

REPUBLIQUE TUNISIENNE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique,

des Technologies de l'Enseignement



Concours Nationaux d'Entrée
aux Cycles de Formation d'Ingénieurs
Session 2014

الجمهورية التونسية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

و تكنولوجيا المعلومات و الاتصالات

إلى مراحل تكوين المهندسين
دورة 2014

corrigés
Chouk

CORRECTION

CONCOURS

Mathématiques et physique 2014

NOTATIONS ET DONNEES NUMERIQUES

- Sauf indication contraire, les grandeurs qui dépendent de la température sont données à 298 K.
- Les gaz sont supposés parfaits.
- L'état physique des constituants chimiques est noté : (sd) solide ; (liq) liquide ; (g) ou (vap) gazeux et (aq) en solution aqueuse.

Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

Rayons ioniques (en Å) : $O^{2-} = 1,40$; $Na^+ = 0,98$.

Masses molaires atomiques (en g.mol⁻¹) : O = 16 et Na = 23.

Enthalpies libres standard de formation à 298 K et sous la pression 1 bar :

	$\Delta_f G^\ominus \text{ (kJ.mol}^{-1}\text{)}$
$Na_2O_{(sd)}$	-375,5
$Nb_2O_5_{(sd)}$	-1766,0

Enthalpies et les entropies standard des réactions (A) et (B) sous 1 bar, supposées constantes entre 500 et 1000 K :

	$\Delta_r H^\ominus \text{ (kJ.mol}^{-1}\text{)}$	$\Delta_r S^\ominus \text{ (J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}\text{)}$
$2Nb_{(sd)} + \frac{5}{2}O_{2(g)} = Nb_2O_{5(sd)} \quad (A)$	-1899,50	-448,60
$2Na_{(liq)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} = Na_2O_{(sd)} \quad (B)$	-419,40	-144,12

Températures de fusion standard :

	$T_{fus}^\ominus \text{ (K)}$	$\theta_{fus}^\ominus \text{ (}^\circ\text{C)}$
Nb_2O_5	1785	1512
Nb	2741	2468
Na	371	98
Na_2O	1405	1132

On donne : $e^{-303,12} = 2,27 \times 10^{-132}$.

On rappelle que :

- L'air contient en pourcentages molaires : 20 % de dioxygène et 80% de diazote.
- Le potentiel chimique d'un corps simple dans son état standard de référence à une température T est nul.

PROBLEME I : CRISTALLOGRAPHIE(5,5 PTS)

L'oxyde de sodium Na_uO_v cristallise dans le système cubique. Les ions oxydes O^{2-} forment un empilement cubique à faces centrées et les ions Na^+ occupent tous les sites tétraédriques.

1) Préciser les coordonnées des ions Na^+ .

$(1/4, 1/4, 1/4) ; (1/4, 3/4, 1/4) ; (3/4, 1/4, 1/4) ; (3/4, 3/4, 1/4) ;$ ← 0,5

$(1/4, 1/4, 3/4) ; (1/4, 3/4, 3/4) ; (3/4, 1/4, 3/4) ; (3/4, 3/4, 3/4)$ ← 0,5

2) Déterminer la formule stœchiométrique de cet oxyde.

La formule générale est : Na_uO_v

Électro-neutralité : $u - 2 \times v = 0 \Rightarrow \frac{u}{v} = \frac{2}{1}$ ← 0,25

