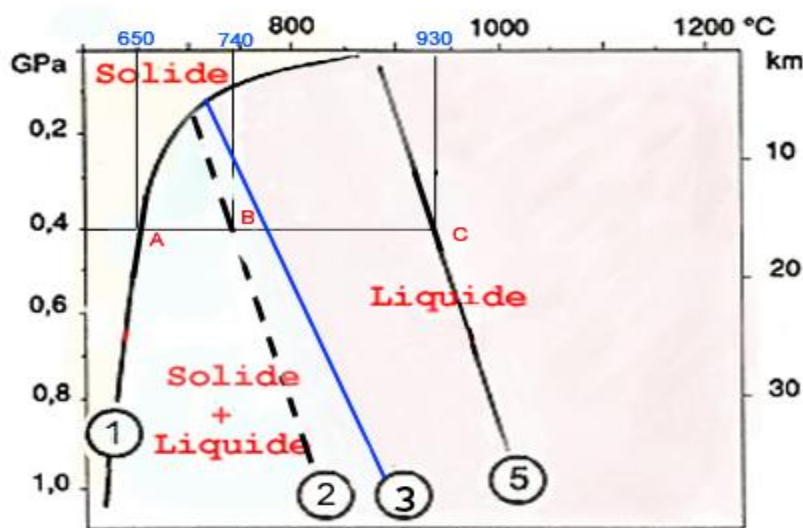


Fig.2. Courbe Pression/Température pour une roche de composition granitique. (D'après H. Winkler modifié).

Les expériences réalisées au laboratoire sur des roches de composition granitique en présence d'eau (car des roches sédimentaires soumises à une fusion partielle fournissent un liquide de composition granitique : quartz+albite+orthose) montrent que:

- soumises par exemple à des pressions de 0,4 GPa, elles subissent un début de fusion-vers 650°C (Point A sur la courbe (1) du solidus) correspondant à une profondeur de 15 Km, pour donner des magmas de composition migmatitique (cf. ci-dessous).
- alors que pour un granite à biotite sec (point B sur la courbe (2)) il faut atteindre une température de 740°C,
- et qu'il faut une température de 930°C (Point C sur la courbe (5) du solidus) pour un granite sec sans la présence de minéraux à radicaux oxydriques OH. (1). solidus du système quartz+albite+orthose en présence d'eau (2). solidus d'un granite sec à biotite (3). liquidus 4% eau(5). solidus du système quartz+albite+orthose à sec et sans la présence de minéraux contenant des radicaux OH.

Pour un matériau donné (minéral, roche ou métal) qui subit une fusion ou une cristallisation, le solidus est la courbe qui sépare deux domaines, le domaine où il est solide du domaine où il y a un mélange de solide et de liquide.

Le liquidus sépare le domaine où il y a un mélange solide+liquide, du domaine où le matériau est en totalité liquide.

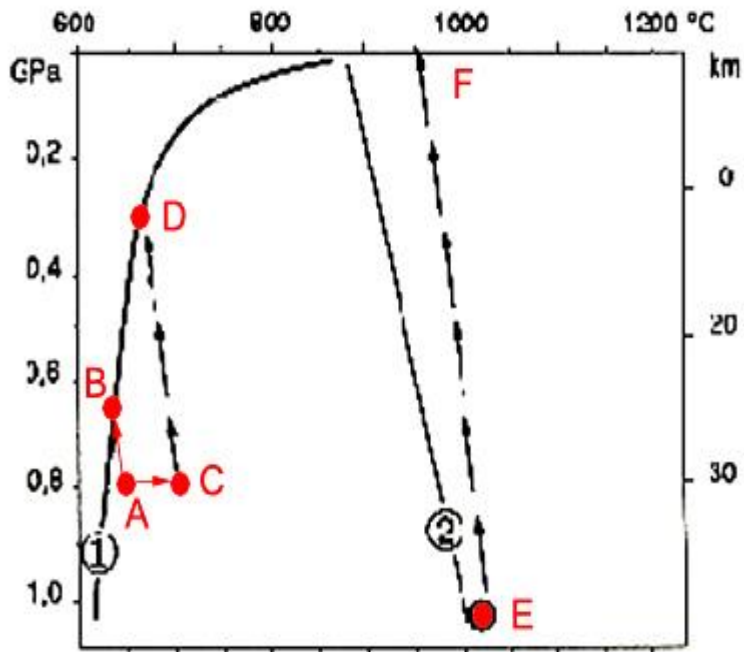


Fig.3. Possibilité de migration d'un magma granitique dans la Croûte terrestre

Quel est le devenir de ces magmas?

Un magma granitique d'anatexie crustale (A) rencontre très rapidement les conditions de solidification en (B) sur la courbe du solidus en présence d'eau et forme donc un massif de migmatites ou d'anatexites en profondeur

Les migmatites (du grec migma=mélange) sont des roches de *mélange* formées d'une trame métamorphique comme par exemple un gneiss et d'un **néosome** issu de la partie fondue de la roche initiale; le néosome lui-même comprend une partie claire ou **leucosome** (quartz+feldspath) et d'une partie sombre ou **mélanosome** (mica noir).

Les migmatites pouvant donner des massifs granitiques à bords diffus (Argentera-**Mercantour**). S'il y a une surchauffe (C) dans un contexte tectonique de collision, sa migration peut se poursuivre vers la surface et donner naissance à un massif granitique à bords circonscrits ou **pluton**, en (D), intrusif dans les roches qu'il traverse. C'est le cas du Granite de Plan-de-la-Tour dans les Maures. Pour donner des roches extrusives (épanchements de rhyolites en surface en (F)), le magma (E) issu de la fusion d'une croûte continentale anhydre (solidus 2) doit être très chaud donc d'origine infra-crustale (cf. Fig.15).

II.1.2. Magmatisme d'origine infra-crustale.

La fusion partielle ou anatexie peut se produire dans les matériaux du manteau supérieur dont la nature a été connue à la suite de données fournies par la géophysique et l'étude d'écaïlles ramenées en surface lors de la tectogénèse. Le manteau supérieur est constitué de **péridotites**, roches magmatiques riches en péridots (d'où leur nom) qui sont des silicates riches en ferro-magnésiens comme l'olivine, auxquels s'ajoutent des pyroxènes, des plagioclases, des spinelles ou des grenats.

II.1.2.1. Au niveau des dorsales médio-océaniques ou rides.

Ce sont des "**marges actives**" au niveau desquelles se manifestent

- une activité magmatique intense notamment un volcanisme avec émission de basaltes "en coussins" ou pillow lavas et des émissions hydrothermales "les fumeurs noirs".
- la formation de croûte océanique,
- une activité tectonique caractéristique, conséquence de mouvements d'extension intra-plaque de la lithosphère, avec la formation d'un bourrelet lithosphérique, un amincissement crustal, la formation de failles normales et de failles transformantes dans les zones de coulissage qui décalent l'axe de la dorsale, des remontées magmatiques et des séismes peu profonds.



Fig.4. "Pillow-lavas". (NOAA. Ocean Explorer)



Fig.5. "Fumé noir". (CNRS)

1. Création de la lithosphère océanique.

On peut distinguer plusieurs stades:

- un **bombement lithosphérique** dû à une remontée du manteau avec effusion de basaltes alcalins, dès le début de la divergence des plaques lithosphériques, Pui
- un **amincissement crustal** entraînant, suite aux mouvements de divergence, la formation de failles normales, d'un fossé d'effondrement central avec sa large vallée centrale ou rift (10 à 20 km de large limité par des versants abrupts dans le cas des "dorsales lentes" type "Ride médio-atlantique") ou sans rift avec une zone déprimée centrale (5 à 15 Km de large dans le cas des "dorsales rapides" type "Ride Est-Pacifique"). Un volcanisme actif accompagne ces phénomènes.
- une **formation de croûte océanique** par la remontée de roches basaltiques qui s'ajoutent de part et d'autre de la zone axiale, au plancher océanique existant : c'est le phénomène d'**accrétion**. Ainsi le plancher du jeune océan s'élargit, on parle d'**expansion du fond océanique**

2. Origine des magmas.

Dans les chaînes de montagnes plissées on retrouve des lambeaux de lithosphère océanique constitués d'une séquence (**séquence ophiolitique**) de roches caractéristiques ou **ophiolites** avec à la base des péridotites (cf. Fig.10). Ces basaltes tholéiitiques (tholéiitiques MORB= Mid Ocean Ridge Basalt) proviendraient des péridotites du manteau au niveau de la LVZ (Low Velocity Zone) à la limite de la lithosphère et de l'asthénosphère à environ 80 Km de profondeur à l'aplomb de la dorsale à Basses Pressions <20 Kbar.

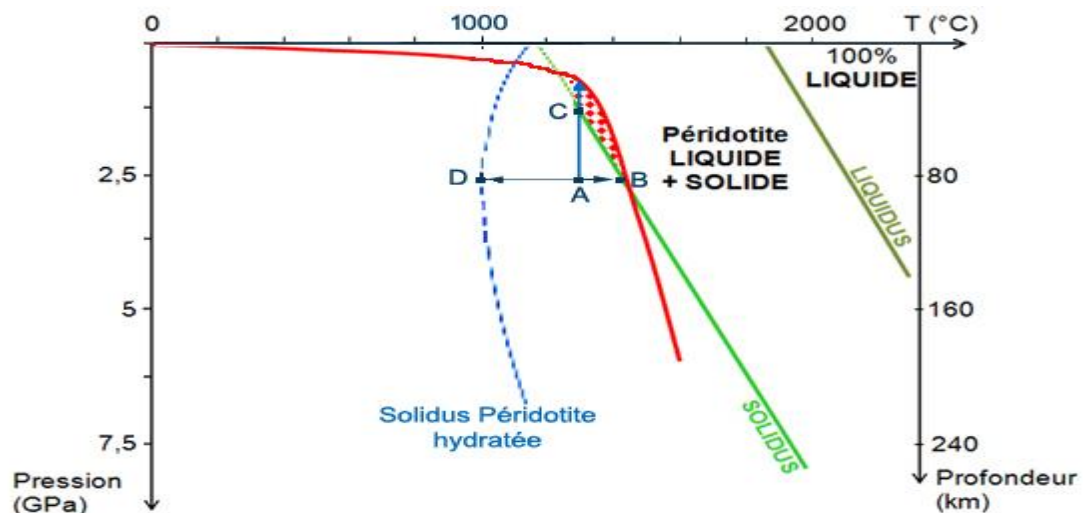


Fig.6. Courbe Pression/Température pour une péridotite

Le géotherme de la dorsale recoupe (courbe rouge) le solidus (courbe verte) des péridotites sèches dès 20 Km de profondeur, la fusion partielle des péridotites est donc possible; la zone où la péridotite entre en fusion (pointillés rouges) se situe entre le solidus sec (courbe verte) et le géotherme de la dorsale (courbe rouge).

