

**Refroidissement du supraconducteur****A. Premier et deuxième principes dans un écoulement****A.1 Signification**

Système : Le diazote

 $h$  : enthalpie massique  $\rightarrow h_e$  : en entrée de l'organe /  $h_s$  : en sortie $s$  : entropie massique, mêmes notations $s_c$  : entropie créée par unité de masse suite à des phénomènes irréversibles $w_u$  : travail utile par unité de masse (travail autre que le travail des forces de pression) $q$  : transfert thermique par unité de masse $T_{\text{ext}}$  : température extérieure (à la surface de l'organe)**A.2. Hypothèse**

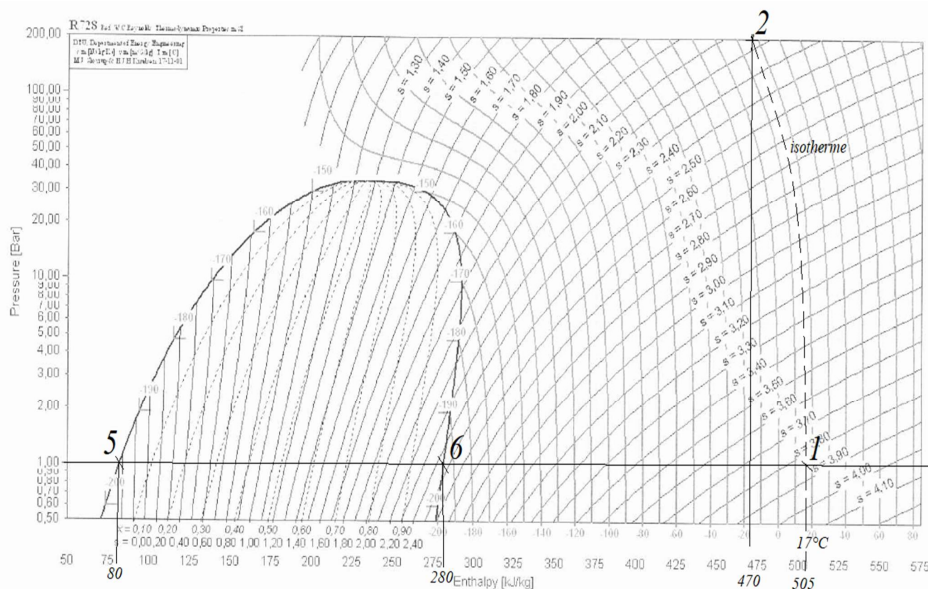
L'écoulement est permanent, les grandeurs dans la partie étudiée ne dépendent pas du temps.

On peut aussi négliger les variations d'énergie cinétique

**B. Etude du cycle****Analyse**

**E1**  $P_1 = 1 \text{ bar}$   $T_1 = 290 \text{ K}$   $\xrightarrow[\text{Isotherme}]{\text{Compression}}$  **E2**  $P_2 = 200 \text{ bar}$   $T_2 = T_1 = 290 \text{ K}$   $\xrightarrow[\text{Isobare}]{\text{Refroidissement}}$  **E3**  $P_3 = P_2 = 200 \text{ bar}$   $T_3 < T_2$   $\xrightarrow[\text{liquide/vapeur}]{\text{Détente}}$  **E4**  $P_4 = P_1$

Puis retour à l'état 1 par un échauffement isobare

**B.1 Le cycle**Point 1 :  $P_1 = 1 \text{ bar}$  ;  $T_1 = 290 \text{ K} = 17^\circ\text{C}$ Point 2 :  $P_2 = 200 \text{ bar}$  ;  $T_2 = 290 \text{ K} = 17^\circ\text{C}$ Point 5 :  $P_5 = P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$  ; liquide saturantPoint 6 :  $P_6 = P_1 = 1 \text{ bar}$  ; gaz saturant**B.2. Les valeurs**

Par lecture graphiques :

