

TD 1

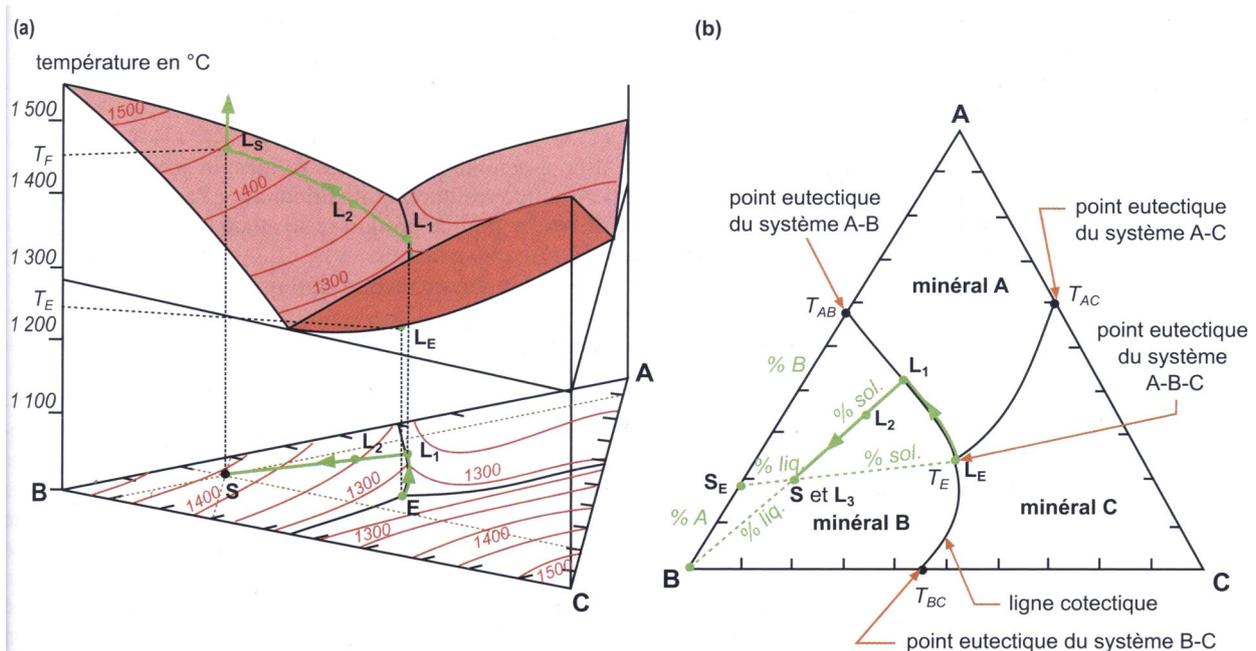
Fusion partielle et cristallisation fractionnée

Cours 1 - Les diagrammes ternaires :

Un diagramme ternaire avec eutectique prend en compte 3 phases pures et résulte de l'accolement de 3 diagrammes binaires avec eutectique. Il est établi pour une pression déterminée, les axes verticaux traduisant les températures.

Il est obtenu par projection de la surface des liquidus et le triangle peut porter l'indication des isothermes, à la manière des courbes de niveau sur la projection d'une surface topographique. Les formes des isothermes dessinent des vallées thermiques, constituant des lignes cotectiques. Celles-ci séparent 3 champs dans lesquelles le liquide coexiste avec chacune des phases pures.

