ST-F : LE PHENOMENE MAGMATIQUE

Introduction : rappels des relations avec les frontières des plaques : présence de magmatisme dans les zones de divergence (dorsales, rifts continentaux), certaines zones de convergence (subductions) et dans certaines zones internes aux plaques (points chauds) + documents à l'appui (carte mondiale)

I Etude d'une province magmatique : la chaîne des Puys

→ Voir TP 1 !!

II Les manifestations actuelles et passées du phénomène magmatique : aperçu mondial rapide et révisions de lycée,

II La source des magmas et la fusion partielle

A/ Pétrologie du manteau supérieur

Ce sont des rappels du chapitre « composition de la Terre » ! Plusieurs sources possibles d'information :

- Les enclaves remontées par les volcans
- L'observation directe de manteau à l'affleurement (fracture VEMA dans l'Atlantique ou ophiolite d'Oman par exemple)
- Aspects expérimentaux : densité, pression, vitesses sismiques, utilisation de la presse à enclume de diamant.

Cette péridotite peut présenter des variations de composition, visualisables sur le diagramme triangulaire de l'annexe 1. Ne retenir que la **lherzolite** (manteau primitif), la **hartzburgite** (manteau un peu appauvri, sous le Pacifique ou en Oman par exemple) et les **dunités** (manteau très appauvri par des fusions partielles répétées, presque exclusivement composé d'olivine)

Attention, le second diagramme triangulaire de l'annexe 1 est en fait le quart inférieur gauche du premier. On s'y intéresse tout particulièrement car il regroupe la quasi-totalité des péridotites abondantes connues.

B/ Causes possibles de la fusion partielle

= commentaire du document de l'annexe 2 et discussion selon les contextes géodynamiques décompression adiabatique sous les dorsales, apport d'eau en subduction, apport de chaleur au niveau des points chauds.

Point commun : le manteau est beaucoup plus proche de son point de fusion dans une « fenêtre » comprise entre 70 et 150 km. C'est donc cette péridotite qui fondra préférentiellement dans les divers contextes.

III Les magmas primaires et les séries magmatiques

A/ Aspect expérimental de la fusion partielle d'une péridotite

1. Résultats expérimentaux

La fusion expérimentale à sec d'une péridotite donne systématiquement un liquide de composition basaltique : moins de 55% de Si (moins de 50 en général), très peu d'alcalins, beaucoup de Mg et Ca, et des quantités variables de Al.

Remarque 1 : les compositions des liquides sont indiqués en % pondéraux d'oxydes. Ceci est dû à la technique d'analyse et n'a pas de réalité. On s'intéresse donc uniquement aux cations dans le commentaire des teneurs.

Remarque 2 : attention, les noms des basaltes donnés par le tableau du TP 1 sont des compositions **normatives** : c'est la roche qu'on fait cristalliser totalement « par le calcul ». Le quartz ou l'olivine peuvent donc être normatifs mais sont rarement voire jamais présents réellement. Une tholéiite à quartz est en fait un basalte suffisamment riche en Si pour que le quartz apparaisse par le calcul de norme, mais il n'en contient pas !

Le tableau de l'annexe 7 donne les résultats de la fusion partielle d'une péridotite en présence de fluides (CO₂ et/ou H₂O) : les compositions obtenues montrent davantage de Si, de Al et d'alcalins. Le magma est dit andésitique, et ressemble furieusement aux liquides trouvés dans les volcans de subduction.

2. Comportement des éléments : notion de coefficient de partage

Certains éléments ont une forte affinité pour le liquide, comme K. Son coefficient de partage est très inférieur à 1, il est dit incompatible. Un tel élément est donc idéal pour calculer le taux de fusion (% en masse de liquide obtenu, ici 20% pour le basalte tholéiitique)

D'autres éléments ont un faible coefficient de partage : ils restent préférentiellement dans la phase solide et sont dits compatibles. C'est le cas de Mg, très abondant dans le solide résiduel.

3. Diagrammes de phase et fusion partielle

Les diagrammes de phase de l'annexe 9 ou 10 renseignent à la fois sur le comportement des minéraux et le comportement des cations qu'ils intègrent. Evidemment, une roche ou **un liquide magmatique contient un grand nombre de phase et donc ces diagrammes ne décrivent que partiellement le processus.**

Exemple simple des olivines : leur composition forme une « solution solide » entre 2 pôles purs fayalite (olivine ferreuse) et forstérite (olivine magnésienne). On constate que le point de fusion de la seconde est plus élevé que la première. Une olivine fondra d'autant plus difficilement qu'elle est plus magnésienne.

Le diagramme se divise en 3 domaines séparés par deux courbes : tout solide en bas, sous la courbe de **solidus**, mélange solide+liquide entre les courbes de solidus et de **liquidus**, entièrement liquide en haut.