C'est-à-dire : $u = 2$ et $v = 1$

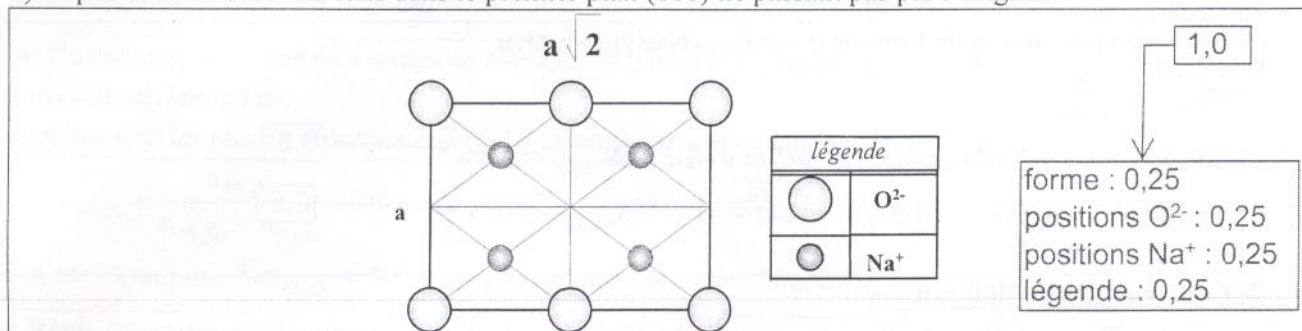
D'où la formule : Na_2O ← 0,25

3) Déterminer les coordinences des ions Na^+ et O^{2-} , respectivement par rapport à O^{2-} et Na^+ .

Na^+ se trouve dans un site tétraédrique, sa coordinence est 4 ← 0,5

O^{2-} se trouve dans un site cubique, sa coordinence est 8. ← 0,5

4) Représenter la trace des ions dans le premier plan (110) ne passant pas par l'origine.



5) Donner l'expression puis calculer :

5-a) le paramètre « a » de la maille en supposant que le contact anion-cation est réalisé ;

$$a \times \sqrt{3} = 4 \times (R_{\text{O}^{2-}} + R_{\text{Na}^+})$$

$$a = \frac{4 \times (R_{\text{O}^{2-}} + R_{\text{Na}^+})}{\sqrt{3}} \quad \leftarrow 0,5$$

Application numérique : ← 0,5

$$a = \frac{4 \times (1,40 + 0,98)}{\sqrt{3}} = 5,50 \text{ \AA}$$

5-b) la masse volumique de ce composé en g.cm^{-3} .

$$\rho = \frac{n_{\text{ion}}(\text{Na}^+) \times M_{\text{Na}} + n_{\text{ion}}(\text{O}^{2-}) \times M_{\text{O}}}{N_A \times a^3} \quad \leftarrow 0,5 \quad \text{Ou bien}$$

$$\rho = \frac{n_{\text{gf}} \times M_{\text{Na}_2\text{O}}}{N_A \times a^3}$$

$n_{\text{ion}}(\text{O}^{2-}) = 4$ et $n_{\text{ion}}(\text{Na}^+) = 8$ $n_{\text{ion}}(\text{O}^{2-}) = 4$ et $n_{\text{ion}}(\text{Na}^+) = 8$

La maille comporte quatre groupements formulaires Na_2O .

Application numérique :

$$\rho = \frac{8 \times 23 + 4 \times 16}{6,02 \times 10^{23} \times (5,50 \times 10^{-8})^3} = 2,47 \text{ g.cm}^{-3} \quad \leftarrow 0,5$$

$$\rho = \frac{4 \times (2 \times 23 + 16)}{6,02 \times 10^{23} \times (5,50 \times 10^{-8})^3} = 2,47 \text{ g.cm}^{-3}$$

PROBLEME II : DIAGRAMMES BINAIRES (6,75 PTS)

On se propose de tracer le diagramme d'équilibre solide-liquide température en fonction du pourcentage molaire en Nb_2O_5 , d'un système binaire oxyde de disodium-pentaoxyde de diniobium ($\text{Na}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5$) sous la pression $p^\circ = 1 \text{ bar}$.

On dispose des indications suivantes :

- Présence de deux composés définis Na_3NbO_4 et NaNbO_3 .

Composé défini	Type de fusion	Température de fusion standard ($^\circ\text{C}$)
Na_3NbO_4	congruente	992
NaNbO_3	congruente	1412

- Existence de trois paliers invariants définis par les équilibres :
 - À 820°C : liquide ($\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 8\%$) $\rightleftharpoons \text{Na}_2\text{O}_{(\text{sd})} + \text{Na}_3\text{NbO}_{4(\text{sd})}$.
 - À 975°C : liquide ($\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 30\%$) $\rightleftharpoons \text{Na}_3\text{NbO}_{4(\text{sd})} + \text{NaNbO}_{3(\text{sd})}$.
 - À 1230°C : liquide ($\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 70\%$) $\rightleftharpoons \text{NaNbO}_{3(\text{sd})} + \text{Nb}_2\text{O}_{5(\text{sd})}$.

1) Quelles seraient les positions des composés définis dans le diagramme binaire étudié ? Justifier la réponse.

