

## 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 :  $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ .

Masses molaires (en  $\text{g.mol}^{-1}$ ) : niobium Nb = 93 et oxygène : O = 16.

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

|                                | $\Delta_f G^\ominus (\text{kJ.mol}^{-1})$ |
|--------------------------------|-------------------------------------------|
| $\text{Na}_2\text{O}_{(sd)}$   | -375,5                                    |
| $\text{Nb}_2\text{O}_5_{(sd)}$ | -1766,0                                   |

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

|                                                                                          | $\Delta_r H^\ominus (\text{kJ.mol}^{-1})$ | $\Delta_r S^\ominus (\text{J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1})$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| $2\text{Nb}_{(sd)} + \frac{5}{2}\text{O}_{2(g)} = \text{Nb}_2\text{O}_{5(sd)} \quad (A)$ | -1899,50                                  | -448,60                                                |
| $2\text{Na}_{(liq)} + \frac{1}{2}\text{O}_{2(g)} = \text{Na}_2\text{O}_{(sd)} \quad (B)$ | -419,40                                   | -144,12                                                |

Températures de fusion standard :

|                       | $T_{\text{fus}}^\ominus (\text{K})$ | $\theta_{\text{fus}}^\ominus (^\circ\text{C})$ |
|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| Nb                    | 2741                                | 2468                                           |
| Na                    | 371                                 | 98                                             |
| $\text{Na}_2\text{O}$ | 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 (5,75 PTS)

Le niobium cristallise dans un système cubique de paramètre  $a = 330 \text{ pm}$  et de masse volumique  $8,5 \text{ g.cm}^{-3}$ .

1) Déterminer le mode de réseau.

La masse volumique s'écrit :  $\rho = \frac{n_{\text{atom}}(\text{Nb}) \times M_{\text{Nb}}}{N_A \times a^3}$

$$n_{\text{atom}}(\text{Nb}) = \frac{\rho \times N_A \times a^3}{M_{\text{Nb}}} \leftarrow 0,25$$

Application numérique :

$$n_{\text{atom}}(\text{Nb}) = \frac{8,5 \times 6,02 \times 10^{23} \times (330 \times 10^{-10})^3}{93} \approx 2 \leftarrow 0,25$$

C'est une maille cubique centrée, le mode de réseau est (I).

0,5

Mode sans calcul  
vaut zéro

2) Donner l'expression puis calculer :

2-a) le rayon de l'atome de niobium ;

Dans un réseau cubique centré les atomes sont tangents selon la grande diagonale du cube :

$$a \times \sqrt{3} = 4 \times R_{\text{Nb}}$$

$$\text{D'où } R_{\text{Nb}} = \frac{a \times \sqrt{3}}{4} \leftarrow 0,25$$

Application numérique :

$$R_{\text{Nb}} = \frac{330 \times \sqrt{3}}{4} = 143 \text{ pm} \leftarrow 0,25$$

2-b) la compacité.

$$\text{La compacité s'écrit : } \zeta = \frac{n_{\text{atom}}(\text{Nb}) \times \frac{4}{3} \times \pi \times R_{\text{Nb}}^3}{a^3} \leftarrow 0,5$$

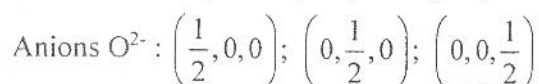
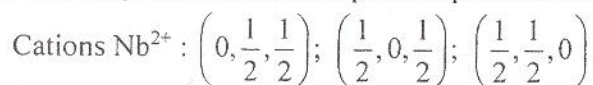
$$\zeta = \frac{n_{\text{atom}}(\text{Nb}) \times \frac{4}{3} \times \pi \times R_{\text{Nb}}^3}{\left(\frac{4 \times R_{\text{Nb}}}{\sqrt{3}}\right)^3} = \frac{\pi \times \sqrt{3}}{8} \leftarrow 0,25$$

Application numérique :