Si nous prenons une péridotite représentée par le point A. Comment peut-elle évoluer en fonction de P et T?

3 possibilités:

- augmentation de T qui provoquera un début de fusion en B,
- baisse de la P à température constante qui provoquera un début de fusion en C
- apport de fluides (H₂O) qui permettra un début de fusion des péridotites hydratées en D.

Dans le cas d'une dorsale c'est la deuxième possibilité qui s'exprime, en effet la formation du magma provient de la **décompression adiabatique** c'est à dire à pression constante des péridotites du manteau asthénosphérique (roches ultramafiques riches en ferro-manésiens, pyroxène et olivine et pauvres en silice), entre 80 et 100 Km de profondeur, qui remontent vers la surface à la vitesse de 1 cm/an dans le cas d'une dorsale type Pacifique.

Conclusion: la fusion partielle d'une péridotite (30%) fournit un magma andésitique en présence d'eau et basaltique en son absence, qui migre dans une chambre magmatique et une péridotite résiduelle.

Péridotite----->Péridotite résiduelle + liquide basaltique

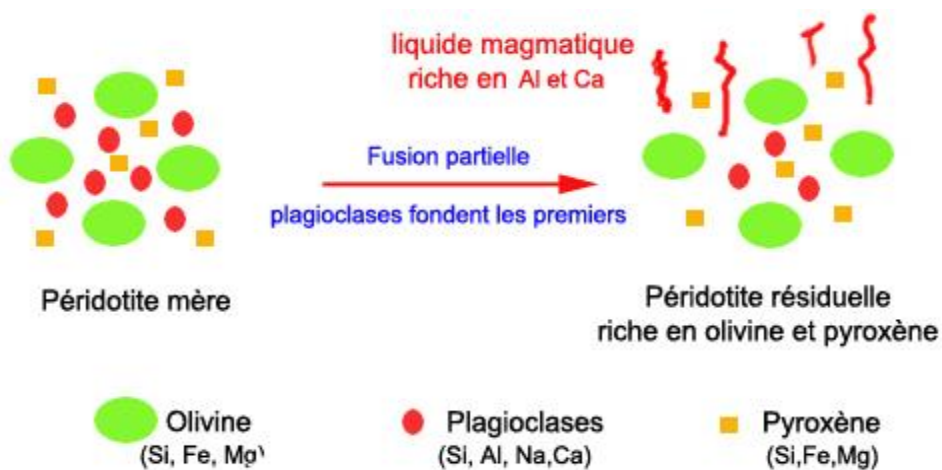


Fig.7. Fusion partielle des péridotites

3. Evolution du magma

3.1. Cristallisation fractionnée.

Bowen a montré qu'au cours du refroidissement d'un bain initial, la cristallisation des minéraux se fait dans un ordre défini, fonction de la nature du magma, des conditions de P et T et des gaz dissous. Deux lignées évoluent parallèlement, **la lignée des ferro-magnésiens (Fe, Mg)**, à droite sur le schéma ci-dessous et **la lignée des alcalins (Na, K, Ca)** à gauche. La série réactionnelle des ferro-magnésiens est **discontinue** car on ne peut passer directement d'un minéral à un autre alors que la série des alcalins est **continue**. (Bowen, 1928).

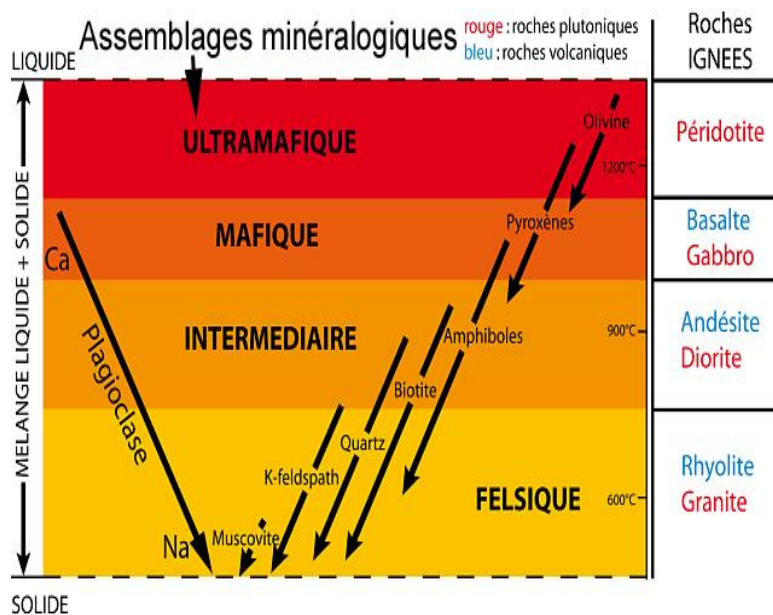


Fig.8. Séries réactionnelles de Bowen : série continue des plagioclases et série discontinue des ferro-magnésiens (ils cristallisent en même temps)

Les minéraux ultramafiques: très riches en Mg et Fe, très pauvres en Si (minéraux ultrabasiques) comme l'olivine des périodites du manteau et les minéraux mafiques (de magnésium et fer): riches en Mg et Fe, pauvres en Si (minéraux basiques) comme les pyroxènes cristallisent dans l'ordre olivine, pyroxènes

Ainsi par refroidissement un magma pauvre en silice donnera ----> Cristaux d'olivine + liquide résiduel qui à son tour donnera---

> des cristaux de pyroxène.

Si ces pyroxènes sont en contact avec un magma riche en quartz et en Na, K, Ca, ils donneront---> des cristaux d'amphiboles et par un processus semblable les derniers ferro-magnésiens formés seront des biotites.

Dans la série des plagioclases on passe de l'anorthite calcique (basique) à l'albite sodique (alcaline) par une série de minéraux dont la composition chimique évolue d'une manière continue et qui ont même structure. Les minéraux felsiques (de feldspath et silice) sont riches en Si, Al, O, Na, K (minéraux acides) comme le quartz, la muscovite, les feldspath potassiques (orthose).

Conclusion : les minéraux les plus basiques, riches en Fe, Mg et/ou Ca cristallisent en premier vers 1 100°C alors que les alcalins (Na, K) cristallisent en dernier vers 900 °C

Nom des minéraux	%	%
	NaAlSi₃O₈	CaAl₂Si₂O₈
	Albite	Anorthite
Albite	100-90	0-10
Oligoclase	90-70	10-30
Andésine	70-50	30-50
Labrador	50-30	50-70
Bytownite	30-10	70-90
Anorthite	10-0	90-100

Fig.9. Série continue des plagioclases

3.2. La différenciation magmatique.

Pour les minéraux ferro-magnésiens, par refroidissement les cristaux apparaissent dans l'ordre suivant : olivine, pyroxène, amphibole,

biotite, puis **sédimentent** sur la base de la chambre magmatique et ne font plus d'échanges avec le liquide résiduel. Ce dernier s'appauvrit donc en éléments qui sont entrés dans la composition des minéraux cristallisés et s'est enrichi de manière relative en éléments non cristallisés.

Ainsi prenons le mélange liquide suivant : 5 parties SiO_2 + 5 parties MgO soit 50 % SiO_2 et 50% MgO

si on retire 1 partie MgO, le liquide résiduel contiendra 5 parties SiO_2 + 4 parties MgO donc le pourcentage MgO est plus faible et corrélativement le pourcentage SiO_2 est plus élevé.

La composition du liquide résiduel a évolué, c'est ce qui se passe lors du refroidissement du magma basaltique tholéiitique issu de la fusion des péridotites anhydres du manteau supérieur : magma basaltique tholéiitique-----> cristaux hornblende-biotite + liquide résiduel = andésites (Islandites) (Labrador-bytownite (Plagioclases Na Ca) + augite-hyperstène (pyroxènes)+ SiO_2 ----> (**oligoclase-andésine** (Plagioclases Na Ca) + augite-hyperstène (pyroxènes) + **biotite**)

Conclusion : le liquide résiduel dans la chambre magmatique sera alors appauvri en éléments basiques (Fe, Mg, et/ou Ca) et relativement enrichi en silice et alcalins; le magma restant en cours de différenciation aura donc une composition différente du magma d'origine.

