

Table des matières

Table des matières	1
Dilatation	3
BTS Assistant en Création Industrielle 2001	3
BTS Enveloppe du bâtiment 2000	3
Calorimétrie	4
BTS Maintenance et Après Vente Automobile 1998	4
BTS Industries Céramiques 2001	4
BTS Plastiques et Composites 2001	4
BTS Plasturgie 2002	5
Diplôme d'Expert Automobile 2000	6
BTS Etudes et Economie de la Construction 2000	6
BTS Esthétique Cosmétique 2001	6
BTS Mise en Forme des Alliages Moulés 2001	7
BTS Mise en Forme des Matériaux par Forgeage 2001	7
BTS Maintenance et Après Vente Automobile 2001	7
BTS Maintenance Industrielle 1997, Nouméa	8
BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2001	8
BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2002	9
BTS Bâtiment 1993	9
BTS Economie Sociale et Familiale 2001	10
BTS Etudes et Economie de la construction 2004	11
Transferts de chaleur	12
BTS Peintures, encres et adhésifs 2004	12
Conduction, Résistance thermique	12
BTS Domotique 1989	12
BTS Travaux Publics 1975	13
BTS Travaux Publics 1988	13
BTS Travaux Publics 1992	13
BTS Plasturgie 2002	14
BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2002	14
BTS Domotique 1996	14
BTS Domotique 2001 :	15
BTS Bâtiment 1992	15
BTS Bâtiment 1996	16
BTS Industries Céramiques 2002	16
BTS Productique Bois 2002	17
BTS Architecture Intérieure 2002	17
BTS Architecture intérieure 2003	19
BTS Industries céramiques 2004	19
BTS Traitement des matériaux 2004	20
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2004	21
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999	22
Convection et coefficient global	24
BTS Equipement Technique Energie 2000	24
BTS Architecture	24
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1997	25
BTS Bâtiment 1981	26
BTS Bâtiment 1994	26
BTS Bâtiment 1990	26
BTS Bâtiment 1998	27
BTS Bâtiment 2000	27
BTS Bâtiment 2001 Nouméa	28

BTS Bâtiment 2002.....	29
BTS Enveloppe du Bâtiment 2000.....	30
BTS Enveloppe du Bâtiment 2003.....	30
BTS Architecture Intérieure 2003	31
BTS Domotique 1991	32
BTS Domotique 2002	32
BTS Bois 1999	33
BTS Travaux Publics 2003	34
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999.....	35
Rayonnement.....	37
BTS Enveloppe du Bâtiment 2002.....	37
BTS Domotique 1997	38
BTS Travaux Publics 1986	38
BTS Travaux Publics 2000	39
BTS Bâtiment 1973.....	39
BTS Bâtiment 1987.....	39
BTS Systèmes Constructifs Bois et Habitat 2002	40
Échangeurs	43
BTS Fluides Énergie Environnement 2001 Épreuve de Fluidique.....	43
BTS Industries Papetières 2002.....	45
BTS Chimiste 2000 : épreuve de génie chimique.....	46
BTS Biotechnologies 2000.....	46
BTS Construction Navale 2002	47
BTS Conception et Réalisation de Carrosserie 2003	48
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2004.....	49
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2004	50

Dilatation

BTS Assistant en Création Industrielle 2001

On se propose d'étudier un chauffe-eau électrique à fixation murale.

Etude thermique

Le chauffe-eau goutte régulièrement quand le chauffage de l'eau a lieu.

1. Le coefficient de dilatation volumique α_v de l'eau est égal à $3,6 \times 10^{-4} \text{ K}^{-1}$. Quel est le volume $V_{(80)}$ d'une masse d'eau à $\theta = 80^\circ \text{ C}$, sachant que son volume $V_{(15)}$ à 15° C est de 30 litres ?
2. La cuve est réalisée en acier inoxydable de coefficient de dilatation linéaire $\alpha_L = 12 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. Quel est le volume $V'_{(80)}$ de la cuve à $\theta = 80^\circ \text{ C}$, sachant que son volume $V'_{(15)}$ à 15° C est de 30 litres ? (On rappelle que $V'_{(\theta)} = V'_{(0)} (1 + 3\alpha_L \theta)$ avec $V'_{(0)}$ volume de la cuve à 0° C).
3. En conclusion : quel volume ΔV d'eau s'échappe de la cuve lors de son chauffage de 15° C à 80° C ?

