

## Contrôle de biophysique n°2

*Durée de l'épreuve : 1h30*

Les calculatrices et les documents sont interdits.

Les copies ne sont pas anonymes : inscrivez vos nom et numéro de groupe de TD de physique.

Pour toutes les questions, donnez systématiquement les expressions littérales.

### Exercice I

On peut considérer la pression osmotique à l'intérieur d'un globule rouge (dans le cytoplasme) comme équivalente à celle exercée par une solution de NaCl (complètement dissocié dans l'eau) de concentration molaire  $C_0 = 0,15 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . On admettra que le globule rouge est entouré d'une membrane cellulaire, perméable uniquement à l'eau et rigide (elle ne peut pas se dilater).

1. On introduit ce globule rouge dans une solution aqueuse de sucrose à  $\theta = 27^\circ\text{C}$  (le sucrose ne se dissocie pas).
  - a. Quelle doit être la concentration molaire  $C$  en sucrose pour que le bilan entrée-sortie d'eau dans le cytoplasme soit nul ?  
Application numérique.
  - b. Dans ces conditions, calculer la pression osmotique  $\pi$  dans le liquide intracellulaire du globule rouge.  
Application numérique.
2. On suppose que le globule rouge est introduit dans une solution aqueuse de sucrose de concentration  $C' = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ , à  $\theta = 27^\circ\text{C}$ . Quelle est la pression  $P$  subie par la membrane cellulaire ?  
Application numérique.

Donnée :  $R = 25/3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

### Exercice II

1. On plonge verticalement un tube de verre de rayon intérieur  $r$  dans un liquide glycérique de masse volumique  $\rho$ . On constate que le liquide s'élève dans le tube à une hauteur  $h$  au-dessus de la surface libre du liquide. En supposant que le liquide mouille parfaitement le verre, calculer le coefficient de tension superficielle  $\sigma$  du liquide glycérique.  
Application numérique :  $r = 0,4 \text{ mm}$  ;  $\rho = 1100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  ;  $h = 1,5 \text{ cm}$  ;  $g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ .
2. On sort le tube de verre et on souffle dedans par l'extrémité sèche. On obtient ainsi une bulle de rayon  $R = 1 \text{ cm}$ . Quelle est la pression à l'intérieur de la bulle ?  
Application numérique : la pression extérieure est supposée constante et égale à  $10^5 \text{ Pa}$ .

3. Quel travail faut-il fournir pour créer une bulle de cette dimension ? On le calculera par deux méthodes (la transition est isotherme et quasi-statique) :
  - a. par le travail des forces de pression ;
  - b. directement par l'énergie de surface.

Application numérique.

## Exercice III

Les notations, données éventuellement utiles et hypothèses générales sont précisées en fin d'exercice.

### A. Généralités

1. Représenter schématiquement le diagramme  $(T, P)$  des phases de l'eau. On indiquera les zones occupées par les différentes phases et le nom des courbes de transition entre elles.
2. À l'équilibre à la température  $T_i = 272\text{ K}$ , préciser, en fonction de la pression  $P$  (expression littérale et valeur numérique), sous quelle(s) phase(s) l'eau se trouve.

### B. Parois diathermes

On considère un glaçon d'eau de masse  $m = 9\text{ g}$  à la température initiale  $T_i = 272\text{ K}$ . On introduit ce glaçon dans un récipient fermé de volume  $V = 1\text{ L}$  fixe, dans lequel on a fait préalablement le vide.

1. Quel est le volume initial  $V_s$  du glaçon ? Le comparer à  $V$ .
2. Décrire l'évolution du contenu du récipient après l'introduction du glaçon.
3. Pour cette question, les parois du récipient sont *diathermes* et en contact avec un thermostat à la température  $T_i$ .

En discutant les différents cas énumérés au A.2, calculer les nombres de moles de vapeur ( $n_g$ ), de liquide ( $n_l$ ) et de solide ( $n_s$ ) à l'équilibre, ainsi que  $P$ .