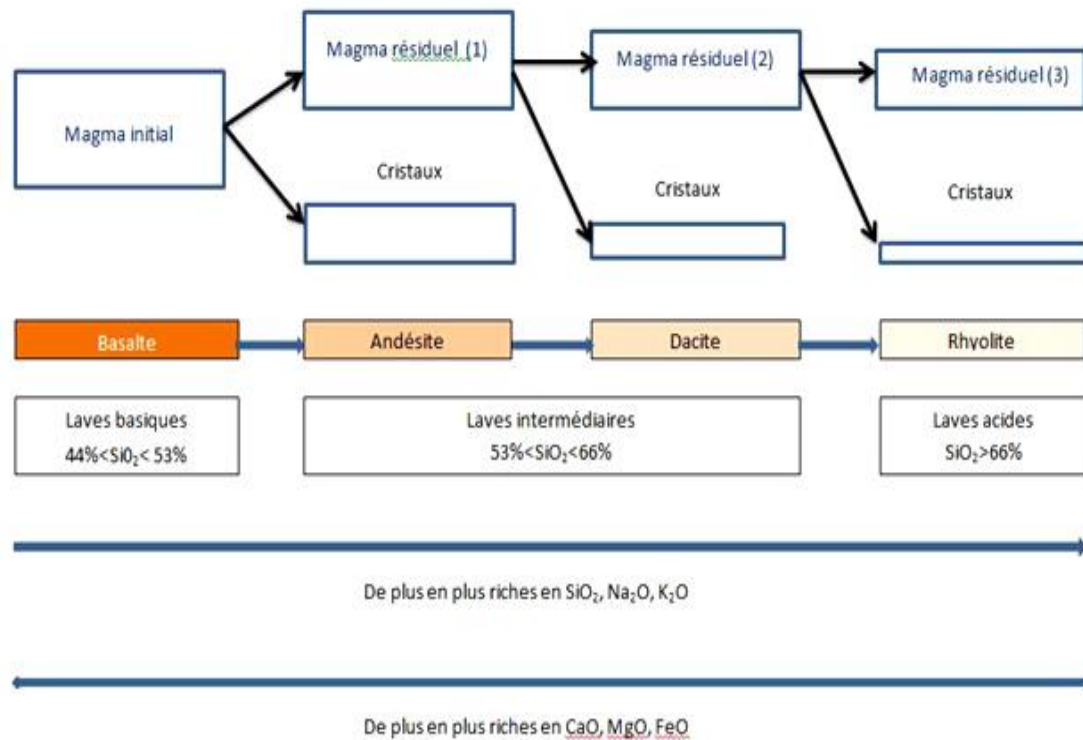


Fig.10. Cristallisation fractionnée.

En supposant le passage du magma andésitique dans une autre chambre magmatique secondaire, voire tertiaire le même phénomène conduira à la cristallisation de plagioclases, amphibole, biotite, quartz, feldspath potassique, muscovite et à la formation en surface de dacite et de rhyolite.

Si les magmas n'atteignent pas la surface, ils cristallisent pour donner des roches magmatiques intrusives grenues entièrement cristallines (gabbros, diorites, granites) dont le refroidissement plus lent a permis la formation de phénocristaux et pas de microlites ou de verre.

Les forces d'extension provoquent la formation de fractures dites **fractures de tension** dans lesquelles cristallisent les gabbros donnant naissance au **complexe filonien** des **ophiolites**.

Conclusion: un même magma peut donner différentes roches magmatiques formant une série ou une lignée.

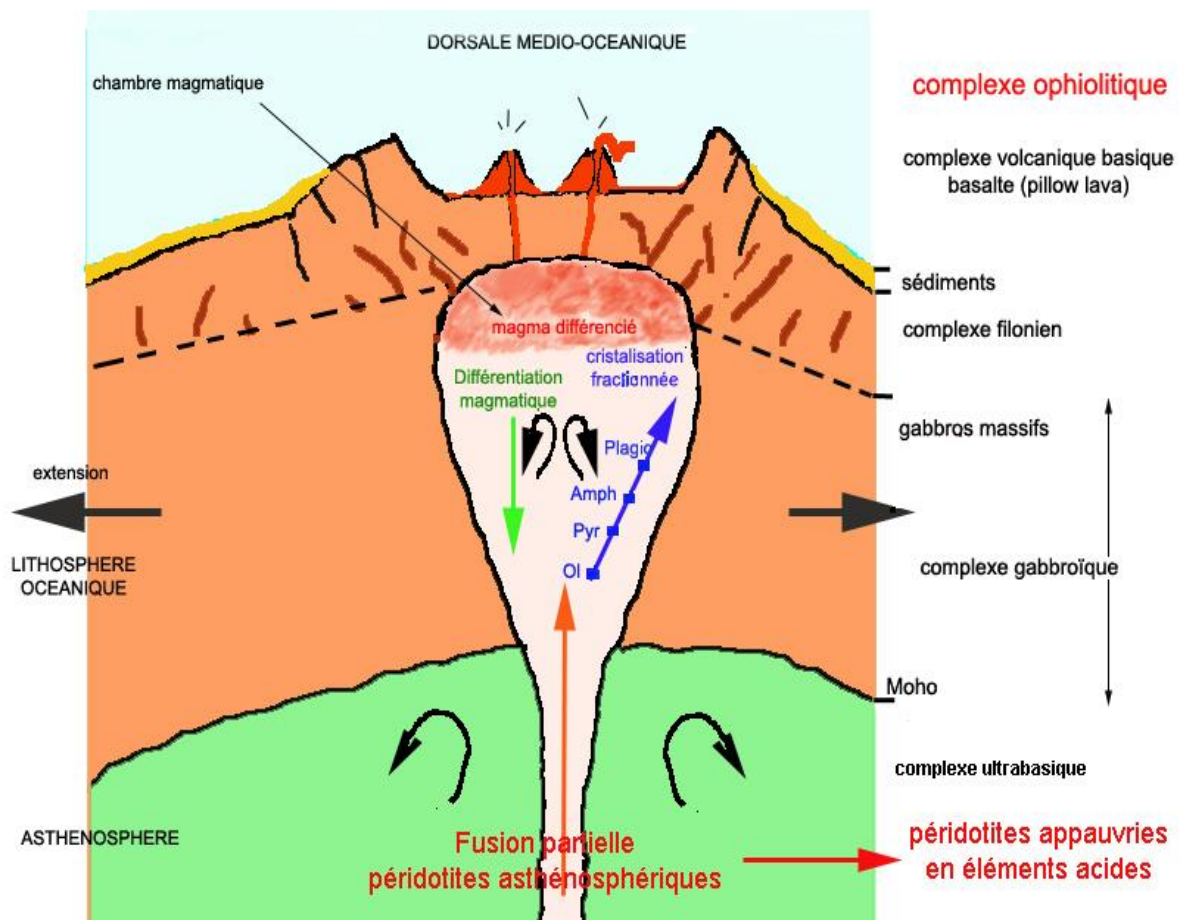


Fig.11. Evolution des magmas

4. Principales séries magmatiques.

La série magmatique est un ensemble de roches issues du même magma parental. Si on place sur un diagramme alcalins-silice les compositions chimiques des roches magmatiques, elles se placent sur des courbes distinctes correspondant à plusieurs séries:

- **la série tholéiitique** : riche en silice libre sous forme de quartz, sans olivine (elle est incompatible avec le quartz) ($45\% < \text{silice} < 75\%$), pauvre en K_2O et Na_2O et sans feldspathoïdes. Les roches issues vont des

basaltes tholéitiques (issus de péridotite anhydre à pressions faibles), aux andésites et dacites (issues de péridotites en présence d'eau). Cette série se rencontre dans la croûte océanique, **les rides ou dorsales médio-océaniques**, les rifts, dans les complexes ophiolitiques, les "trapps" ou vieux boucliers basaltiques du Brésil ou d'Inde (empilements de coulées volcaniques) ou les volcans d'Hawaii.

- **la série alcaline** : les taux de Na_2O et K_2O sont plus élevés que dans la série précédente. Les roches qui en sont issues vont des basaltes alumineux, trachytes, andésites, dacites et rhyolites; on les rencontre dans le volcanisme continental (Chaîne des Puys), le volcanisme d'arcs insulaires, ou dans les "marges actives" ou **zones de subduction**. Ces roches sont issues de la fusion de roches sédimentaires (argiles, grès, grauweekes) ou de roches métamorphiques (amphibolites, éclogites) de la plaque qui subducte.
- **la série hyperalcaline** : très riche en minéraux alcalins. Les roches rencontrées vont des basaltes alcalins, aux téphrites (Vésuve) et aux phonolites (Grand Rift africain) dans les zones de **divergence des plaques tectoniques**. Dans les basaltes alcalins on rencontre des péridotites qui témoignent de leur origine.

II.1.3. Magmatisme au niveau des zones de subduction.

A l'aplomb des zones de subduction-collision (Japon, Andes, Java...) la plaque lithosphérique océanique dense et froide s'enfonce sous une autre plaque lithosphérique continentale ou océanique moins dense, dans le manteau lithosphérique plus chaud. On rencontre deux types de manifestation magmatique: un volcanisme explosif de surface (andésitique ou rhyolitique témoin de l'apparition d'un magma en profondeur). et un magmatisme de profondeur à granodiorite ou granite :

1. **le volcanisme explosif** avec émission de laves à viscosité élevée (forte teneur en silice) contenant des gaz dissous et riches en minéraux hydroxylés (amphibole, biotite) est à l'origine des arcs insulaires :

- volcanisme andésitique dans le cas de subduction d'une lithosphère océanique sous une autre lithosphère océanique et
- volcanisme rhyolitique dans le cas d'une subduction d'une lithosphère océanique sous une lithosphère continentale.

La **structure de la roche est microlitique**; elle est issue d'un **magma riche en silice donc acide**. Ce magmatisme est qualifié d'**effusif** et les roches d'**extrusives**. La composition chimique des roches apparues sont à 90% celle d'un granite ou d'un granitoïde (diorite).

2. la **formation de plutons granitiques ou de granitoïdes** (granodiorites) qui se présentent sous la forme d'une masse arrondie ou d'une lentille cristallisée en profondeur.

La **structure de la roche est grenue**; elle provient d'un **magma très riche en silice donc acide**. Ce magmatisme est qualifié de **plutonisme** et les roches d'**intrusives**.