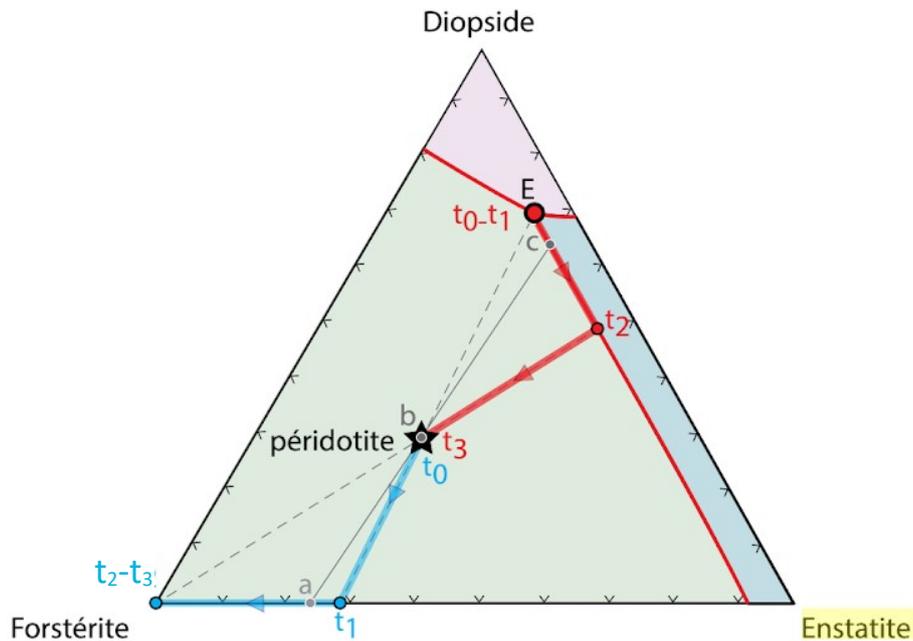
Ces vallées convergent vers le point eutectique (appelé puits thermique du système) qui marque la température la plus basse à laquelle peut s'observer un liquide.



Un exemple de diagramme ternaire en 3D et sa projection en plan.

Exemple de fusion d'un solide de composition S (l'eutectique T_E du système ternaire est de 1 245 °C ; les températures des eutectiques des systèmes binaires A-C (T_{AC}) et B-C (T_{BC}) sont proches l'une de l'autre, juste inférieures à 1 300 °C, l'eutectique du système binaire A-B (T_{AB}) a une température voisine de 1 350 °C).

Exemple : diagramme de phase diopside – enstatite – forsterite (pression = 20 kbar)



Soit un péridotite solide de composition b, que l'on fait fondre. Lorsque le système atteint la température de l'eutectique E, un premier liquide se forme, par fusion simultanée des 3 pôles purs (t_0 à t_1).

Lorsque le diopside, élément minoritaire du système est épuisé, la composition du liquide produit change : le solide résiduel ne contient plus que de l'enstatite (minoritaire) et de la forstérite, sa fusion entraîne donc un enrichissement du liquide en ces deux éléments (t_1 à t_2)

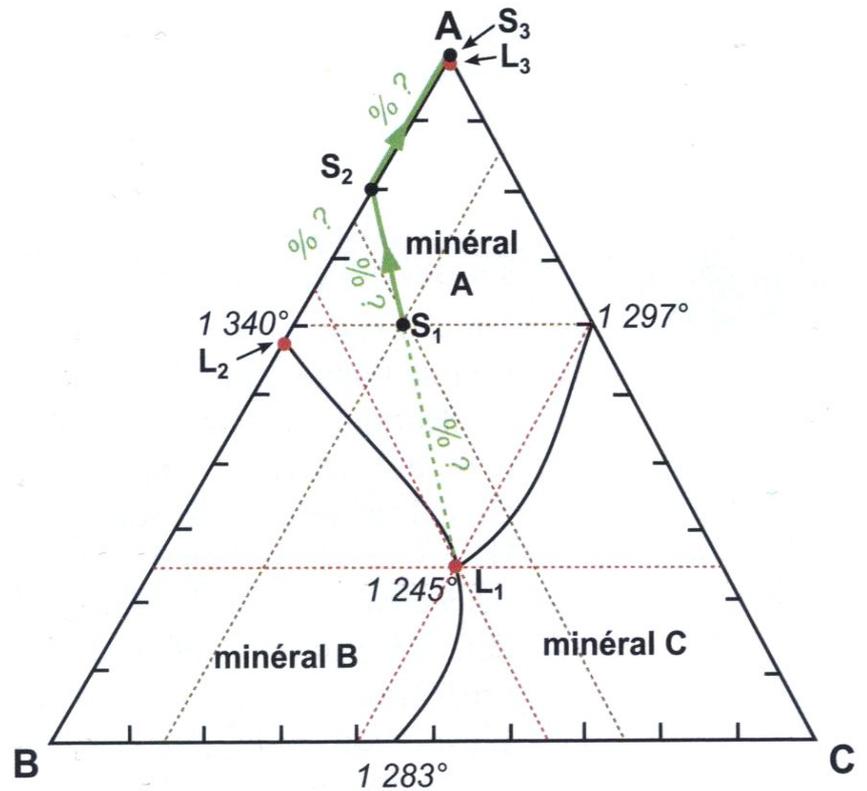
Lorsque l'enstatite du solide résiduel est épuisée (t_1), le liquide produit s'enrichit en forstérite, dernier élément composant le solide résiduel, jusqu'à atteindre la composition de la péridotite de départ (t_3).