Point	1	2	5	6
$h$ (kJ/kg)	505	470	80	280
$S$ (kJ/kg/K)	3,85	2,15	-0,05	2,45

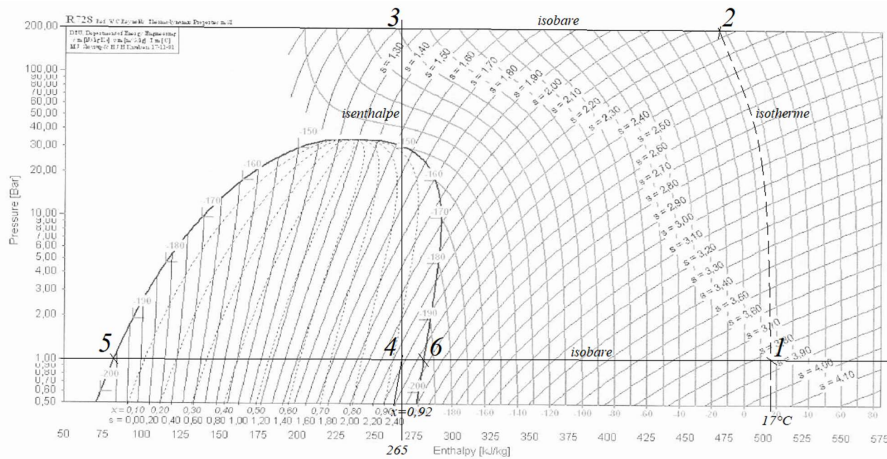
**B.3. Modèle du gaz parfait**Pour un gaz parfait, l'enthalpie ne dépend que de la température selon la 2<sup>ème</sup> loi de Joule.

Ainsi si la température est constante alors l'enthalpie est constante.

Dans un diagramme ( $P, h$ ), les isothermes et isenthalpiques d'un gaz parfait sont des droites parallèles et verticales.**B.4. Domaine de validité**Sur le diagramme les isothermes sont des droites verticales à basses pressions pour  $P \leq 1 \text{ bar}$ .

Dans ce domaine le diazote pourra être considéré comme un gaz parfait.

**B.5. Transformation de 1 $\rightarrow$ 2**Transformation réversible :  $s_c = 0 \text{ J/K/Kg}$ Transformation isotherme :  $T_{\text{ext}} = T_1 = \text{constante}$ Second principe pour un système ouvert en écoulement permanent :  $s_2 - s_1 = \frac{q_{12}}{T_1}$ D'où  $q_{12} = T_1(s_2 - s_1) = -493 \text{ kJ/kg}$ **B.6. Travail pour le compresseur**Premier principe pour un système ouvert en écoulement permanent :  $h_2 - h_1 = q_{12} + w_{12}$ D'où  $w_{12} = h_2 - h_1 - q_{12} = 458 \text{ kJ/kg}$ **B.7. Transformation de 3 $\rightarrow$ 4**Il n'y a pas de pièce mobile, donc pas de travail utile :  $w_{34} = 0 \text{ J/kg}$ Le système est de plus calorifugé  $q_{34} = 0 \text{ J/kg}$ Premier principe pour un système ouvert en écoulement permanent :  $h_4 - h_3 = 0 \text{ J/kg}$ C'est une détente **isenthalpique****B.8. Expression de  $h_4$**  $h_5$  est l'enthalpie massique du liquide dans les conditions de l'état 4. $h_6$  est l'enthalpie massique du gaz dans les conditions de l'état 4. $h$  est une fonction d'état extensive et additive :d'où  $h_4 = y h_5 + (1-y) h_6$ **B.9. Expression de  $y$** La transformation 3 $\rightarrow$ 4 est isenthalpique :  $h_4 = h_3$ On nous indique  $h_3 - h_2 + (1-y)(h_1 - h_6) = 0$ D'où  $y h_5 + (1-y) h_6 - h_2 + (1-y)(h_1 - h_6) = 0$ Soit  $y h_5 - h_2 + (1-y) h_1 = 0$ Ainsi  $y = \frac{h_2 - h_1}{h_3 - h_1} = 8,2 \%$ **B.10. Le travail pour 1 kg de diazote liquide**Il faut  $w_{12} = 458 \text{ kJ}$  pour obtenir 0,082 kg de diazote liquide.Ainsi il faut  $W = \frac{w_{12}}{y} = 5,6 \text{ MJ}$  pour obtenir 1 kg de  $N_{2(l)}$ **B.11. Le point 4**Le point 4 est tel que :  $P_4 = P_1 = 1 \text{ bar}$  et  $y = 0,08$  donc le titre en vapeur  $x = 0,92$ On détermine graphiquement :  $h_4 = 265 \text{ kJ/kg}$  et  $s_4 = 2,25 \text{ kJ/K/Kg}$ **B.12. Le point 3**Le point 3 est tel que :  $P_3 = 200 \text{ bar}$  et  $h_4 = h_3$ On détermine graphiquement :  $h_3 = h_4 = 265 \text{ kJ/kg}$  et  $s_4 = 1,25 \text{ kJ/K/Kg}$



