<u>Banque « Agro »</u>

A - 0304

<u>PHYSIQUE</u>

<u>Durée : 3 h 30</u>

L'usage d'une calculatrice est <u>autorisé</u> pour cette épreuve

L'usage d'abaques et de tables est <u>interdit</u> pour cette épreuve

<u>Les trois problèmes sont indépendants</u>

PROBLÈME 1 : Étude de l'eau en physique

<u>A - Préliminaire</u>

On s'intéresse ici à quelques aspects de l'étude des changements d'état de l'eau, et plus spécialement à la mesure de l'enthalpie massique de vaporisation et de fusion. On donne ci-contre, figure 1, le diagramme d'état de l'eau en coordonnées (P,T).

A-1 Identifier les trois domaines numérotés (1), (2) et (3) sur la figure 1.

A-2 Nommer les points C et T et décrire ce à quoi ils correspondent.

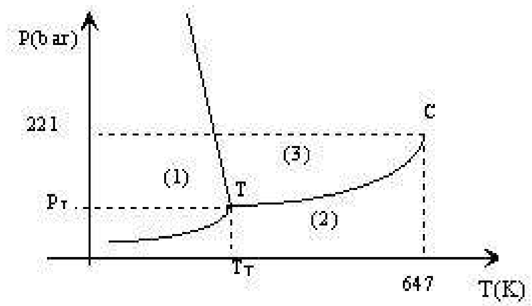


figure 1

Un corps pur en équilibre sous deux phases (a) et (b), à la température T, est soumis à une pression P_{eq} qui dépend de T et de la nature du corps pur.

Tournez la page SVP

A-3 Montrer que, si l'on fixe la température, alors la pression est fixée pour l'équilibre entre les deux phases. Etablir ensuite la "relation de Clapeyron" reliant $\frac{dP_{eq}}{dT}$ sur la courbe d'équilibre en fonction de la température T, de l'enthalpie massique de changement d'état L et des volumes massiques v_a et v_b du corps pur sous les phases (a) et (b).

A-4 La pente de la courbe d'équilibre entre les phases (1) et (3) indiquées sur la figure 1 est négative, alors que les deux autres sont positives.
Quelle conclusion en tire-t-on ? Citez une expérience mettant en évidence cette propriété.

A-5 On s'intéresse à l'équilibre entre les phases (2) et (3) indiquées sur la figure 1. Préciser l'allure du diagramme de Clapeyron (v,P), où v est le volume massique et P est la pression.

B - Mesure de la chaleur latente de fusion

Dans le calorimètre, on place une masse m_e d'eau à la température T_e puis à un instant $t_1>0$, on rajoute une masse m_g de glace à la température de T_g=0°C. On enregistre la température en °C en fonction du temps (voir courbe ci-dessous, sur la figure 2) :