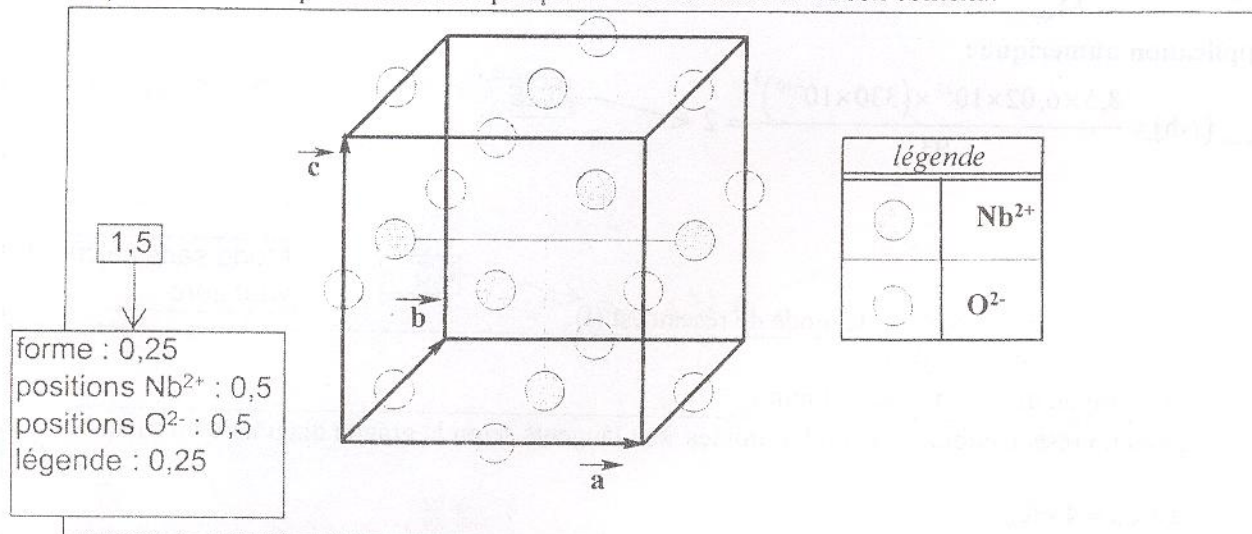
$$\zeta = \frac{\pi \times \sqrt{3}}{8} = 0,68$$



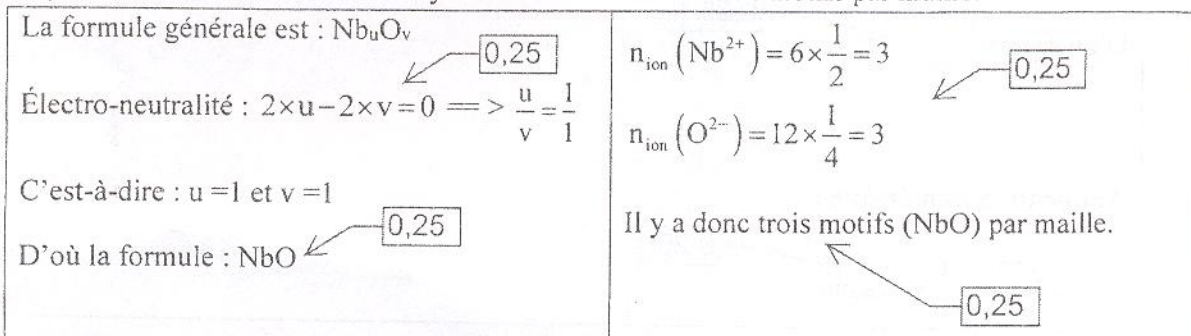
3) Chauffé en présence de dioxygène, le niobium solide donne un oxyde stœchiométrique de structure cubique dans laquelle les ions occupent les positions suivantes :



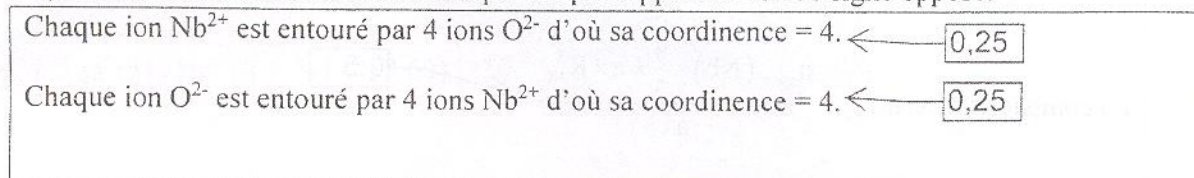
3-a) Donner une représentation en perspective de la maille et de son contenu.