Conclusion : Diorite et andésite ont des compositions chimiques semblables, de même que granite et rhyolite, gabbro et basalte.

1. Origine des magmas.

La croûte océanique plongeante (gabbros, basaltes et sédiments) très riche en eau (rappel : elle a été soumise à un métamorphisme hydrothermal BP-BT qui a provoqué son hydratation progressive depuis sa formation au niveau de la dorsale océanique) est soumise à des Pressions croissantes alors que la Température varie peu à cause de sa faible conductivité thermique. Les roches subissent alors des transformations minéralogiques à l'état solide c'est à dire un métamorphisme HP BT.

Le premier phénomène important est une déshydratation des roches de la croûte océanique par départ de vapeur d'eau,

L'eau libérée peut-elle fournir des magmas en profondeur ?

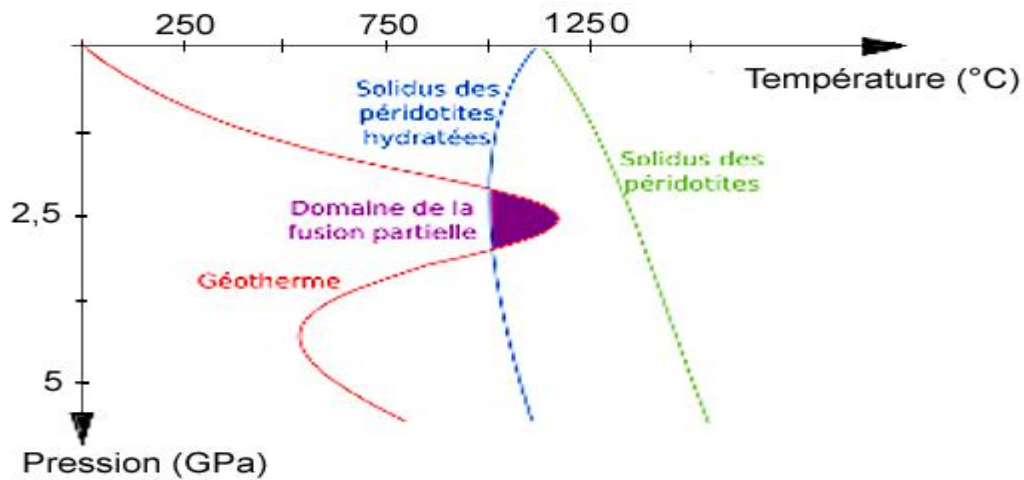


Fig.12. Domaine de fusion partielle des péridotites

Prenons l'exemple des péridotites du manteau.

Le géotherme océanique indique la variation de la température avec la profondeur.

Le solidus sépare le milieu dans lequel les péridotites sont solides du milieu dans lequel elles sont partiellement fondues.

Le solidus des péridotites du manteau ne recoupe pas le géotherme contrairement au solidus des **péridotites hydratées** ; on en déduit que la fusion partielle des péridotites est impossible alors qu'il existe un domaine de fusion partielle des péridotites hydratées.

La fusion des péridotites n'est possible qu'en présence d'eau.

Qu'elle est l'origine de cette eau?

C'est la déshydratation des roches de la croûte océanique qui subducte qui libère de l'eau au cours des transformations

métamorphiques, ce que confirme le laboratoire (cf. réactions (1) et (2)).

Conclusion : Cette eau abaisse le point de fusion des péridotites et entraîne leur fusion et la formation de magmas.

2. Phénomènes métamorphiques liés à la subduction.

Quel est le mécanisme de la genèse de ces magmas?

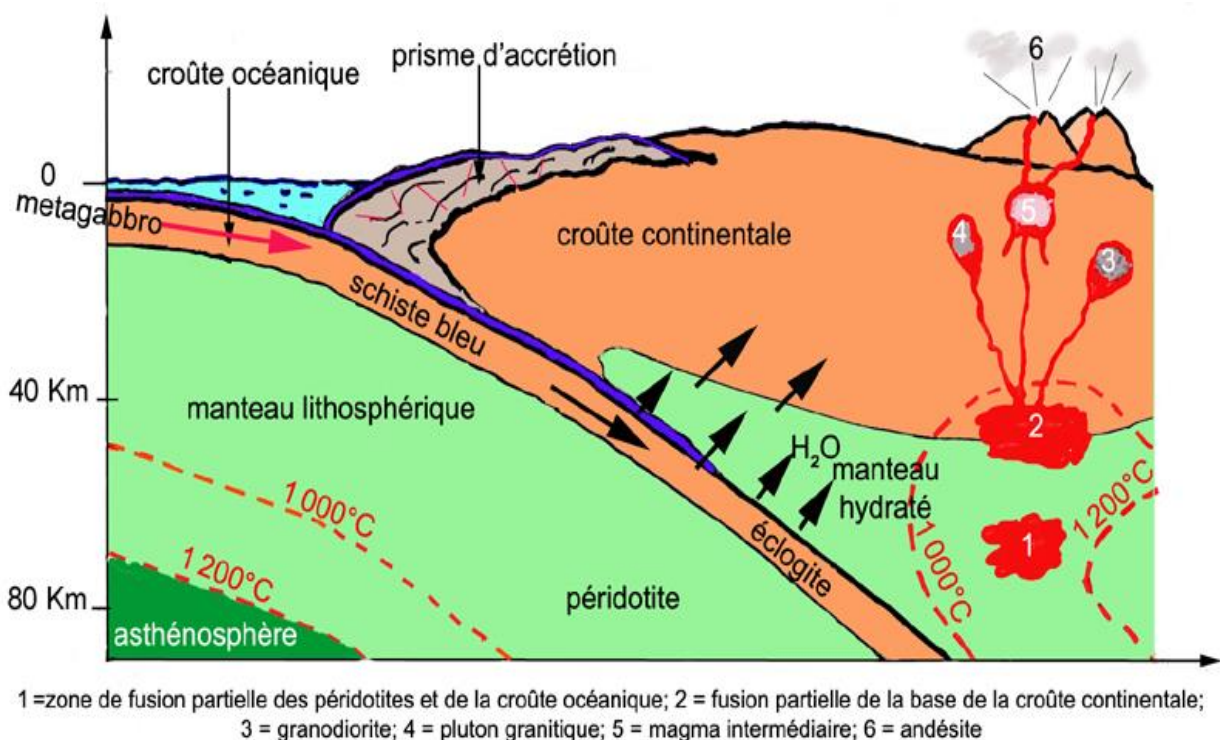


Fig.13. Transformations minéralogiques au cours d'une subduction.

Ainsi à partir des gabbros (Feldspath+pyroxène +amphibole +biotite) apparaissent le long du plan de subduction des nouvelles roches métamorphiques avec leur faciès et leurs minéraux caractéristiques. On distingue :

- le domaine des schistes verts à chlorite et actinote (métamorphisme BP/MP MT) ;
- le domaine des schistes bleus à glaucophane (amphibole bleue MP BT),

- le domaine des éclogites à jadéite (pyroxène HP) et grenat (HP HT).

En effet on a montré au laboratoire que:

- plagioclase--->jadéite+quartz
plagioclase+chlorite+actinote--->glaucophane+eau (1)
- plagioclase+glaucophane--->grenat+jadéite+eau (2)

Ainsi outre l'**apparition de nouveaux minéraux** (glaucophane, jadéite, grenat) stables dans de nouvelles conditions de P et T, il y a **libération d'H₂O qui provoque la fusion**.

II.2. la mise en place des roches magmatiques acides (granite)

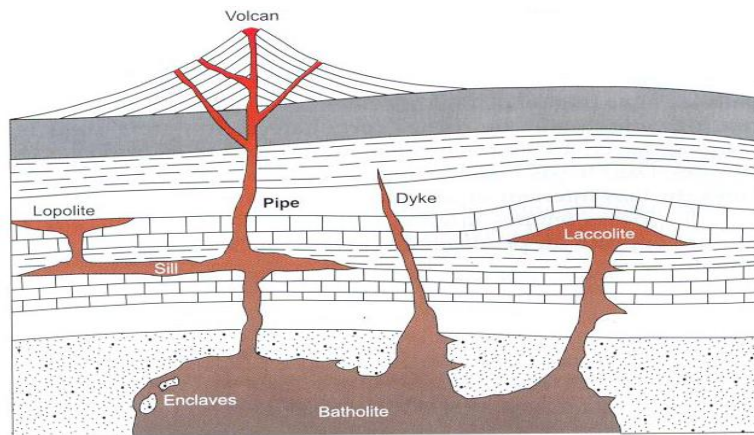
Apartir d'un foyer magmatique, le magma en fusion migre alors vers le haut, à travers la croûte terrestre, et selon la rapidité de cette migration et du refroidissement, deux types principaux des roches magmatiques se forment : les roches plutoniques qui se forment en profondeur et les roches volcaniques qui se forment à la surface.

Entre ces deux groupes principaux, existent des roches intermédiaires entre plutoniques et volcaniques appelées roches filoniennes que les géologues considéraient comme groupe à part, mais la tendance générale actuelle est de considérer qu'elles font partie de l'un ou l'autre de deux groupes, à fonction de leurs structures.

Lorsque la migration est plus lente, le magma cristallise en profondeur (souvent dans la partie inférieure de la croûte) pour former des masses rocheuses appelées roches intrusives, autre terme désignant les roches plutoniques, la grande majorité des roches intrusives est constituée de granite (roches contenant plus des silices), roches claires relativement légères.

