

SESSION 2003

PCP1006

**EPREUVE SPECIFIQUE - FILIERE PC****PHYSIQUE 1****Durée : 4 heures***L'utilisation des calculatrices est autorisée. Les deux problèmes sont indépendants**Une feuille de papier millimétré devra être distribuée avec le sujet.*

\*\*\*

*N.B. : 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 peut lui sembler 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.*

\*\*\*

**PROBLEME I - L'AIR HUMIDE :  
CLIMATISATION ET FORMATION DES NUAGES**

*L'air qui nous entoure est humide : c'est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. Les caractéristiques de l'air humide sont liées aux proportions de chacun des deux constituants.*

*Sauf indication particulière, on considère, dans tout le problème, de l'air humide à la pression atmosphérique  $P = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .*

*Pour les applications numériques, on se référera, si nécessaire, aux données et au tableau figurant à la fin de l'énoncé.*

*On supposera dans tout le problème que l'air sec et la vapeur d'eau se comportent comme des gaz parfaits.*

**I. Grandeurs caractéristiques et propriétés de l'air humide**

Soient  $M_a$  la masse molaire de l'air sec et  $M_v$  la masse molaire de l'eau pure. Soient  $P_a$  la pression partielle de l'air sec contenu dans un volume  $V$  d'air humide à la température  $T$  et  $P_v$  la pression partielle de la vapeur d'eau du même volume à la même température.

**I.1.** Justifier que  $P = P_a + P_v$ **I.2.** Soit  $m_a$  la masse d'air sec contenue dans le volume  $V$  d'air humide à la température  $T$ . On peut alors écrire :  $P_a V = m_a R_a T$ .Exprimer  $R_a$  en fonction de  $R$  et  $M_a$ . Application numérique.Soit  $m_v$  la masse de vapeur d'eau contenue dans le volume  $V$  d'air humide à la température  $T$ . On peut alors écrire :  $P_v V = m_v R_v T$ .Exprimer  $R_v$  en fonction de  $R$  et  $M_v$ . Application numérique.**I.3.** L'humidité spécifique  $\omega$  de l'air humide, à la température  $T$ , est le rapport de la masse de vapeur d'eau contenue dans un volume  $V$  d'air humide à la masse d'air sec contenue dans ce même volume. Elle est donnée en kilogramme d'eau par kilogramme d'air sec.Montrer que l'humidité spécifique s'exprime sous la forme :  $\omega = A \frac{P_v}{P - P_v}$ .En déduire l'expression de la constante  $A$  et la calculer numériquement.**Tournez la page S.V.P.**

**I.4.** La sensation d'un individu de se trouver dans un air plus ou moins humide est directement liée à l'humidité relative ou degré hygrométrique  $\varepsilon$  défini par :  $\varepsilon = \frac{P_v}{P_{vsat}}$  avec  $P_{vsat}$  la pression de vapeur saturante de l'eau à la température  $T$  de l'air humide.  
Soit  $1 \text{ m}^3$  d'air humide, à  $\theta = 15^\circ\text{C}$ , dont le degré hygrométrique est égal à 0,85.  
Calculer numériquement les masses  $m_a$  d'air sec et  $m_v$  de vapeur d'eau du mélange.

**I.5.** Un air humide tel que  $\varepsilon = 1$ , ne peut plus accepter d'eau sous forme vapeur. L'eau supplémentaire renfermée dans l'air humide se présente alors sous forme de gouttelettes d'eau suffisamment fines pour rester en suspension et formant ainsi un brouillard.  
Tracer, de façon précise sur papier millimétré, la courbe représentative de l'air humide saturé dans le graphe  $\omega = f(\theta)$ , appelé diagramme de Carrier.  
Sur le graphe précédent, indiquer en le justifiant où se trouve la zone de brouillard.

**I.6.** La température de rosée  $T_r$  est la température de l'air humide saturé en humidité. Elle peut être mesurée par un hygromètre à condensation : on place dans l'air humide une petite surface dont on fait varier la température jusqu'à apparition sur celle-ci, de condensat (rosée ou buée) : la température de la surface est alors celle du point de rosée.  
Calculer le degré hygrométrique d'un air humide à  $\theta = 30^\circ\text{C}$  dont la température de rosée est égale à  $10^\circ\text{C}$ .

**I.7.** L'enthalpie de l'air humide tient compte de l'enthalpie de ses constituants définie sur la base des conventions suivantes :  
- l'origine de l'enthalpie de l'air sec est prise à  $0^\circ\text{C}$  ;  
- pour l'eau, l'enthalpie de référence est celle de l'eau liquide à  $0^\circ\text{C}$ .  
Soient  $c_{pa}$  et  $c_{pv}$  les capacités thermiques massiques respectives de l'air sec et de la vapeur d'eau. Soit  $l$  la chaleur latente massique de vaporisation de l'eau.  
Donner, en fonction de  $m_a$ ,  $m_v$ ,  $c_{pa}$ ,  $c_{pv}$ ,  $l$ , et  $\theta$  la température en degrés Celsius de l'air humide, l'expression de l'enthalpie massique  $h$  de l'air humide.  
Donner, en fonction de  $\omega$ ,  $c_{pa}$ ,  $c_{pv}$ ,  $l$  et  $\theta$ , l'expression de l'enthalpie spécifique  $H^*$  de l'air humide contenant un kilogramme d'air sec.

