

**DS SCIENCES PHYSIQUES N°2 .**  
**Niveau 1 type CCINP - E3A**

**Calculatrice autorisée**

**La plus grande importance sera apportée au soin de la copie ainsi qu'à la clarté des raisonnements. Toute réponse, même qualitative, se doit d'être justifiée . Les affirmations, même justes, mais non justifiées ne seront pas prises en compte.**

**Un résultat numérique sans unité ne rapporte aucun point .**

**Les résultats doivent être encadrés .**

**Vos copies doivent être numérotées sous la forme 1/4 , 2/4 , 3/4 ....**

**En cas de non respect de ces consignes, un malus sera attribué à la copie .**

**Ci dessous les critères et indicateurs permettant de juger le soin apporté à la copie .**

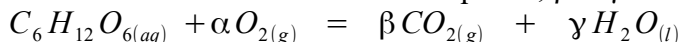
<b>Critère</b>	<b>Indicateur</b>
Lisibilité de l'écriture. Ecrire sur les lignes . Un calcul, une ligne .	L'écriture ne ralentit pas la lecture .
Respect de la langue	La copie comporte peu de fautes d'orthographe et de grammaire .
Clarté de l'expression	Les explications du candidat sont compréhensibles à la première lecture .
Propreté de la copie	Les erreurs, les parties qui ne doivent pas être prises en compte par le correcteur sont clairement et proprement barrées . Les calculs sont aérés .
Identification des questions et pagination	Les différentes parties du sujet, le numéro des questions sont bien identifiées . La pagination est correctement effectuée .
Mise en évidence des résultats	Les résultats littéraux et numériques sont clairement mis en évidence ( encadrés ou soulignés <b>à la règle</b> )

## CHIMIE ( commune aux deux niveaux ) :

### **Le glucose**

Lorsqu'on fournit un effort peu intense, le glucose ( $C_6H_{12}O_6$ ) est oxydé en dioxyde de carbone ( $CO_2$ ) par le dioxygène ( $O_2$ ) dissous dans le sang, c'est le métabolisme aérobie du glucose.

1- Déterminer les coefficients stoechiométriques  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\gamma$  de l'équation d'oxydation du glucose ci-dessous



2- Déterminer l'expression, puis calculer l'enthalpie standard de cette réaction, supposée indépendante de la température. La réaction est-elle endothermique ou exothermique ?

3- Quel est l'expression littérale du volume d'air, à 21 % en volume de dioxygène (considéré comme un gaz parfait à la pression  $P = 1,0$  bar et la température  $T = 293$  K), nécessaire pour produire les  $2,5 \cdot 10^3$  kJ consommés pendant une heure de sport ? Quelle est dans ce cas la masse de glucose consommée ?

4- On veut maintenant étudier la combustion totale de  $n$  moles de glucose solide dans **la quantité stoechiométrique d'air dans un réacteur isobare et adiabatique**.

La température finale étant supérieure à celle de vaporisation de l'eau, l'eau est à l'état vapeur dans l'état finale.

a- Ecrire la réaction de combustion obtenue en précisant bien l'état physique des composés. Quel est l'avancement dans l'état final ?

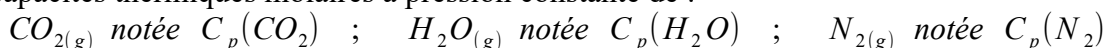
b- La température initiale du réacteur vaut  $T_0$ , on souhaite déterminer l'expression littérale de la température finale obtenue.

On suppose connues :

→ l'enthalpie standard  $\Delta_r H^\circ$  de la réaction  $C_6H_{12}O_{6(s)} + \alpha O_{2(g)} = \beta CO_{2(g)} + \gamma H_2O_{(l)}$  à la température  $T_0$  où, bien sûr, vous remplacerez les valeurs de  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  par les valeurs trouvées dans la question 1.

→ l'enthalpie standard molaire de vaporisation de l'eau à la température  $T_0$  notée  $\Delta_{vap} H^\circ$

→ les capacités thermiques molaires à pression constante de :



Déterminer, en exposant clairement votre démarche, l'expression littérale de la température finale  $T_f$  en fonction des données ci-dessus.