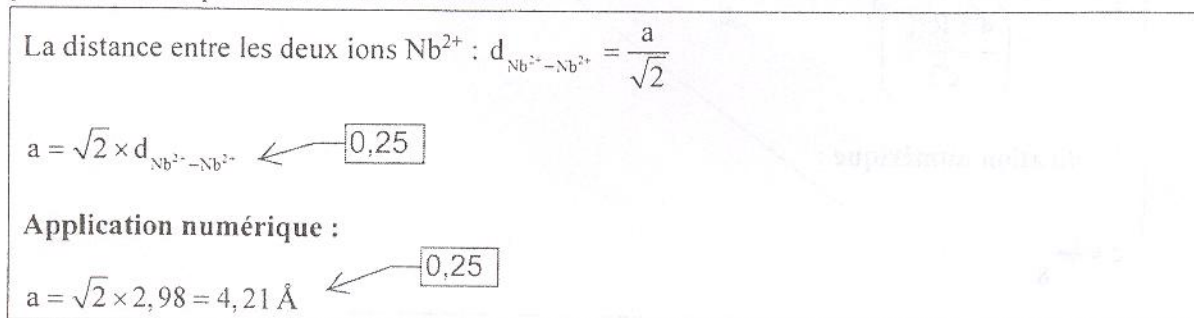
3-b) Déterminer la formule de l'oxyde et déduire le nombre de motifs par maille.



3-c) Déterminer la coordinnence de chaque ion par rapport à l'ion de signe opposé.



3-d) Sachant que la distance la plus courte entre deux ions  $\text{Nb}^{2+}$  est de 2,98 Å, Donner l'expression puis calculer le paramètre « a » de la maille.



## PROBLEME II : DIAGRAMME BINAIRE (6,5 PTS)

On se propose dans ce problème de tracer une partie du diagramme solide-liquide, température en fonction du pourcentage atomique en oxygène  $\theta = f(\%x_O)$  du système binaire Nb-O sous la pression  $p^\ominus = 1 \text{ bar}$ .

On dispose des données suivantes :

- Présence de trois composés définis NbO, NbO<sub>2</sub> et Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

| composé défini                 | température (°C) | observations          |
|--------------------------------|------------------|-----------------------|
| NbO                            | 1945             | fusion congruente     |
| NbO <sub>2</sub>               | 1915             | fusion congruente     |
| Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 1512             | fusion non congruente |

- Existence de trois paliers invariants définis par les équilibres :
  - À 1915°C : liquide ( $\%W_O = 10,5\%$ )  $\rightleftharpoons$  Solution solide riche en Nb ( $\%x_O = 4\%$ ) + NbO<sub>(sd)</sub>.
  - À 1810°C : liquide ( $\%x_O = 60,7\%$ )  $\rightleftharpoons$  NbO<sub>(sd)</sub> + NbO<sub>2(sd)</sub>.
  - À 1512°C : liquide ( $\%x_O = 73\%$ ) + NbO<sub>2(sd)</sub>  $\rightleftharpoons$  Nb<sub>2</sub>O<sub>5(sd)</sub>.
- La limite de solubilité de l'oxygène dans le solide Nb varie de ( $\%x_O = 2,5\%$  à 1400°C) à ( $\%x_O = 4\%$  : solubilité maximale à 1915°C).
- La température de fusion standard du niobium :  $\theta_{\text{fus}}^\ominus(\text{Nb}) = 2468^\circ\text{C}$ .

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

Pour le composé défini de formule générale : Nb<sub>u</sub>O<sub>v</sub>

$$\%x_O = \frac{v}{v+u} \times 100 \quad \leftarrow 0,25$$

$$\text{Pour NbO : } u=1 \text{ et } v=1 : \%x_O = 50\% \quad \leftarrow 0,25$$

$$\text{Pour NbO}_2 : u=1 \text{ et } v=2 : \%x_O = 66,7\% \quad \leftarrow 0,25$$

$$\text{Pour Nb}_2\text{O}_5 : u=2 \text{ et } v=5 : \%x_O = 71,4\% \quad \leftarrow 0,25$$

2) Conversion :

2-a) Donner la formule de conversion de l'échelle des pourcentages massiques ( $\%W_O$ ) à l'échelle des pourcentages atomiques ( $\%x_O$ ).

La fraction molaire s'écrit :

$$x_O = \frac{n_O}{n_O + n_{\text{Nb}}} = \frac{\frac{m_O}{M_O}}{\frac{m_O}{M_O} + \frac{m_{\text{Nb}}}{M_{\text{Nb}}}}$$

$$x_O = \frac{n_O}{n_O + n_{\text{Nb}}} = \frac{m_O}{m_O + \frac{M_O}{M_{\text{Nb}}} \times m_{\text{Nb}}}$$

$$x_O = \frac{W_O}{W_O + \frac{M_O}{M_{\text{Nb}}} \times W_{\text{Nb}}}$$

La formule de conversion :