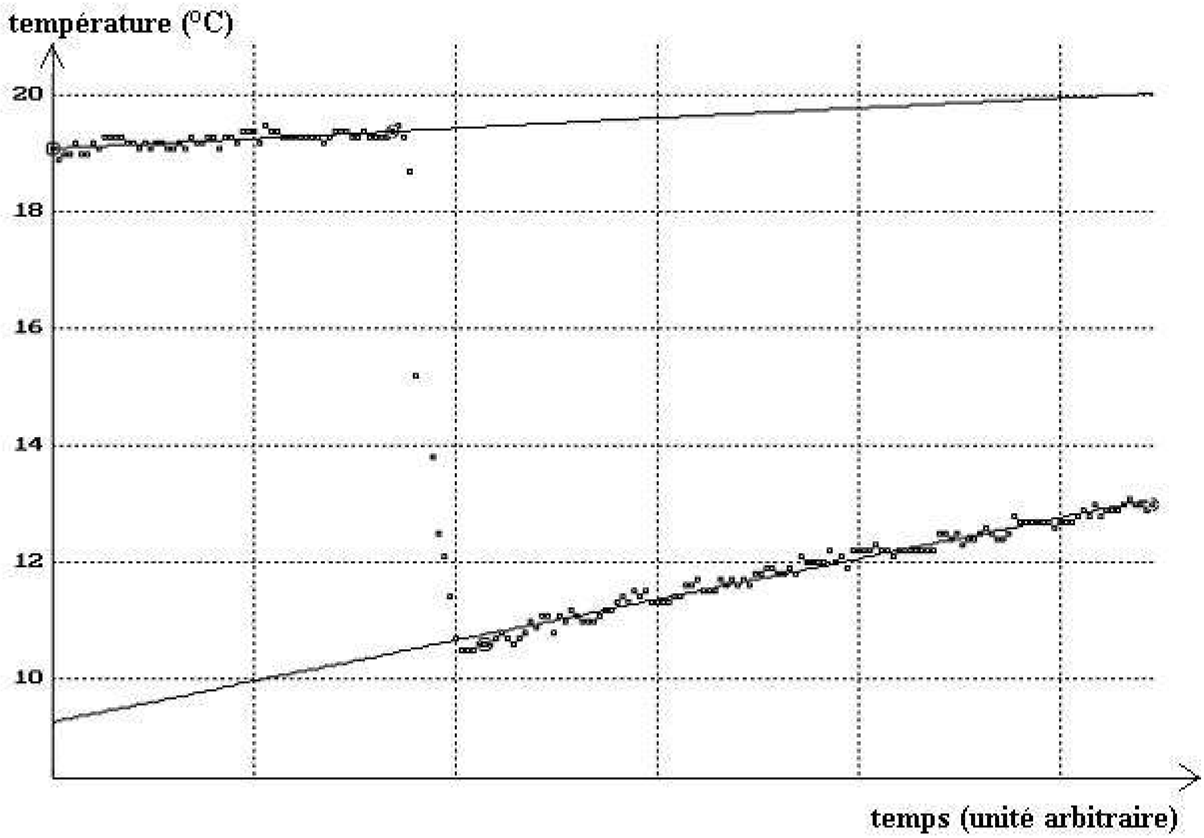
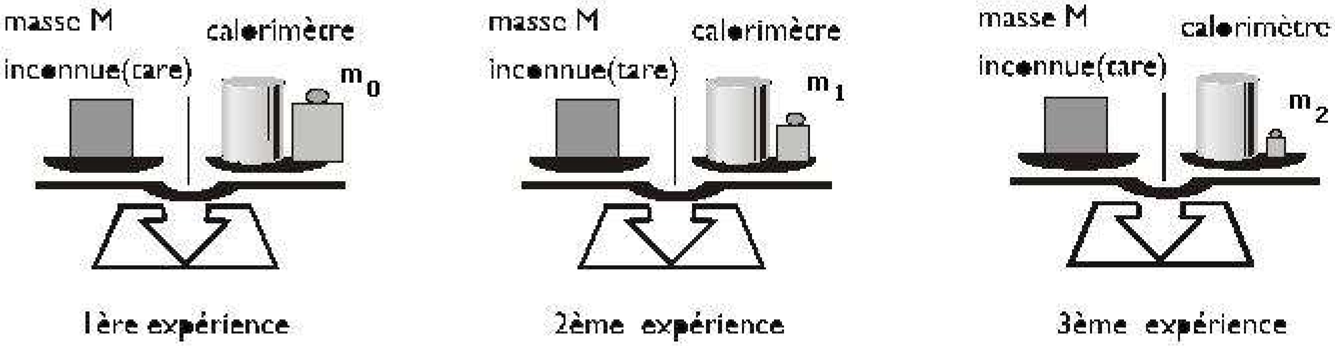


figure 2

B-1 Pour avoir de la glace à 0°C, on place des glaçons dans de l'eau puis on les essuie avant de les placer dans le calorimètre. Justifier ce protocole.

B-2 Pour mesurer les masses, on place le calorimètre sur la balance et on réalise les mesures suivantes :



- Dans une première expérience, le calorimètre, vide, est seul sur le plateau de la balance. On mesure la masse m_0 qu'il faut ajouter sur le plateau contenant le calorimètre pour équilibrer la balance. On obtient : $m_0 = 140{,}3$ g ;
- Dans une deuxième expérience, on enlève la masse m_0, on ajoute l'eau liquide dans le calorimètre et on mesure la masse m_1 qu'il faut ajouter sur le plateau contenant le calorimètre pour équilibrer la balance. On obtient : $m_1 = 48{,}8$ g ;
- Dans une troisième expérience, en partant de la situation de la deuxième expérience, on enlève la masse m_1, on ajoute la glace et on mesure la masse m_2 qu'il faut ajouter sur le plateau contenant le calorimètre pour équilibrer la balance. On obtient : $m_2 = 39{,}9$ g.