### **Acide lactique dans le sang**

Le sang est considéré dans cette sous-partie comme une solution aqueuse dont le pH est imposé par le couple acido-basique  $H_2CO_3 / HCO_3^-$  de  $pK_{a1} = 6,4$ . Dans les conditions habituelles, le pH du sang vaut 7,4 et la concentration totale, définie par  $C_t = [H_2CO_3] + [HCO_3^-]$ , vaut  $C_t = 0,028 \text{ mol.L}^{-1}$ . Le pH du sang doit rester en toutes circonstances entre 7,3 et 7,5, sous peine de détruire certaines cellules du sang et, à terme, de causer la mort.

5- Déterminer les concentrations en  $H_2CO_3$  et en  $HCO_3^-$  dans le sang dans les conditions habituelles.

Lors d'un effort intense, il se forme de l'acide lactique  $C_3H_6O_3$  (noté ici HLa) dans le muscle, qui est ensuite éliminé dans le sang. L'accumulation d'acide lactique dans le muscle est à l'origine des crampes. La base conjuguée de l'acide lactique est l'ion lactate noté  $La^-$ . Le  $pK_a$  du couple est  $pK_{a2} = 3,9$ . En passant dans le sang, l'acide lactique réagit avec les ions  $HCO_3^-$ .

6- Faire un diagramme de prédominance dans lequel apparaissent les différentes espèces mises en jeu ( $H_2CO_3$ ,  $HCO_3^-$ , HLa,  $La^-$ ).

Écrire l'équation de la réaction de l'acide lactique avec l'ion  $\text{HCO}_3^-$ . On supposera que c'est la seule réaction qui a lieu. Exprimer et calculer la constante d'équilibre. On considérera que la réaction est totale pour la suite des calculs.

7- Calculer le pH après un effort qui a porté la concentration initiale d'acide lactique dans le sang à  $C_0' = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ . Commenter la valeur du pH.

Il existe en fait un mécanisme, lié à la respiration, qui permet de ramener le pH dans la zone viable.

### Titration de l'acide lactique

Nous souhaitons dans cette sous-partie mesurer la concentration de l'acide lactique  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$  (noté HLa) dans le sang par un titrage pH-métrique. Après l'effort, un volume de sang est prélevé. L'acide lactique en est extrait par une méthode qu'on n'étudiera pas.

On titre un volume  $v_0 = 50 \text{ mL}$  de solution  $S$  d'acide lactique de concentration  $c_0$  issue du sang par une solution  $S_1$  de soude ( $\text{Na}^+_{(\text{aq})} + \text{HO}^-_{(\text{aq})}$ ) de concentration  $c_1 = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

8- Écrire l'équation de la réaction de titrage. Exprimer et calculer sa constante d'équilibre. Que peut-on en déduire ?

Faire un schéma annoté du montage à réaliser où vous préciserez notamment les électrodes utilisées pour le titrage et leur rôle.

On a tracé l'évolution du pH mesuré en fonction du volume de soude versé pour déterminer le volume à l'équivalence et la concentration d'acide lactique dans le sang. Voir feuille en fin d'énoncé, à rendre avec votre copie.

9- En justifiant votre réponse, déterminer la concentration  $c_0$  d'acide lactique dans la solution  $S$ .

Comment pouvez vous, à partir de la courbe de dosage, retrouver la valeur de la constante d'acidité du couple acide lactique / ion lactate ?

La concentration maximale recommandée dans l'organisme est de 200 mg/L ; au-delà, on parle d'acidose lactique. Le patient est-il en acidose lactique ?

10- On suit en parallèle le titrage par colorimétrie. Parmi les indicateurs colorés ci-dessous, le(s)quel(s) peut-on utiliser pour suivre le titrage ? Justifier.

Indicateur coloré	Rouge congo	Rouge de phénol	Thymolphthaléine
Teinte acide	bleu	jaune	incolore
Teinte basique	rouge	rouge	bleu
Zone de virage	3,5 - 4,5	6,8 - 7,8	9,0 - 10,0

### pH de différentes solutions

Les questions 11 et 12 sont décorrélées des questions précédentes.

11- Déterminer la valeur du pH d'une solution d'acide lactique HLa de concentration  $c = 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ .

