**NOM / Prénom : Note :**

**Groupe : Session du 22/02/2013 Promo 44**

**Sans document – Calculatrice autorisée - Barème de notation donné à titre indicatif**

**Tout résultat doit être encadré et avoir une unité**

**Rendre avec la feuille d’examen le sujet complet, et les différents graphes remplis.**

**L’examen est noté sur 94 pts ramenés sur 20.**

La plupart des questions sont indépendantes.

**Données générales :**

g = 9,81 ms-2 ; R = 8,32 J/mol.K

**Exercice n° 1 : Etude d’une installation frigorifique (28 pts + 2 pts (bonus))**

Une chambre est refroidie par une installation frigorifique fonctionnant au R502. On a réalisé quelques mesures qui nous indiquent que le fréon 502 entre dans le détendeur à une température de 25 °C avec une pression relative de 14 bar, et que la température d’évaporation est de – 10 °C.

La surchauffe est de 10°C alors que la désurchauffe est de 25 °C.

1. **Tracer** le cycle dans le diagramme de MOLLIER donné en **annexe A**, en expliquant rapidement la construction.
2. **Compléter** le tableau de **l’annexe B**. **Préciser** la valeur du sous-refroidissement du liquide.
3. **Calculer** le taux de compression τ et le rendement volumétrique sachant que ce rendement est égal à (1 - 0,05.τ)
4. **Calculer** le volume horaire réellement aspiré par le compresseur sachant que le volume horaire balayé par le compresseur est de 12 m3/h. **En déduire** le débit massique.
5. **Calculer** les productions frigorifiques massiques brute et nette. **En déduire** les puissances frigorifiques brutes et nettes.
6. **Calculer** la valeur du coefficient d’efficacité frigorifique de CARNOT (on prendra les températures de changement d’état du fréon 502) ainsi que celui du cycle irréversible et réversible de MOLLIER. **Remarque.**
7. **En déduire** le rendement indiqué du système ainsi que le rendement global du compresseur.
8. **Calculer** le débit volumique (en L.h-1) que doit avoir de l’eau circulant dans un échangeur placé au condenseur si l’on veut réchauffer cette eau de 21°C à 37°C.
9. **Question bonus : retrouver** l’expression du coefficient d’efficacité frigorifique de CARNOT en fonction de T1 et de T2.

Données : ηmécanique = 0,9

**Exercice n° 2 : Etude de deux modes de séchage (30 pts)**

On désire comparer deux modes de séchage d’un fourrage qui a un aw de 0,9 : capacité évaporatoire, rapidité de séchage et coût de séchage.

Pour cela nous disposons d’un air à la pression atmosphérique normale dont on a mesuré les températures sèche et humide : 21 °C et 16 °C.

**Partie A (14 pts)**

1. **Construire** le point représentatif de cet air (A) sur le diagramme de l’air humide donné en **annexe C**. **Déduire** de ce diagramme l’humidité relative, l’humidité absolue, la température de rosée, le volume spécifique et l’enthalpie massique de cet air en précisant toutes les unités.
2. **Retrouver** cette valeur de l’enthalpie massique par le calcul (formule (1)), sachant que l’enthalpie de l’air sec à 0°C est égale à 0 KJ/Kg . On donne cpve = 1,86 103 J.kg-1.K-1. L’air sec sera considéré comme un gaz parfait diatomique. **Détailler** tous les calculs.



1. **Redémontrer** la formule précédente.
2. **Déduire** à partir de ce diagramme la température à laquelle il faut chauffer l’air pour que la masse d’eau maximale qu’il puisse enlever à ce fourrage (aw = 0,9) soit de 5 gve/Kgas.
3. **Calculer** à partir du diagramme l’énergie nécessaire pour chauffer cet air en KJ/Kgas.

Données : **Annexe C (cf. diagramme d’air humide)**

**Partie B (8 pts)**

1. On refroidit cet air ambiant (21 °C, 1,013 bar) jusqu’à 1 °C : **représenter** cet air ainsi refroidi sur le diagramme par le point (B) en **expliquant le raisonnement**. Puis on le réchauffe jusqu’à 26 °C : **représenter** cet air ainsi réchauffé sur le diagramme par le point (C).
2. **Déduire** alors de ce diagramme la masse d’eau maximale que cet air refroidi puis réchauffé peut enlever à ce fourrage (aw = 0,9 ; 21 °C).
3. **Calculer** à partir du diagramme l’énergie nécessaire pour refroidir et réchauffer cet air en KJ/Kgas.

**Partie C (8 pts)**

**Calculer** à partir du diagramme la différence de pression partielle de vapeur d’eau en **mbar** entre :

* le fourrage à sécher (aw = 0,9 ; 21 °C) et l’air ainsi réchauffé (partie A).
* le fourrage à sécher et l’air refroidi puis réchauffé (partie B).

Pour cela, **établir** la relation entre l’humidité absolue et la pression partielle de vapeur d’eau.

**En déduire**  le séchage le plus rapide.

**Exercice n° 3 : Transferts Thermiques (36 pts)**

A) Calcul d’un temps de diffusion de la chaleur en régime non stationnaire  : **(4 pts)**

De la viande de bœuf conditionné sous la forme d’un bâtonnet assimilable à un cylindre, a une température initiale de 10°C et un diamètre de 9,5 mm. Il est introduit au temps t égal zéro dans un autocuiseur où règne de la vapeur d’eau en condensation sous 130°C.

