Magmatisme (9)
Un magma, des roches différentes

On a vu (fiches 4, 5, 6, 7) que la fusion du manteau dans les différents contextes géodynamiques donne un magma de **composition basaltique**. Celui-ci, en refroidissant rapidement, donne des basaltes et, en refroidissant lentement, donne des gabbros.

Pourtant, quand on regarde les roches volcaniques à la surface du globe, on constate **une grande diversité : il n'y a pas que des basaltes !!**

Exemple des différentes roches volcaniques de la Chaîne des Puys (Massif Central)

Quand on regarde les laves émises par **les volcans de la Chaîne des Puys dans le Massif Central**, on trouve 3 grands types, qui se reconnaissent à l'œil nu par une couleur d'ensemble de la roche plus ou moins claire, et par des minéraux qui diffèrent (cf. fiches Minéraux et Roches):

Basalte

Roche sombre : **mélanocrate**

Trachyte

Roche grise : **mésocrate**

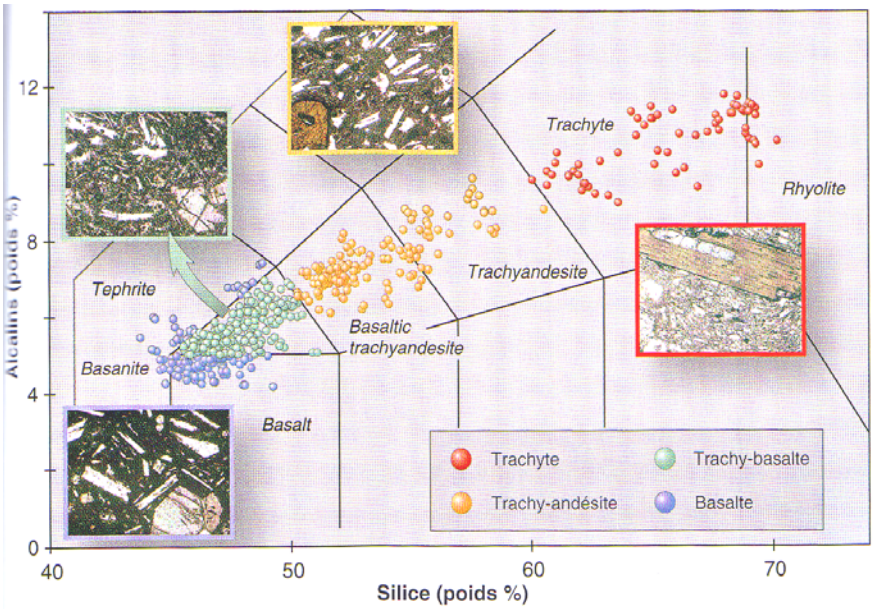
Trachyandésite

Roche claire : **leucocrate**

Les différences de couleur (et de minéraux) de ces trois roches reflètent les différences de chimisme des magmas qui, en refroidissant, leur ont donné naissance.

Ainsi, si on regarde la position de ces trois roches volcaniques dans la classification silice / alcalins ($[K^+]$ + $[Na^+]$) (diagramme ci-dessous, cf. fiche Classification des roches magmatiques), on constate que, du basalte aux trachyandésites et aux trachytes, les roches volcaniques d'une série magmatique :

- sont de plus en plus riches en éléments alcalins (Na, K).
- sont de plus en plus riches en silice (on passe de magmas « basiques » à « acides »).



