

Hydratation des péridotites et pression de cristallisation

I.- Dans de nombreux contextes géodynamiques (dorsales lentes, volcanisme, obduction, sutures), des roches mantelliques à olivine (péridotites) peuvent être en contact avec de l'eau (eau de mer ou eau météorique). L'olivine de ces roches, idéalement Mg_2SiO_4 , peut alors s'hydrater pour produire de la serpentine, $\text{Mg}_{48}\text{Si}_{34}\text{O}_{85}(\text{OH})_{62}$, et de la brucite, $\text{Mg}(\text{OH})_2$.

- a) Ecrire la réaction d'hydratation de l'olivine avec ses coefficients stoechiométriques (ν_i) (2 points)*
- b) Quel élément chimique majeur a été négligé dans cette réaction ? Justifier. (1 point)*

II.- La variation d'énergie libre de Gibbs de cette réaction ($\Delta_R G$) est calculée comme étant nulle pour deux couples pression – température (P_e , T_e) pour lesquels les variations de volume ($\Delta_R V$) et d'entropie ($\Delta_R S$), associées à la réaction, sont fournies dans l'Annexe.

- a) Calculer la pente de Clapeyron de cette réaction pour ces deux couples (P_e , T_e). Pourquoi les deux valeurs trouvées sont-elles aussi différentes ? (3 points)*
- b) La réaction d'hydratation de l'olivine est-elle endo ou exothermique ? (1 point)*
- c) Dans un diagramme pression – température, placer les deux points (T_e , P_e) et la tangente à la courbe d'équilibre en ces points puis esquisser la courbe d'équilibre. Indiquer les champs de stabilité des réactifs et des produits sur la figure (3 points)*

III.- Dans une seconde partie, nous allons considérer le cas d'une péridotite exhumée qui se trouve brutalement au contact avec un fluide aqueux à 300°C / 500 bars. D'un point de vue textural, on observe que l'hydratation de l'olivine s'opère à la faveur d'un processus de fracturation (Fig. 1).

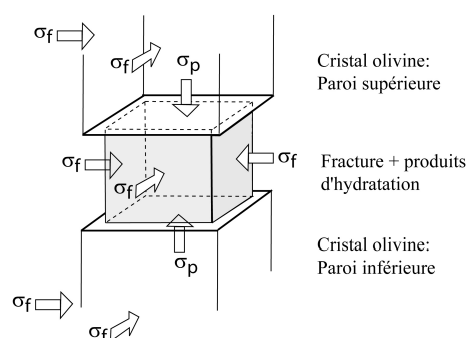
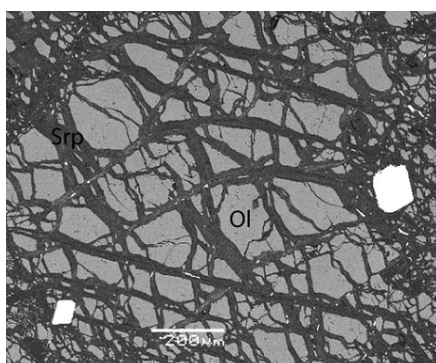


Figure 1 : (Gauche) Image par microscopie électronique à balayage de la section d'un monocristal d'olivine parcouru par un réseau de fractures. Ces fractures sont remplies par les produits d'hydratation de l'olivine (serpentine + brucite). (Droite) Vue schématique de la croissance des produits d'hydratation de l'olivine au sein d'un grain fracturé. Cette croissance exerce, sur les plans de la fracture, une contrainte (σ_p) supérieure à la contrainte exercée par le fluide aqueux environnant (σ_f). Il en résulte que les grains d'olivine fracturés subissent une contrainte différentielle égale à ($\sigma_p - P_f$). **On supposera que la pression de la roche étudiée (P) est égale à la pression du fluide (P_f).**

- a) Quelle est la valeur de la variation de volume des solides liée au remplacement d'une mole d'olivine par ses produits d'hydratation (serpentine et brucite) à 300°C / 500 bars ? On supposera que le volume des phases solides ne dépend pas de la température.

NB : Le volume molaire de l'eau à 351°C, 500 bars est fourni dans l'Annexe. **(2,5 points)***

- b) Est-ce que le signe de cette variation de volume est compatible avec une fracturation de l'olivine ? Justifier. On pourra ramener cette variation de volume à une variation relative par rapport au volume de l'olivine initiale (4,38 J/bar/mole à 300°C / 500 bars). **(1,5 point)***
- c) On peut estimer la valeur de la contrainte (σ_P) en faisant l'approximation grossière que dans l'environnement de la fracture, les solides subissent une pression hydrostatique moyenne (P_m) égale à $\frac{2P_f + \sigma_P}{3}$ alors que l'eau est à la pression P_f .

- Exprimer, pour chaque solide (i), la différence $\mu_i(T, P_m) - \mu_i(T, P)$ en fonction de son volume molaire V_i . On considérera les minéraux comme incompressibles entre P et P_m . **(2,5 points)***

- Exprimer la variation d'énergie libre de la réaction d'hydratation de l'olivine $\Delta_R G'(T, P, P_m)$ en fonction du $\Delta_R G(T, P)$, $\mu_{H_2O}(T, P)$ ainsi que des volumes molaires des solides V_i . **(2,5 points)***

- d) Quelle doit être la valeur de $(\sigma_P - P)$ pour que $\Delta_R G'(T, P, P_m) = 0$? Est-ce que le processus modélisé peut effectivement être responsable de la fracturation de l'olivine ? **(3 points)***

AN : on utilisera les résultats de la question a) pour déterminer la valeur de $\sum_i \nu_i V_i$ pour les solides ainsi qu'une valeur pour l'Energie libre de Gibbs de la réaction à 300°C / 500 bars de -150 kJ.

ANNEXE : Grandeurs thermodynamiques associées à la réaction d'hydratation de l'olivine (cf I.-a) aux conditions T_e, P_e sur la courbe d'équilibre

T_e, P_e	$\Delta_R G$	$\Delta_R S$	$\Delta_R V$	V_{H_2O}
	Joule (J)	J/K	J/bar	J/bar/mole
410°C, 5500 bars	0	-2515	-21,5	1,90
351°C, 500 bars	0	-3041	-57,6	2,61

*** Barème indicatif**