En déduire la masse d'eau liquide m_e et la masse de glace m_g.

B-3 On admettra qu'une agitation efficace fait fondre les glaçons assez rapidement. Déduire de la courbe de la figure 2 les valeurs de la température initiale T_e (avant ajout des glaçons) et de température finale T_f (après fusion des glaçons). On justifiera en quelques mots la lecture de ces deux valeurs sur la courbe.

B-4 À quelle variation de fonction s'identifie le transfert thermique (ou chaleur) Q reçu(e) par le système contenu dans le calorimètre ? On suppose que l'enthalpie massique L de fusion de la glace est une constante (indépendante de la température). Déterminer littéralement puis numériquement L. On néglige la capacité thermique du calorimètre.
Dans la suite, on prendra la valeur des tables, L= 334 kJ/kg.

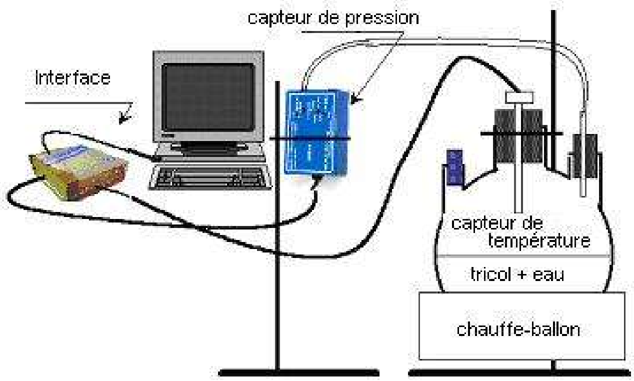
B-5 En déduire la création d'entropie S_c lors du mélange.

B-6 Déduire de la relation de Clapeyron l'expression littérale de $P_{eq}(T)$ pour l'équilibre liquide-solide.
Calculer numériquement $P_{eq}(T)$ pour T= - 1°C.
On donne : $C_{eau} = 4{,}18$ J.K^{-1}g^{-1} ; $\rho_{eau} = 1000 \;\; kg/m^3$; densité de la glace : d = 0,9 ; T(K) = 273,15 + t (°C)

C - Mesure de la chaleur latente de vaporisation

On utilise pour cela le montage ci-dessous (figure 3). On fait bouillir l'eau suffisamment longtemps dans le tricol, bouchon gauche ôté pour chasser l'air, puis on ferme et on enregistre la température T et la pression P en fonction du temps. On en déduit alors la courbe ln(P)=f(1/T), représentée ci-dessous, où P est en bars et T en K (figure 4)

Tournez la page SVP



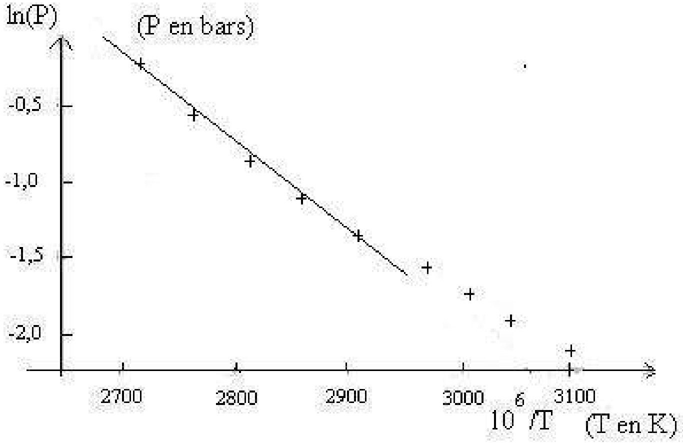


figure 3

figure 4

C-1 Comment pourrait-on qualifier la transformation ?

C-2 Représenter la transformation dans le diagramme (T,P).

C-3 En assimilant la vapeur d'eau à un gaz parfait et en négligeant le volume massique du liquide devant celui du gaz, simplifier l'expression de la relation de Clapeyron.
Peut-on toujours négliger le volume massique du liquide devant celui du gaz ?