est donc discontinue avec trois compositions, celle de l'eutectique ternaire, celle d'un eutectique binaire, et celle du constituant pur majoritaire.

Exercice 1 : les caractères de la fusion fractionnée

Dans le cas d'une fusion fractionnée, le premier liquide produit a toujours la composition eutectique ternaire avec fusion totale de la phase minoritaire C. L'extraction de ce premier liquide apparu conduit alors à une disparition de ce constituant. La source ne comprend plus que les deux autres constituants . La production d'un second liquide requiert alors une température plus élevée et a la composition de l'eutectique binaire du système A-B. L'extraction de ce liquide ne laisse subsister dans le système que le constituant majoritaire A qui produit par fusion un dernier liquide ayant la composition L3. Ainsi, dans le cas d'une fusion fractionnée, l'évolution du liquide est donc discontinue avec trois compositions, celle de l'eutectique ternaire, celle d'un eutectique binaire, et celle du constituant pur majoritaire.

Fusion fractionnée
dans le système ternaire A-B-C.



1- Déterminez la composition du solide initial S1.

2- Déterminez la composition de l'eutectique et la proportion de liquide eutectique L1 formée par la fusion du solide S1, par la règle des leviers.

3- Déterminez la composition du liquide résiduel L2.

4- Dans le cas d'une fusion fractionnée, et en supposant que la température atteigne celle de l'eutectique binaire AB, déterminez la proportion de liquide formée dans cette seconde étape et la proportion par rapport au solide initial.

Exercice 1.1 : Cristallisation dans un diagramme ternaire :

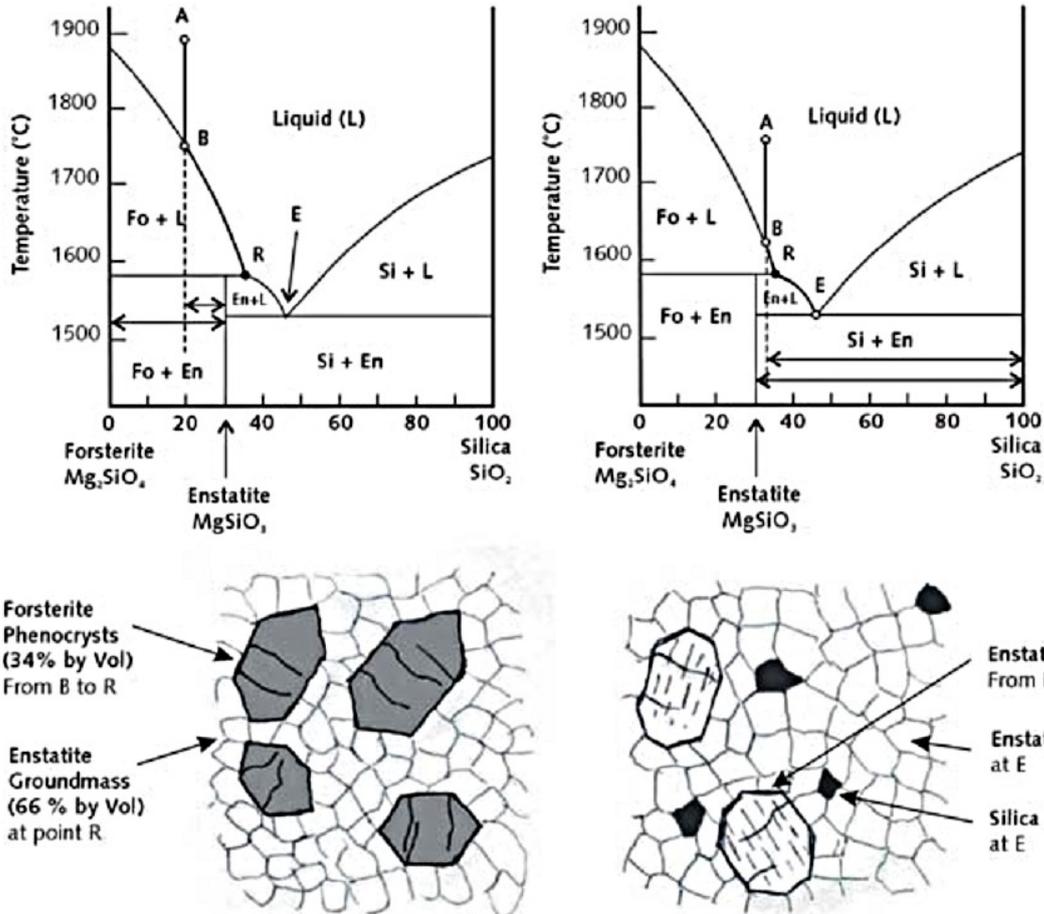
Soit un liquide de composition L1 (forstérite 25 %; anorthite 25 %; diopside 50%) en cours de refroidissement. Les premiers cristaux apparaissent à une température de l'ordre de 1450°C : ce sont des cristaux d'olivine (solide S1 dont la composition se situe au pôle F). Le liquide s'appauvrit alors en constituant magnésien et évolue en direction de la ligne cotectique selon une droite F-L1 (qui exprime un appauvrissement en magnésium avec conservation des proportions relatives des autres éléments). Lors de cette évolution, la portion de liquide et de solide peut être estimée par la règle des leviers. Ainsi, à la température correspondant à la composition L2, (1400°C), les proportions de solide et de liquide sont respectivement de : $L1-L2 / F-L2$ et $L1-F / F-L2$.