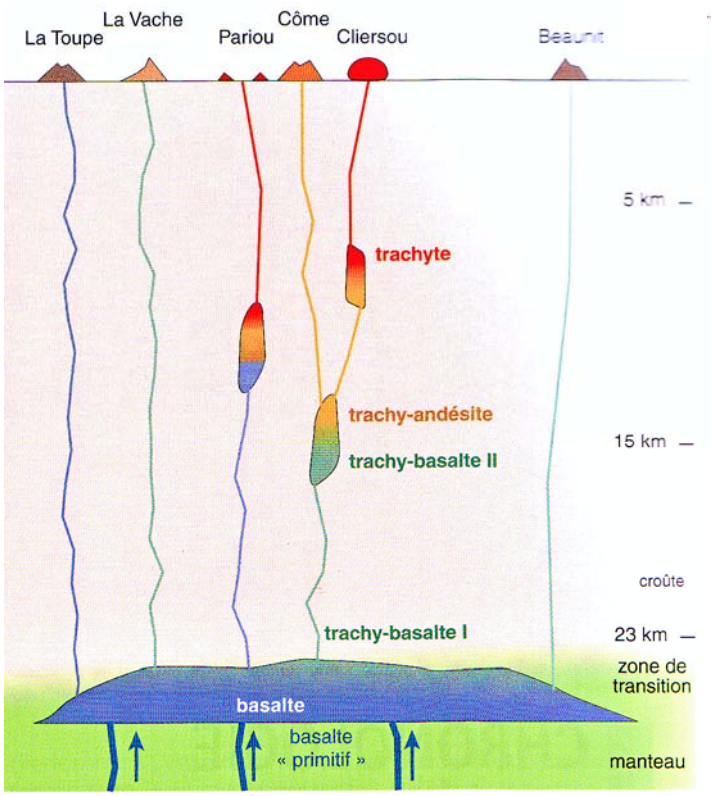
	Si %	Na + K %
basalte	~46	~5
Trachy andésite	~59	~7/8
Trachyte	~67	~9

% moyens des éléments alcalins et de Si, dans les trois types principaux de roches volcaniques de la Chaîne des Puys

Comment un magma basaltique issu de la fusion du manteau peut-il donner naissance à des roches de chimismes différents ?

Par Cristallisation fractionnée et différenciation magmatique

Des études (à partir d'inclusions magmatiques dans des minéraux) ont montré que le magma à l'origine du volcanisme de la Chaîne des Puys est bien mantellique, et de composition basaltique.



Modèle idéalisé et simplifié de l'alimentation en magma de la Chaine des Puys. Les volcans sont donnés à titre d'exemple.

Figure tirée de *Volcanologie de la Chaîne des Puys* (Parc naturel régional des volcans d'Auvergne)

Sur la figure ci-contre, on a illustré comment un **magma initial ou primaire basaltique, issu de la fusion du manteau**, peut donner naissance à différents types de roches volcaniques :

Le magma primaire issu de la fusion du manteau remonte, et va s'accumuler dans un réservoir (en bleu), souvent à la zone de transition manteau/croûte continentale.

- Si le magma accumulé dans le réservoir remonte rapidement en surface, il donnera des basaltes : exemple des laves du volcan de la Toupe, à gauche.
- Si le magma stagne dans ce grand réservoir, il va commencer à refroidir et certains minéraux, comme l'olivine et le pyroxène, vont commencer à se former.

En se formant, ces minéraux vont extraire des éléments du liquide magmatique : essentiellement du fer, du magnésium, du calcium.

Du fait de leur densité, ces minéraux formés s'accumulent au fond du réservoir, et il va rester un liquide magmatique modifié par rapport au liquide basaltique initial.

Ce liquide modifié sur le plan chimique par rapport au liquide basaltique initial est nommé **magma secondaire** :

- Il est appauvri en éléments qui sont rentrés dans les minéraux (Fe, Mg, Ca).
- Et en parallèle, il s'est enrichi en éléments alcalins, qui ne sont pas ou peu rentrés dans les minéraux (Na, K) ainsi qu'en silice (Si).

Ce magma secondaire, s'il remonte en surface, va donner une roche différente d'un basalte : il donnera, comme au Puy de la Vache, des trachy-basaltes.

Si ce magma secondaire ne remonte pas directement, mais stagne dans une petite chambre magmatique, comme ce fut le cas sous le Puy de Côme, d'autres minéraux vont commencer à se former, comme l'amphibole, les feldspaths plagioclases. Ceci va modifier de nouveau le liquide résiduel, et donner un nouveau liquide avec un chimisme de trachy-andésite. Et ainsi de suite…

A ces différents types de laves correspondent des édifices volcaniques différents : voir la fiche « Formations volcaniques », où l'exemple de la chaîne des Puys est repris.

