

TEST ENERGETIQUE 1^{ère} ANNEE

8 MARS 2013

Durée de l'épreuve individuelle : 2 heures

L'emploi de la calculatrice est autorisé.

2 documents autorisés et rédigés par chaque élève :

- une fiche de note personnelle format A4 recto-verso (il s'agit de la fiche utilisée par les élèves pour le test 1 rayonnement)
- et une autre fiche de note personnelle format A4 recto-verso.

Les autres documents et les autres machines (Téléphone, ordinateur, appareil électronique, etc...) ne sont pas autorisés.

- Conductivité thermique : $0,025 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$
- Viscosité cinématique : $1,57\cdot 10^{-5} \text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
- Viscosité dynamique : $1,85\cdot 10^{-5} \text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$
- Chaleur massique : $1006 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$

Δf
 ~~α~~
 α ✓

2.1 Calculez la résistance thermique surfacique de la paroi et le flux thermique surfacique traversant cette paroi.

2.2 Calculez la température superficielle intérieure $T_{\text{surf,int}}$. Déterminez la pression de vapeur saturante P_{vs} à cette température, ainsi que l'humidité spécifique correspondante w_{vs} . Déduisez-en la valeur limite de l'humidité relative intérieure ϵ_{int} pour qu'il n'y ait pas condensation superficielle.

2.3 L'écoulement de l'air le long de la surface intérieure de la paroi se fait en convection naturelle selon la relation de McAdams :

$$N_{\nu} = C \cdot (P_r \cdot G_r)^n$$

où : $C = 0,59$ et $n = 0,25$ en régime laminaire

$C = 0,13$ et $n = 0,33$ en régime turbulent

Calculez N_{ν} , P_r et G_r . Déduisez-en la nature de l'écoulement. On prendra comme éléments caractéristiques :

- Distance : $D = 2,5 \text{ m}$
- Température : $\Delta T = T_{\text{int}} - T_{\text{surf,int}}$
- $B = 1/T_{\text{int}} \text{ [K}^{-1}\text{]}$

hint = 3,5

③ Sous sa forme générale, l'équation de la chaleur s'écrit :

$$\lambda \cdot \Delta T + \text{grad } \lambda \cdot \text{grad } T + P = \rho \cdot c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

3.1 Quelles sont les différentes conditions aux limites usuellement appliquées pour résoudre cette équation ?

3.2 Sous quelles hypothèses peut-on réduire cette équation à la forme suivante ?

$$\lambda \cdot \Delta T + P = 0$$

3.3 Qu'exprime le terme P ? Dans quel(s) cas doit-il être pris en compte ? Quelle en est l'unité ?

④

4.1. En convection, qu'est-ce que la notion de couche limite ? Quelles sont ses caractéristiques ?

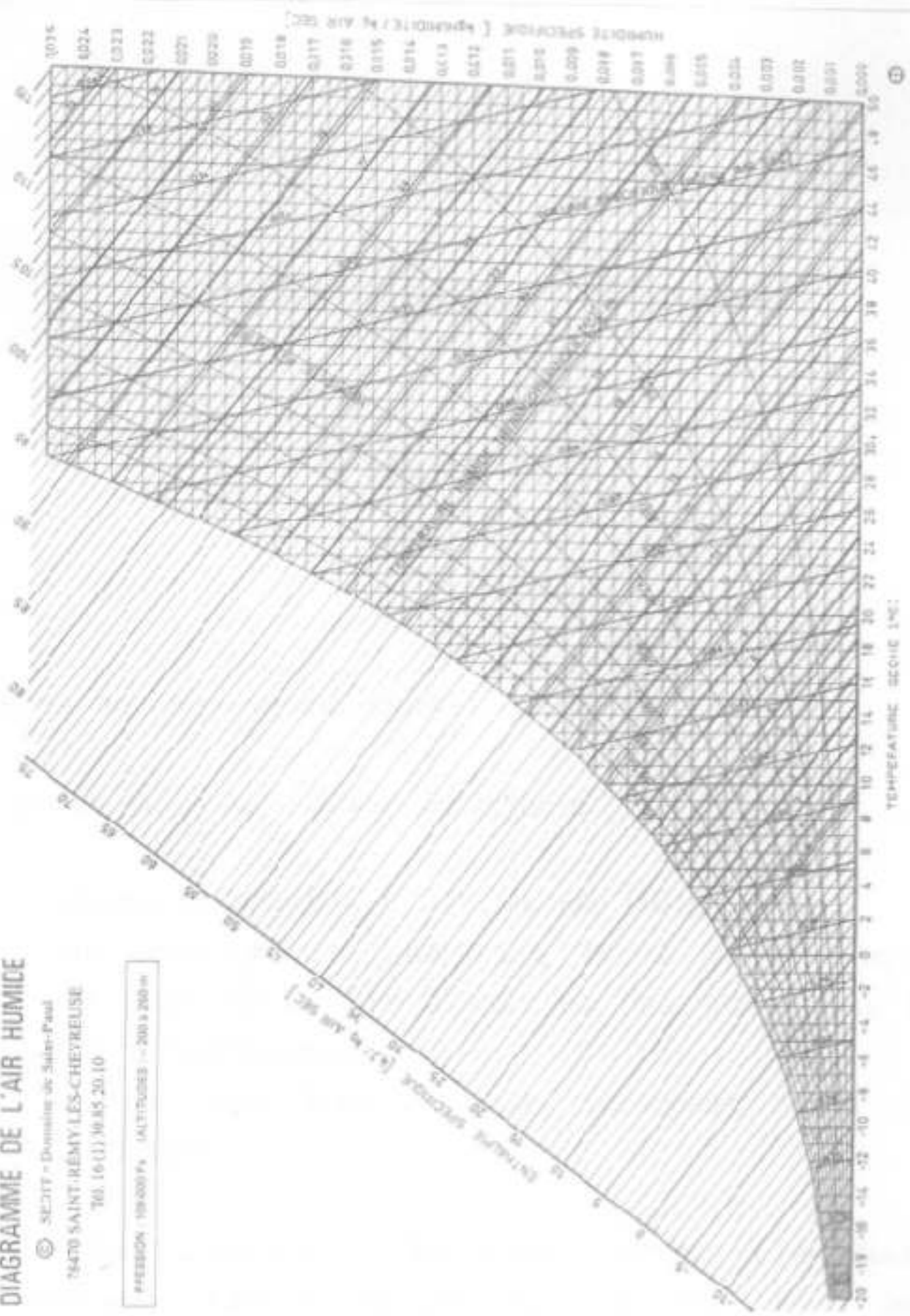
4.2. Numérotez par ordre croissant (de 1 à 5) des conductivités thermiques les corps suivants :