BTS Enveloppe du bâtiment 2000

On considère une vitre $L = 1,5 \text{ m}$ sur $l = 1,2 \text{ m}$ à 0° C dans tout l'exercice.

Données

- On donne le coefficient de dilataion linéique du verre $\alpha_L = 0,8 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
- Rappels: $\Delta S = \alpha_s \cdot S_0 \cdot \Delta \theta$

Dilatation surfacique du vitrage

1. Calculer l'augmentation de surface ΔS_v si la température de la vitre subit une variation de $+20^\circ \text{ C}$.
2. On montre que la variation de surface de l'ouverture, au niveau de la menuiserie, est de $\Delta S_m = 16,6 \text{ cm}^2$.
Comparer les deux quantités ΔS_v et ΔS_m
Que pourrait-il se passer si, à la place d'une élévation de température, la température chutait de 20° C ?

Calorimétrie

BTS Maintenance et Après Vente Automobile 1998

Une automobile de masse $m = 840$ kg roulant à $v = 72$ km \cdot h⁻¹ s'arrête brusquement à l'aide de ses *quatre* freins à disques. On assimile ces derniers à des cylindres de rayon $r = 10$ cm et d'épaisseur $e = 1,0$ cm, de masse volumique $\rho = 8,0$ g \cdot cm⁻³, de chaleur massique $c_p = 0,42$ J \cdot g⁻¹ \cdot K⁻¹.

1. Calculer l'énergie cinétique E_c du véhicule juste avant le freinage.
2. Calculer l'élévation de température d'un disque en supposant qu'ils absorbent toute la chaleur, et que chaque disque en absorbe autant que les autres.

BTS Industries Céramiques 2001

Afin de déterminer la capacité thermique massique c_1 d'une brique non poreuse, on réalise l'étude suivante sur un échantillon de masse $m_1 = 100$ g.

Pour cela, on dispose d'un calorimètre de capacité thermique $\mu = 209$ J \cdot °C⁻¹ contenant une masse d'eau $m_2 = 400$ g de capacité thermique massique $c_2 = 4,18$ J \cdot g⁻¹ \cdot °C⁻¹, l'ensemble étant à la température $\theta_2 = 16,0$ °C.

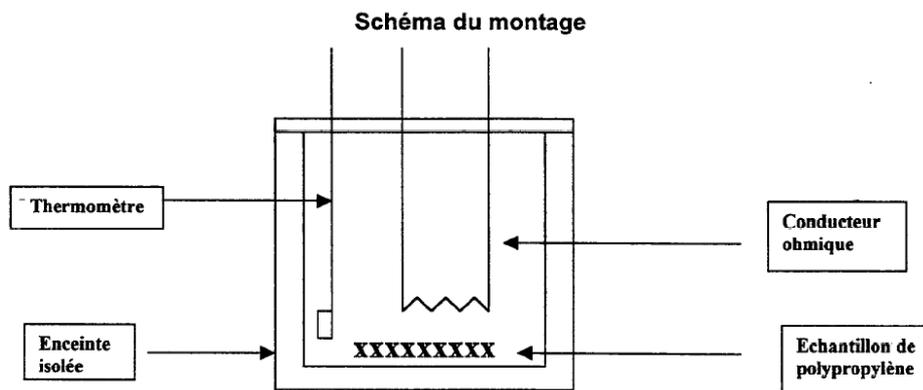
L'échantillon est placé dans une étuve dont la température est fixée à $\theta_1 = 98,0$ °C. Une fois l'équilibre thermique réalisé, on sort l'échantillon et on le plonge rapidement dans le calorimètre. La température finale d'équilibre est $\theta_F = 19,9$ °C.

