

**- CCP DEUG 2003 : Physique 1 -**

- **ENONCE :** « Thermodynamique – Electro - Optique »

**- Partie A : Thermodynamique -**

Le changement d'état réversible solide-liquide (S-L) du corps pur eau ( $H_2O$ ) intervient à la température  $T_0$  et sous la pression atmosphérique  $P_0$ .

On rappelle la relation entre la chaleur latente de fusion du corps pur  $L_f(T, P)$ , et les volumes massiques  $u_L$  de sa phase liquide et  $u_S$  de sa phase solide (relation de Clapeyron) :

$$L_f(T, P) = T(u_L - u_S) \frac{dP}{dT}$$

Sauf indications contraires, toutes les expériences décrites dans cette partie se déroulent sous la pression  $P_0$ .

Données numériques :

$$T_0 = 273 \text{ K} ; P_0 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$L_f(T_0, P_0) = 334 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} : \text{chaleur latente massique de fusion de l'eau}$$

$$c_{PL} = 4,18 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} : \text{coefficient thermique massique (constant) de l'eau liquide}$$

$$c_{PS} = 2,09 \cdot 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} : \text{coefficient thermique massique (constant) de la glace}$$

$$u_L = 1,00 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} : \text{volume massique (constant) de l'eau liquide}$$

$$u_S = 1,09 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} : \text{volume massique (constant) de la glace}$$

**I. Transferts de chaleur**

**1.1)** Une masse  $M_S$  de glace, initialement à la température  $T_1$  ( $T_1 < T_0$ ), est placée au contact d'une source de chaleur (thermostat) maintenue à la température  $T_0$ . En fin de transformation, la masse  $M_S$  est entièrement liquide à  $T_0$ .

1.1.1. Déterminer l'expression littérale de la variation d'enthalpie  $\Delta H$  de la masse  $M_S$  au cours de cette évolution.

1.1.2. Application numérique

$$M_S = 1,00 \text{ kg} ; T_1 = 253 \text{ K}. \text{ Calculer } \Delta H.$$

**1.2)** Un calorimètre, thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, contient une masse  $M_L$  d'eau liquide, initialement à la température  $T_2$  ( $T_2 > T_0$ ). Une masse  $M_S$  de glace, initialement à la température  $T_1$  ( $T_1 < T_0$ ), est ajoutée dans le calorimètre.

1.2.1. Déterminer l'expression littérale de la température initiale minimale  $T_{2,\min}$  de la masse  $M_L$  au-dessus de laquelle, à l'équilibre, la masse totale ( $M_S + M_L$ ) d'eau est liquide.

**PROBLEME**

 1.2.2. Application numérique

$M_S = M_L = 1,00 \text{ kg}$  ;  $T_1 = 253 \text{ K}$ . Calculer  $T_{2,\text{min}}$ .

**II. Cessation d'un état métastable**

Dans un calorimètre thermiquement isolé et de capacité thermique négligeable, on place une masse  $M_L$  d'eau en état surfondu, c'est-à-dire liquide à une température  $T_3$  inférieure à la température de changement d'état réversible ( $T_3 < T_0$ ). L'introduction d'un germe cristallisé de glace, de masse négligeable, provoque la solidification partielle de l'eau.

- 2.1) Quelle est la température finale  $T_f$ , à l'équilibre ?
- 2.2) Déterminer l'expression littérale de la masse  $m_S$  d'eau solidifiée.
- 2.3) Même question pour la variation d'entropie  $\Delta S$  de l'eau.

 2.4) Application numérique

$M_L = 1,00 \text{ kg}$  ;  $T_3 = 263 \text{ K}$ .

- 2.4.1. Calculer la masse d'eau solide  $m_S$ .
- 2.4.2. Calculer la variation d'entropie  $\Delta S$ .
- 2.4.3. Y a-t-il eu création d'entropie dans l'univers ? La transformation est-elle réversible ?

**III. Diagramme  $P = f(T)$  du corps pur**

3.1) Dessiner l'allure générale du diagramme  $P = f(T)$  du corps pur. Annoter le schéma en identifiant les courbes représentatives des équilibres de changement d'état et les différents domaines d'existence des phases.

3.2) Dans ce diagramme, la courbe de fusion est la courbe représentative de l'équilibre solide-liquide.

 3.2.1. Application numérique

Calculer, au point  $M_0(P_0, T_0)$ , la pente de la tangente à la courbe de fusion de l'eau.