La composition du solide S2, formé uniquement d'olivine est toujours au pôle F. Le liquide atteint en L3 la température de la ligne cotectique où débute la cristallisation du diopside. L'évolution se fait alors selon la vallée thermique en direction du point E. Au cours de cette évolution, le solide est constitué d'olivine et de diopside avec une composition qui évolue selon la ligne F-D.

Cours 2 – Les diagrammes binaires avec péritectique :

De nombreux systèmes géologiques comportent un point réactionnel sur le liquidus, appelé point péritectique, où une phase solide réagit avec le liquide résiduel de manière à former une autre phase solide.

C'est le cas du système forstérite / silice, qui présente un point péritectique sur le liquidus de la forstérite, au niveau duquel la forstérite réagit avec le liquide résiduel pour former de l'enstatite.



On peut remarquer que pour les domaines de températures supérieurs au péritectique, l'assemblage stable est Forsterite + liquide, alors qu'en dessous, c'est Enstatite + liquide.

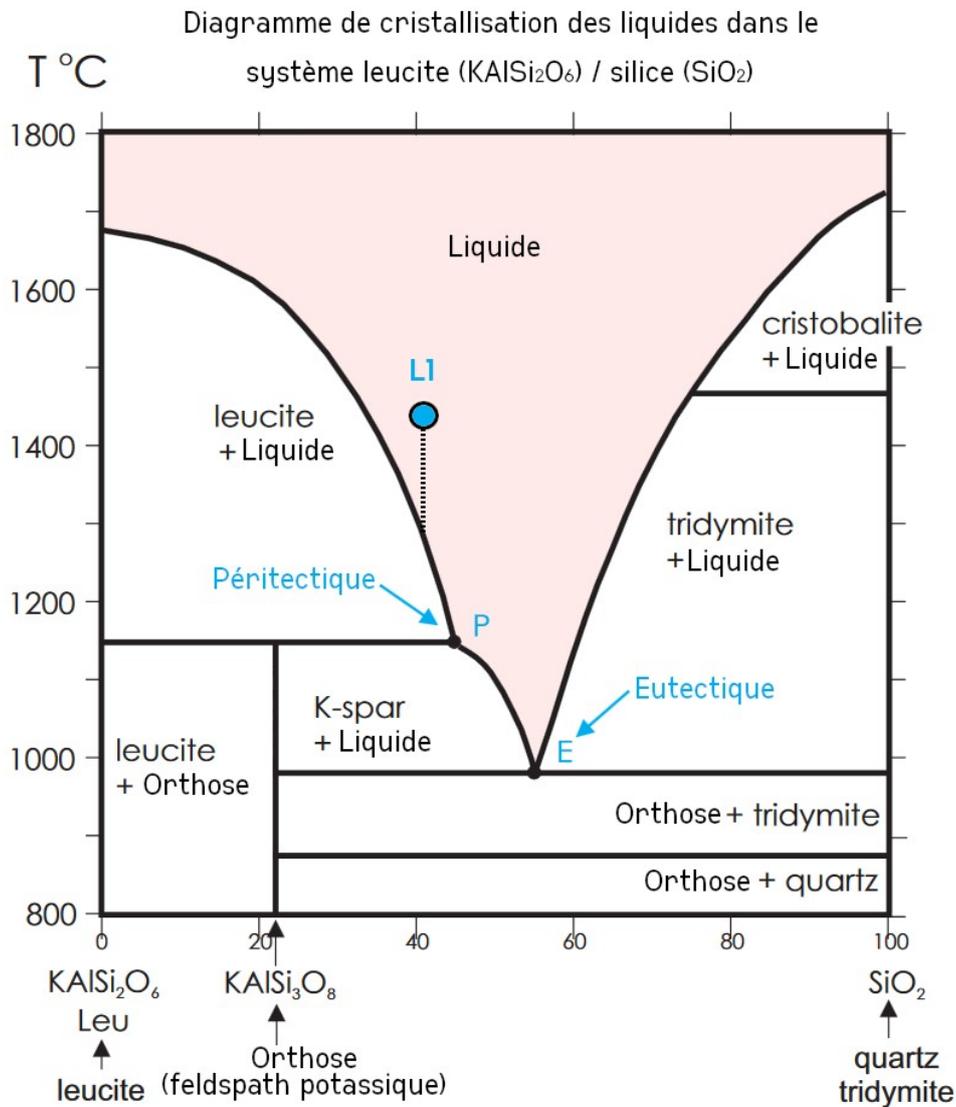
Si l'on fait cristalliser un mélange en fusion A, la forstérite va commencer à cristalliser au point B, et la composition du mélange évoluera vers le point R (péritectique). Au niveau de ce point, la forstérite réagit avec la silice contenue dans le liquide résiduel, pour donner de l'enstatite selon la réaction suivante :