Pour le composé défini de formule générale : $(\text{Na}_2\text{O})_u(\text{Nb}_2\text{O}_5)_v$

$$\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = \frac{v}{v+u} \times 100$$

Pour $\text{Na}_3\text{NbO}_4 \equiv (\text{Na}_2\text{O})_3(\text{Nb}_2\text{O}_5)_1$: $u=3$ et $v=1$: $\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 25\%$ ←

0,5

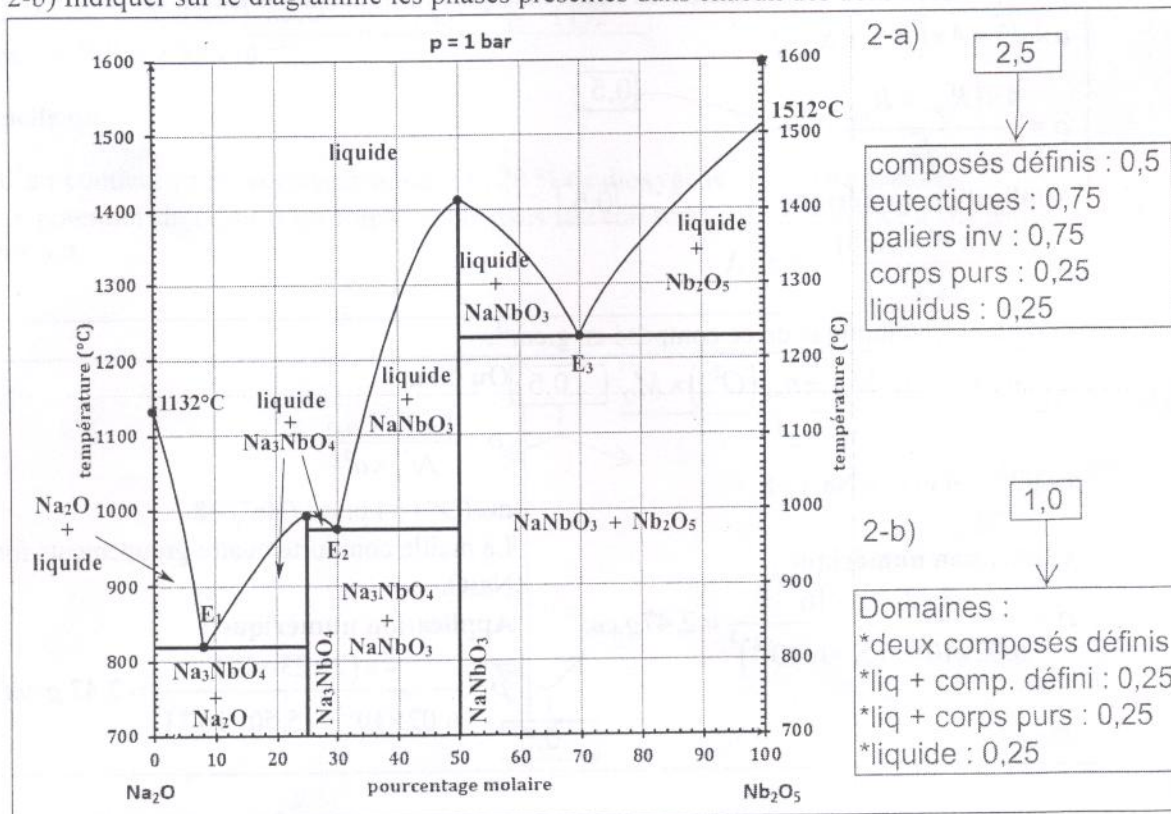
Pour $\text{NaNbO}_3 \equiv (\text{Na}_2\text{O})_1(\text{Nb}_2\text{O}_5)_1$: $u=1$ et $v=1$: $\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 50\%$ ←