- 4 — Gaz à la pression atmosphérique
- 1 — Matériaux solides isolants (laine de verre...)
- 3 — Matériaux non métalliques (brique, pierre à bâtir...)
- 2 — Métaux liquides
- 5 — Métaux purs

⊕ **DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE**

© SELITT - Domaine de Saint-Paul
 16470 SAINT-RÉMY-LÈS-CHEVREUSE
 Tél. 16 (1) 30 85 20.10

PRESSION 100 000 Pa - ALTITUDES - 200 à 2000 m



Energétique

13,5

Exo 1

B



1.1. l'équation en coordonnées sphériques spher.

$$\Delta T = 0 = \frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dT}{dr} = \frac{1}{r} \frac{d^2}{dr^2} (rT)$$

On a donc $\frac{d^2}{dr^2} (rT) = 0$ donc $rT = ar + b$

$$\text{Donc } T(r) = a + \frac{b}{r} \quad \forall r \in [R_{int}; R_{ext}]$$

Or d'après les conditions aux limites

$$T(r = R_{int}) = T_{ber} \quad \text{et} \quad T(r = R_{ext}) = T_{vide}$$

~~Donc comme T est fini ($\lim_{r \rightarrow 0} T(r) = +\infty$ si $b \neq 0$)~~
~~donc $b = 0$~~

~~$$\text{et } T(r) = a$$~~

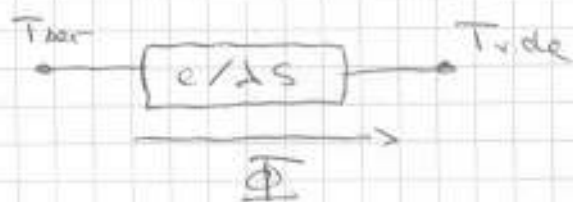
~~$$\text{Donc } T(r) = T_{vide}$$~~

$$\text{Donc } \left\{ \begin{array}{l} a + \frac{b}{R_{int}} = T_{ber} \\ a + \frac{b}{R_{ext}} = T_{vide} \end{array} \right. \Leftrightarrow \left\{ \begin{array}{l} b = (T_{ber} - T_{vide}) \left(\frac{R_{int} R_{ext}}{R_{int} - R_{ext}} \right) \\ a = T_{ber} - (T_{ber} - T_{vide}) \frac{R_{ext}}{R_{int} - R_{ext}} \end{array} \right.$$

Donc $T(r) = T_{ber} + \frac{R_{int} R_{ext} (T_{ber} - T_{v,de})}{R_{ext} - R_{int}} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{R_{int}} \right)$

On a $\Phi = \frac{4\pi \lambda R_{int} R_{ext} (T_{ber} - T_{v,de})}{R_{ext} - R_{int}}$

Car l'analogie électrique donne



Ainsi: $R_{therm} = \frac{e}{\lambda S} = \frac{R_{ext} - R_{int}}{4\pi R_{ext} R_{int}}$

1.2 Applications numériques

$R_{int} = 750m$
 $R_{ext} = 800m$

$\lambda = 0.1 W m^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$

$T_{ber} = 20^\circ C$

$T_{v,de} = 3K = -270.15^\circ C$

On a $\Phi = 4,38 \times 10^6 W$

$R_{ther} = 6,63 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ C \cdot W^{-1}$