Les intrusions au travers des roches soit sédimentaires, soit métamorphiques, soit encore magmatiques, peuvent être de grande taille comme les **batholites** (quelques km à plus de 100 km de diamètre dont le constituant principal est le granite) ou plus petite taille. Ainsi dans ce

dernier cas la mise en place des roches magmatique acide se place à l'intrusion dans la croute sous les formes diverse que voici :



- **les Dykes** ayant l'aspect d'une plaque, qui tranche nettement dans les couches sédimentaires ou métamorphiques, de largeur de quelques centimètres à de centaines de mètres. Un dykes constitue le remplissage intrusif d'une fissure verticale ou oblique ;
- **les sills**, ayant également l'aspect d'une plaque, mais qui s'insèrent horizontalement entre les couches sédimentaires parallèlement à leur stratification, dont l'épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs centaines de mètres ;
- **les laccolites** et les lopolites qui se forment lorsqu'une masse magmatique plus ou moins visqueuse, soit soulève les couches surincombantes, soit remplit les sommets altérés des formations sédimentaires, en formant une coupole ou une lentille, alors que l'autre face reste en concordance avec la stratification ;
- **les pipes** qui sont de remplissage de cheminée volcaniques, soit de laves solidifiées, soit de fragments de roches anguleux enlevés aux parois, soit de manière générale, et un mélange où les laves cimentent les fragments de roches.

Ainsi la mise en place de toutes ces formes intrusives des roches magmatiques acides dans la croûte terrestre se résume sur la figure ci-dessous :

II.3. Classification des roches magmatiques ou ignées.

Il existe plusieurs classifications base soit sur la teneur en silice, soit sur la composition minéralogique, soit sur la structure cristallines, soit sur l'indice de corrélation. Ce n'est que depuis 1974 qu'il existe une classification internationale unifiée dû aux travaux de Streckeisen, basé sur la proportion relative des principaux minéraux constitutifs

II.3.1. Classification d'après la granulométrie ou la texture.

On distingue :

- des roches grenues: dont les cristaux visibles à l'œil nu sont apparus à la suite d'un refroidissement lent. Ex: Roches plutoniques. Ex: granites.
- des roches microlitiques : contenant de gros cristaux et dont les cristaux visibles au microscope sont apparus mêlés à un verre amorphe à la suite d'un refroidissement rapide. Ex: Roches volcaniques. Ex: basaltes.
- des roches microgrenues : dont les cristaux de petite taille sont apparus à la suite d'un refroidissement assez rapide. Ex : roches magmatiques filoniennes. Ex: dolérites.

II.3.2. Classification minéralogique ou modale.

On la détermine le mode (proportions des minéraux essentiels) à l'aide d'un microscope polarisant et d'un compteur de points. On la représente à l'aide de deux diagrammes triangulaires.

Les sommets représentent :

- le Quartz,
- les Feldspaths alcalins (silicates d'alumine potassiques)
- les Feldspaths calco-sodiques ou Plagioclases qui forment une série continue qui va de l'Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) à l'Anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$). (Cf. Tableau ci-dessus).

- les Feldspathoïdes

Sur le schéma ci-contre, les roches plutoniques sont en noir, les roches volcaniques en bleu.

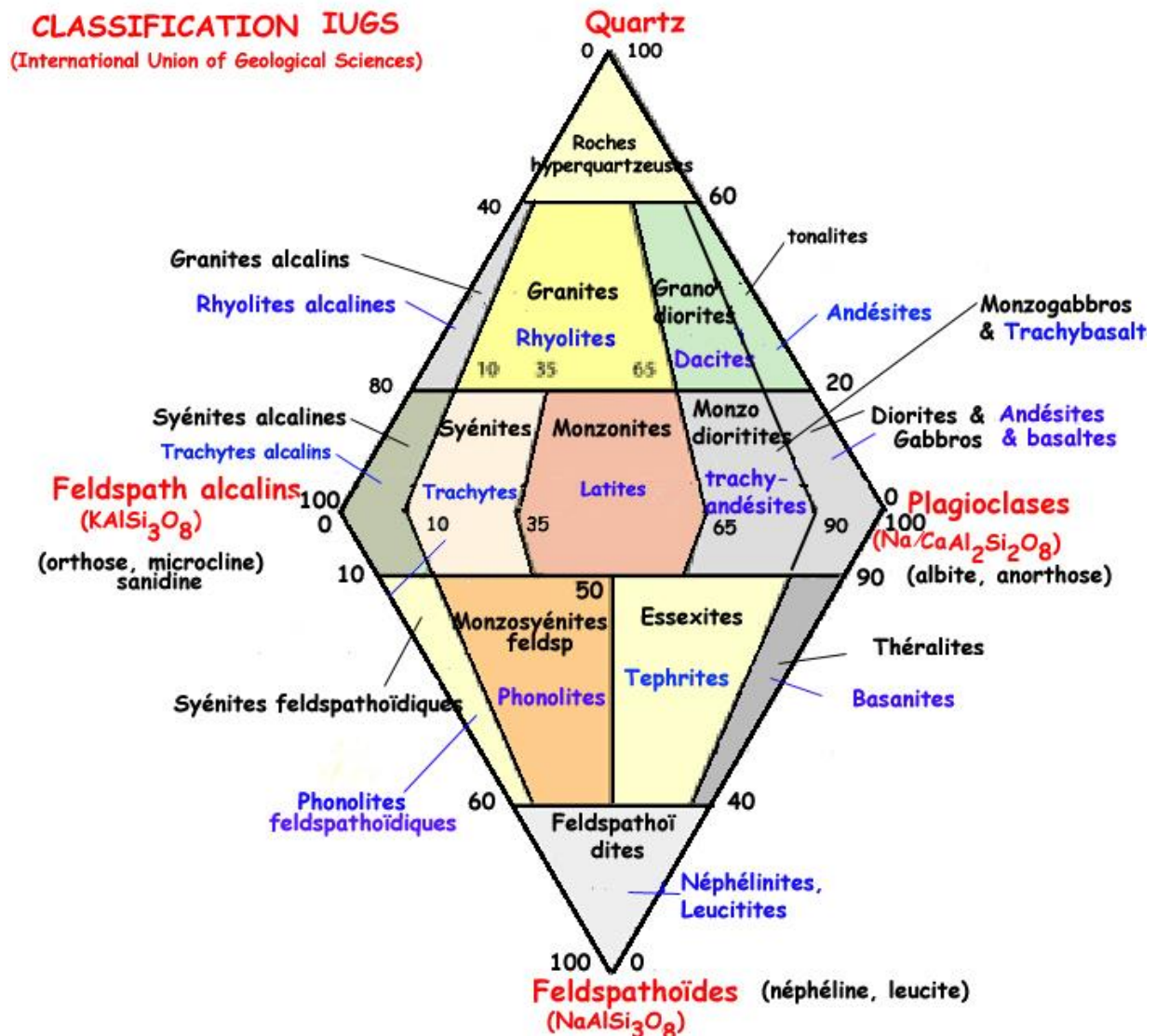


Fig.14. Classification IUGS des roches magmatiques.

II.3.3. Classification chimique ou sur la teneur en silice.

Quand il est impossible de déterminer la composition modale d'une roche, on détermine leur teneur en silice et en feldspaths alcalins.

-Teneur en Silice SiO_2 :

- **Roches acides** : $\text{SiO}_2 > 65\%$
- **Roches intermédiaires** : $52 < \text{SiO}_2 < 65\%$
- **Roches basiques** : $45 < \text{SiO}_2 < 52\%$
- **Roches ultra-basiques** : $35 < \text{SiO}_2 < 45\%$

-Saturation en silice SiO_2 :

- **Roches sursaturées** : contenant du quartz
- **Roches saturées** : sans quartz et sans feldspathoïdes, à olivine et pyroxènes.
- **Roches sous-saturées** : à feldspathoïdes et/ou olivine sans quartz

-Teneur en Feldspaths:

- **Roches alcalines**: $\text{Na} + \text{K} \text{ nettement} > \text{Ca}$ (Feldspaths alcalins dominants)
- **Roches calco-alcalines**: $\text{Na} + \text{K} = \text{Ca}$ (Feldspaths alcalins + plagioclases)

Roches calco-sodiques ou calciques: $\text{Na} + \text{K} < \text{Ca}$ (plagioclases dominants).

-Teneur en alumine Al_2O_3 :

- **Roches hyper-alumineuses** $\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ avec muscovite, corindon, topaze
- **Roches méta-alumineuses** $\text{Al}_2\text{O}_3 < \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$

- **Roches hypo-alumineuses ou hyperalcalines** : saturées en alcalins $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$, sous saturées en Al_2O_3 avec clinopyroxènes