C-4 Une régression linéaire donne $\ln(P) = \frac{-5068}{T} + 13{,}58$, où P est en bars et T en K.
En déduire la valeur de l'enthapie de vaporisation, L_v.
On donne M=18 g/mol, R=8,315 $J.K^{-1}.mol^{-1}$. Dans la suite, on prendra L=2257 kJ/kg.

C-5 L'expérience montre que la courbe s'écarte de la droite pour les plus faibles températures (voir la figure 4). Proposer une explication qualitative de ce phénomène (on se limitera à quelques lignes).

Dans la suite, on limite donc la modélisation entre 70°C et 100°C.

C-6 Retrouver un ordre de grandeur de la pression et de la température au point triple.

C-7 Une cocotte minute est un récipient contenant de l'eau qui bout sous une pression de 1,5 bar. Quelle est la température d'ébullition ? Quel est l'intérêt de la cocotte minute ?

C-8 Déduire des résultats obtenus dans les parties B et C un ordre de grandeur de l'enthalpie de sublimation.

PROBLÈME 2 : Électricité

A - Étude d'un circuit RL

A -1 Étude en régime transitoire

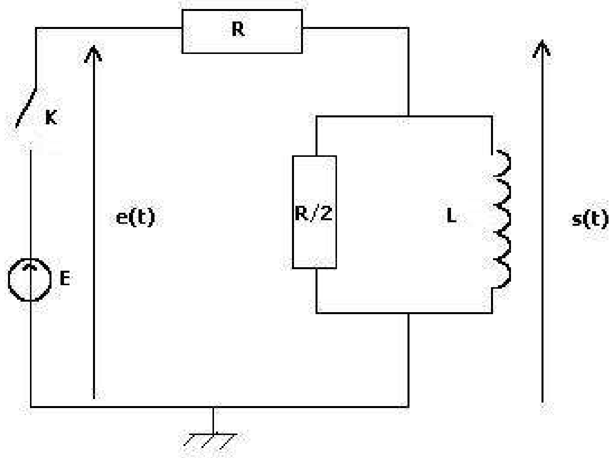


figure 5

Le circuit ci-dessus est alimenté par un générateur continu de force électromotrice E. A l'instant t=0, on ferme l'interrupteur K.

A-1-1 Y a-t-il continuité de la tension s(t) en t=0 ? Y a-t-il continuité du courant dans la résistance R en t = 0 ? Commenter physiquement les réponses. En déduire le comportement de s(t) au voisinage de $t = 0^+$. Déterminer également le comportement asymptotique de s(t) lorsque $t \to \infty$.

A-1-2 Peut-on a priori affirmer la continuité de certaines grandeurs électriques (autres que celles étudiées à la question A-1-2) en t = 0 ? On justifiera physiquement la réponse.

A-1-3 Etablir l'équation différentielle vérifiée par s(t).

A-1-4 En déduire s(t).

A-1-5 Tracer l'allure de s(t).

A-1-6 Exprimer en fonction de L et R le temps t_0 au bout duquel $s(t_0) = \dfrac{s(t = 0^+)}{10}$.

A-1-7 En déduire une méthode expérimentale pour déterminer t_0 à l'oscilloscope. On précisera le montage électrique à réaliser et la mesure à effectuer concrètement.

A-1-8 On mesure expérimentalement : $t_0 = 3{,}0\ \mu s$. On donne : $R = 1000\ \Omega$. En déduire L.

A-1-9 On remplace le générateur continu par un générateur délivrant un signal périodique en créneaux. Quel doit être l'ordre de grandeur de la fréquence du générateur pour qu'on puisse effectivement mesurer t_0, en utilisant la méthode indiquée à la question A-1-7, à l'oscilloscope ?

Tournez la page SVP

A-2- Étude en régime sinusoïdal

On remplace le générateur précédent par un générateur sinusoïdal de fréquence f et de tension efficace E, l'interrupteur étant fermé. On associe à la grandeur $u(t) = U\cos(\omega t + \varphi)$, la grandeur complexe, $\underline{u} = Ue^{j(\omega t+\varphi)}$ avec $j^2= -1$ et $\omega = 2\pi f$.