### B.13. Variation d'entropie dans le détendeur

Transformation 3→4 :  $\Delta s = s_4 - s_3 = 1,0 \text{ kJ/kg/K}$

Second principe pour un système ouvert en écoulement permanent :  $s_4 - s_3 = \frac{q_{34}}{T_{\text{ext}}} - s_c$

Or le détendeur est calorifugé,  $q_{34} = 0$

D'où  $s_c = \Delta s = 1,0 \text{ kJ/kg/K}$

La transformation est irréversible sans doute à cause de l'importante variation de pression.

### B.14. Le coup pour obtenir 10l

On veut obtenir 10 l soit une masse  $m = \rho V$ .

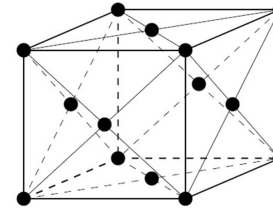
Or pour 1 kg il faut une énergie  $W = w_{12}/y$

On doit alors fournir  $W_T = \frac{w_{12}}{y} \rho V = 45,3 \text{ MJ}$

Or 1 kWh = 3,6 MJ coûte 0,15€

Il faut donc dépenser **1,9€**

### C.1 La maille CFC



### C.2. Nombre d'atomes par maille

Le fer  $\alpha$  :  $Z = \frac{8 \times 1}{8} + \frac{1 \times 1}{1} = 2 \Leftrightarrow \boxed{Z_\alpha = 2}$

sommets intérieur

Le fer  $\gamma$  :  $Z = \frac{8 \times 1}{8} + \frac{6 \times 1}{2} = 4 \Leftrightarrow \boxed{Z_\gamma = 4}$

sommets faces

### C.3. Le contact entre les atomes

Le fer  $\alpha$  : 2 atomes sont en contact sur la diagonale du cube

D'où  $4r = \sqrt{3}a$

Le fer  $\gamma$  : 2 atomes sont en contact sur la diagonale d'une face du cube

D'où  $4r = \sqrt{2}a$

### C.4. La masse volumique

Pour une maille  $\rho = \frac{ZM}{N_A a^3}$

Le fer  $\alpha$  :  $\rho_\alpha = \frac{2 \times 56 \cdot 10^{-3} \times 3 \sqrt{3}}{6,02 \cdot 10^{23} \times 64 \times (124 \cdot 10^{-12})^3} \Leftrightarrow \boxed{\rho_\alpha = 7\,922 \text{ kg/m}^3}$

Le fer  $\gamma$  :  $\rho_\gamma = \frac{4 \times 56 \cdot 10^{-3} \times 2 \sqrt{2}}{6,02 \cdot 10^{23} \times 64 \times (124 \cdot 10^{-12})^3} \Leftrightarrow \boxed{\rho_\gamma = 8\,625 \text{ kg/m}^3}$

### C.5 Nombres d'atomes

Baryum :  $\frac{8 \times 1}{8} + \frac{1 \times 1}{1} = 2 \Leftrightarrow \boxed{Z_{Ba} = 2}$

sommets intérieur

Fer :  $\frac{2 \times 4 \times 1}{2} = 4 \Leftrightarrow \boxed{Z_{Fe} = 4}$

faces latérales

Arsenic :  $\frac{4 \times 2 \times 1}{4} + \frac{2 \times 1}{1} = 4 \Leftrightarrow \boxed{Z_{As} = 4}$

arêtes verticales intérieur

### C.6. Formule de l'alliage : $\text{BaFe}_2\text{As}_2$

### D. Stabilité du fer

#### D.1. Les couples de l'eau

$\text{H}_2\text{O}/\text{H}_2 = \text{H}^+/\text{H}_2$

Demi-équation :  $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightleftharpoons \text{H}_{2(\text{g})}$