1. Donner l'expression littérale de la quantité de chaleur cédée par la brique au système {eau+calorimètre} en fonction de m_1 , c_1 et des températures θ_1 et θ_F .
2. Donner l'expression littérale de la quantité de chaleur reçue par le système {eau+calorimètre} en fonction de m_2 , c_2 , μ et des températures θ_2 et θ_F .
3. Déterminer la capacité thermique massique c_1 de la brique (On exprimera tout d'abord cette capacité en fonction des grandeurs m_1 , m_2 , c_2 , μ , θ_2 , θ_1 , θ_F et on la calculera).

Remarque : On négligera tout échange de chaleur avec le milieu extérieur (calorimètre supposé adiabatique).

BTS Plastiques et Composites 2001

On se propose de mesurer la capacité thermique massique d'un polypropylène (PP). L'appareil de mesure utilisé est un calorimètre qui fonctionne à pression constante. Le système est parfaitement isolé.



Le conducteur ohmique placé dans le calorimètre est un fil métallique de résistance $R = 2,0$ Ω

1. Quelle est la quantité d'énergie W apportée par le conducteur ohmique dans le calorimètre s'il est parcouru par un courant d'intensité $I = 2,8$ A pendant une durée $\Delta t = 90$ s.
2. On place $m = 50,0$ g de polypropylène dans le calorimètre à une température initiale $\theta_0 = 15,0$ °C.

Après un apport d'énergie $Q = 1,4$ kJ; la température à l'intérieur du calorimètre se stabilise à $\theta_e = 28,0$ °C.

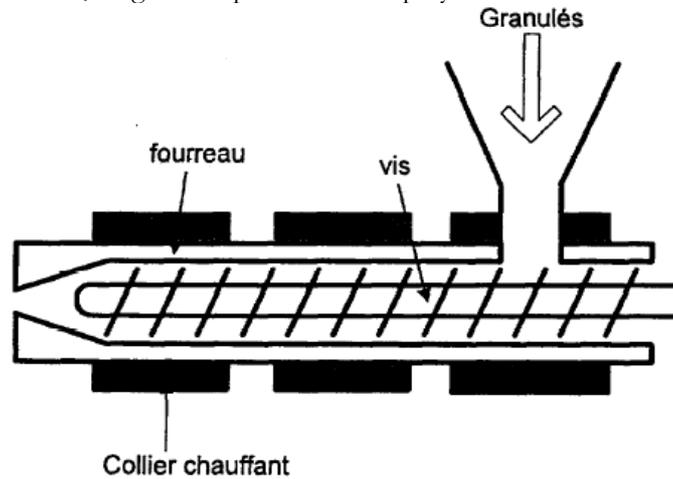
- 2.1. Calculer Q_1 , quantité de chaleur absorbée par le calorimètre et ses accessoires, si la capacité thermique du calorimètre et de ses accessoires est $C = 18$ J \cdot K⁻¹.
- 2.2. Établir une relation entre Q , Q_1 et Q_2 (quantité de chaleur absorbée par l'échantillon).
- 2.3. Calculer la capacité thermique massique C_p de ce polypropylène.
3. On fournit la même quantité de chaleur à deux échantillons de masses identiques, l'un en polypropylène et l'autre en acier : déterminer qualitativement l'échantillon dont la température s'élève le plus.

Donnée :

Capacité thermique massique de l'acier: $0,45 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

BTS Plasturgie 2002

On réalise l'injection d'un polyéthylène (PE). On se propose de déterminer l'énergie nécessaire à la transformation, au niveau de la vis, de granulés pris à 18°C en polymère fondu à 200°C .



Données relatives au polymère utilisé :

- Température initiale des granulés $\theta_1 = 18^\circ\text{C}$
- Température d'injection $\theta_2 = 200^\circ\text{C}$
- Densité : $d = 0,92$
- Température de fusion $\theta_f = 110^\circ\text{C}$
- Capacité thermique massique du polymère solide: $c_s = 3,2 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (ou $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
- Capacité thermique massique du polymère fondu: $c_L = 3,1 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (ou $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$)
- Variation d'enthalpie massique de fusion: $\Delta H_f = 1,6 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Variation d'enthalpie massique de fusion pour un polyéthylène 100% cristallin $\Delta H_f^\circ = 2,8 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$

1.

