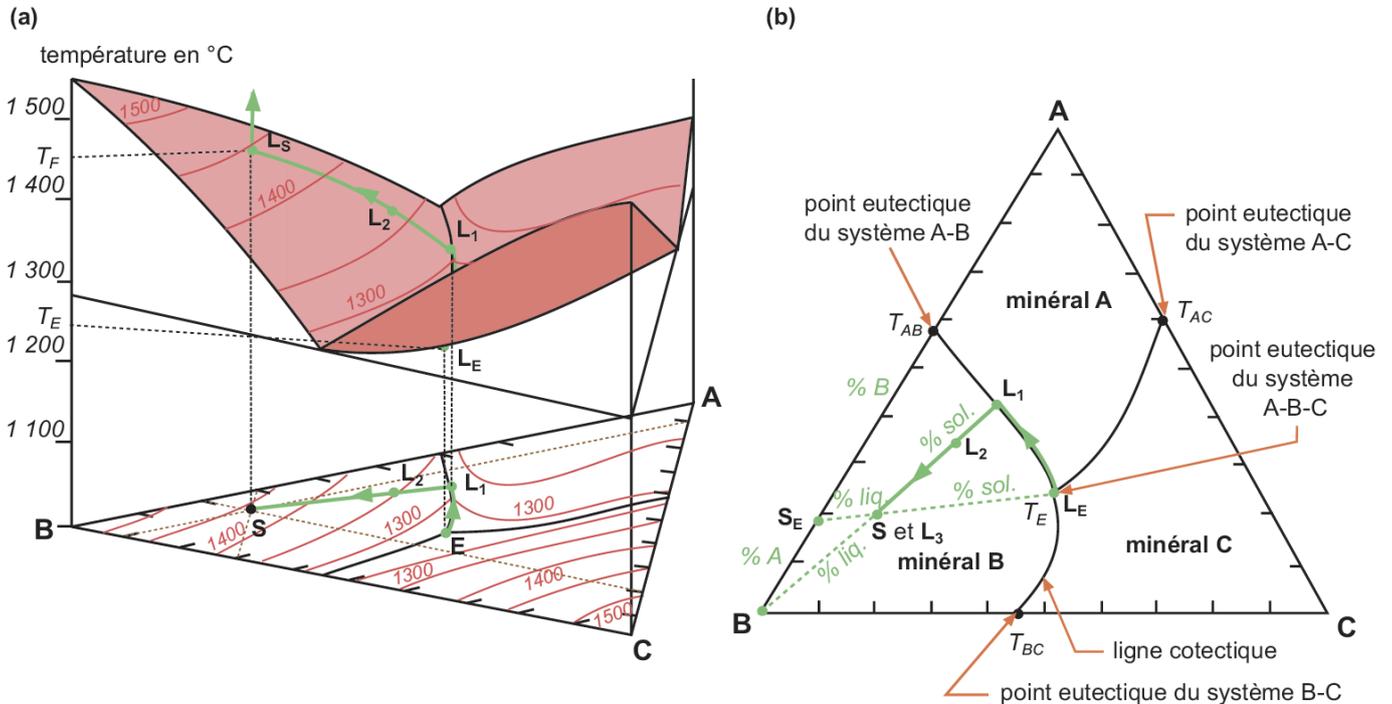


# FUSION À L'ÉQUILIBRE ET FUSION FRACTIONNÉE DANS UN DIAGRAMME TERNAIRE

Pour aller plus loin. Calculs non attendus dans le programme  
(d'après GÉOLOGIE Tout-En-Un, Dunod, 2015)

Au cours de la fusion expérimentale d'un assemblage de phases solides, la composition des liquides et leur proportion par rapport au solide résiduel se modifient avec l'augmentation de température. Dans une fusion à l'équilibre, le liquide produit reste au contact avec le solide résiduel et évolue de manière continue.

## I. Fusion à l'équilibre dans un diagramme ternaire



**Un exemple de diagramme ternaire en 3D (a) et sa projection en plan (b).**

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

Un solide de composition S (20 % de A, 70 % de B et 10 % de C) est soumis à une augmentation de température déterminant la fusion. Le premier liquide à apparaître a la composition de l'eutectique du système ternaire LE. La **phase minoritaire C fond** et la composition du solide résiduel à la température de l'eutectique est donnée par le point SE. Les proportions de liquide (fL) et de solide (fS) sont fournies par la règle des leviers et correspondent respectivement à  $fL = SES/SELE$  et  $fS = SLE/SELE$ .

Les proportions de A et B dans le solide résiduel sont fournies respectivement par  $SEB/AB$  et  $SEA/AB$ . Après disparition de C, l'augmentation de température détermine une évolution du liquide selon la ligne cotectique séparant les champs A et B. La proportion de A dans le solide diminue peu à peu alors que la proportion du liquide s'accroît.

L'évolution sur la ligne cotectique s'achève à la température L1 avec la disparition de A dans le solide résiduel, lequel n'est plus constitué que de 100 % de B avec une proportion de liquide égale à  $BS/BL1$  soit en pourcentage 47,5 % environ. L'évolution se poursuit alors à des températures croissantes en direction de S où sera réalisée la fusion totale.

