PHYSIQUE

PARTIE I

Nb : Le candidat attachera la plus grande importance à la clarté, à la précision et à la concision de la rédaction.
Si un candidat est amené à repérer ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

*Les calculatrices **sont autorisées**.*

L'usage de tout ouvrage de référence et de tout document est interdit.

De très nombreuses parties sont indépendantes. Il est conseillé aux candidats de prendre connaissance rapidement de la totalité du texte du sujet.

Les candidats doivent respecter les notations de l'énoncé et préciser, dans chaque cas, la numérotation de la question posée.

Partie A

Quelques transformations du corps pur « eau »

Le corps pur étudié est le corps pur eau (H_2O).

Hypothèses de travail et données :

- l'eau gaz (vapeur sèche) et l'eau vapeur (en équilibre avec le liquide) peuvent être considérés comme des gaz parfaits ;
- le volume de la phase liquide est négligé devant le volume de la phase vapeur ;
- $P^*(T)$ est la pression de vapeur saturante du corps pur eau, à la température T :
  $P^*(H_2O,\ 373\ K) = 1{,}00 \times 10^5$ Pa ;
- M est la masse molaire de l'eau : $M = 18{,}0 \times 10^{-3}$ kg mol^{-1} ;
- R est la constante du gaz parfait : $R = 8{,}31$ J mol^{-1} K^{-1} ;

I. Diagrammes du corps pur

Les diagrammes $P = f(T)$ et $P = f(V)$, représentés respectivement sur les figures **1** et **2**, sont les diagrammes simplifiés, et non annotés, du corps pur eau.

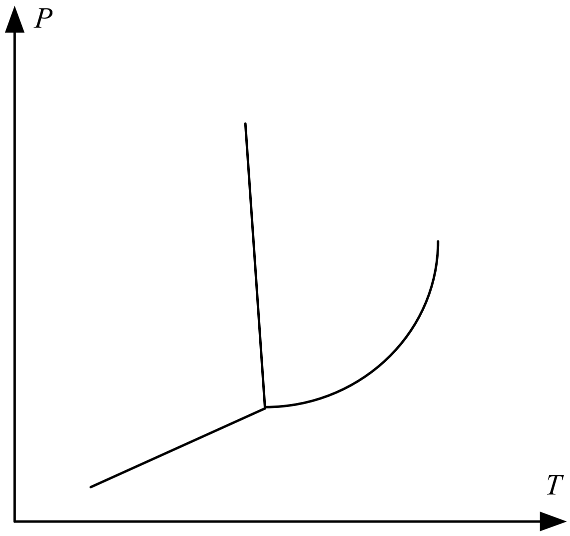

Figure **1**

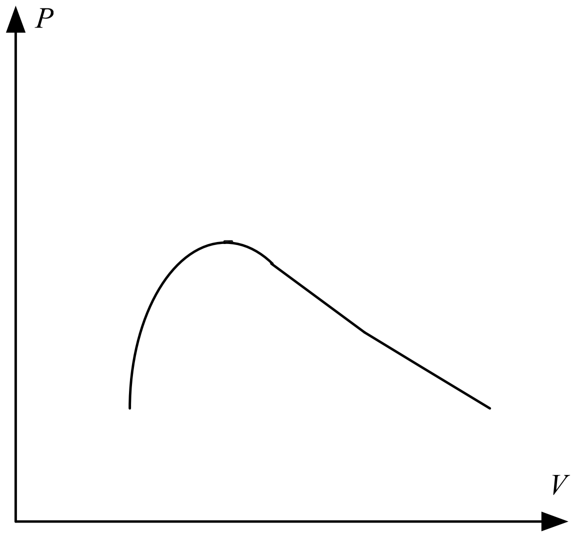

Figure **2**

1) Recopier et compléter ces deux diagrammes (figure **1** et **2**), en précisant la nature des différentes portions de courbes, ainsi que celle des différents domaines délimités.

2) La pente p des droites tangentes à l'une des portions de courbe du diagramme $P = f(T)$, est négative et très élevée en valeur absolue : $p = \dfrac{dP}{dT} \rightarrow -\infty$. Justifier cette propriété.

II. Transformation d'une masse d'eau

Un récipient, de volume intérieur variable V, est constitué d'un cylindre muni d'un piston mobile sans frottement. Toutes les parois diathermanes (non calorifugées) sont au contact d'une source de chaleur, de température constante T_{ext} (atmosphère par exemple).

1) Le piston est immobilisé provisoirement dans une position initiale telle que le volume intérieur du cylindre est V_i. Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, la masse maximale m_{max} d'eau pure qui peut être injectée dans ce récipient, initialement vide, sans qu'apparaisse la phase liquide du corps pur eau.

2) La masse d'eau injectée, dans ce récipient vide, est m (avec $m < m_{max}$).

2.1 Faut-il procéder, à partir du volume V_i, à une augmentation, ou à une diminution du volume du récipient, de manière isotherme, pour faire apparaître la première goutte de liquide (ou goutte de rosée) ?

2.2 Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, le volume V_o d'apparition de la phase liquide.