0,5

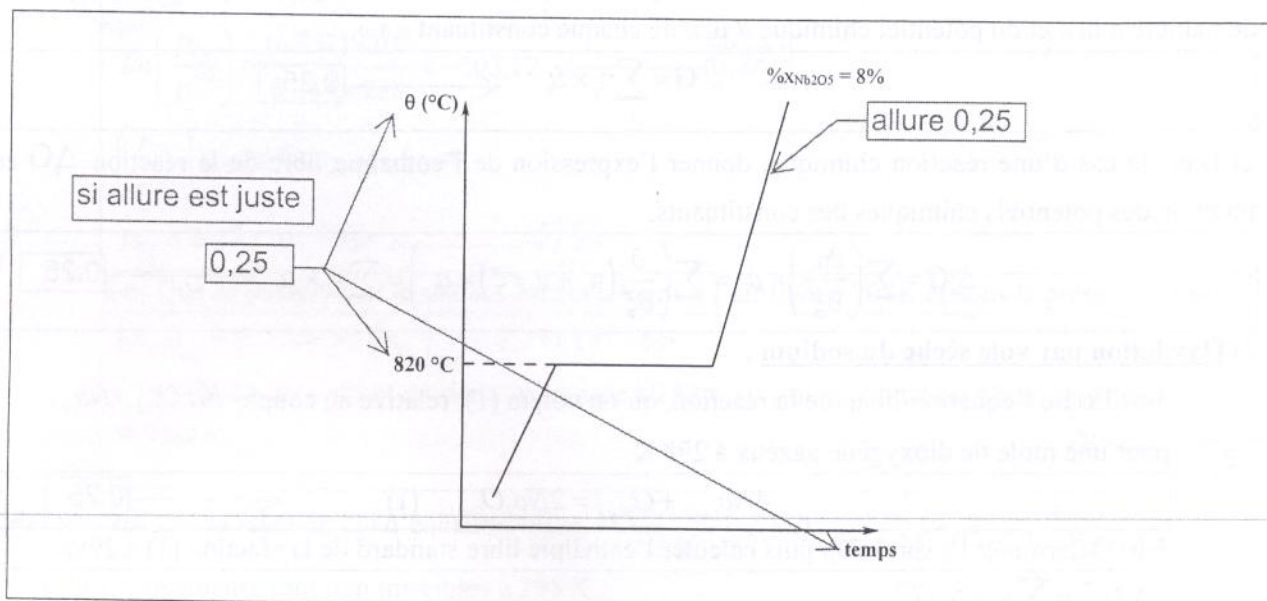
2) Construction du diagramme :

2-a) Tracer l'allure du diagramme $\theta = f(\%x_{\text{Nb}_2\text{O}_5})$ sur la figure ci-dessous.

2-b) Indiquer sur le diagramme les phases présentes dans chacun des domaines.



3) Tracer sans commenter, l'allure de la courbe d'analyse thermique du chauffage entre 700 et 1500°C du mélange de composition 8% molaire en Nb_2O_5 .



4) Un mélange constitué de 4 moles de $\text{Nb}_2\text{O}_5(\text{sd})$ et 6 moles de $\text{Na}_2\text{O}(\text{sd})$ est chauffé jusqu'à fusion complète puis refroidi lentement.

Quelles sont les phases obtenues à 800°C ? Déterminer leurs quantités de matière.

$$\%X_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = \frac{n_{\text{Nb}_2\text{O}_5}}{n_{\text{Nb}_2\text{O}_5} + n_{\text{Na}_2\text{O}}} \times 100 = \frac{4}{4 + 6} \times 100 = 40\% \quad \leftarrow 0,25$$

A 800°C et pour $\%X_{\text{Nb}_2\text{O}_5} = 40\%$, les phases obtenues sont : $\text{Na}_3\text{NbO}_4(\text{sd})$ et $\text{NaNbO}_3(\text{sd})$. $\leftarrow 0,25$

Règle des segments inverses :

$$\begin{cases} \frac{n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}} = \frac{40 - 25}{50 - 40} = \frac{15}{10} = 1,5 \\ n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} + n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} = 10 \text{ mol} \end{cases}$$

Ou bien

$$\leftarrow 0,5 \rightarrow$$

$$\begin{cases} \frac{n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}} = \frac{50 - 40}{40 - 25} = \frac{10}{15} = 0,67 \\ n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} + n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} = 10 \text{ mol} \end{cases}$$