12-Déterminer la valeur du pH d'une solution de lactate de sodium ( $\text{Na}^+ + \text{La}^-$ ) de concentration  $c = 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

**Données :**

**Enthalpies standard de formation à 25 °C**

Espèce	Glucose $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6(\text{aq})$	Dioxyde de carbone $\text{CO}_2(\text{g})$	Eau $\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	Acide lactique $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3(\text{aq})$
$\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	-1273	-393	-285	-673

**Masses molaires**

Atome	H	C	N	O	Na
Masse molaire (g.mol <sup>-1</sup> )	1	12	14	16	23

**Couples acidobasiques et  $pK_a$  à 25 °C**

$\text{H}_2\text{CO}_3/\text{HCO}_3^-$   $pK_{a1} = 6,4$

$\text{HLa}/\text{La}^-$   $pK_{a2} = 3,9$

**Produit ionique de l'eau à 25 °C**

$pK_e = 14$

$\log(2) \approx 0,3$

## **PHYSIQUE : Niveau 1**

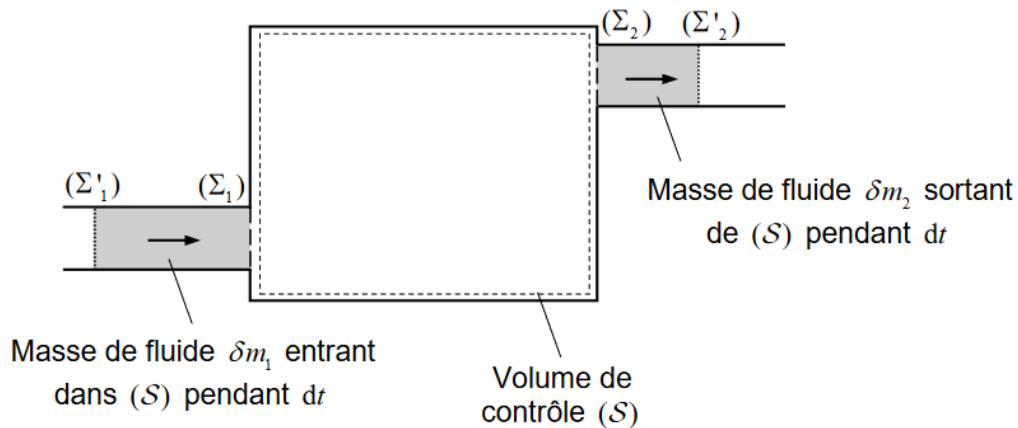
### **Problème 1 : turbine à gaz**

#### **I- Préliminaire : Bilan énergétique pour un fluide en écoulement stationnaire**

On considère l'écoulement parfait et stationnaire d'un fluide à travers un système ouvert,  $(S)$  définissant un volume de contrôle indéformable et fixe dans le référentiel d'étude  $R$  et présentant une entrée et une sortie (figure 1).

On définit comme système d'étude le système fermé, noté  $(S^*)$ , constitué du fluide contenu à l'instant  $t$  dans le volume de contrôle et du fluide de masse  $\delta m_1$  qui y rentre entre les instants  $t$  et  $t+dt$ , situé entre les sections droites  $(\Sigma'_1)$  et  $(\Sigma_1)$ , et définissant un sous-système  $(S_1)$ . À l'instant  $t+dt$ , il est constitué du fluide contenu dans le volume de contrôle et du fluide de masse  $\delta m_2$  qui en sort entre les instants  $t$  et  $t+dt$ , situé entre les sections droites  $(\Sigma'_2)$  et  $(\Sigma_2)$ , et définissant un sous-système  $(S_2)$ .

On note  $T_i, p_i, v_{mi}, e_{c,i}, e_{p,i}, u_i$  et  $h_i$  respectivement la température, la pression, le volume massique, l'énergie cinétique massique, l'énergie potentielle de pesanteur massique, l'énergie interne massique et l'enthalpie massique du fluide contenu dans chaque sous-système  $(S_i)$  où  $i = 1, 2$ .



**Figure 1 - Fluide en écoulement stationnaire : système fermé étudié**

- 1- Justifier que le débit massique du fluide en entrée est égal à celui en sortie :. Il sera noté  $D_m$
- 2- Montrer que le travail massique des forces pressantes reçu par le fluide contenu dans le système  $(S^*)$  pendant la durée  $dt$  s'écrit :  $w_p = p_1 v_{m1} - p_2 v_{m2}$

- 3- Montrer que la variation d'énergie interne du fluide contenu dans le système  $(S^*)$  pendant la durée  $dt$  s'écrit :  $dU = D_m(u_2 - u_1)dt$ .

Donner, sans calculs supplémentaires, les expressions des variations d'énergie cinétique macroscopique  $dE_c$  et d'énergie potentielle de pesanteur  $dE_p$  du fluide.

