

TD 23 : Changements d'état du corps pur

I. Tester ses connaissances et sa compréhension du cours

- 1) Rappeler le diagramme d'équilibre (P,T) courant d'un corps pur. Qu'en est-il pour l'eau ?
- 2) Qu'appelle-t-on pression de vapeur saturante ?
- 3) Décrire l'équilibre liquide-vapeur dans le diagramme (P,v). Traiter le cas $T > T_c$ et $T < T_c$.
- 4) Retrouver le théorème des moments chimiques.
- 5) Qu'appelle-t-on enthalpie de changement d'état ? Entropie de changement d'état ?
- 6) Rappeler la méthode pour étudier une transformation avec changement d'état.

II. Questions de réflexion – Physique pratique

1) Vaporisation ou évaporation

Quelle différence convient-il de faire entre évaporation et vaporisation ?

2) La physique au quotidien...

- Pourquoi sortir de la mer en plein été procure-t-il une sensation de fraîcheur ?
- Pourquoi souffle-t-on sur une tasse de café pour la refroidir ?
- Lorsqu'on réchauffe un plat cuisiné au micro-ondes, il faut percer de trous le sachet en plastique qui le contient sinon, assez rapidement ce dernier se met à gonfler !! Quelle en est la raison ?
- L'été, quand il fait chaud, on utilise des brumisateurs (qui dispersent de fines gouttelettes d'eau) pour rafraîchir l'air. Expliquer comment.
- Pourquoi couvre-t-on une piscine la nuit ?
- Lors d'hivers froids, les agriculteurs plaçaient des cuvettes d'eau dans leur cave pour éviter que les pommes de terre n'y gèlent. Expliquer.
- Les changements d'état à l'équilibre sont des transformations dites réversibles. Pourquoi est-il déconseillé de recongeler un produit alimentaire décongelé ?
- Pourquoi en hiver les vitres de la salle de classe F02 se recouvrent-elles de buée ?
- Pourquoi peut-il se mettre à pleuvoir lorsqu'un nuage est obligé de prendre de l'altitude pour franchir un relief ?
- Comment un être humain régule-t-il, en été, la température de son corps ?
- Pourquoi un peu d'éther versé au creux de la main procure-t-il une sensation de froid ?
- Pourquoi le temps de cuisson est-il réduit dans un autocuiseur sachant que la pression y atteint 2 bar ?
- Qu'est-ce qui est plus efficace pour refroidir un cocktail : y ajouter un glaçon à 0°C ou la même quantité d'eau à 0°C ? Proposer une AN pertinente pour le vérifier.

III. Exercices d'entraînement

1) Vaporisation d'eau dans le vide

Une enceinte de volume $V = 1,00 \text{ L}$, initialement vide, est maintenue à la température constante $T_0 = 373 \text{ K}$ (100°C).

On y introduit une masse $m = 1,00 \text{ g}$ d'eau liquide à la température $T_0 = 373 \text{ K}$.

La vapeur d'eau sera assimilée à un gaz parfait.

On donne : $P_{\text{sat}} = 1,01 \text{ bar}$ (pression de vapeur saturante de l'eau à T_0)

$R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ (constante des gaz parfaits)

$\Delta h_{\text{vap}} = 2,25 \text{ kJ.g}^{-1}$ (enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à T_0)

$M = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$ (masse molaire de l'eau)

$\rho = 1,00 \text{ kg.L}^{-1}$ (masse volumique de l'eau liquide)

1.1. Déterminer la composition finale du système.

1.2. Calculer la variation d'entropie au cours de cette transformation.

2. Reprendre les questions précédentes en considérant cette fois que la masse d'eau introduite dans les mêmes conditions est $m' = m/2$.

2) Surfusion de l'eau

Une masse $m = 20,0 \text{ g}$ d'eau liquide pure a été refroidie lentement à la température $T_1 = 261 \text{ K}$ (-12°C). Cet état dans lequel l'eau est encore à l'état liquide malgré une température inférieure à $T_0 = 273 \text{ K}$ (0°C) est qualifié de **métastable** : la moindre perturbation (choc, introduction d'une poussière...) conduit à une solidification très rapide du liquide.

On propose dans cet exercice d'examiner ce phénomène.

On supposera que toutes les transformations ont lieu à pression atmosphérique $P = 1,01 \text{ bar}$.

En outre, compte tenu de la rapidité avec laquelle l'eau surfondue se solidifie, on considérera les transformations adiabatiques.