## II. Conditionnement d'air – formation des nuages

*Les techniques de climatisation et de conditionnement d'air ont pour objet l'amélioration des conditions de confort. Elles reposent sur des opérations telles que mélange, échauffement, refroidissement ou humidification de l'air humide.*

*Les opérations de mélange d'airs humides sont également à l'origine de phénomènes météorologiques. En bord de mer, la rencontre de l'air frais et sec provenant de l'intérieur des terres avec de l'air marin fortement humide, produit les brouillards côtiers. D'autre part, l'air humide étant plus léger que l'air sec, il entre, dans son mouvement ascendant, en contact avec de l'air plus froid en altitude : c'est ainsi que se forment les nuages.*

**II.1.** Un réchauffeur apporte, par transfert thermique à pression constante, une quantité d'énergie  $Q$  à un kilogramme d'air humide, à la température initiale  $\theta$ , d'humidité spécifique initiale  $\omega$ , contenant une masse  $m_a$  d'air sec.  
Exprimer analytiquement (en fonction des paramètres du problème)  $\omega_q$  l'humidité spécifique et  $\theta_q$  la température de l'air humide obtenu.  
Décrire qualitativement mais en le justifiant comment évolue, au cours de l'opération de chauffage, le degré hygrométrique de l'air humide.

**II.2.** Une installation de climatisation industrielle assure le réchauffage isobare d'un débit massique de  $12.10^3 \text{ kg.h}^{-1}$  d'un air humide entrant à  $\theta = 15^\circ\text{C}$  avec un degré hygrométrique  $\varepsilon = 0,85$ . La température de sortie de l'air est égale à  $45^\circ\text{C}$ .  
Quelle est la puissance du réchauffeur ?

**II.3.** On mélange deux airs humides de température  $\theta_1$  et  $\theta_2$  d'humidités spécifiques  $\omega_1$  et  $\omega_2$  contenant respectivement les masses d'air sec  $m_{a1}$  et  $m_{a2}$ .  
Etablir, en les justifiant, les relations permettant de calculer, en fonction de  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ ,  $m_{a1}$ ,  $m_{a2}$  et des enthalpies spécifiques  $H_1^*$  et  $H_2^*$  des constituants, l'humidité spécifique  $\omega_3$  et l'enthalpie spécifique  $H_3^*$  du mélange.

**II.4.** On mélange un kilogramme d'air humide dans l'état 1 ( $\theta_1 = 35^\circ\text{C}$ ,  $\omega_1 = 0,035 \text{ kg d'eau/kg d'air sec}$ ), à un kilogramme d'air humide dans l'état 2 ( $\theta_2 = 25^\circ\text{C}$ ,  $\omega_2 = 0,0039 \text{ kg d'eau/kg d'air sec}$ ).  
Calculer numériquement l'humidité spécifique  $\omega_3$  et la température  $\theta_3$  du mélange.

**II.5.** On mélange maintenant une quantité d'air humide dans l'état 4 ( $\theta_4 = 40^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon_4 = 1$ ) à une quantité d'air humide dans l'état 5 ( $\theta_5 = 5^\circ\text{C}$ ,  $\varepsilon_5 = 0,2$ ) contenant également toutes les deux, un kilogramme d'air sec.  
Calculer numériquement l'humidité spécifique  $\omega_6$  et la température  $\theta_6$  du mélange.  
Placer le point obtenu sur le graphe  $\omega = f(\theta)$  tracé en I.5. Conclusion.

**II.6.** Un thermomètre placé dans le mélange obtenu à la question II.5. indique une température supérieure de  $3^\circ\text{C}$  à celle déterminée en II.5.  
Quelle est la raison de cet écart entre la température calculée et la température mesurée ?  
A l'aide du graphe  $\omega = f(\theta)$  tracé en I.5, en déduire la masse  $m_e$  d'eau liquide présente dans le mélange.

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ .

Masse molaire de l'air sec :  $M_a = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Masse molaire de l'eau pure  $M_v = 18 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température :

$\theta$ ( $^\circ\text{C}$ )	0	5	10	15	20	25	30	40	45
$P_{vsat}$ (Pa)	610	880	1227	1706	2337	3173	4247	7377	9715

Capacité thermique de l'air sec

$$c_{pa} = 1006 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

Capacité thermique de la vapeur d'eau

$$c_{pv} = 1923 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \text{ (supposée indépendante de la température)}$$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau

$$l = 2500 \text{ kJ.kg}^{-1}$$