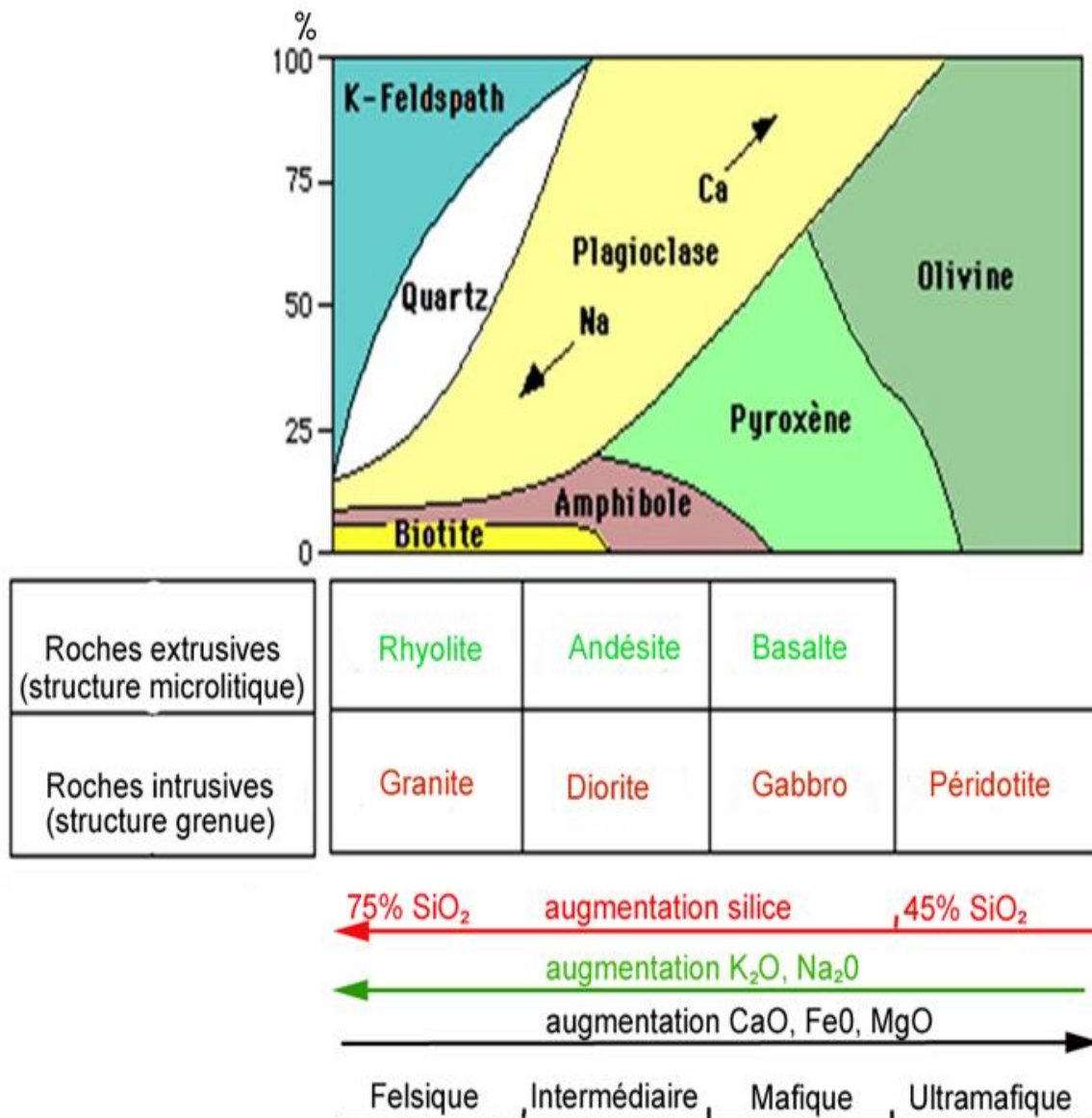


Fig.15. Composition chimique et minéralogique des roches magmatiques. (D'après <http://www2.ulaval.ca>, modifié).

II.3.2. Classification d'après la couleur de la roche.

Minéraux clairs : quartz, feldspaths, feldspathoïdes

Minéraux sombres : olivine, pyroxènes, amphiboles, micas

- **Roches feldsiques** (feldspath+silice) de couleur claire. Ex: granites, diorites, andésites.
- Roches mafiques** (magnésium+fer) avec un fort pourcentage de olivine, pyroxènes, amphiboles, biotite. Ex : gabbros, basaltes
- **Roches ultramafiques** contiennent uniquement des minéraux mafiques. Ex : péridotites, pyroxéniques.

CHAPITRE III : MINERALISATION

III.1 : QUELQUES RAPPELS ET CLASSIFICATION DES GISEMENTS

III.1.1. INTRODUCTION

Les processus de minéralisation sont le résultat d'un ensemble des facteurs interagissant les uns avec les autres.

Les mécanismes principaux incluent :

- La déformation tectonique
- Les écoulements de fluides ;
- Les transports thermiques ;
- Les réactions chimiques comprenant la dissolution minérale
- Le transport des ions ;
- La précipitation.

III.1.2. CLASSIFICATION DES GISEMENTS

- les différentes classifications ;
- Une classification génétique ;
- Les gites liés au magmatisme ; exemple Cas particulier des gisements d'or orogéniques.

III.1.2.1. les différentes classifications ;

En s'appuyant sur les analogies entre les gites métallifères des classifications peuvent être constituées selon les critères suivants :

- ✚ Une classification aura pour but de faciliter la découverte de nouveaux gites minéraux en se basant sur des similitudes avec des gites minéraux connus actuellement ;

- ✚ La création de telles classifications nécessite en premier lieu l'inventaire des gites minéraux.

- ✚ Il existe différents systèmes de classification concernant les gisements ;
- ✚ Une classification pourra être descriptive ou interprétative à caractère génétique, suivant les critères choisis : les classifications descriptives se rapportent à des observations contrairement aux classifications génétiques qui se basent sur l'interprétation du mode de formation de différents gîtes
- ✚ La substance, la morphologie, la température et la profondeur de formation (Lindgren, 1933) ou la nature des roches associées au gisement (Jébrak, 2004) ont ainsi été utilisées pour classer les gîtes minéraux ;
- ✚ La relation gîte métallifère et contexte géodynamique et géologiques a été soulignée par Métechel et Garson (1981), Sillitoe (1972). Ce type de classification est notamment utile pour comprendre la distribution spatiale des gisements ;
- ✚ Les classifications peuvent aussi se baser sur le lien génétique du gisement avec des processus magmatique, hydrothermaux ou sédimentaire (Beaudoin, 2002) ;
- ✚ Cette approche a été privilégiée ci-dessous pour classer les gisements d'un point de vue général.

IGNEES	Intrusive	Environnement Géologique		Exemples
		Roches	Région	Stillwater Ni-Cu, PGE et

		mafiques et ultramafiques	stables Région instables Croule océaniques	Fe-Ti-V Cu-Ni-PGE dans les rifs Ni-sulfuré dans les Komatites Ti dans les Anorthosites Cr dans les ophiolites
		Roches alcalins		P-Fe et PGE dans les carbonatités Diamant (C) dans les pipes de Kimberlites
		Intrusions intermédiaires a felsiques		Fe magmatique, porphyres à Cu, porphyres à Mo, Skarns, pegmatites.
		Volcanisme submarin		Au-Ag épithermal, Au type Carlin Basaltes-Andrésile à Cu Amas sulfurés volcanogéniques (VHMS), Fe, Hg
ROCHES SEDIMENTAIRE		Chimiques clastiques	epigénétiques	Banded Iron Formation (BIF) et Iron stone Mn d'affiliation sédimentaire phosphates Evaporites Zn-Pb type SEDEX, Cuivre types lits rouges, U, Cu-U-Au, cuivre -or- Oxydés de Fer (IOCG), placers et paléoplacers (Gold Deposits) Pb-Zn (Ba-F) MVT Amas de siderie
		Carbonates		
Métamorphisme régional et tectoniques cassantes				Au dans Zones de cisaillements Filons de Quartz aurifères (low sulfidation) Filons à Ag-Pb-Zn Filons à Pb-Zn-Ba-F Filon type cobalt
Gisements filoniens				

Gisements d'altérations météoriques			Ni la ténitique Bauxites Placer
---	--	--	---------------------------------------

III.1.2.2. la Classification Génétique

Elle se base sur le lien génétique du gisement avec des processus magmatique, hydrothermaux ou sédimentaires.

III.2.2.3. Les gîtes liés Au magmatisme

Elle explique le comportement des éléments chimiques au cours de la différenciation magmatiques qui se définit comme suit :

Le potentiel ionique Q d'union est le rapport de sa valeur (Z) sur son rayon ionique (r)

$$Q = \frac{Z}{r}$$

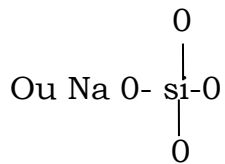
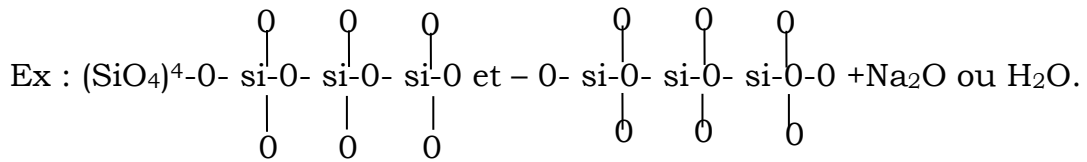
Il faut considérer Q comme proportionnel à la charge, mais inversement proportionnel au rayon (r), ou encore revient à considérer l'intensité de la charge à la surface de l'ion.

Rappel de polymérisation

- Le polyéthylène ou polythène est un des polymères les plus simples et les moins chers. C'est un plastique Inerte ;
- Son nom vient du fait qu'il est le polymère obtenu par la polymérisation des monomères d'éthyle générique : $(CH_2-CH_2)_n$.

DEFINITION DE POLYMERISATION

Si on considère un “ Bain silicates fondu” riche en silice (plus d'autre éléments) en forme de tétraèdre $(\text{SiO}_4)^{4-}$ désordonnées et lacunaires, au quel on ajoute Na_2O ou H_2O par exemple ; on assistera à une création de points de rupture dans l'assemblages des tétraèdres : ce qui fait chuter considérablement la viscosité du magma.



III.2. MODE DE FORMATION DE MINERALISATION

III.2.1. STADES DE MINERALISATION

Pendant la cristallisation fractionnée des magmas acides basiques et ultrabasiques, on distingue génétiquement quatre stades de minéralisations liées à l'activité des composants volatils qui sont les stades suivants :

- Orthomagmatique (1500°C-800°C) ;
- Pegmatique (800°C-600°C) ;
- Pneumatolytique (600°C-400°C) ;
- Hydrothermal (400°C-100°C)

Les stades Orthomagmatique est associé aux roches basiques et Ultrabasique, alors que les stades pegmatitique, pneumatolytique et hydrothermal sont plus liées aux roches acides et neutres.

III.2.1.1. STADES ORTHOMAGMATIQUE ET PEGMATITIQUE

Au cours de la cristallisation les minéraux les plus réfractaires c'est-à-dire ceux qui cristallisent le premier, ont le plus souvent un poids spécifique (poids volumique) plus élevé que ce lui du magma et ont de ce fait tendance à sombrer au fond de la masse magmatique encore fluide et à s'y déposer.

