Tout résultat d'un calcul devra présenter le bon nombre de chiffres significatifs. La notation tiendra largement compte du soin apporté à la rédaction. $\boxed{\textit{Encadrer}}$ *les résultats.*

Problème 1 : Utilisation d'une Pompe à Chaleur (PAC), d'après CCINP

Un point important dans une maison est la qualité des appareils de chauffage. On s'intéresse ici à l'étude du fonctionnement d'une pompe à chaleur et de son efficacité.

L'intérieur de la maison est chauffé grâce à une pompe à chaleur cyclique ditherme, ce qui permet notamment de compenser les pertes thermiques de la maison.

L'intérieur de la maison tient lieu de source chaude à la température T_0 et l'extérieur de la maison tient lieu de source froide à la température T_1.

Le système considéré est alors le fluide caloporteur contenu dans la pompe à chaleur. Les transformations qu'il subit sont supposées réversibles.

On suppose pour le moment qu'il n'y a aucune perte thermique entre la maison et l'extérieur.

1. Faire un schéma de principe de la pompe à chaleur en représentant le système fluide, la source chaude, la source froide, le travail W fourni au fluide par le moteur de la pompe à chaleur et les transferts thermiques Q_C et Q_F, reçus algébriquement par le fluide de la part, respectivement, de la source chaude et de la source froide. On précisera le signe de ces transferts algébriques.
2. L'efficacité ε d'une pompe à chaleur est donnée par le rapport $\varepsilon = -\frac{Q_C}{W}$. Justifier cette expression.
3. En appliquant les 2 principes de la thermodynamique au fluide, exprimer l'efficacité ε de la pompe à chaleur en fonction de T_0 (température intérieure supposée uniforme) et T_1 (température extérieure supposée uniforme). Calculer numériquement ε en prenant 20,0 °C pour l'intérieur et 5,0 °C pour l'extérieur.

Le système pris en compte maintenant est l'air contenu à l'intérieur de la maison. On ne considère comme échanges d'énergie que le transfert thermique Q_C apporté par la pompe à chaleur et le transfert thermique Q' dû aux déperditions d'énergies.

On ne considère plus le régime comme stationnaire. On cherche ici à évaluer les pertes thermiques.

On note $\delta Q' = -aC(T - T_1)\mathrm{d}t$ le transfert thermique algébrique et élémentaire avec l?extérieur pendant $\mathrm{d}t$, avec C la capacité thermique de la pièce ($C = 3,0.10^5$ J.K^{-1}) et a une constante positive. La température de la pièce étant initialement T_0, la pompe est arrêtée. La pièce se refroidit et la température tombe à 15 °C au bout de 3 heures.

4. Commenter le signe de $\delta Q'$. Qui reçoit effectivement ce transfert thermique ?
5. Déterminer l'unité de a.
6. En faisant un bilan énergétique sur l'intérieur de la maison, la pompe à chaleur étant éteinte, montrer qu'on obtient une équation différentielle du premier ordre sur la température de la forme

$$\frac{\mathrm{d}T}{\mathrm{d}t} + aT(t) = B$$

   avec B une constante à déterminer.
7. Résoudre cette équation pour exprimer l'évolution de $T(t)$.
8. En déduire l'expression de a. Faire l'application numérique.
   Pour la suite, on prendra $a = 10^{-3}$ USI.
   Une fois la température finale de 15 °C atteinte, on met de nouveau en marche la pompe à chaleur.
9. Donner la relation liant la puissance P développée par le moteur de la pompe au travail δW fourni par celui-ci pendant une durée $\mathrm{d}t$.
10. Déterminer la nouvelle équation différentielle portant sur $T(t)$.
    On ne cherchera pas à résoudre cette équation différentielle.

Problème 2 : L'énergie électrique : centrale REP, d'après CNC

La prise électrique que nous connaissons tous, est l'aboutissement de tout un réseau de production et de transport de l'énergie électrique. Les centrales nucléaires ont pour rôle de transformer l'énergie libérée par une réaction nucléaire en énergie électrique.

Dans ce problème, nous aborderons le problème lié à la production de l'énergie électrique dans une centrale électronucléaire de type REP (réacteur à eau pressurisée).

1) Préliminaire : cycle thermodynamique de Carnot

Une masse donnée d'un fluide décrit un cycle moteur de Carnot. Il s'agit d'un cycle ditherme réversible composé de la succession des phases suivantes :

- une compression isotherme $A_1 \to A_2$ à la température de la source froide T_F ;
- une compression adiabatique $A_2 \to A_3$;
- une détente isotherme $A_3 \to A_4$ à la température de la source chaude T_C ;
- une détente adiabatique $A_4 \to A_1$.