A-2-1 Comment se comporte le circuit en hautes et basses fréquences ? Quelle est la nature du filtre que constitue ce circuit ?

A-2-2 Etablir la fonction de transfert en notation complexe, $\underline{H} = \frac{\underline{s}}{\underline{e}}$. Mettre le résultat sous la forme $\dfrac{H_o}{1+\dfrac{f_o}{jf}}$.

Exprimer H_o et f_o en fonction de L et R.

A-2-3 En déduire la fréquence de coupure du filtre à – 3 dB, qu'on notera f_c. Comment se détermine-t-elle expérimentalement ?

A-2-4 Tracer l'allure des diagrammes donnant le module de $\underline{H}$ et l'argument de $\underline{H}$ en fonction de la fréquence f .

B - Étude d'un circuit plus complexe :

On considère maintenant le montage de la figure 5. L'interrupteur K est ouvert depuis très longtemps. On ferme l'interrupteur à t=0.

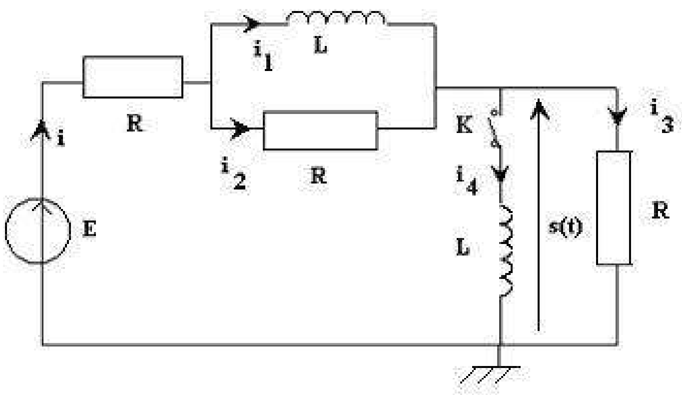


figure 6

B-1 Déterminer s et les courants i_1, i_2, i_3 , i_4 et i à $t=0^+$.

B-2 Déterminer s et les courants i_1, i_2, i_3, i_4 et i quand t tend vers l'infini.

B-3 On **admettra** que l'équation différentielle vérifiée par s peut se mettre sous la forme:

$$3\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{4R}{L}\frac{ds}{dt} + \frac{R^2}{L^2}s = 0$$

c'est-à-dire, en posant : $\tau = \frac{L}{R}$:

$$3\frac{d^2s}{dt^2} + \frac{4}{\tau}\frac{ds}{dt} + \frac{1}{\tau^2}s = 0$$

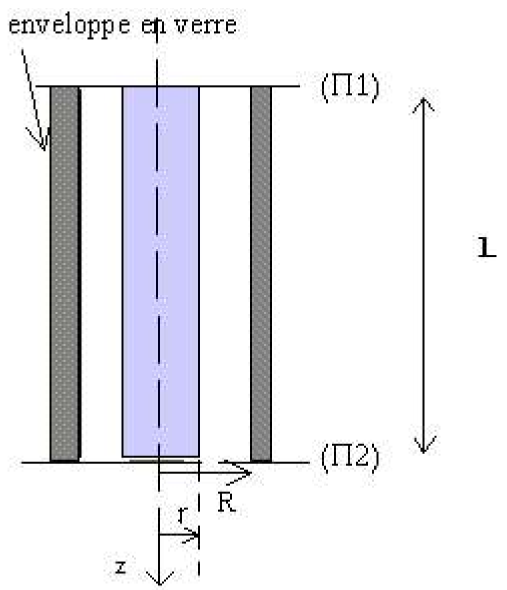
En déduire la forme de s(t).
On ne demande pas de déterminer les constantes d'intégration.
Tracer l'allure de s(t)

B-4 On remplace le générateur précédent par un générateur sinusoïdal de fréquence f et de tension efficace E.

B-4-a Comment se comporte le circuit à hautes et basses fréquences ? Quelle est la nature du filtre ?

B-4-b Etablir la fonction de transfert $\underline{H}$ lorsque K est fermé. Que peut-on dire du résultat obtenu par rapport au circuit précédent ? Conclure.