3.2.2. On réalise la compression isotherme (température  $T_0$ ) d'une masse d'eau. Préciser l'état final du corps pur, en justifiant qualitativement la réponse, dans les deux cas suivants :

- 3.2.2.1. l'eau est initialement solide à  $P_0$  et  $T_0$
- 3.2.2.2. l'eau est initialement liquide à  $P_0$  et  $T_0$

 3.2.3. Application pratique

Lors d'une randonnée pédestre sur glacier, l'utilisation de chaussures à crampons métalliques est-elle raisonnable ? Expliquer brièvement.

**- Partie B : Électrostatique -**

On considère, dans le vide, le champ électrostatique  $\vec{E}(M)$  créé, au point M, par une répartition de charges à symétrie sphérique de centre O. On pose  $\overline{OM} = r\vec{e}_r$ .

Ce champ est radial et ne dépend que de  $r$  :  $\vec{E}(M) = E(r)\vec{e}_r$ . La valeur algébrique  $E(r)$  est définie par :

$$E(r) = \frac{k}{2\epsilon_0} \quad \text{pour } r \in [0, R]$$

## PROBLEME

$$E(r) = \frac{kR^2}{2\epsilon_0 r^2} \quad \text{pour } r \in [0, \infty[$$

où  $k$  et  $R$  sont des constantes positives.

On rappelle que la variation de potentiel électrostatique  $dV$  est liée à la circulation du champ électrostatique  $E$ , par la relation  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$ . D'autre part, le champ  $\vec{E}(M)$  est relié, dans le vide, à la charge volumique  $r$  par l'équation locale :  $\text{div}\vec{E} = \frac{r}{\epsilon_0}$ .

Compte tenu des considérations de symétrie, l'opérateur scalaire  $\text{div}\vec{E}$  s'écrit ici sous la forme simplifiée :

$$\text{div}\vec{E} = \frac{1}{r^2} \times \frac{d[r^2 E(r)]}{dr}$$

La démonstration de ces formules n'est pas demandée.

### I. Potentiel électrostatique $V(r)$

On pose, par convention :  $\lim_{r \rightarrow \infty} V(r) = 0$ .

1.1) Déterminer le potentiel  $V$  de cette distribution de charges, pour les valeurs suivantes de  $r$  :

1.1.1.  $r \in [R, \infty[$

1.1.2.  $r \in [0, R]$

1.2) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction  $V(r)$ .

### II. Charge volumique $r(r)$

2.1) Déterminer la charge volumique de cette distribution de charges, pour les valeurs suivantes de  $r$  :

2.1.1.  $r \in [0, R]$

2.1.2.  $r \in [R, \infty[$

2.2) Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction  $r(r)$ .

### III. Charge totale $q_0$

3.1) Exprimer la charge d'une couche sphérique élémentaire, de centre  $O$  et comprise entre les sphères de rayon  $r$  et  $r+dr$ .

3.2) En déduire, en fonction de  $k$  et de  $R$ , la charge totale  $q_0$  de cette répartition de charges à symétrie sphérique.

3.3) Montrer que pour  $r > R$ , cette distribution volumique est équivalente, d'un point de vue électrostatique, à une charge électrique ponctuelle  $q_0$  placée au point  $O$ .

### IV. Deux charges électriques ponctuelles

On considère, seules dans le vide, deux charges ponctuelles  $q_0$  et  $q$ , situées respectivement aux points  $O$  et  $A$  tels que  $OA = a$  (constante positive). Les effets électriques, engendrés par ces deux charges, se superposent en tout point de l'espace. On donne  $q = -q_0$ , avec  $q_0 > 0$ .

## PROBLEME

On pose  $\vec{u} = \frac{\overline{OA}}{\|\overline{OA}\|}$ , vecteur unitaire.

4.1) Donner l'expression vectorielle de la force électrique  $\vec{f}_{q_0/q}$ , exercée par la charge  $q_0$  sur la charge  $q$ .

4.2) Soit un point P, équidistant des deux charges  $q_0$  et  $q$ , tel que  $OP = AP = a$ .

4.2.1. Préciser, à l'aide d'un schéma, la direction et le sens du champ électrostatique résultant  $\vec{E}_{tot}(P)$  créé au point P, par l'ensemble des deux charges.

4.2.2. Déterminer l'expression vectorielle du champ  $\vec{E}_{tot}(P)$ .

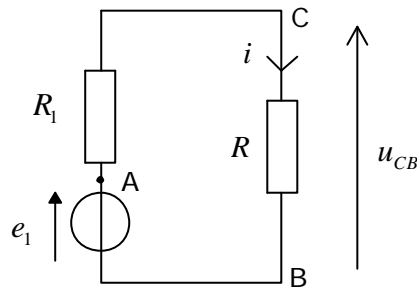
4.2.3. Calculer le potentiel  $V_{tot}(P)$ .