- 4- À partir d'un bilan énergétique pour le fluide contenu dans le système  $(S^*)$  pendant la durée  $dt$ , établir l'expression du premier principe, en terme de puissance, pour un écoulement stationnaire

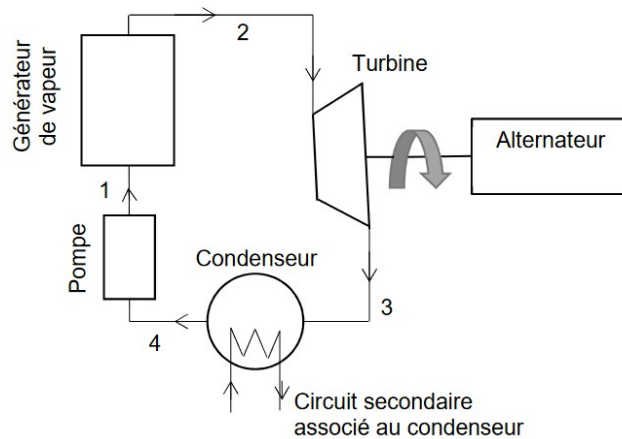
On notera  $P_u$  et  $P_{th}$  respectivement la puissance mécanique des forces extérieures non conservatives autre que celle des forces pressantes (puissance dite utile) et le flux thermique reçus par le fluide contenu dans le volume de contrôle.

#### **II- Turbine à gaz :**

Le biogaz provient principalement de la fermentation anaérobie, c'est-à-dire sans oxygène, des déchets de l'agriculture, de l'industrie alimentaire et des ordures ménagères. À l'état brut, sa teneur en méthane est un peu supérieure à 50 %. Après une épuration poussée, il atteint le même niveau de qualité que le gaz naturel et porte alors le nom de bio-méthane ( $CH_4$ ). Il peut être valorisé par la production d'énergie électrique. Il est considéré comme une énergie renouvelable à part entière depuis plus de dix ans et sa

combustion libère moins de  $\text{CO}_2$  que celle du fuel ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ).

On étudie ici une installation motrice à turbine à gaz dont le principe de fonctionnement est décrit sur la figure ci-dessous.



Elle fonctionne en régime permanent suivant un cycle de Hirn.

Le fluide utilisé est de l'eau. La pompe alimente le générateur de vapeur en liquide haute pression (point 1), on a  $P_1 = 10$  bars. Le liquide est porté à ébullition, puis totalement vaporisé, et enfin surchauffé de façon isobare par le brûleur au bio-méthane (point 2). La vapeur surchauffée se détend ensuite dans la turbine accouplée à un alternateur électrique (point 3). Au point 3, on a  $P_3 = 1$  bar, la vapeur est sous forme de vapeur saturante de titre massique en vapeur  $x_v = 1$ . La vapeur humide basse pression est totalement condensée, puis le liquide (point 4) est réintroduit dans la pompe. Un circuit secondaire, associé au condenseur et relié à une tour de refroidissement ou autre, permet d'extraire l'énergie issue du condenseur par transfert thermique.

#### Hypothèses :

- l'évolution dans la turbine est adiabatique et réversible ;
- l'évolution dans la pompe est supposée isenthalpique ;
- dans les bilans énergétiques, les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide seront négligées par rapport aux termes enthalpiques ;
- on néglige les pertes mécaniques de la turbine et le rendement de l'alternateur est considéré égal à 100 % ;
- l'état du fluide reste inchangé dans les canalisations de liaison entre les différents éléments.

5- Tracer, en justifiant, le cycle sur le diagramme ( $\log(P), h$ ) ci-dessous et compléter le tableau des coordonnées des différents points du cycle.

6- Exprimer en fonction des enthalpies massiques aux points 1, 2, 3 et 4 :

- le travail utile massique de la turbine ( $w_{iT}$ ). Ce travail est parfois dénommé travail indiqué massique ;
- le transfert thermique massique ( $q_{GV}$ ) fourni par le générateur de vapeur ;
- le transfert thermique massique ( $q_{\text{cond}}$ ) récupéré par le circuit secondaire associé au condenseur.

7- Évaluer numériquement  $w_{iT}$ ,  $q_{GV}$  et  $q_{\text{cond}}$ .

Déterminer l'expression du rendement de l'installation en fonction des différentes enthalpies massiques. Application numérique.