Ou bien

$$\frac{n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{n_{\text{tot}}} = \frac{50 - 40}{50 - 25} = \frac{10}{25} = 0,4$$

$$\frac{n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{n_{\text{tot}}} = \frac{40 - 25}{50 - 25} = \frac{15}{25} = 0,6$$

$$n_{\text{tot}} = 10 \text{ mol}$$

$$n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} = 6 \text{ mol}$$

$$n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)} = 4 \text{ mol}$$

0,25

$$n_{\text{NaNbO}_3} = \frac{n^{(\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{2} = 3 \text{ mol} \quad \leftarrow 0,25$$

$$n_{\text{Na}_3\text{NbO}_4} = \frac{n^{(3\text{Na}_2\text{O} + \text{Nb}_2\text{O}_5)}}{4} = 1 \text{ mol} \quad \leftarrow 0,25$$

Si le candidat écrit :

$$n_{\text{NaNbO}_3} = 6 \text{ mol}$$

$$n_{\text{Na}_3\text{NbO}_4} = 4 \text{ mol}$$

cette dernière partie sera notée zéro.

PROBLEME III : DIAGRAMME D'ELLINGHAM (7,75 PTS)

1) Écrire l'expression de l'enthalpie libre G d'un système à plusieurs constituants en fonction de la quantité de matière « n_i » et du potentiel chimique « μ_i » de chaque constituant « i ».

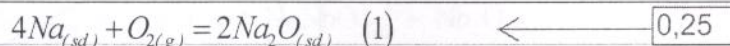
$$G = \sum_i n_i \times \mu_i \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

2) Dans le cas d'une réaction chimique, donner l'expression de l'enthalpie libre de la réaction $\Delta_r G$ en fonction des potentiels chimiques des constituants.

$$\Delta_r G = \sum_i \left(\frac{\partial n_i}{\partial \xi} \right) \times \mu_i = \sum_i \left(\frac{\partial}{\partial \xi} (n_i + \nu_i \times \xi) \right) \times \mu_i = \sum_i \nu_i \times \mu_i \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

3) **Oxydation par voie sèche du sodium :**

3-a) Écrire l'équation-bilan de la réaction, qu'on notera (1), relative au couple $Na_2O_{(sd)} / Na_{(sd)}$ pour une mole de dioxygène gazeux à 298 K.



3-b) Déterminer l'expression puis calculer l'enthalpie libre standard de la réaction (1) à 298 K.

$$\Delta_r G^\circ = \sum_i \nu_i \times \Delta_f G_i^\circ$$

$$\Delta_r G^\circ = 2 \times \Delta_f G_{Na_2O(sd)}^\circ - 4 \times \Delta_f G_{Na(sd)}^\circ - \Delta_f G_{O_2(g)}^\circ \quad \leftarrow \boxed{0,5}$$

$$\Delta_r G^\circ = 2 \times \Delta_f G_{Na_2O(sd)}^\circ - 4 \times 0 - 0$$

Application numérique :

$$\Delta_r G_{(1)}^\circ = 2 \times (-375,5) = -751 \text{ kJ.mol}^{-1} \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

3-c) En déduire la valeur du potentiel chimique standard de $Na_2O_{(sd)}$ à 298 K.

$$\Delta_r G^\circ = \sum_i \nu_i \times \mu_i^\circ$$

$$\Delta_r G^\circ = 2 \times \mu_{Na_2O(sd)}^\circ - 4 \times \mu_{Na(sd)}^\circ - \mu_{O_2(g)}^\circ \quad \leftarrow \boxed{0,5}$$

$$\Delta_r G^\circ = 2 \times \mu_{Na_2O(sd)}^\circ - 4 \times 0 - 0$$

$$\text{D'où } \mu_{Na_2O(sd)}^\circ = \frac{\Delta_r G^\circ}{2} = -375,5 \text{ kJ.mol}^{-1} \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

3-d) Calculer la pression de dioxygène à partir de laquelle le sodium s'oxyde à 298 K.

$$\Delta_r G_{(1)} = \Delta_r G_{(1)}^\circ + R \times T \times \ln(Q)$$

$$\Delta_r G_{(1)} = \Delta_r G_{(1)}^\circ - R \times T \times \ln\left(\frac{p_{O_2}}{p^\circ}\right) \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

$$\text{A } T=298 \text{ K l'oxydation du sodium a lieu pour } \Delta_r G_{(1)} < 0 \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

$$\Delta_r G_{(1)}^\circ < R \times T \times \ln\left(\frac{p_{O_2}}{p^\circ}\right)$$

$$\frac{\Delta_r G_{(1)}^\circ}{R \times T} < \ln\left(\frac{p_{O_2}}{p^\circ}\right)$$