La viande de bœuf renferme 34 % de protides, 7 % de lipides, 1 % de glucides sels et minéraux.

Le reste étant de l’eau.



ρeau = 1 Kg/dm3 ; cpeau = 4,18 KJ.kg-1.K-1 ; λeau = 0,5 Kcal.h-1.m-1.K-1 ; **Annexe D (Abaque Fourier cf. votre fascicule thermique)**

Le centre atteint la température de 90°C pour un temps de l’ordre de :

17 s □

124 s □

67 s □

41 s □

58 s □

70 s □

37 s □

B) Passage d’un régime non stationnaire à un régime stationnaire : **(12 pts)**

L’équation de FOURIER en régime non stationnaire, unidirectionnel, en symétrie cylindrique (cylindre de hauteur infinie) s’écrit selon :



(1)

Soit un tuyau cylindrique, creux de rayon intérieur R0 et de rayon extérieur R1.

On mesure la température T0 pour r = R0 et T1 pour r = R1 ; T0 > T1

1. **Représenter** le flux thermique sur un schéma recensant toutes les données (r, R0, R1, T0, T1)
2. Définir le terme **régime stationnaire**.
3. Donner la **conséquence mathématique** de cette définition sur l’équation (1).
4. **En déduire** l’expression de la température en fonction de l’abscisse r au travers du tuyau.
5. **Vérifier** la cohérence de la relation avec les données initiales.
6. **Exprimer** le flux de chaleur de façon littérale en fonction de π, λ (conductivité du matériau à T donnée), T0, T1, R0 et R1. **Représenter** sur le schéma de la question 1, le vecteur flux de chaleur (j) pour deux valeurs de r.

C) Etude thermique d’une paroi composite plane : **(12 pts)**

La constitution d’une paroi d’un tunnel de congélation est la suivante :

La première et la dernière couche sont réalisées en enduit ciment, leur épaisseur qui est identique vaut 2 cm ainsi que leur coefficient de conductibilité λ1 et λ4 dont la valeur est : 0,9 W.m-1.K-1

La deuxième couche réalisée en parpaing a une épaisseur e2 = 0,20 m pour un coefficient de conductibilité λ2 de 0,7 W.m-1.K-1

La troisième couche est composée de polystyrène expansé.

Les températures de l’air de part et d’autre de la paroi sont : θext  = 35 °C et θint  = - 40 °C

Le coefficient de convection côté surface extérieure de la paroi noté he vaut : 20 W.m-2.K-1 alors que le coefficient de convection côté surface interne de la paroi noté hi vaut : 8 W.m-2.K-1

Le régime est stationnaire.

1. **Représenter** rapidement les différentes couches de la paroi en y faisant figurer toutes les données de l’énoncé et le sens de l’écoulement de la chaleur. **Préciser** sur le schéma la nature du mouvement de l’air en échange convectif avec la surface extérieure de la paroi (ascendant ou descendant). **Idem** pour l’air en échange convectif avec la surface intérieure de la paroi.
2. **Calculer** le coefficient global d’échange thermique Keq de la paroi.
3. **Calculer** le flux de chaleur par unité de surface traversant la paroi.
4. **Exprimer**  le flux de chaleur par unité de surface en fonction des différences de températures entre chaque couche de la paroi. **Noter** sur le schéma de la question 1, les températures intermédiaires.

**Préciser** la caractéristique commune à ses 6 équations.

1. **En déduire** les températures de surface extérieure (θ1) et intérieure (θ5) de la paroi. **Vérifier** la cohérence de la réponse de la question 1 sur le sens du mouvement de l’air en échange convectif avec les parois extérieures et intérieures. **Expliquer** le phénomène physique.

Données :

e3 = 0,24 m ; λ3 = 0,033 W.m-1.K-1;

D) Calcul d’un coefficient de convection : **(8 pts)**

Du NO2 passe dans un tube de diamètre 10 cm faisant partie d’un échangeur de chaleur. Le débit du gaz est de 10 L.s-1, la température est de 20 °C et la pression proche de la pression atmosphérique.

On considérera que le dioxyde d’azote est un gaz parfait triatomique.

1. **Calculer** la capacité calorifique massique cP du NO2.
2. **En déduire** la valeur du coefficient hc de convection entre le gaz et la paroi intérieure du tube. **Détailler** tous les calculs et le raisonnement.

Données :

A 20°C : μNO2 = 15. 10-3 centiPoise; λNO2 = 1,51. 10-2 Wm-1.K-1; ρNO2 = 1,85 kg/m3

M(N) = 14 g/mol ; M(O) = 16 g/mol **; Annexe E (Echange thermique par convection forcée (cf. votre fascicule thermique)).**

**Question bonus** : **(2 pts)**

**Entourer** la couleur correspondante à la température de surface du corps rayonnant.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Température de surface du corps considéré (et assimilé à un corps noir) |  | Couleur majoritairement émise | | | | |
| 3090 K | Bleu | Invisible (IR) | Vert | Invisible (UV) | Orange |
| 5800 K | Jaune | Bleu | Vert | Invisible (IR) | Rouge |
| 300 K | Vert | Jaune | Bleu | Invisible (IR) | Rouge |
| 6960 K | Violet | Rouge | Jaune | Vert | Indigo |
| 2000 K | Invisible (UV) | Jaune | Invisible (IR) | Bleu | Orange |
| 8580 K | Vert | Rouge | Invisible (IR) | Invisible (UV) | Bleu |