8- Évaluer le débit massique en eau du circuit primaire, noté  $D$ , pour une production d'électricité d'une puissance  $P_{\text{elec}} \approx 250$  kW

## Problème 2 :

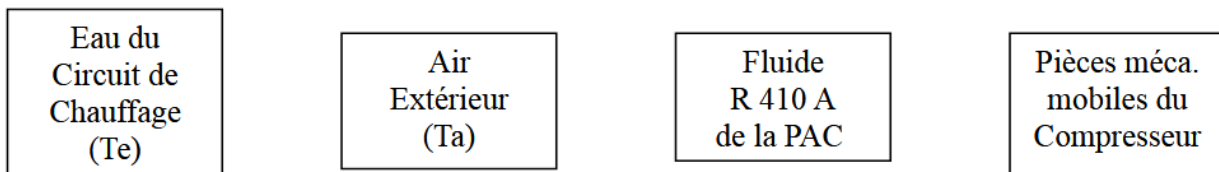
L'épuisement progressif des réserves de pétrole et de gaz, le coût du chauffage électrique, amènent à envisager des solutions de chauffage, qui, dans certains cas, s'avèrent plus économiques, entre autres les PAC (pompes à chaleur). On préconise néanmoins de les utiliser « en relève de chaudière » car nous allons voir qu'en-dessous d'une certaine température extérieure, le COP (coefficient optimal de performance) de la PAC chute fortement et la chaudière doit alors prendre le relais.

Nous allons étudier les caractéristiques d'une PAC air/eau qui extrait un transfert thermique de l'air extérieur et en fournit à l'eau du circuit de chauffage (il existe aussi des PAC air/air et eau/eau).

La PAC contient un fluide en écoulement permanent qui est amené à subir des changements d'état (liquéfaction ou vaporisation). Le fluide échange de la chaleur avec les deux sources en traversant des échangeurs appelés condenseur ou évaporateur, selon la source avec laquelle s'effectue l'échange.

### I- COP D'UNE POMPE A CHALEUR

1- Sur u, schéma de principe, identifier les différents transferts énergétiques à l'œuvre dans une PAC, entre les différents éléments ci-dessous et les représenter au moyen d'une flèche ; identifier, en le justifiant, la source chaude et la source froide.



2- Redémontrer l'inégalité de Clausius en appelant  $T_1$  la température de la source chaude et  $T_2$  la température de la source froide.

3- On considère une PAC idéale ; rappeler ce qu'on entend par « idéale » et déterminer l'expression du coefficient de performance ou COP. Comment serait modifié le COP pour une PAC réelle ? Pourquoi ?

4- D'après vous, le COP augmente-t-il ou diminue-t-il avec la différence des températures intérieure et extérieure de l'habitation ? Pourquoi ?

5- Doit-on placer le condenseur au contact de la source froide ou de la source chaude ? Pourquoi ?

6- Enfin a-t-on intérêt à rechercher un COP le plus élevé possible ou le plus faible possible ? Sur quels paramètres peut-on jouer pour modifier le COP ?

### II- PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

La PAC réchauffe l'eau du circuit de chauffage d'une habitation afin de maintenir sa température à  $20^\circ\text{C}$ , en lui fournissant une puissance thermique de 8 kW. L'eau du circuit de chauffage pénètre dans l'échangeur à  $30^\circ\text{C}$  et en ressort à  $35^\circ\text{C}$ . On rappelle la valeur de la capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c = 4,18 \text{ J.g}^{-1} . \text{K}^{-1}$ .

En fin de l'énoncé figure le cycle décrit par le fluide dans un diagramme :  $h$  (en  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) en abscisse, et  $P$  (en bar) en ordonnée avec échelle logarithmique.

L'échelle des enthalpies massiques  $h$  est reportée **en bas et en haut** du diagramme, pour faciliter la lecture.

Sont également représentées sur ce diagramme les courbes isotitres ( $x$  est le titre massique en vapeur), isothermes (la température est ici indiquée en  $^\circ\text{C}$ ), et isentropes.

Quelques-unes des courbes isentropes sont repérées en bas du diagramme par des flèches.

On exploitera le diagramme fourni en annexe pour répondre aux questions posées. **Il est demandé de ne pas rendre ce diagramme avec la copie.**

Le compresseur est le seul élément de la PAC comportant des pièces mécaniques mobiles.