$$\ln\left(\frac{p_{O_2}}{p^\ominus}\right) > \frac{\Delta_r G_{(1)}^\ominus}{R \times T}$$

$$\ln\left(\frac{p_{O_2}}{p^\ominus}\right) > \frac{(-751) \times 10^3}{8,314 \times 298} = -303,12 \leftarrow 0,25$$

$$\left(\frac{p_{O_2}}{p^\ominus}\right) > e^{-303,12} = 2,27 \times 10^{-132}$$

$$p_{O_2} > 2,27 \times 10^{-132} \text{ bar} \leftarrow 0,25$$

3-e) Que se passe-t-il si le sodium est abandonné à l'air libre à 298K et sous la pression 1 bar ?

$$(p_{O_2})_{\text{air}} = 0,2 \text{ bar} \gg (p_{O_2})_{\text{corr}} = 2,27 \times 10^{-132} \text{ bar}$$

L'oxydation du sodium est donc spontanée à 298 K (il y aura formation d'une couche protectrice de Na_2O). $\leftarrow 0,5$

4) On considère la réaction (2) d'équation-bilan : $4\text{Na}_{(sd)} + \frac{2}{5}\text{Nb}_2\text{O}_{5(sd)} \rightarrow 2\text{Na}_2\text{O}_{(sd)} + \frac{4}{5}\text{Nb}_{(sd)}$.

Tous les constituants sont non miscibles à 298 K.

4-a) Donner l'expression puis calculer l'enthalpie libre de la réaction (2) à 298 K et sous la pression 1 bar. Conclure.

$$\Delta_r G_{(2)} = 2 \times \mu_{\text{Na}_2\text{O}(sd)} + \frac{4}{5} \mu_{\text{Nb}(sd)} - 4 \times \mu_{\text{Na}(sd)} - \frac{2}{5} \mu_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)} \leftarrow 0,25$$

Comme la réaction a lieu entre solides, dans des phases différentes ($a_i = 1$)

$$\Delta_r G_{(2)} = \Delta_r G_{(2)}^\ominus = 2 \times \mu_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\ominus - \frac{2}{5} \mu_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\ominus \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(2)} = \Delta_r G_{(2)}^\ominus = 2 \times \Delta_f G_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\ominus - \frac{2}{5} \Delta_f G_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\ominus = 2 \times (-375,5) - \frac{2}{5} (-1766,0) = -44,6 \text{ kJ.mol}^{-1} < 0$$

La réaction évolue spontanément dans le sens direct. $\leftarrow 0,25$

4-b) Les quatre solides peuvent-ils se trouver en équilibre à 298 K et sous la pression 1 bar ? Conclure.

$$\Delta_r G_{(2)}^\ominus = -R \times T \times \ln(K_T^\ominus) \leftarrow 0,25$$

$$K_T^\ominus = \exp\left(-\frac{\Delta_r G_{(2)}^\ominus}{R \times T}\right) \leftarrow 0,25$$

Application numérique :

$$K_T^\ominus = \exp\left(\frac{44,6 \times 10^3}{8,314 \times 298}\right) = 6,58 \times 10^7 \text{ valeur très grande.} \leftarrow 0,25$$

Il ne peut pas y avoir équilibre, dans les conditions (298K, 1 bar).

La réaction évolue spontanément dans le sens direct, jusqu'à disparition totale du réactif en défaut. $\leftarrow 0,25$

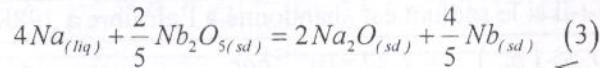
4-c) En fait, quand les quatre solides sont mis en présence à 298 K, apparemment il ne se passe rien. Pourquoi ?

Il faut tenir compte des contraintes cinétiques à $T = 298 \text{ K}$. ← 0,5

5) On étudie le même système à quatre phases, mais entre 500 et 1000 K, donc au-dessus de la température de fusion du sodium. Le liquide et les trois solides ne sont pas miscibles.

Déterminer la température pour laquelle ces quatre phases sont en équilibre sous la pression 1 bar.