Potentiel :  $E = E^\circ_1 + 0,03 \log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{P_{\text{H}_2/P^\circ}}$

A la frontière  $P_{\text{H}_2} = P^\circ = 1 \text{ bar} \Leftrightarrow \boxed{E_{F1} = -0,06 \text{ pH}}$

$\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}$

Demi-équation :  $\text{O}_{2(\text{g})} + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^- \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{O}$

Potentiel :  $E = E^\circ_2 + \frac{0,06}{4} \log [\text{H}_3\text{O}^+]^4 P_{\text{O}_2/P^\circ}$

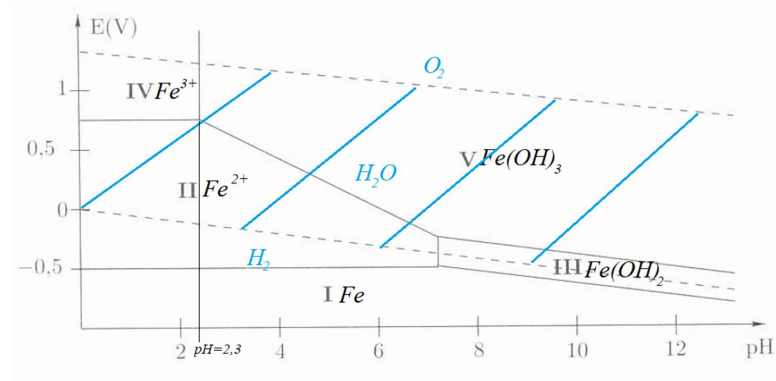
A la frontière  $P_{\text{O}_2} = P^\circ = 1 \text{ bar} \Leftrightarrow \boxed{E_{F2} = 1,23 - 0,06 \text{ pH}}$

## D.2. Identification

Plus le potentiel est élevé et plus le nombre d'oxydation (no) est grand

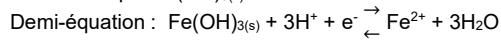
Plus le pH est élevé et plus il y a des ions  $\text{HO}^-$

Les no :  $\text{Fe}^{3+}$  et  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$  no = III  
 $\text{Fe}^{2+}$  et  $\text{Fe}(\text{OH})_{2(s)}$  no = II  
Fe no = 0



## D.3. Pente de la frontière II/IV

C'est le couple  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}/\text{Fe}^{2+}$



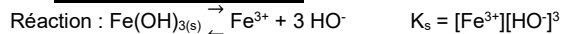
$$\text{Potentiel : } E = E^\circ_{\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}/\text{Fe}^{2+}} + 0,06 \log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^3}{[\text{Fe}^{2+}]}$$

Frontière : au premier grain de  $\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}$  on a  $[\text{Fe}^{2+}] = C_0$

D'où  $E_F = E^\circ_{\text{Fe}(\text{OH})_{3(s)}/\text{Fe}^{2+}} - 0,06 \log C_0 - 0,18 \text{ pH}$

On a donc une frontière de **pente -0,18 V/unité de pH**

## D.4. Le pH frontière entre IV/V



A la frontière on a le premier grain de précipité et  $[\text{Fe}^{3+}] = C_0$

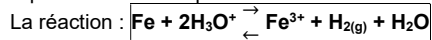
Le  $K_s$  étant vérifié on a  $K_s = C_0 K_a^3$

$$\text{D'où } \text{pH} = \frac{1}{3}(-\log C_0 - \text{p}K_s) + \text{p}K_a = 2,3$$

## E. Détermination de la composition

### E.1. Réaction du fer

A  $\text{pH} = 0$  le fer n'est pas stable dans l'eau



$$\text{Constante d'équilibre : } K = \frac{[\text{Fe}^{2+}] P_{\text{H}_2}/P^\circ}{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}$$