Lecture dynamique : faisons fondre une olivine à 90% magnésienne. Elle est donc proche du pôle forstérite à gauche. Quand on augmente T (droite verticale donc), on finit par toucher le solidus : la première goutte de liquide apparaît. A cette température, on peut tirer une horizontale. Elle coupe le solidus en un point et le liquidus en un autre. **Le point d'intersection avec le solidus permet de déterminer la composition des solides résiduels, et le point d'intersection avec le liquidus permet de déterminer la**

composition des liquides obtenus. On constate ici que **la première goutte de liquide est toujours plus ferreuse que le solide initial : Fe est donc plus incompatible que Mg.**

Continuons à augmenter T en tirant des horizontales : on remarque que le liquide s'enrichit progressivement et Mg jusqu'à tendre vers la composition du solide initial, composition atteinte lorsque tout est fondu.

Exemple plus complexe à 3 phases : Diopside, enstatite et grenat. Ce système est intéressant car ce sont les **minéraux majeurs de la péridotite, à l'olivine près**. Cette dernière ne nous intéresse pas : elle est en excès et elle fond à des T plus élevées que ces 3 minéraux (on la dit plus réfractaire).

Le diagramme devrait être en 3D : en fait, on se retrouve avec un diagramme triangulaire (celui de droite) quand on projette les courbes de liquidus sur le plan du solidus. Particularité : **les 3 surfaces de liquidus convergent toutes en un point**, véritable « puits » sur le diagramme 3D : c'est le point E ou **eutectique**.

Lecture dynamique : partons d'une lherzolite, notée « manteau fertile » sur le diagramme triangulaire. Quand on fait monter la température, on touchera d'abord le plan du solidus. Comment connaître la composition du premier liquide apparu ? Elle se lit sur l'intersection du plan de la T d'apparition de la première goutte de liquide (le solidus donc) avec le liquidus : c'est obligatoirement le point E. **Le premier liquide a donc toujours la composition de l'eutectique !!** Du coup, on pourra lire, par la règle du « levier » le taux de fusion. Cette composition est différente de celle de la lherzolite de départ, et contient **beaucoup plus de grenat : c'est celui-ci qui viendra à manquer en premier dans le solide résiduel** si on poursuit la fusion partielle. Les liquides suivants auront donc de moins en moins de grenat mais une composition en diopside et enstatite fixée par la ligne s'éloignant du pôle grenat : c'est une **ligne cotectique**. La composition du solide résiduel peut être lue en tirant une droite depuis la composition du liquide et passant par le solide initial. **Dès qu'on quitte l'eutectique, il n'y a plus de grenat dans le solide résiduel et sa composition se lit donc le long de la droite diopside-enstatite**. Le second minéral venant à manquer sera donc ensuite le diopside : le solide résiduel n'aura plus que de l'enstatite.

Note importante : on constate donc que les minéraux ne sont pas dans les mêmes proportions entre liquide et solide : **la fusion partielle est dite incongruente**. Il en va de même pour les éléments : le processus de changement d'état a donc tendance à **fractionner les éléments entre liquide et solide**.

NB 2 : On peut mesurer à tout moment le taux de liquide en appliquant la « règle du levier » le long de la droite entre solide résiduel (R), roche-mère (I) et liquide (L). C'est la distance R-I sur la distance totale RL

B/ Chimie et minéralogie des basaltes

1. Structure et minéralogie

Structure : vitreuse à microlithique, évidemment, témoin d'un refroidissement rapide en surface ! Voir le TP de pétrologie magmatique

2. Composition chimique en éléments majeurs

C'est l'analyse en % pondéraux d'oxydes, déjà vue au III A/ 1.

3. Les éléments traces

Présents à de très faibles teneurs, de l'ordre du ppm. En général, des métaux lourds et des éléments de transition du tableau de Mendeleiev, voire des éléments très lourds appelés « terres rares ». Ils sont tous incompatibles, c'est à dire qu'ils ont une forte affinité pour le liquide et ont donc un coefficient de partage proche de 1. Deux exploitations possibles de ces éléments :

- Le diagramme d'abondances normalisées, ou les éléments sont classés par incompatibilité décroissante.
- L'analyse des rapports isotopiques.

IV La différenciation magmatique

A/ Classifications des roches

J'ai oublié de vous commenter les série de Bowen (attention modèle à prendre avec des pincettes!):

Très théoriquement, apparaissent dans les magmas primaires les minéraux les plus pauvres en silice contenant les éléments les plus incompatibles (Ca, Mg, Fe) : voilà pourquoi l'olivine cristallise plus précocément que les pyroxènes, puis les amphiboles, puis le mica noir.

Idem pour les feldspaths qui sont « d'abord » calciques « puis » plutôt sodiques voire potassiques. Quant au quartz, il lui faut 70 % de SiO_2 pour le voir sous forme de phénocristax (granite et rhyolite)

B/ Mise en évidence de parentés chimiques

C/ Différenciation et cristallisation fractionnée

V Gisements et diversité des édifices magmatiques

Voir TP pétrologie

VI Magmatisme et contextes géodynamiques

A/ Les dorsales

1. Morphologie
2. Flux de chaleur
3. Pétrologie
4. Refroidissement et conséquences

B/ Les zones de subduction

Voir TD

C/ Les points chauds

Voir TD

Conclusion