1. Déterminer la masse de glace m_g obtenue ainsi que la température finale T_2 .

2. Calculer l'entropie créée au cours de la transformation.

On donne : $\Delta h_{\text{fus}} = 3,35.10^2 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (enthalpie massique de fusion de la glace à 0°C)

$c_l = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (capacité thermique de l'eau liquide)

$c_s = 2,06 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$

$M = 18,0 \text{ g.mol}^{-1}$ (masse molaire de l'eau)

3) Machine frigorifique

On considère un cycle de transformation réversibles DABCD réalisé à partir du point D sur la courbe de rosée pour une masse unité de fluide :

- DA : liquéfaction isotherme à la température T_1 (on parcourt la totalité du palier de liquéfaction)
- AB : détente isentropique qui amène le fluide dans l'état B défini par la température T_0 et une fraction massique en gaz x_g (B)
- BC : vaporisation isotherme jusqu'à l'intersection C avec la courbe isentropique passant par D
l'état C est caractérisé par une fraction massique en vapeur x_g (C)

1.1. Représenter le cycle DABCD sur un diagramme (P,v).

1.2. Exprimer les fractions massiques x_g (B) et x_g (C) en fonction de T_0 , T_1 , de la capacité thermique massique c du liquide, et des enthalpies massiques de vaporisation $\Delta h_{\text{vap}}(T_0)$ et $\Delta h_{\text{vap}}(T_1)$ aux températures T_0 et T_1 .

1.3. Donner les expressions des transferts thermiques massiques q_{BC} et q_{DA} avec le milieu extérieur au cours des transformations isothermes BC et DA.

1.4. En déduire le travail massique w reçu par l'unité de masse du fluide au cours du cycle.

2. Le cycle précédent peut être utilisé pour faire fonctionner une machine frigorifique.

Le travail consommé est utilisé pour refroidir la source froide de température $T_0 < T_1$.

Exprimer l'efficacité e de cette machine frigorifique. Commenter le résultat obtenu.

4) Mélange d'eau sous les trois états

On introduit dans un calorimètre aux parois athermanes et de capacité thermique négligeable :

- une masse $m_1 = 100$ g de glace à la température $T_1 = 273$ K (0°C)
- une masse $m_2 = 250$ g d'eau liquide à la température $T_2 = 293$ K (20°C)
- une masse $m_3 = 100$ g de vapeur d'eau à la température $T_3 = 373$ K (100°C).

On suppose que la transformation a lieu à pression constante $P = 1,01$ bar

Déterminer la composition et la température finales.

On donne : $\Delta h_{\text{fus}} = 3,35 \cdot 10^2$ kJ.kg⁻¹ (enthalpie massique de fusion de la glace à 0°C)

$c = 4,18$ kJ.K⁻¹.kg⁻¹ (capacité thermique de l'eau liquide)

$\Delta h_{\text{vap}} = 2,25 \cdot 10^3$ kJ.kg⁻¹ (enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à 100°C)

5) Bouilloire de voyage

Jules possède une bouilloire de voyage, constituée d'un serpentin métallique fournissant par effet Joule une puissance thermique constante $P_{th} = 200 \text{ W}$. Elle souhaite utiliser cette bouilloire pour chauffer à l'air libre une masse $m = 200 \text{ g}$ d'eau liquide, initialement à la température $T_0 = 293 \text{ K}$ (soit 20°C), contenue dans une tasse de capacité calorifique négligeable.

1. Calculer le temps τ_1 au bout duquel l'eau se met à bouillir.
2. Madame Martin, étourdie, oublie d'arrêter sa bouilloire qui ne dispose pas de système d'arrêt automatique. Calculer le temps τ_2 au bout duquel toute l'eau s'est évaporée.

On donne : $c = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (capacité thermique de l'eau liquide)

$\Delta h_{\text{vap}} = 2,25.10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (enthalpie massique de vaporisation de l'eau liquide à 100°C).

6) Fluide de Van Der Waals et point critique

On considère l'isotherme critique à la température T_C d'un fluide de Van der Waals, représenté en

coordonnées de Clapeyron, d'équation d'état : $(P + \frac{a}{V_m^2})(V_m - b) = RT$

1. Déterminer les coordonnées du point critique P_C , V_{mC} et T_C en fonction de a et b .
2. Pour le dioxyde de carbone, l'expérience donne : $P_C = 73,0 \text{ bar}$ et $T_C = 304 \text{ K}$ (soit -31°C).

En supposant que ce dernier peut être assimilé à un fluide de Van der Waals, en déduire la valeur de b . Cette valeur vous semble-t-elle plausible ?

Quelques réactions devant un feu !!

Un feu se déclare...

Réaction de l'ingénieur : il prend un seau d'eau et éteint le feu

Réaction du physicien : après avoir mesuré la hauteur de la flamme, la pression, la température etc..., il calcule la quantité minimale d'eau pour éteindre la flamme

Réaction du mathématicien : d'après le corollaire I. IV. II du théorème I. IV. I., il existe une solution pour éteindre ce feu