PROBLÈME 3 : Viscosimètre



On considère un capillaire constitué d'un cylindre de rayon intérieur R, de longueur L, surmonté d'une cuve et rempli d'un liquide incompressible de masse volumique μ, de viscosité dynamique η. Le liquide s'écoule longitudinalement dans le capillaire, depuis le haut vers le bas, c'est-à-dire de puis Π_1 vers Π_2. On suppose l'écoulement permanent.

On s'intéresse à une portion de liquide (représentée en grisé dans le schéma ci-contre) contenue dans un cylindre de rayon r (r<R), compris entre les plans Π_1 et Π_2 distants de L. On rappelle que sur la surface latérale de ce cylindre de rayon r s'exerce une force de viscosité parallèle à Oz et dont la norme est $\left\|\vec{F}\right\| = S\eta\left|\frac{\partial v}{\partial r}\right|$, où S est la surface latérale du cylindre et v le module de la vitesse du liquide. On notera P_1 et P_2 les pressions dans les plans (Π_1) et (Π_2). Le dessin n'est pas à l'échelle.

1- Faire un bilan des forces s'exerçant sur le cylindre de rayon r.

2- Justifier le fait que la vitesse ne dépend pas de z. Déduire alors de la question précédente une équation de la forme $\frac{dv}{dr} = kr$ où k s'exprime en fonction de L, P_1, P_2, μ, η et du module g du champ de pesanteur. Vérifier l'homogénéité de la formule obtenue.

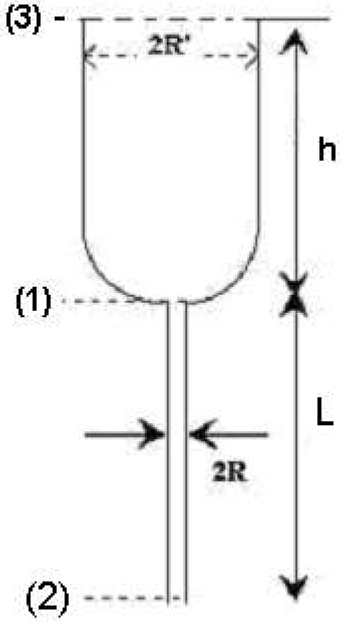
3- En déduire v(r) en précisant la constante d'intégration.

4- Tracer le profil v(r) des vitesses.

5- En déduire, en fonction de P_1, P_2, μ, g, L, η, R, r et dr, le débit de volume s'écoulant à travers une couronne de rayon compris entre r et r+dr.

6- Montrer que le débit total de volume à travers le capillaire est alors $Q = \frac{\pi R^4}{8\eta}\frac{P_1 - P_2 + \mu g L}{L}$. Indiquer le nom de la relation obtenue dans le cas où l'on néglige la pesanteur.

Tournez la page SVP



7- On considère maintenant un viscosimètre constitué du capillaire étudié précédemment surmonté d'un récipient qui est cylindrique, de section droite circulaire et de rayon R' dans sa partie supérieure (voir la figure ci-contre). L'ensemble est rempli du liquide considéré depuis le début du problème et les sections (2) et (3) sont à l'air libre. Justifier rapidement le fait que la pression au sommet (section (3)) et à la base (section (2)) du récipient est égale à la pression atmosphérique P_0. Préciser dans le viscosimètre ci-contre la différence de pression $P_1 - P_2$ (P_1 étant la pression correspondant à la section (1)) en fonction des données indiquées sur le schéma. On supposera que le rayon R' est beaucoup plus grand que le rayon R du capillaire. On supposera encore que l'écoulement est permanent.

8- Exprimer le débit de volume Q en fonction de R' et $\frac{dh}{dt}$.

9- En notant $h(t=0) = h_0$, en déduire l'équation différentielle vérifiée par h(t).

En déduire h(t). On fera apparaître un temps τ caractéristique de l'écoulement et on vérifiera l'homogénéité de la relation donnant l'expression de τ.

10- Sachant qu'il a fallu 7 minutes pour que le niveau baisse de 5 cm, en déduire la viscosité cinématique ν du liquide, définie par : $\nu = \frac{\eta}{\mu}$.

On donne :

- $g=9{,}81\ m/s^2$
- $2R = 1\ mm$
- $L=10\ cm$
- $\pi R'^2 = 4\ cm^2$
- $h_o=10\ cm$

FIN