Vers la fin de la cristallisation du pluton les cristaux constituants habituels du granite (Quartz, feldspath, mica) ; qui se forment dans sa périphérie à partir de magma résiduel riche en bore, phosphore, lithium, sont énormes (on parle de « pegmatites »), et associés à des cristaux inhabituels, recherchés par les minéralogistes, tourmaline, béryl, topase, etc.

III.2.1.1.1. LES GITES ORTHOMAGMATIQUES

Ces gîtes sont caractérisés par une cristallisation lente à haute température des principaux minéraux des roches magmatiques

Une partie de l'eau peut se combiner aux silicates (sous forme d'hydroxyle OH) en formant des amphiboles et des micas.

Ce pendant, les composants gazeux se concentrent dans le liquide résiduels, ce qui provoque, l'augmentation progressive de la tension vapeur (la pression exercée sur le système par les phases gazeuses) du système.

A ces stades sont liés les gîtes orthomagmatiques de ségrégation magmatique (magnétite, sulfure de Nickel etc.).

III.2.1.2. LES GITES PEGMATITIQUES

La tension de vapeur atteint une valeur maximum dans le Système résiduel au stade pegmatitique.

La cristallisation fractionnée extrême du magma granitique génère un magma enrichi en éléments volatiles minéralisateurs (eau, fluor, bore, chlore). L'injection de ce matériel dans les fractures est suivie d'une cristallisation rapide à basse température et donne les pegmatites filoniennes. Elles se rencontrent soit dans les granitoïdes, soit à leurs bordures, soit en filons injectés dans les terrains encaissants. Ses principaux constituants sont ceux du granite (Quartz, feldspaths, micas).

Les cristaux géants des pegmatites peuvent concentrer des terres rares, l'Uranium, le thorium, le molybdène, le lithium, le béryllium, le bore utilisés une haute technologie. Les gros cristaux très purs peuvent être exploités. Par exemple, le Quartz est utilisé en optique, les feldspaths et les micas sont utilisés comme isolants électriques.

III.2.1.3. STADE HYDROTHERMAL

Après la fin de la cristallisation, persistent, toujours à la périphérie du pluton, des poches d'eau à haute température (de l'ordre de 500°C, ce qui donne à l'eau un fort pouvoir de dissolution) dans les quelles sont dissous en grandes quantités des ions métalliques qui n'ont pas trouvé place dans les cristaux du granite.

Cette solution acqueuse sous l'effet d'une pression élevée, monte dans les fissures ou failles qui parcourent le pluton et le terrain encaissant.

Lors de cette « circulation hydrothermale » ascendantes l'eau, s'éloignant du pluton et se rapprochant de la surface, se refroidit et perd son pouvoir de dissolution. Les ions métalliques précipitent et déconcentrent (souvent sous forme de sulfures, de carbonates ou d'oxydes) dans les fissures.

C'est ainsi que se constituent a plus ou moins grandes distance au dessus des plutons granitiques, les gisements (ou filon métallifères qui affleurent en surface des millions d'années plus tard, quand l'érosion a fait disparaître les roches qui les surmontent et qui intéressent maintenant les industriels quand la concentration des métaux est suffisante dans la roche stérile (la gangue) qui les contient.

III.2.1.2.1. GITES HYDROTHERMAUX

A ce stade, la cristallisation des phases résiduelles est lente et se fait à basse température, ce qui permet à l'eau de se condenser.

Dans ces solutions hydrothermales se retrouvent les métaux précieux (Au, Ag) et des sulfures de cuivre, Plomb, Zinc et Fr. Drainées par un réseau de fractures, par exemple, le groupe de BPG (Blende, Pyrites, Galène)

Les granitoïdes localisées essentiellement au niveau des zones de chevauchement de plaques, peuvent générer des porphyres de natures diverses qui sont :

1. Les porphyres à cuivre-Molybdène ;
2. Porphyres à cuivre-Or ;
3. Porphyres à molybdène ;
4. Porphyres à étain-tungstène

III.2.1.2.2. GITES LIES AU MAGMATISME

Deux processus magmatiques principaux sont à l'origine des minéralisations :

- La cristallisation fractionnée ;
- La ségrégation du liquide immiscible.

III.2.2 LA CRISTALLISATION FRACTIONNEE

III.2.2.1. DIFFERENCIATION MAGMATIQUE

La cristallisation fractionnée, par accumulation de cristaux par différence de densité, produit une modification de la composition du magma résiduel.

Et ce processus entraine la formation de magmas très différents et conduit à des concentrations primaires d'éléments métalliques.

III.2.2.2. MAGMAS ACIDES INTERMEDIAIRE

A l'origine les magmas acides à intermédiaires ont un rapport R faible donc une forte polymérisation.

$$R = (O^{2-} + (OH)^{1-} + F^{1-}) / (Si^{4+} + Al^{3+})$$

Dans ce cas les éléments mixtes et même certains appartenant aux complexant (et vue le manque ou la rareté de l'oxygène) deviennent libres dans les magmas : sont donc des éléments qui resteront libres dans le fluide magmatique résiduel (fluide pneumatolitique et hydrothermal).

La plupart des éléments formateurs n'entrent pas dans les réseaux silicatés et ils s'accumulent dans les liquides magmatiques résiduels.

Lorsque les concentrations atteignent des valeurs suffisantes des minéraux séparés précipitent (dépôt surtout de minerais)

Dans le cas des roches acides, ce sont les minéraux accessoires (Zircon, apatite, sphène, iliminité, monazite, rutilés, magnétite, allanite, xessotime, etc.) où se rencontre la quasi-totalité des éléments appelés hygromagmaphile (TA, Hf, Zr, Ta, Nb, V, U, Th, Ti, P et probablement la plus grande partie de Mo, W et Sn.

Remarque : le rôle métallogénique de la différenciation magmatique des roches acides à intermédiaires dépend directement de la proportion des volatils et de leur comportement, ainsi que du degré de polymérisation.

III.3. TYPE ET REPARTITION DES GRANDES LIGNEES GRANITIQUE (ACIDE) ET METAUX ASSOCIES (CADRE GEOLOGIQUE)

Les granites (roches acide) naissent à différents niveau de la croûte. Suivant le matériel initial, on peut distinguer quatre grands types de Granites (inspiré de Pitcher, 1983) en fonction de la source dont ils sont issus :

Type	S	I	M	A
Matériel source	Sédimentaire	Ignée	Mantélique	Alcalin
Contexte géodynamique	Chaine de collision	Cordillère zone de subduction	Rift océanique	Rift continental
Nature pétrographique	Leuco-monzo granites	Tonalite, diorite a monzonite porphyrique	Plagiogranite Gabro	Granite Repakiwi syénite, Anorthitosite
Volcanisme associe	Ryolite	Andésites et dacites	Basaltes et Andésites	Volcanisme bimodal à dominant felsique
Métaux associés	Sn, W, Mo, F, V	Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Mo	Au, Cu	Fe, Cu, REE, Au, Nb, Sn, Ta, f
Profondeur	5-12 km	3-9km	5 km	

III.3.1. MINERALISATION ISSUES DE LA DIFFERENCIATION DES MAGMAS

Au cours de la différenciation les magmas issus de la fusion évoluent de puis les termes dioritiques (basique vers des termes granitiques (plus acide)

A un certain stade de son évolution, le magma granitique expulse des fluides directement associés à l'évolution des intrusions.

Ces fluides seront à l'origine des minéralisations à Sn-W-Mo, associées aux gîtes de départ acide : les coupoles à Sn-W.

Par ailleurs, des fluides d'origine plus variée parfois météoritiques, sont mis en mouvement convectif dans l'encaissant par la chaleur du pluton ;

Dans les deux cas, les fluides présenteront un contenu en éléments métalliques très variables empruntés aux roches encaissantes ou issues des magmas lui-même.

III.3.2. GRANITES ISSUS DE FUSION CRUSTALE

Les granites issus de fusion crustale pourront hériter de métaux déjà concentrés dans leur environnement ;

Le transport de métaux par les fluides aura lieu sous forme de complexes chlorurés, sulfurés ou organiques ;

Une augmentation du contenu en soufre s'y observe généralement avec la baisse de température ;

Le dépôt peut s'effectuer selon plusieurs mécanismes dont :

- Un refroidissement
- Une baisse de pression pouvant entraîner une ébullition ;
- Un mélange avec d'autres fluides ou un effet de réaction avec des roches,
- Si la perméabilité est plus faible, le refroidissement présentera un caractère conductif.

III.3.3. GISEMENT ASSOCIES AUX ROCHES PLUTON ACIDE ALCALINS

Les gisements associés aux roches plutoniques acides telles les granites, les granodiorites, les diorites quartzitiques ...etc. ; c'est-à-dire aux roches saturées ou sursaturées en sillée possèdent une forte teneur en si

lice, sont pour la plupart épigénétiques (changement de nature chimique des minéraux) et constitués de métaux aux propriétés séderophiles (Sn, W, ...) et /ou chalcophiles (Pb, Zn, Cu, Fe, ...) mis en place dans des filons présentant souvent une zonalité dans la distribution des minerais.

Un élément sidérophiline est un élément chimique qu'on rencontre fréquemment associé au fer en raison de son affinité pour ce tel élément à l'état liquide d'où le nom sidérophiline (littéralement « ayant une affinité pour le fer.

Un chalcophile est un élément chimique qui se rencontre fréquemment en association avec le soufre on raison d'une affinité supérieure pour cet élément que pour l'oxygènes, d'où le nom chalcophile « ayant une affinité pour le cuivre » a cause d'un contresens de Victor Goldschmidt, à l'origine de cette dénomination qu'il pensait vouloir dire justement « ayant affinité pour le soufre ».