Dans des conditions idéales, le système restera au point réactionnel R tant que toute la forstérite ou tout le liquide n'ait été consommé dans la réaction. Si le mélange originel contient moins de silice que d'enstatite (courbe de gauche), le liquide sera consommé avant la forstérite. Le magma aura donc totalement cristallisé au point R, et la roche finale ne sera composée que de forstérite. Il est à noter que ce magma n'atteindra jamais l'eutectique.

Si la composition du magma originel a une composition comprise entre l'enstatite et la silice (courbe de droite), il restera du liquide au point R. Dans ce cas, toute la forstérite réagira et donnera de l'enstatite + liquide. Ce magma résiduel continue de refroidir le long du liquidus entre R et E, le mélange eutectique donnant alors de l'enstatite et de la silice jusqu'à cristallisation complète du magma.

Exercice 2 : le système Leucite / quartz



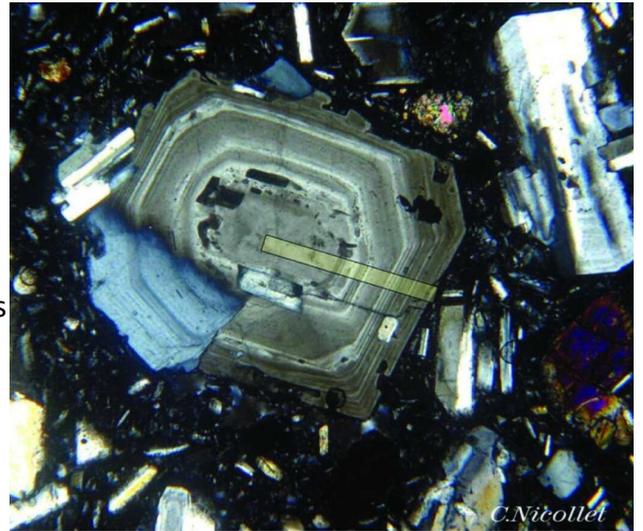
Commentez ce diagramme, et expliquez pourquoi quartz et feldspathoïdes sont exclusifs l'un de l'autre au sein des roches ignées.