2.3 Le volume V est modifié, toujours à partir de la valeur V_i, de manière quasi-statique (ou mécaniquement réversible), jusqu'à ce que les deux masses d'eau liquide m_ℓ et d'eau vapeur m_v, en équilibre, soient égales : $m_\ell = m_v = m/2$. Exprimer, en fonction de V_o, le volume final V_f.

2.4 Représenter la transformation subie par la masse m de corps pur sur chacun des deux diagrammes précédents $P = f(T)$ et $P = f(V)$.

2.5 Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, la grandeur de transfert « travail » W_{eau} reçue (ou mise en jeu) par le corps pur eau, au cours de la transformation.

2.6 *Application numérique* : $m = 5 \times 10^{-3}$ kg ; $V_i = 20 \times 10^{-3}$ m^3 ; $T_{ext} = 373$ K.
Calculer m_{max}, V_o et W_{eau}.

Partie B

Étude d'un filtre

L'étude expérimentale d'un filtre « R, C » série est réalisée grâce à un oscilloscope. L'exercice considère l'influence du « branchement » à l'appareil de mesure sur la pulsation de coupure, une des caractéristiques du filtre.

I. Étude théorique du filtre « R, C » série

Un groupement R, C série est alimenté avec une tension d'entrée $u_e(t) = U_{e,m} \cos \omega t$. La tension de sortie est notée $u_s(t) = U_{s,m} \cos (\omega t + \varphi)$ (figure **3**).

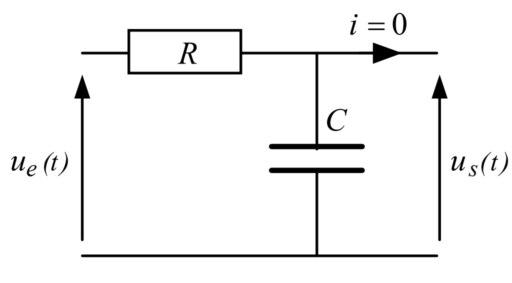

Figure **3**

1) Étudier, sans calcul, la nature de ce filtre, en envisageant son comportement limite pour $\omega \to 0$ et $\omega \to +\infty$.

2) Déterminer, en fonction de R, C et ω, la fonction de transfert complexe $\underline{H}(j\omega)$ de ce filtre définie par le rapport des tensions complexes $\underline{u}_s$ et $\underline{u}_e$: $\underline{H}(j\omega) = \dfrac{\underline{u}_s}{\underline{u}_e}$.

3) En déduire :

3.1 le gain G, défini par $G = |\underline{H}(j\omega)|$;

3.2 la phase φ ;

3.3 la pulsation de coupure ω_C, définie par $G(\omega_C) = \dfrac{G_{max}}{\sqrt{2}}$.

4) Donner l'allure des courbes représentatives des fonctions $G(\omega)$ et $\varphi(\omega)$.

5) *Application numérique* : $R = 10^4\ \Omega$ et $C = 10^{-8}$ F.
Calculer ω_C.

II. Branchement à l'oscilloscope

La tension de sortie u_s précédente est « appliquée » à l'entrée d'un oscilloscope, par l'intermédiaire d'un câble coaxial supposé idéal. L'impédance d'entrée de l'oscilloscope est caractérisée par le groupement parallèle R_o, C_o. La tension d'entrée u_e est maintenue ($u_e(t) = U_{e,m} \cos \omega t$) et u'_s est la tension de sortie aux bornes du résistor R_o (figure **4**).

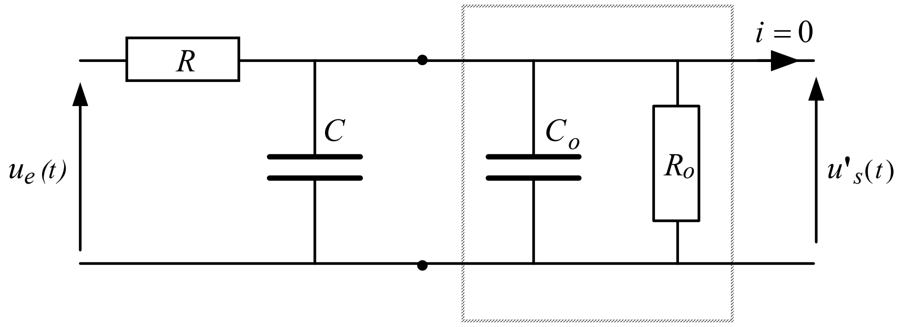

Figure **4**

1) Montrer que la fonction de transfert $\underline{H}'(j\omega) = \dfrac{\underline{u'_s}}{\underline{u_e}}$ de ce nouveau filtre se met sous la forme :
$\underline{H}'(j\omega) = \dfrac{A}{1 + jB\omega}$, avec A et B constantes. Exprimer A et B à l'aide des données de la figure **4**.

2) En déduire le nouveau gain G'.

3) Exprimer, en fonction de R, R_o, C et C_o, la pulsation de coupure ω'_C correspondante.