CONCLUSION

Le présent travail était consacré à une synthèse bibliographique des roches magmatiques acides et leurs minéralisations associées. Après avoir défini la problématique, nous sommes partis des hypothèses selon les quelles il est certain que L'ensemble des phénomènes liés à la formation des roches magmatiques générales et les points spatiaux de la déformation sont :Magmatisme intra-plaques ou d'anatexie cristal, Magmatisme d'origine

intra-cristal et Magmatisme au niveau des zones de subduction ; en suite Les roches magmatiques acides sont à l'origine des minerais qui leur sont associées dans des conditions stables de P et T mais dès que ces conditions changent sur une formation rocheuse en place elle peut changer la nature et donner l'apparition à des nouveaux minéraux conduisant ainsi à une autre minéralisation.

En maîtrisant les différentes parties suivantes

- La généralité traitant de définitions des mots clés qui titrent le thème de ce travail
- Le cadre géo dynamisme et leur mise en place ;
- Les différents stades de minéralisation et leurs gites

Il arrive de fois que ces grandes parties nous expliquent des phénomènes intéressant aux roches magmatiques basiques au quel ce la nous a aidé à comprendre les mécanismes de la concentration en SiO_2 au sein d'un magma basique du départ, non seulement ce dernier mais aussi le lien interagissant de l'une à l'autre.

En fin ces hypothèses nous ont permis de présenter la charpente de notre travail qui regorge trois chapitres, outre l'introduction, la conclusion et la bibliographie.

C'est ainsi que après avoir analysé toutes les sources documentaires qui nous ont parvenues en mains lors de notre investigation. Ce qui nous a aide à tracer une synthèse des connaissances sur les roches magmatiques acides et leurs minéralisations associées.

En suite après chaque point, nous nous sommes servis des graphiques dans ce travail qui expliquent brièvement les phénomènes qui attaquent les roches aux points ayant subis des changements de condition de température et des pressions avec ses évolutions dans les couches terrestre.

Notons donc les roches magmatiques acides sont des roches généralement constitués de SiO_2 a teneur élève de 65 à 95% et sont en

profondeur, lorsque la migration est plus lente a cause d'une grande disposition due au pourcentage élevé de la silice, ce lui ci cristallise alors au sein des couche formant ainsi des masses rocheuses appelées roches intrusives, autre terme désignant les roches plutoniques dont la grande majorité des roches intrusives est constitué des granites. Roches claires, relativement légères. Les processus de la minéralisation sont tout simplement le résultat d'un ensemble des facteurs interagissant les uns avec les autres des minéraux au sein d'une roche en place.

Signalons aussi le contexte géologique général dans le cadre géodynamique, le magmatisme est le privilège car il est l'ensemble des phénomènes liés à la formation et aux déplacements des magmas. Ce magma, est un bain naturel des silicates en fusion à un point quelconque ayant échangé la condition de la t° et P suite à un phénomène qui y agisse.

En somme, nous espérons avoir apporté notre contribution au prolongement des études d'analyses géologique, en l'occurrence des roches magmatiques acides et leurs minéralisations associées. Mais nous ne prétendons pas avoir effectué un travail sans faille, car tout ce qui est fait de mains humaines reste toujours émaillé d'imperfections. C'est pourquoi vu le cadre dans lequel nous avons évolué, ce qui permettra aux autres de continuer dans le jalon que nous venons de poser.

Ainsi nous avons conclu.

BIBLIOGRAPHIE

I. OUVRAGE

1. AL.VIALAY 1918, Essai sur la genèse et évolution des roches, édition Dunod, Paris.
2. André CAILLUX et André CHAVAN 1971, détermination pratique des roches 9^{ème} édition SEES place de la Sorbonne, 5 Paris V^{ème} .
3. DERCOURT.J et J. Paquet 1985, Géologie, objets et méthodes, éd. Bordas, Paris.
4. H.H.READ 1932; Mineralogical Mag. XXIII, P.317.

5. HOEVE, JAN 1974, soda métasomatism and radioactive mineralization in the vastervick Area, B.V, éd. Grafiosp Bedrif papurus.
6. J LAMEYRE 1975, Roches et minéraux, édition Odéon 75006-Paris VIème
7. J. GOGUEL 1980, géologie de l'environnement, édition Masson ; Paris New york Barcelone Milan.
8. J. Jung et R. BROUSSE 1959, Classification modale des roches éruptives, éd Masson Paris.
9. J. TURNER ET J.VERHOOGEN 1960. Igneous and métamorphise pétrology, éd Macgraw-Hill, New York.
10. J.GUILLEMOT, 1986, éléments de géologie édition TECHNIP, 27 ru GIOU 75737 Paris CEDEX 15.
11. JEAN JUNG 1969, précis pétrographie, édition Masson, 120, Boulevard Saint-Germain, Paris, VIème.
12. LR. WAGER et R.L.MITCHEL 1951 Géochimie et cosmochimie, acta, I.P.129.
13. MARCE ROUBAULT 1963, Détermination des minéraux des roches, éd. Lamard-Poinat4, rue Antoine- du Bois- Paris 6è.
14. N. ZAVARICKIJ. 1955, les roches éruptives. Edition Moseou, paris.
15. PIER ROUTHIER, 1963 Les gisement métallier, édition Manon et Cie , Paris.
16. PIERRE L'AFFITE 1957, Introduction à la roche métamorphique et de gites métallifère, édition Manon, 120, Boulevard saint Germain, Paris-Viè.
17. POMEROL Charles, 1980, mémento de géologie : éd Boubée, Paris.
18. RAGUIN.E. 1957, Géologie du gramite, avant propos C.E Wegmn. 2è éd. Revue et mise à jour Manon XIV, 275p. figs.
19. TEOBALA. 1961 ; géologie générale et pétrolifère, édition Odéon, Paris (VIème).

II. WEBOGRAPHIE

1. [Books.google.cd/books?isbn=271081109x](https://books.google.cd/books?isbn=271081109x)
2. [Constellation.iqac.ca/967/](https://constellation.iqac.ca/967/)
3. [Depositum.uqat.ca/.../jacquescarignan.pdf](https://depositum.uqat.ca/.../jacquescarignan.pdf)

4. Estudiosgeole.revistas.csic.es/index.../618
5. Fongatany-mth.com/.../rapport_2^{ème}
6. Forums.futura-sciences.com/.../383347/...
7. fr.m.wikipedia.org/.../ cristallisation_...
8. fr.m.wikipedia.org/.../sol-acide_à-sulfite
9. http//www.google.cd
10. <http://bibliothèque.uqac.ca>
11. Jacques.delfour.pagesperso-orange.fr/
12. Patrimoine geotn.canalblog.com/.../
13. spiralconnect.univ-lyon1.fr/.../website.ht...
14. [www.acadmia.edu/.../La cristallisations...](http://www.acadmia.edu/.../La_cristallisations...)
15. www.boutique.afonor.org/.../origines...acide
16. www.emse.fr/.../tp_laves_velop_002.html
17. www.fossilraptor.be/fr.htm
18. www.futura-sciences.com/.../géologie
19. www.geosciences.univ-renne1.fr/.../
20. [www.geowiki.fr/index.php? Title...des...](http://www.geowiki.fr/index.php?Title...des...)
21. www2.ggl.ulaval.ca/personnel/.../r.igl.ht...

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
1. ETAT DE QUESTION.....	1
2. PROBLEMATIQUE.....	1
3. HYPOTHESE	2
4. METHODOLOGIE	3
5. OBJECTIFS DU TRAVAIL	3
6. DIFFICULTES RENCONTREES.....	4
DIVISION DU TRAVAIL.....	4
CHAPITRE I : GENERALITES	5
I.1. DEFINITIONS DES CONCEPTS CLES.....	5

I.2. QU'EST-CE QUE ROCHE MAGMATIQUE ACIDE	7
I.2.1. ORIGINE ET NATURE DES ROCHES MAGMATIQUES ACIDES	7
I.3. REPARTITIONS GEOGRAPHIQUES	9
I.3. Répartition géographique des roches magmatique ACIDE	9
I.4. Composition chimique des roches magmatiques acides.....	10
I.4.1. en fonction du degré de saturation en silice	11
I.5. STRUCTURE DES ROCHES MAGMATIQUES ACIDE.....	13
CHAPITRE II : CONTEXTE GEOLOGIQUE GENERAL.....	15
II.1. Cadre Géodynamique	15
II.1.1. Magmatisme intra-plaques ou d'anatexie crustale.....	15
II.1.2. Magmatisme d'origine infra-crustale.....	18
II.1.3. Magmatisme au niveau des zones de subduction.	27
II.2. la mise en place des roches magmatiques acides (granite)	31
II.3.1. Classification d'après la granulométrie ou la texture.....	33
II.3.2. Classification minéralogique ou modale.....	33
II.3.3. Classification chimique ou sur la teneur en silice.....	34
CHAPITRE III : MINERALISATION	38
III.1 : QUELQUES RAPPELS ET CLASSIFICATION DES GISEMENTS	38
III.1.1. INTRODUCTION	38
III.1.2. CLASSIFICATION DES GISEMENTS.....	38
III.2. MODE DE FORMATION DE MINERALISATION	43
III.2.1. STADES DE MINERALISATION	43
III.3. TYPE ET REPARTITION DES GRANDES LIGNEES GRANITIQUE (ACIDE) ET METAUX ASSOCIES (CADRE GEOLOGIQUE).....	47
III.3.1. MINERALISATION ISSUES DE LA DIFFERENCIATION DES MAGMAS.....	47
III.3.2. GRANITES ISSUS DE FUSION CRUSTALE	48
III.3.3. GISEMENT ASSOCIES AUX ROCHES PLUTON ACIDE ALCALINS	48
CONCLUSION	49
BIBLIOGRAPHIE	51
TABLE DES MATIERES.....	53