Entre 500 et 1000 K, l'équation de la réaction devient :



$$\Delta_r G_{(3)} = 2 \times \mu_{\text{Na}_2\text{O}(sd)} + \frac{4}{5} \mu_{\text{Nb}(sd)} - 4 \times \mu_{\text{Na}(lq)} - \frac{2}{5} \mu_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)} \quad \leftarrow 0,25$$

Dans le système un liquide et 3 solides, non miscibles : donc chaque constituant est pur dans sa phase, sous 1 bar et les activités sont encore ($a_i = 1$)

$$\Delta_r G_{(3)} = \Delta_r G_{(3)}^\circ = 2 \times \mu_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - \frac{2}{5} \mu_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ \quad \leftarrow 0,5$$

$$\Delta_r G_{(3)} = \Delta_r G_{(3)}^\circ = 2 \times (\Delta_r H_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ) - \frac{2}{5} \times (\Delta_r H_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ) \quad \leftarrow 0,25$$

Les quatre phases peuvent-elles coexister à l'équilibre : $\Delta_r G_{(3)} = 0$ ← 0,25

$$2 \times (\Delta_r H_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ) - \frac{2}{5} \times (\Delta_r H_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ) = 0$$

$$\left(2 \times \Delta_r H_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r H_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ \right) - T \times \left(2 \times \Delta_r S_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r S_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ \right) = 0$$

$$T = \frac{\left(2 \times \Delta_r H_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r H_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ \right)}{\left(2 \times \Delta_r S_{\text{Na}_2\text{O}(sd)}^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r S_{\text{Nb}_2\text{O}_5(sd)}^\circ \right)} \quad \leftarrow 0,25$$

Application numérique :

$$T = \frac{\left(2 \times (-419,40) - \frac{2}{5} \times (-1899,50) \right)}{\left(2 \times (-144,12 \times 10^{-3}) - \frac{2}{5} \times (-448,60 \times 10^{-3}) \right)} = 726,10 \text{ K} \quad \leftarrow 0,25$$

FIN DE L'ÉPREUVE

2^{ème} méthode :

$$2Nb_{(sd)} + \frac{5}{2}O_{2(g)} = Nb_2O_{5(sd)} \quad (A) \times \left(-\frac{2}{5}\right)$$

$$2Na_{(liq)} + \frac{1}{2}O_{2(g)} = Na_2O_{(sd)} \quad (B) \times (2)$$

$$4Na_{(liq)} + \frac{2}{5}Nb_2O_{5(sd)} = 2Na_2O_{(sd)} + \frac{4}{5}Nb_{(sd)} \quad (3) \leftarrow 0,25$$

$$(3) = \left(-\frac{2}{5}\right) \times (A) + 2 \times (B) \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(3)}^\circ = \left(-\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r G_A^\circ + 2 \times \Delta_r G_B^\circ \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(3)}^\circ = \left(-\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r G_A^\circ + 2 \times \Delta_r G_B^\circ \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(3)}^\circ = \left(-\frac{2}{5}\right) \times (\Delta_r H_A^\circ - T \times \Delta_r S_A^\circ) + 2 \times (\Delta_r H_B^\circ - T \times \Delta_r S_B^\circ) \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(3)}^\circ = \left(2 \times \Delta_r H_B^\circ - \left(\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r H_A^\circ\right) - T \times \left(2 \times \Delta_r S_B^\circ - \left(\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r S_A^\circ\right)$$

$$\text{À l'équilibre } \Delta_r G_{(3)} = 0 \leftarrow 0,25$$

$$\Delta_r G_{(3)} = \Delta_r G_{(3)}^\circ = \left(2 \times \Delta_r H_B^\circ - \left(\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r H_A^\circ\right) - T \times \left(2 \times \Delta_r S_B^\circ - \left(\frac{2}{5}\right) \times \Delta_r S_A^\circ\right) = 0$$

$$T = \frac{\left(2 \times \Delta_r H_B^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r H_A^\circ\right)}{\left(2 \times \Delta_r S_B^\circ - \frac{2}{5} \times \Delta_r S_A^\circ\right)} \leftarrow 0,25$$

$$T = \frac{\left(2 \times (-419,40) - \left(\frac{2}{5}\right) \times (-1899,50)\right)}{\left(2 \times (-144,12) \times 10^{-3} - \left(\frac{2}{5}\right) \times (-488,60) \times 10^{-3}\right)} = \frac{-79}{-108,8 \times 10^{-3}} = 726,10K \leftarrow 0,25$$