Exo 2 (3)

Schéma



L'analogie électrique associée peut s'écrire sous forme de résistance en série



Ainsi la résistance totale (conduction + convection) de la paroi par unité de surface est :

$$R_{th} = \frac{1}{h_{ext}S} + \frac{e_1}{\lambda_{c1}ns} + \frac{e_2}{\lambda_{c2}ns} + \frac{e_3}{\lambda_{c3}ns} + \frac{1}{h_{int}S}$$

AN: $R_{th} = \frac{0,53}{1,78} \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$

et $\Phi_{th} = \frac{(T_{int} - T_{ext})}{R_{th}}$ AN: $\Phi_{th} = 1,82 \text{ W}$

2.2 on a $\frac{T_{int} - T_{int\text{ surf}}}{1/h_{int}} = \Phi_1$

et $\frac{T_{int\text{ surf}} - T_{ext}}{R_{th} - \frac{1}{h_{int}}} = \Phi - \Phi_1$

Donc $\frac{T_{int} - T_{int\text{ surf}}}{1/h_{int}} = \Phi - \frac{T_{int\text{ surf}} - T_{ext}}{R_{th} - 1/h_{int}}$

Donc $T_{int\text{ surf}} = \frac{T_{ext} + T_{int} h_{int} (R_{th} - \frac{1}{h_{int}}) - \Phi (R_{th} - \frac{1}{h_{int}})}{h_{int} \times R_{th} - 1}$

AN: $T_{int\text{ surf}} = 18,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

On a $P_{vs} = 10 \left(\frac{7,625 T_{int\text{ surf}}}{241 + T_{int\text{ surf}}} + 2,7877 \right)$

AN: $P_{vs} = 2158 \text{ Pa}$

$$\text{On a } w_{int} = \frac{m v}{m a s} = \frac{P_r V M v}{R T} \times \frac{R T}{P V M a s} = \frac{P_r M v}{M a s P}$$

AN: $w_{int} = 0,0134 \text{ unités}^1$

On en déduit que la valeur limite de ε_{int} est $\varepsilon_{int} = 0,015$ (avec le diagramme)
 on parle d'humidité relative là, c'est quoi est ε ?

2.3 On a $Nu = \frac{h_{int} \Delta}{\lambda F}$ $Gr = \frac{g \beta T \Delta^3}{\nu^2}$

$$Pr = \frac{\nu}{a}$$

0,5 AN: $Nu = 350$

$$Pr = 1,18$$

$$Gr = 4,56 \times 10^{11}$$

et on a pour

$$C = 0,99 \text{ et } n = 0,25$$

$$Nu = C \cdot (Pr \cdot Gr)^n$$

Donc le régime est laminaire

Exo 3

1,5

3.1 - Deux grands types de conditions aux limites peuvent être imposés pour résoudre cette équation:

- op
 - Condition de Dirichlet : on impose une température sur un point ou une surface ou à l'intérieur d'un volume
 - Neumann : on impose un flux à une surface.

3.2. On peut réduire l'équation de la chaleur à sa forme simple $\lambda \Delta T + P = 0$ si:

- op
 - on est en régime permanent : $\partial T / \partial t = 0$
 - λ est une constante par rapport à la température car $\text{grad} \lambda = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial \lambda}{\partial T} \times \text{grad} T = 0 \Leftrightarrow \frac{\partial \lambda}{\partial T} = 0$

Energetique

3.3 Le terme P exprime la quantité interne de production de chaleur du matériau.

0,5 Son unité est le $W \cdot m^{-3}$

Il doit être pris en compte si le matériau produit de la chaleur ce qui n'est pas souvent le cas.

Par exemple $P \neq 0$ si l'on considère un matériau qui rentre en réaction η et qui produit ainsi de la chaleur au niveau interne (chimique)

Exo 4 (1)

4.1 La couche limite est une couche de fluide autour d'un solide où il y a apparition d'un régime turbulent. C'est aussi la partie pour laquelle on ne peut pas considérer le fluide comme parfait.

Profil de vitesse autour de la couche limite.

0,5



Sa dimension caractéristique e peut être calculé avec

$$Re_e = \frac{e \cdot h \cdot \rho}{L}$$

0,5 4.2. Plus la conductivité d'un matériau est faible moins il conduit la chaleur

2 Par exemple pour la laine de verre on est de l'ordre de $\lambda = 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

3 Ensuite les gaz à la pression atmosphérique sont de bon isolant puisque l'on utilise l'air comme isolant pour les fenêtres en double vitrage
↳ Par contre il ne doit pas avoir de circulation de l'air.

3 Puis les métaux non métalliques qui conduisent par la chaleur
Par exemple pour le ciment $\lambda = 1,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

4 Puis les métaux liquides et enfin les métaux purs
5 qui conduisent très bien la chaleur

Quel est votre chemin alors?