1. Déterminez pour la température correspondant au point L2 les proportions de liquide ainsi que la composition du solide résiduel.
2. Déterminez à quelle température serait atteinte la fusion totale.

1. Le solide résiduel est constitué de 100 % de constituant B (la composition du solide est identique à celle obtenue au point L1, mais les proportions liquide/solide sont modifiées) ; la proportion de liquide est donnée par  $BS/BL2$  soit en pourcentage 55 % environ.

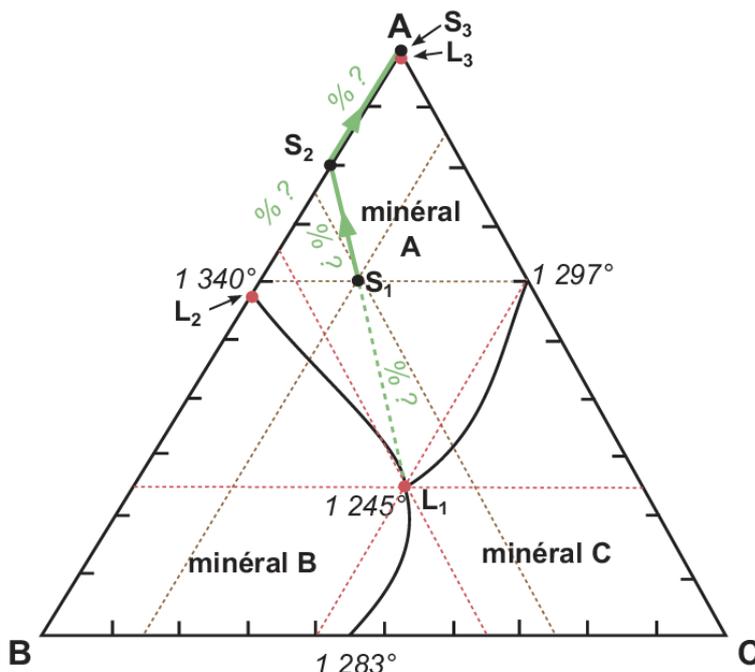
2. La fusion totale serait obtenue au point S soit à une température voisine de 1 450 °C.

Ce diagramme peut être utilisé pour reconstituer la séquence de cristallisation d'un liquide de composition L, sachant qu'il s'agirait de l'inverse de la séquence de fusion.

## II. Les caractères de la fusion fractionnée

Contrairement à la fusion à l'équilibre, la fusion fractionnée correspond à une extraction du liquide au fur et à mesure de sa formation.

Dans le cas d'une fusion fractionnée (figure ci-dessous), le premier liquide produit a toujours la composition eutectique ternaire avec fusion totale de la phase minoritaire C. L'extraction de ce premier liquide apparaît 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 sa 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 puis celle du constituant pur majoritaire.**



1. Déterminez la composition du solide initial S1.
2. Déterminez la composition de l'eutectique et la proportion de liquide eutectique L1 formé par fusion du solide S1 par la règle des leviers ou en prenant en compte les compositions de S1 et L1.
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 formé dans cette seconde étape et la proportion par rapport au solide initial. Indiquez alors quelle serait la proportion du dernier liquide formé.

Corrigé

1. Le solide S1 est constitué de 60 % de A, 25 % de B et 15 % de C.
2. La composition de l'eutectique L1 est la suivante : 25 % de A, 35 % de B, 40 % de C. La quantité de liquide eutectique produit peut être calculée soit par la règle des leviers, soit en considérant la quantité du minéral C minoritaire dans S1 et en lui ajoutant les quantités de A et B qui fondent dans les proportions de l'eutectique. Avec la règle des leviers, il vient :  $\% L1 = (S1S2/L1S2) \times 100 = 37 \%$

En utilisant les proportions des phases A, B et C dans L1 et S1, il vient :  
 $\% L1 = 15 + 15 \times 35/40 + 15 \times 25/40 = 15 \times (1 + 0,875 + 0,625) = 37,5 \%$ .

Cette seconde méthode a le mérite d'être plus précise car elle n'est pas tributaire de la mesure graphique des segments.

3. L2 correspond au mélange de  $(L2B/AB) \times 100 = 57 \%$  de A et de  $(L2A/AB) \times 100 = 43 \%$  de B.
4. Lorsque l'eutectique binaire AB est atteint, on est en présence d'une fraction L2 de liquide et d'une fraction S2 de solide résiduel.  
 $fL2 = (S2A/L2A) \times 100 = 44 \%$  et  $fS2 = (S2L2/L2A) \times 100 = 56 \%$ .  
 Le liquide formé dans ce système binaire est issu de  $100 - 37,5 = 62,5 \%$  du solide initial. Il ne représente donc que  $44 \times 0,625 = 27,5 \%$  du solide initial. La proportion du dernier liquide est obtenue par retrait de tous les liquides formés :  $100 - 37,5 - 27,5 = 35 \%$ .