4) *Application numérique* : $R = 10^4\ \Omega$; $R_o = 5 \times 10^6\ \Omega$; $C = 10^{-8}$ F ; $C_o = 5 \times 10^{-11}$ F.
Calculer ω'_C.

5) Comparer les pulsations ω_C et ω'_C. Conclure.

Partie C

Transferts thermiques : étude d'un « chauffe-eau »

Un résistor, parcouru par un courant électrique, permet de chauffer, grâce à l'effet Joule, une masse m d'eau contenue dans un ballon calorifugé (chauffe-eau).

Hypothèses de travail et données :

- la masse d'eau contenue dans le ballon est $m = 100$ kg ;
- le coefficient (ou capacité) thermique massique de l'eau est $c_e = 4{,}18 \times 10^3$ J kg^{-1} ;
- la pression P, à l'intérieur du récipient, est égale à la pression constante du milieu extérieur : ($P = P_{ext} = 1{,}01$ bar) ;

- le changement d'état liquide-vapeur est négligé : l'eau reste liquide ;
- le résistor, lorsqu'il est alimenté, fournit une puissance thermique constante $P_{th} = 1{,}5 \times 10^3$ W ;
- les parois du récipient, ainsi que le matériau isolant, sont de capacité thermique négligeable ;
- la température constante du milieu extérieur est $T_{ext} = 290$ K.

I. Préliminaires

La masse d'eau est un système fermé (sans échange de matière avec l'extérieur). Ce système, noté $(\mathcal{S})$, est soumis à la pression extérieure constante P_{ext}.

1) Exprimer l'enthalpie H_S du système $(\mathcal{S})$, en fonction de son énergie interne U_S et de certains de ses paramètres d'état.

2) $(\mathcal{S})$ subit une transformation quelconque, au cours de laquelle il reçoit (ou met en jeu), à pression extérieure P_{ext} constante, la quantité de chaleur Q_{Pext}. Démontrer l'égalité $\Delta H_S = Q_{Pext}$.

3) En l'absence de tout changement d'état, $(\mathcal{S})$ reçoit une quantité élémentaire (ou infinitésimale) de chaleur $\delta Q_{Pext} = dH_S$ et sa température T varie de dT. Relier les grandeurs élémentaires δQ_{Pext} et dT.

II. Le récipient est supposé thermiquement isolé

Les parois du chauffe-eau sont athermanes : le récipient est supposé parfaitement calorifugé. À l'instant initial $t = 0$, la masse d'eau est à la température T_{ext} et le chauffage est mis en œuvre, avec la puissance thermique P_{th} constante.

1) Exprimer, en fonction des données de l'énoncé, la quantité de chaleur Q_{Pext} que doit recevoir l'eau pour que sa température T atteigne la valeur T_1 (> T_{ext}).

2) Quelle sera la durée Δt du transfert thermique ?

3) *Application numérique* : $T_1 = 350$ K.
Calculer Q_{Pext} et Δt.

III. Le récipient est soumis à des pertes thermiques

En réalité, l'eau, à température T, subit des pertes thermiques dues au fait que le réservoir est imparfaitement isolé du milieu extérieur (température constante T_{ext}). La quantité de chaleur δQ_{Pext}, mise en jeu par $(\mathcal{S})$ pendant la durée infinitésimale (ou élémentaire) dt, est de la forme : $\delta Q_{Pext} = -k\,(T - T_{ext})\,dt$ (avec k constante).

1) ***« Marche forcée » du chauffe-eau***

Le procédé dit de la « marche forcée » permet d'évaluer les pertes. En régime permanent, par apport continu de la puissance thermique P_{th}, et au bout d'un temps très long, la température T de l'eau atteint une valeur limite T_{lim}. À ce stade, le chauffage permet juste de compenser les pertes thermiques.

1.1 Rappeler le signe de la constante k.

1.2 Exprimer la constante k, en fonction de P_{th} et des températures données.

1.3 *Application numérique* : $T_{lim} = 370$ K.
Calculer k.

2) ***Le chauffage est arrêté***

À un nouvel instant initial $t = 0$, le chauffage est arrêté : la température de l'eau vaut alors T_{lim}.

2.1 En raisonnant pendant la durée élémentaire dt, établir l'équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$ de l'eau.

2.2 Intégrer cette équation et déterminer la fonction $T(t)$.

2.3 Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction $T(t)$.

3) ***Montée en température de la masse d'eau***

À un autre instant initial $t = 0$, la température de l'eau est T_{ext} et le chauffage est rétabli, toujours avec la puissance thermique P_{th} constante, dans le but de porter l'eau à la température T_1.

3.1 En raisonnant pendant la durée élémentaire dt, établir la nouvelle équation différentielle vérifiée par la température $T(t)$ de l'eau.

3.2 Intégrer cette équation et déterminer la fonction $T(t)$.

3.3 Tracer l'allure de la courbe représentative de la fonction $T(t)$.

3.4 *Application numérique* : $T_1 = 350$ K.

Calculer la durée $\Delta t'$ de chauffage, pour que la température de l'eau atteigne la valeur T_1.

Fin de l'énoncé