A l'équilibre il y a égalité des potentiels :  $E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} + 0,03 \log [\text{Fe}^{2+}] = 0,03 \log \frac{[\text{H}_3\text{O}^+]^2}{P_{\text{H}_2}/P^\circ}$

$$\text{D'où } \text{Log} K = \frac{-E^\circ_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}}}{0,03} \Leftrightarrow K = 10^{14,7}$$

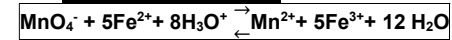
### E.2. Deux électrodes

On ne peut mesurer qu'une différence de potentiel. Il faut donc une deuxième électrode de référence.

### E.3. Réaction de dosage

Elle doit être totale (ou quasi totale) rapide et avoir une écriture connue

## E.4. La réaction de dosage



## E.5. Visualisation de l'équivalence

Avant l'équivalence tous les ions  $\text{MnO}_4^-$  violes apportés sont transformés en  $\text{Mn}^{2+}$  incolores.

A l'équivalence il n'y a plus de  $\text{Fe}^{2+}$  et la couleur violette va persister.

## E.6. Quantité initiale en $\text{Fe}^{2+}$

Graphiquement on a  $V_{\text{eq}} = 10 \text{ mL}$

On a l'équivalence  $N_{\text{ox}} V_{\text{ox}} = N_{\text{red}} V_{\text{red}}$  soit  $5C_1 V_{\text{eq}} = n(\text{Fe}^{2+})$

$$\text{D'où } n(\text{Fe}^{2+}) = 5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$$

## E.7. Valeur de y

On a  $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol}$  de fer pour 0,25 mol de baryum dans une pastille.

$$\text{D'où } y = \frac{x}{5} = \frac{1}{5}$$

### Exercice 1

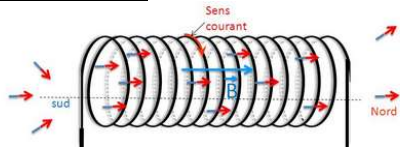
#### 1. Solénoïde long

Il faut calculer le rapport  $L/R$ .

On a  $L/R = 12,5 > 10$

On peut donc considérer le solénoïde comme long

#### 2. Représentation



#### 3. Le champ magnétique

Pour un solénoïde  $B = \mu_0 I \frac{N}{L} = 7,5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

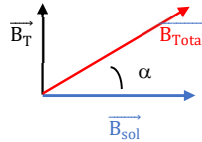
#### 4.1. Position de l'aiguille en absence de courant

L'aiguille sera orientée selon le champ magnétique terrestre soit perpendiculairement à l'axe du solénoïde.

#### 4.2. Angle de rotation

L'aiguille va s'orienter selon le champ magnétique total :

Avec les orientations choisies on a  $\tan \alpha = \frac{B_T}{B_{sol}} \Leftrightarrow \alpha = 14,9^\circ = 0,26 \text{ rad}$



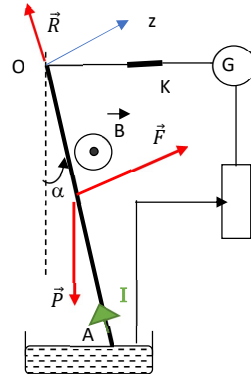
### Exercice 2

#### 1. Bilan des forces

Il y a : La réaction en O  $\vec{R}$

Le poids en G  $\vec{P}$

La force de Laplace  $\vec{F}$



#### 2. Le sens du courant

On utilise la règle de la main droite

#### 3. Condition d'équilibre

Référentiel R galiléen

Système : la tige

Forces : voir 1

Loi condition d'équilibre :  $\sum \vec{F} = \vec{0}$

Projection : sur Oz

La force de Laplace :  $\vec{F} = I \vec{L} \wedge \vec{B} \Leftrightarrow F = IBL$

D'où  $IBL = mgsin\alpha$

Ainsi  $\sin\alpha = \frac{IBL}{mg} \Leftrightarrow \alpha = 0,92 \text{ rad} = 52,8^\circ$