On note W le travail reçu par le fluide, Q_C le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source chaude et Q_F le transfert thermique reçu par le fluide de la part de la source froide. Ces grandeurs sont comptées algébriquement.

1. Donner le signe des trois grandeurs énergétiques W , Q_C et Q_F.
2. Dessiner le schéma fonctionnel du système étudié. Préciser les sens réels et ceux conventionnels des échanges énergétiques.
3. Représenter le cycle parcouru par la machine de Carnot dans le diagramme de Clapeyron puis dans le diagramme (T, S) en précisant le sens.
4. Écrire le premier principe et le second principe de la thermodynamique pour le fluide au cours d'un cycle.
5. Établir l'expression du rendement thermodynamique η_C du cycle de Carnot en fonction uniquement de T_F et T_C.
6. On suppose que le cycle n'est pas réversible et on désigne par S_p l'entropie produite lors du cycle. Montrer que le rendement thermodynamique du cycle de Carnot irréversible est donné par : $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_C} - \frac{T_F S_p}{Q_C}$.
7. Comparer η_C et η. Le cycle de Carnot est de tous les cycles thermodynamiques fonctionnant entre deux sources données celui qui a le rendement le plus élevé. Justifier pourquoi.

2) Étude du cycle de l'eau d'un réacteur à eau préssurisée : cycle primaire

On étudie dans cette partie le fonctionnement simplifié des deux circuits primaire et secondaire d'une centrale REP. Dans toute cette partie, le travail des forces de pesanteur ainsi que la variation d'énergie cinétique subie par l'unité de masse du fluide sont supposés négligeables devant les autres quantités d'énergie échangées.

D'autre part, on néglige tout frottement.

On rappelle que pour un fluide en écoulement permanent, le premier principe de la thermodynamique, relatif à l'unité de masse s'écrit : $\Delta h = w_u + q$ où w_u et q représentent respectivement le travail massique utile et le transfert thermique massique échangés avec l'extérieur.

Dans le circuit primaire, de l'eau sous pression circule en parcours fermé (figure 1). Cette eau s'échauffe lors de son passage dans le cœur du réacteur grâce à l'énergie produite par les éléments combustibles. Cette énergie calorifique, transportée par l'eau sous pression, est utilisée, via l'échangeur (générateur de vapeur), par le circuit secondaire (étudié dans la partie b)) pour produire de l'énergie électrique.

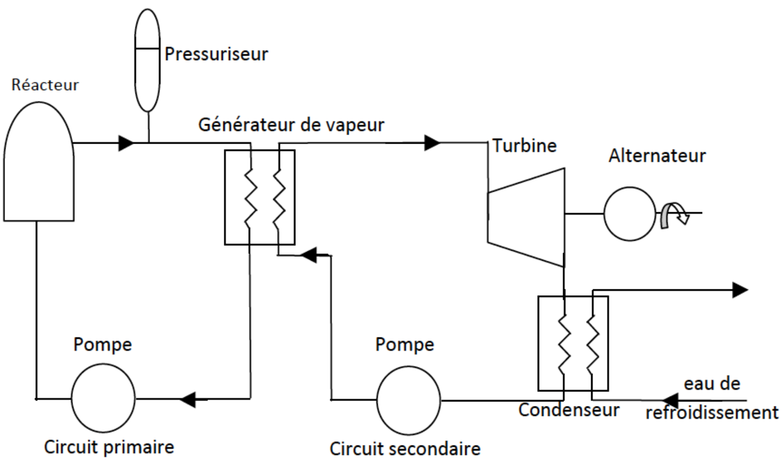

Figure 1 –

L'eau entre dans la cuve du réacteur à la température $T_1 = 284\,°\mathrm{C}$ et sous la pression $P_1 = 155$ bar et en sort à la température $T_2 = 321\,°\mathrm{C}$ sous la même pression qu'à l'entrée. Dans le pressuriseur, la pression est également $P_1 = 155$ bar.