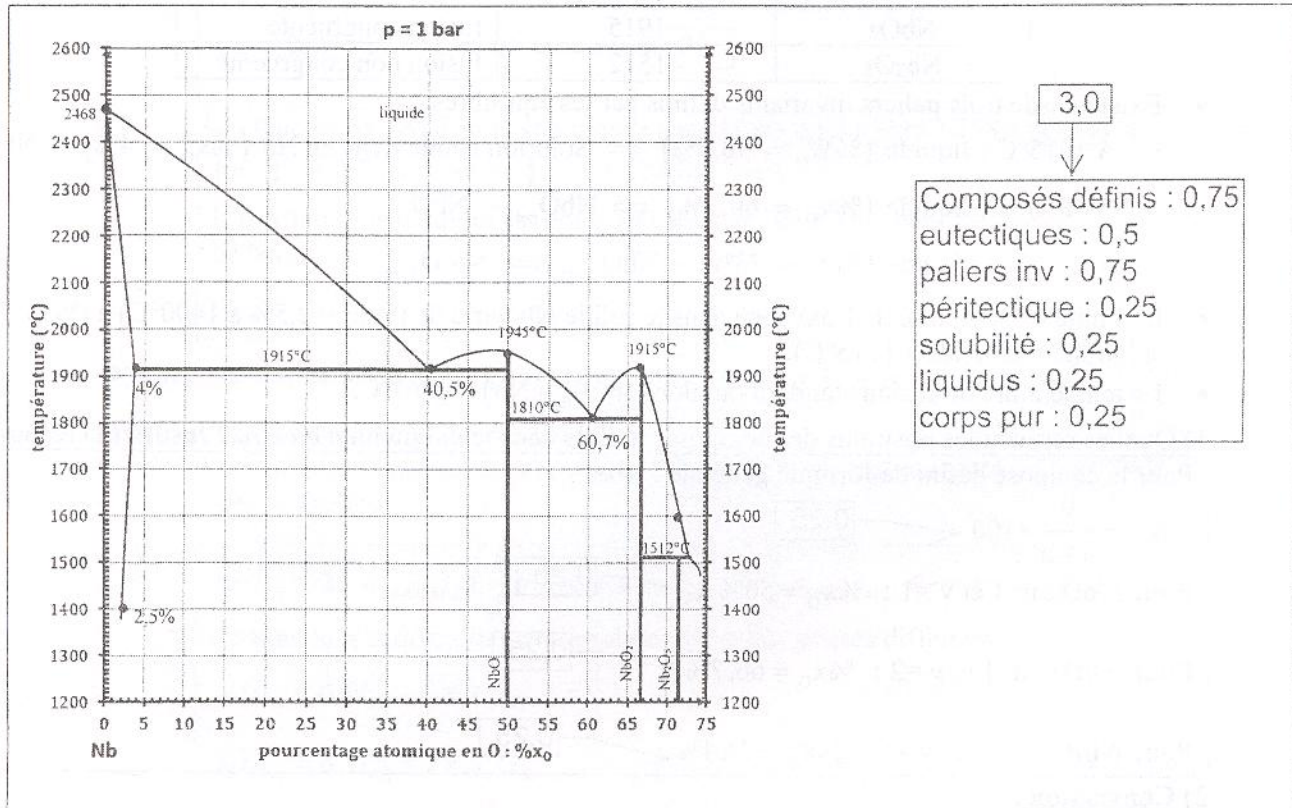
$$\%x_O = \frac{\%W_O}{\%W_O + \frac{M_O}{M_{\text{Nb}}} \times (100 - \%W_O)} \times 100 \quad \leftarrow 0,5$$



2-b) Application : déterminer le pourcentage atomique en oxygène du liquide correspondant au palier à 1915°C.

$$\%x_O = \frac{10,5}{10,5 + \frac{16}{93} \times (100 - 10,5)} \times 100 = 40,5\% \quad \leftarrow 0,25$$

3) Tracer l'allure du diagramme  $\theta = f(\%x_O)$  sur la figure ci-dessous.



4) On refroidit un mélange liquide refermant 2,25 mol de O et 1,50 mol de Nb jusqu'à la température 1600°C.

Quelles sont les phases obtenues à 1600°C ? Déterminer leurs quantités de matière.

$$\%x_O^{liq} = \frac{n_O^{liq}}{n_O^{liq} + n_{Nb}^{liq}} \times 100 = \frac{2,25}{2,25 + 1,5} \times 100 = 60\% \quad \leftarrow 0,25$$