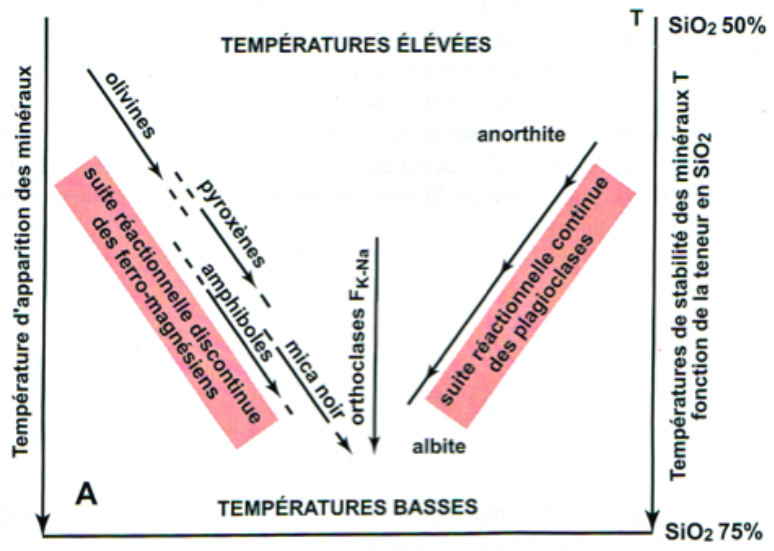
Ce processus est nommé **différenciation magmatique** (on fabrique des liquides avec des chimismes de plus en plus différents du liquide initial basaltique) ; il est lié à la formation successive de minéraux, soutirés au fur et à mesure du liquide magmatique : **cristallisation fractionnée.**

Globalement, au cours de la différenciation magmatique, les liquides successifs vont s'appauvrir en Fe, Mg et Ca qui entrent de façon précoce dans les minéraux. Alors qu'ils vont s'enrichir en Si, Na et K.

Ceci explique l'évolution de la couleur des roches : quand le magma qui refroidit est **peu différencié**, il renferme encore du Fe et du Mg, et les minéraux ferromagnésiens, sombres, vont donner la **couleur sombre des roches**. Par contre, **les roches différenciées**, qui sont issues de liquides tardifs, ne renferment presque plus de Fe et Mg, les roches **seront alors claires.**

Ordre d'apparition des minéraux au cours de la cristallisation fractionnée d'un magma

Des études expérimentales (de Bowen) et de terrain montrent qu'au cours du refroidissement d'un magma, les minéraux se forment dans un ordre précis :



Les séries de Bowen
(Pomerol *et al. Eléments de géologie*, ed. Dunod)

Ainsi, à haute T°, les premiers minéraux ferromagnésiens qui vont se former seront les olivines, puis les pyroxènes, les amphiboles et enfin les micas noirs à basse T°. C'est ce qu'on appelle **la série discontinue des ferromagnésiens.**