Exercice 3 : Interactions solide / liquide lors de la cristallisation :

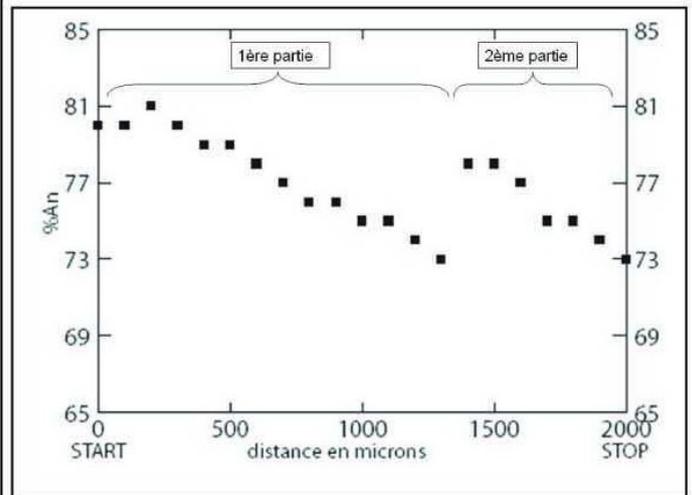
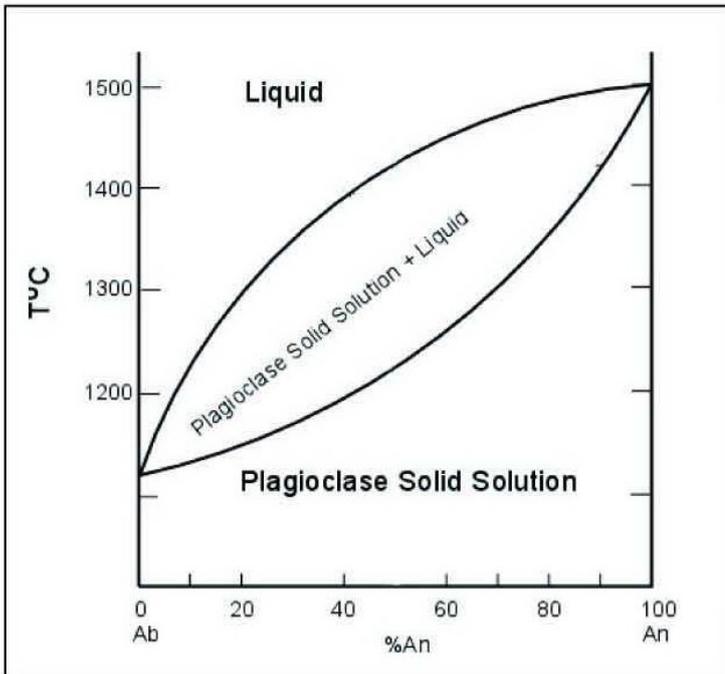
On se propose d'étudier les modalités de croissance des minéraux au travers de l'analyse de leurs diagrammes de phases. Nous allons nous intéresser au minéral photographié ci-dessous en LPA.

1- Donnez le nom de ce minéral.

2- Comment se nomment les stries concentriques visibles dans ce minéral ?



3- Une étude chimique faite par microsonde ionique le long du profil représenté sur la photo, donne les résultats suivants :



- Expliquez la première partie des résultats grâce au diagramme de phase.

- Précisez la composition du liquide de départ, en supposant que la première analyse corresponde à la nucléation initiale.

4- Sachant que la roche dont fait partie ce cristal est issue d'une chambre magmatique, expliquez la transition entre les deux parties de l'analyse.

5- Comment expliquer la partie bleutée du cristal ?