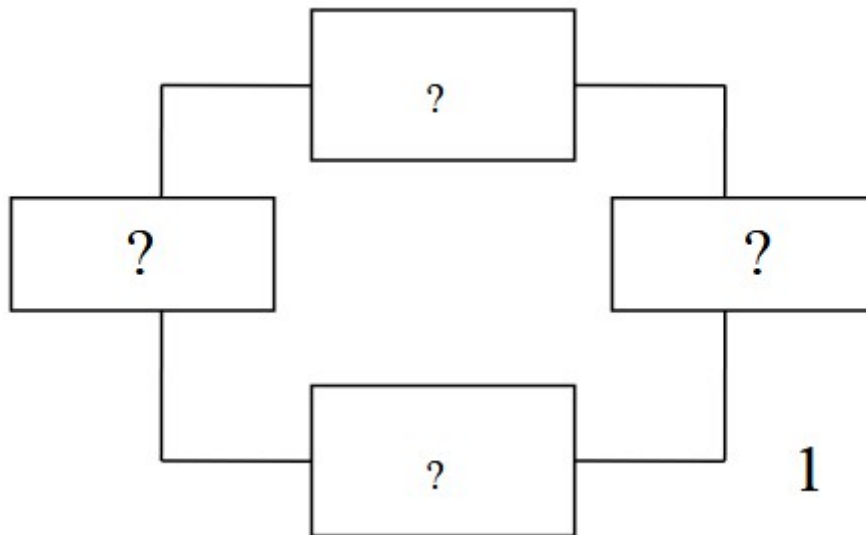
Le passage du fluide dans le compresseur est supposé réversible.

Le détendeur et le compresseur sont calorifugés : l'évolution du fluide y est adiabatique.

Le fluide est en écoulement stationnaire et on néglige les variations d'énergie cinétique macroscopique et d'énergie potentielle massique.

7- Reproduire et compléter le schéma ci-dessous en identifiant la nature des différents blocs (compresseur – condenseur – détendeur – évaporateur).

Numéroter sur ce schéma les états (1 – 2 – 3 – 4), à partir de l'état 1 défini sur le diagramme  $\ln(P), h$ , en tenant compte du sens effectif de parcours du cycle par le fluide (on s'appuiera notamment sur la réponse apportée à la question 5).



8- Montrer que l'évolution du fluide dans le détendeur est isenthalpique.

9- Dans quel élément du circuit le fluide échange-t-il du travail avec des pièces mécaniques mobiles de la PAC ? Quel est, du point de vue du fluide, le signe de ce travail ? Quelle en est, numériquement, la valeur massique ? Justifier.

10- Dans quel élément du circuit le fluide rejette-t-il de la chaleur vers le milieu extérieur ? Quelle est la nature de ce milieu extérieur ? Quelle est, numériquement, la valeur massique de ce transfert thermique ? Justifier.

11- Dans quel élément du circuit le fluide reçoit-il de la chaleur du milieu extérieur ? Quelle est la nature de ce milieu extérieur ? Quelle est, numériquement, la valeur massique de ce transfert thermique ? Justifier.

12- Quel doit être le débit massique du fluide de la PAC pour assurer une puissance de chauffage de 8 kW ? Quel doit être celui de l'eau du circuit de chauffage ? Quel est alors son débit volumique en  $L.h^{-1}$  ?

13- Calculer le COP de la PAC à partir des grandeurs énergétiques déduites de la lecture du cycle. Quelle est la puissance consommée par le compresseur ?

14- Dans quel état se trouve le fluide en sortie de compresseur ? Quelle est sa température ?

15- Dans le condenseur, la transformation dégage-t-elle de la chaleur ou en absorbe-t-elle ? Pourquoi ? Quelle est la température du fluide à la sortie du condenseur ?

16- Déterminer la fraction massique en vapeur du fluide en sortie du détendeur. Que vaut sa température ? On rappelle que le passage du fluide dans le détendeur est isenthalpique.

17- Dans l'évaporateur, le fluide se vaporise entièrement et subit une surchauffe. En quoi, d'après vous, cette surchauffe est-elle nécessaire ?



**Annexe problème 1 :**à rendre avec la copie

Tableau des différents points du cycle ( à compléter ) :

	Point 1	Point 2	Point 3	Point 4
T (°C)	≈ 100			100
P (bar)	10	10	1	1
h (kJ.kg <sup>-1</sup> )				
État	Liquide	Vapeur sèche	Vapeur saturante (x <sub>v</sub> = 1)	Liquide saturé (x <sub>v</sub> = 0)