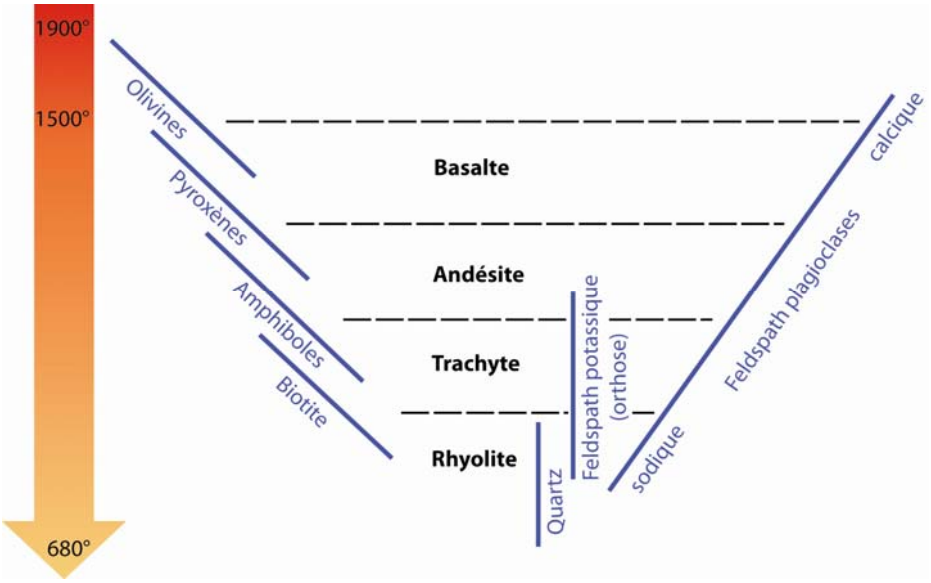
Par contre, on voit que les feldspaths plagioclases se forment des hautes aux basses T°, avec une évolution de leur chimisme (à haute T°, plagioclase calcique = anorthite, et à basse T°, plagioclase sodique = albite). **C'est la série continue des plagioclases.**

La conséquence de ces séries est que concrètement, au sein des roches, certaines associations sont impossibles. Par exemple, on ne peut pas trouver dans une même roche de l'olivine (formée à haute T°) et de la biotite (formée à basse T°)…

Il existe ainsi une logique dans les associations minérales qu'on rencontre au sein des roches magmatiques :

- Basalte (haute T°) : olivines, pyroxènes et plagioclases calciques / roche mélanocrate
- Andésite : Pyroxènes, amphiboles, et plagioclases avec Ca et Na / roche mésocrate
- Trachyte : Amphiboles, biotites, feldspaths alcalins et plagioclases / roche leucocrate
- Rhyolite (basse T°) : biotites, quartz, feldspath alcalin et plagioclase sodique

(Remarque : ces ordres d'apparition des minéraux peuvent parfois varier, en fonction par exemple de la présence d'eau dans le système, de la profondeur donc de la pression à laquelle se fait la cristallisation…)



Donc à partir d'un **magma de composition basaltique** issu de la fusion partielle du manteau, on peut former par **cristallisation fractionnée** et **différenciation magmatique** tout **un ensemble de roches** (exemple de la Chaîne des Puys, avec la formation de trachy-basaltes, trachy-andésites, trachytes). Quand on retrouve ces roches associées sur le terrain, dans un même secteur, on dit qu'elles forment **une série magmatique.**

Par contamination du magma mantellique

Dans la Chaîne des Puys (contexte intraplaque), comme dans les contextes de subduction (cf. fiche 5), le magma primaire qui stagne en base de croûte peut incorporer une partie de celle-ci, ce qui va enrichir le magma en certains éléments chimiques comme Si, Al, K, et modifier ainsi son chimisme.

On dit qu'il y a **contamination du magma primaire,** et celui ci va évoluer vers des termes plus différenciés, puisqu'on lui apporte de la silice et des éléments alcalins.

Ainsi, que ce soit par cristallisation fractionnée, ou par la contamination, on voit qu'un magma de composition au départ basaltique pourra donner d'autres types de roches.

Pour que ces deux processus (cristallisation fractionnée, contamination), se produisent, **le magma doit stagner avant de remonter en surface.** C'est souvent le cas, quand le magma rencontre l**a croûte continentale** dans son ascension (subduction sous de la lithosphère continentale, ou magmatisme intraplaque continental, contextes qui vont présenter une certaine diversité des roches volcaniques à l'affleurement).

Par contre, dans le contexte en divergence, au niveau des dorsales, le magma ne rencontre pas de croûte continentale au cours de son ascension ! Il ne stagne pas beaucoup avant de remonter, et les laves émises qui vont former la partie supérieure de la croûte océanique sont de composition assez homogène et peu différenciée : ce sont des basaltes.

Exercices

- WT 2011 (facile) : Reliez aux environnements ci-dessous les roches magmatiques volcaniques suivantes : Andésite, Basalte et Rhyolite
  - Dorsale médio-océanique
  - Arc insulaire
  - Point chaud