A 1600°C et  $\%x_O^{glob} = 60\%$  les phases présentes sont :  $NbO_{(sd)}$  et  $NbO_{2(sd)}$   $\leftarrow 0,25$

$$\begin{cases} \frac{n^{(Nb+O)}}{n^{(Nb+2O)}} = \frac{66,7 - 60}{60 - 50} = \frac{6,7}{10} = 0,67 \\ n^{(Nb+O)} + n^{(Nb+2O)} = 3,75 \text{ mol} \end{cases} \quad \leftarrow 0,5 \quad \begin{cases} \frac{n^{(Nb+2O)}}{n^{(Nb+O)}} = \frac{60 - 50}{66,7 - 60} = \frac{10}{6,7} = 1,49 \\ n^{(Nb+O)} + n^{(Nb+2O)} = 3,75 \text{ mol} \end{cases}$$

$$\frac{n^{(Nb+2O)}}{n_{tot}} = \frac{60 - 50}{66,7 - 50} = \frac{10}{16,7} = 0,599 \text{ et } \frac{n^{(Nb+O)}}{n_{tot}} = \frac{66,7 - 60}{66,7 - 50} = \frac{6,7}{16,7} = 0,40 \text{ avec } n_{tot} = 3,75 \text{ mol}$$

$$n^{(Nb+2O)} = 2,25 \text{ mol} \quad \leftarrow 0,25$$

$$n^{(Nb+O)} = 1,50 \text{ mol}$$

$$n_{NbO_2} = \frac{n^{(Nb+2O)}}{3} = \frac{2,25}{3} = 0,75 \text{ mol} \quad \leftarrow 0,25$$

$$n_{NbO} = \frac{n^{(Nb+O)}}{2} = \frac{1,50}{2} = 0,75 \text{ mol} \quad \leftarrow 0,25$$

Si le candidat écrit :  
 $n_{NbO_2} = 2,25 \text{ mol}$   
 $n_{NbO} = 1,5 \text{ mol}$   
 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 «  $\mu_i$  » de chaque constituant «  $i$  ».

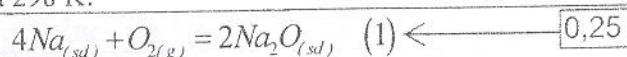
$$G = \sum_i n_i \times \mu_i \quad \leftarrow \quad 0,25$$

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.

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

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 298K.

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

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

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

Application numérique :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

$\leftarrow \boxed{0,5}$

4) On considère la réaction (2) d'équation-bilan :  $4Na_{(sd)} + \frac{2}{5}Nb_2O_{5(sd)} \rightarrow 2Na_2O_{(sd)} + \frac{4}{5}Nb_{(sd)}$ .

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.

$$\Delta_r G_{(2)} = 2 \times \mu_{Na_2O(sd)} + \frac{4}{5} \mu_{Nb(sd)} - 4 \times \mu_{Na(sd)} - \frac{2}{5} \mu_{Nb_2O_5(sd)} \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

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

$$\Delta_r G_{(2)} = \Delta_r G_{(2)}^\ominus = 2 \times \mu_{Na_2O(sd)}^\ominus - \frac{2}{5} \mu_{Nb_2O_5(sd)}^\ominus \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

$$\Delta_r G_{(2)} = \Delta_r G_{(2)}^\ominus = 2 \times \Delta_f G_{Na_2O(sd)}^\ominus - \frac{2}{5} \Delta_f G_{Nb_2O_5(sd)}^\ominus = 2 \times (-375,5) - \frac{2}{5} (-1766,0) = -44,6 \text{ kJ.mol}^{-1} < 0 \quad \leftarrow \boxed{0,25}$$

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

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

$$\Delta_r G_{(2)}^\ominus = -R \times T \times \ln(K_r^\ominus)$$

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

Application numérique :

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

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.

$\leftarrow \boxed{0,25}$

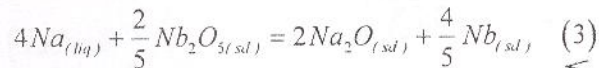
4-c) En fait, quand les quatre solides sont mis en présence à 298 K, apparemment il ne se passe rien. Pourquoi ?

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 :



$$\Delta_r G_{(3)} = 2 \times \mu_{\text{Na}_2\text{O}(s)} + \frac{4}{5} \mu_{\text{Nb}(s)} - 4 \times \mu_{\text{Na}(lq)} - \frac{2}{5} \mu_{\text{Nb}_2\text{O}_5(s)}$$

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 ( $a_i = 1$ )

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

$$\Delta_r G_{(3)} = \Delta_r G_{(3)}^\circ = 2 \times (\Delta_r H_{\text{Na}_2\text{O}(s)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Na}_2\text{O}(s)}^\circ) - \frac{2}{5} \times (\Delta_r H_{\text{Nb}_2\text{O}_5(s)}^\circ - T \times \Delta_r S_{\text{Nb}_2\text{O}_5(s)}^\circ)$$

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

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

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

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

Application numérique :

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

FIN DE L'EPREUVE



2<sup>ème</sup> méthode :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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