### - Partie C : Électrocinétique -

On étudie divers montages électriques.

#### I. Générateur équivalent

Une source indépendante de tension, de f.e.m  $e_1$ , alimente un dipôle **AB** constitué de deux résistors **AC** et **CB**, de résistances respectives  $R_1$  et  $R$  constantes, placés en série (figure 1). Les fils de jonction sont de résistance négligeable.



- Figure 1 -

1.1) Exprimer, en fonction de  $e_1$ ,  $R_1$  et  $R$ , l'intensité  $i$  du courant qui circule dans le circuit.

1.2) Le dipôle **CB** de ce circuit électrique est équivalent à un générateur (électromoteur de Thévenin) de f.e.m  $e_{th}$  et de résistance interne  $r_{th}$ .

1.2.1. Exprimer, en fonction de  $e_1$ ,  $R_1$  et  $R$ , la f.e.m  $e_{th}$ .

1.2.2. Déterminer, en fonction des résistances  $R_1$  et  $R$ , la résistance interne  $r_{th}$ .

1.3) Application numérique

$$e_1 = 10 \text{ V} ; R_1 = 1,0 \times 10^3 \Omega ; R = 9,0 \times 10^3 \Omega$$

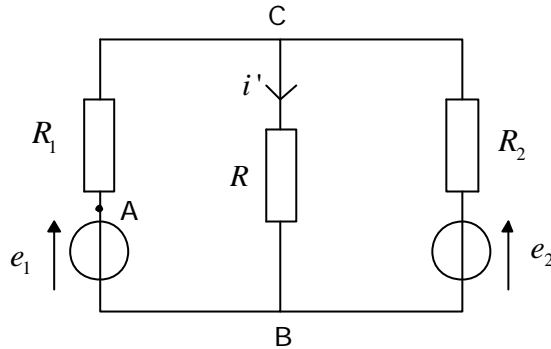
1.3.1. Calculer l'intensité  $i$ .

1.3.2. Calculer  $e_{th}$  et  $r_{th}$ .

1.4) Une variation relative élémentaire  $(de_1/e_1)$  de la f.e.m  $e_1$  entraîne une variation relative  $(di/i)$  de l'intensité  $i$  du courant. Établir la relation entre les variations relatives  $(di/i)$  et  $(de_1/e_1)$ .

## II. Générateurs en opposition

On branche en parallèle, aux bornes **C** et **B** du circuit, un dipôle constitué, en série, d'une source indépendante de tension de f.e.m  $e_2$  et d'un résistor de résistance  $R_2$  (figure 2) :



- Figure 2 -

**2.1)** Exprimer, en fonction de  $e_1, e_2, R_1, R_2$  et  $R$ , l'intensité  $i'$  du courant qui circule dans le résistor de résistance  $R$ .

**2.2)** La f.e.m  $e_2$  et les résistances  $R_1, R_2$  et  $R$  sont constantes. Une variation relative élémentaire  $(de_1/e_1)$  de la f.e.m  $e_1$  entraîne une variation relative  $(di'/i')$  de l'intensité  $i'$  du courant dans le résistor de résistance  $R$ . Etablir la relation entre les variations relatives  $(di'/i')$  et  $(de_1/e_1)$ .

**2.3)** Application numérique

$$e_1 = e_2 = 10 \text{ V} ; R_1 = R_2 = 1,0 \times 10^3 \Omega ; R = 9,0 \times 10^3 \Omega$$

2.3.1. Calculer  $i'$ .

2.3.2. Pour une même variation relative  $(de_1/e_1)$  de la f.e.m  $e_1$  dans les deux montages (figures **1** et **2**), comparer numériquement les variations  $(di/i)$  et  $(di'/i')$ . Conclusion ?

**2.4)** Application pratique

Le moteur d'un véhicule ne peut démarrer : la batterie d'accumulateurs est en mauvais état. À l'aide de câbles de jonction, on relie les bornes de cette batterie à celles d'une batterie du même type, mais en bon état. Comment associer les différentes bornes « + » et « - » ?

### - Partie D : Optique géométrique -

La lentille sphérique mince, notée **L**, est utilisée dans le cadre de l'approximation de Gauss. Elle est caractérisée par son centre optique **O** et par sa distance focale image  $f'$ .

La formule de conjugaison de Descartes (relation **(1)**) précise la position, sur l'axe optique, des points conjugués **A** et **A'** :

$$\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{f'} \quad (1)$$

Grâce à la lentille convergente **L**, on projette, sur un écran, l'image nette **A'B'** d'un objet réel lumineux **AB**. Objet et écran, fixes et distants de  $D$  (constante positive) sur un banc optique, sont orthogonaux à l'axe (figure 3) :