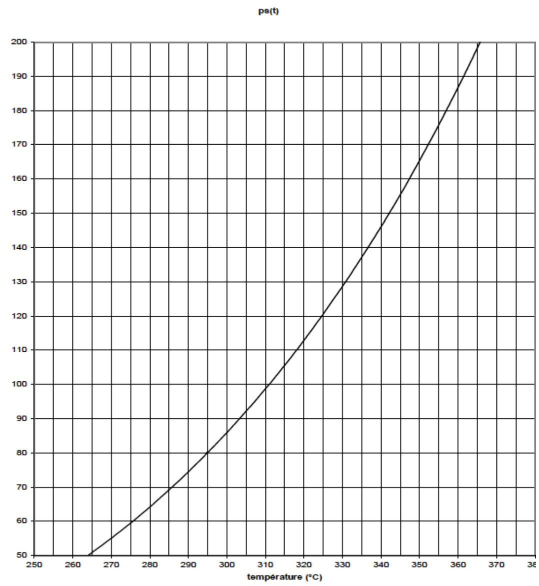

Figure 2 –

1. Le diagramme de la figure 2 représente la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température de l'eau.
   (a) Reproduire le diagramme et indiquer, en justifiant, le domaine de l'eau liquide et celui de l'eau vapeur.
   (b) À quel(s) état(s) physique(s) se trouve l'eau à l'entrée et à la sortie de la cuve du réacteur ? Justifier votre réponse.
   (c) Déterminer la température qui règne dans le pressuriseur sachant que ce dernier contient un mélange d'eau liquide et d'eau vapeur.
2. Calculer la variation d'enthalpie massique Δh de l'eau entre l'entrée et la sortie de la cuve du réacteur. On donne la capacité thermique massique de l'eau $c = 5,8$ kJ .kg^{-1}.K^{-1} dans les conditions où l'eau circule dans la cuve.
3. Dans le réacteur, la fission nucléaire des atomes d'uranium produit une grande quantité de chaleur. La puissance thermique fournie est $P = 2,8$ GW. Calculer la valeur du débit massique D_m (en kg.s^{-1}) d'eau nécessaire dans le réacteur pour évacuer cette puissance.

Problème 3 : Expérience de Clément et Desormes, mesure de γ

L'atmosphère extérieure est à la température T_0 et à la pression P_0. Le récipient ci-dessous (voir figure 3) contient, au début, un gaz (de l'air sec) à la température T_0 et à la pression P_0 que l'on supposera toujours parfait. On négligera le volume des petits tuyaux.

À l'aide du piston, on injecte dans le récipient une petite quantité du même gaz. On attend que la température du gaz du récipient se stabilise à T_0. Il apparaît dans le manomètre une hauteur h_i qui indique que le gaz du récipient a atteint une pression $P_0 + p_i$, avec $p_i \ll P_0$. On notera dans tout l'exercice $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$.

Première étape : on ouvre le robinet pendant un très court instant, de telle sorte que la pression du gaz redescende à P_0 et on referme aussitôt ce robinet.

1. Justifier correctement que la transformation peut être considérée comme adiabatique et réversible.
2. Montrer qu'au moment de la fermeture du robinet, le gaz est à la température $T_0 - \theta$ (on supposera $\theta \ll T_0$).
3. On définit le système comme le gaz contenu dans le récipient après la fermeture du robinet . Caractériser le système avant et après le dégazage. Établir une relation entre p_i, P_0, θ et T_0.

Deuxième étape : les parois du récipient n'étant pas véritablement calorifugées, des transferts thermiques peuvent s'y produire. On constate qu'en attendant longtemps après la fermeture du robinet, le manomètre indique une surpression p_f (hauteur h_f).

4. Définir la transformation subie par le gaz (*On pourra se demander si le volume du système varie lors de cette transformation...*).

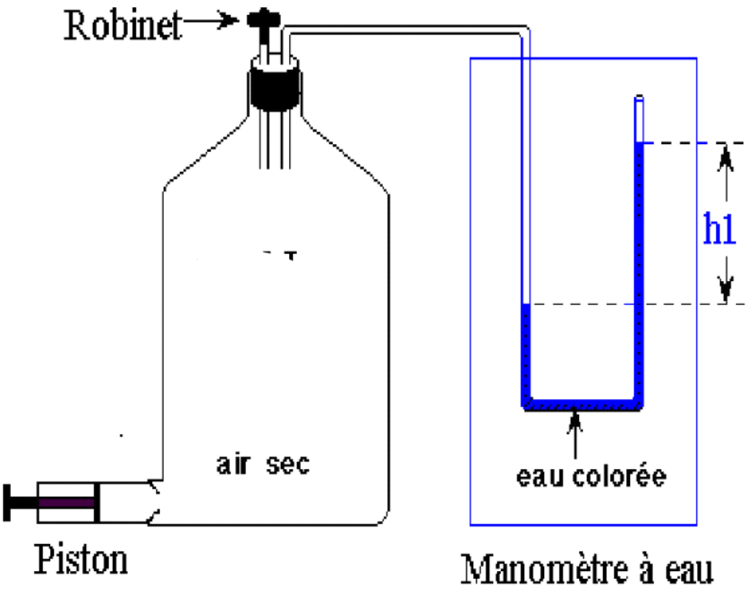

Figure 3 –

5. Caractériser le système au début et à la fin de cette transformation.
6. Établir une relation entre p_f, P_0, θ et T_0.
7. En déduire que cette expérience permet de mesurer γ, le rapport des capacités thermique à pression constante et à volume constant.

Données : on pourra utiliser le développement limité suivant : $(1+x)^{\alpha} \approx 1 + \alpha x$ si $x \ll 1$.