Application numérique.

### C. Parois adiabatiques

On répète la même expérience qu'au B (glaçon de masse  $m = 9\text{ g}$  à la température initiale  $T_i = 272\text{ K}$ , introduit dans un récipient fermé de volume  $V = 1\text{ L}$  fixe, dans lequel on a fait préalablement le vide), mais les parois du récipient sont désormais *adiabatiques*.

On note  $T_f$  la température finale (à l'équilibre). On admettra que, pendant toute la transformation, les seules phases présentes sont le solide et la vapeur.

1. Exprimer, en fonction des données du problème, les quantités  $\delta Q_g$  et  $\delta Q_s$  de chaleur reçues par  $n_g(T)$  et  $n_s(T)$  moles de vapeur et de solide quand la température passe de  $T$  à  $T + dT$ .
2. Lorsque  $dn_g$  moles de vapeur sont produites, la température passe de  $T$  à  $T + dT$ . Quelle relation y a-t-il entre  $dn_g$  et  $dT$  ?

3. On suppose que le nombre de moles de vapeur,  $n_g(T)$ , est négligeable devant le nombre total de moles d'eau,  $n_t$ , pour des valeurs de  $T$  comprises entre  $T_i$  et  $T_f$ . Calculer le nombre de moles de vapeur à l'équilibre,  $n_g(T_f)$ , en fonction, notamment, de  $\Delta T = T_f - T_i$ .
4. On veut calculer  $n_g(T_f)$  et  $\Delta T$ . Quelle autre relation entre  $n_g(T_f)$  et  $T_f$  peut-on utiliser ?  
Pour cette autre relation, on fait l'approximation  $T_f \approx T_i$ . En déduire l'expression de  $n_g(T_f)$  et de  $\Delta T$ .
5. Application numérique : calculer  $n_g(T_f)$ ,  $n_s(T_f)$  et  $\Delta T$ .  
Les approximations effectuées aux questions 3 et 4 étaient-elles justifiées ?

**Notations, données et hypothèses générales (exercice III) :**

$T, P$  : température et pression, supposées bien définies et identiques en tout point du système.

$T_0 = 273 \text{ K}, P_0 = 610 \text{ Pa}$  : point triple de l'eau.

$\rho_s = 915 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  : masse volumique de la glace (supposée constante).

$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  : masse molaire de l'eau.

$R = 25/3 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  : constante des gaz parfaits.

$C_{Pg} = 35,8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  : capacité calorifique molaire de la vapeur à pression constante.

$C_{Ps} = 37,6 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$  : capacité calorifique molaire du solide à pression constante.  
Pour cette phase, on négligera la différence entre les capacités calorifiques à pression constante et à volume constant.

$L_{\text{vap}} = 40,7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  : chaleur latente de vaporisation.

$L_{\text{fus}} = 6 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  : chaleur latente de fusion.

$L_{\text{sub}} = 46,7 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$  : chaleur latente de sublimation.

**Les quantités  $C_{Pg}$ ,  $C_{Ps}$ ,  $L_{\text{vap}}$ ,  $L_{\text{fus}}$  et  $L_{\text{sub}}$  sont supposées constantes.**

$P_{\ell g}(T) \approx P_0 + a_{\ell g}(T - T_0)$  : pression d'équilibre liquide-vapeur près du point triple.

$$a_{\ell g} = 43,1 \text{ Pa} \cdot \text{K}^{-1}.$$

$P_{sg}(T) \approx P_0 + a_{sg}(T - T_0)$  : pression d'équilibre solide-vapeur près du point triple.

$$a_{sg} = 48,6 \text{ Pa} \cdot \text{K}^{-1}.$$

$P_{s\ell}(T) \approx P_0 + a_{s\ell}(T - T_0)$  : pression d'équilibre solide-liquide près du point triple.

$$a_{s\ell} = -1,32 \cdot 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{K}^{-1}.$$

**On admettra que la vapeur se comporte comme un gaz parfait.**