- 1.1. L'énergie nécessaire pour élever la température de 12 kg de polymère pris à 18°C jusqu'à la température de fusion a pour valeur $Q_1 = 5,5 \times 10^6 \text{ J}$. Retrouver ce résultat.
- 1.2. Calculer la valeur Q_2 de l'énergie nécessaire pour élever la température de 12 kg de polymère fondu de la température de fusion (110°C) à la température d'injection (200°C).
- 1.3. Dédire des résultats des questions précédentes la valeur Q de l'énergie nécessaire pour obtenir, à partir de granulés pris à 18°C , 12 kg de polymère à la température de 200°C nécessaire à l'injection.

2. Le chauffage est assuré par trois colliers chauffants assimilés à trois conducteurs ohmiques ayant chacun une résistance $R = 100 \text{ W}$. Ils sont alimentés en triphasé 220V/380V–50Hz. Ces conducteurs ohmiques sont montés en étoile (sans neutre).

Faire un schéma du montage mettant en évidence les trois fils de phase (P1, P2, P3), les trois conducteurs ohmiques, une tension simple v et une tension composée u .

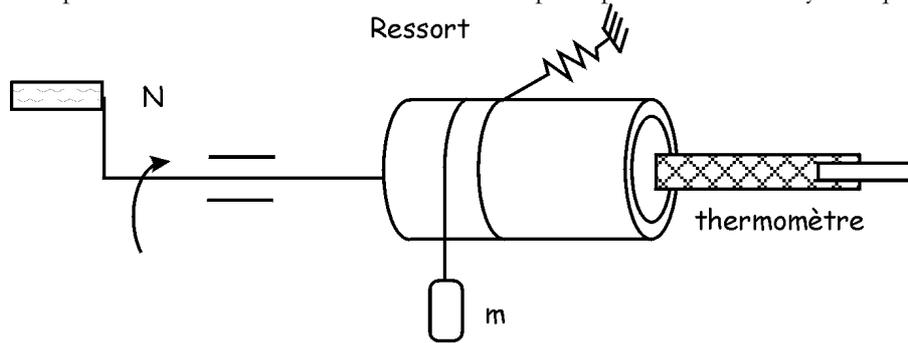
Calculer la valeur efficace du courant dans chaque conducteur ohmique et la valeur de la puissance totale dissipée par effet Joule.

3. On a mesuré, sur un échantillon de masse $m = 21,2 \text{ mg}$, une variation d'enthalpie de 3,4 J lors de la fusion. Calculer la variation d'enthalpie massique correspondant à la fusion de ce polyéthylène. En déduire son taux de cristallinité X_c .

La valeur de la variation d'enthalpie massique obtenue est-elle en cohérence avec les données de l'énoncé ?

Diplôme d'Expert Automobile 2000

Etude d'un dispositif permettant de mettre en évidence un des principes de la thermodynamique.



Soit un tambour de cuivre de masse $M_t = 0,40$ kg, de diamètre $D = 10$ cm et de capacité thermique massique $C_{Cu} = 0,38 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ contenant 0,50 litre d'eau de capacité thermique massique $C_{eau} = 4,19 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Lors de la rotation, le fil de cuivre de masse négligeable tendu par la masse $m = 8,0$ kg frotte sur le tambour et entraîne un échauffement.

1. Etude mécanique.

Lors de la rotation, la masse m est fixe, le ressort n'est pas tendu l'ensemble des forces de frottement du fil sur le tambour correspond alors au poids de la masse m .

1.1. Déterminer et calculer le moment résultant de l'ensemble des forces appliquées au tambour par rapport à son axe. (on rappelle que l'accélération gravitationnelle est $g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

1.2. Déterminer et calculer le travail des forces de frottement lorsque la manivelle effectue $N = 400$ tours.

2. Etude thermique.

La température initiale du tambour et de l'eau est égale à $t_i = 17^\circ\text{C}$.

2.1. Déterminer la quantité de chaleur reçue par le tambour et l'eau, si on admet que 95% de la chaleur produite par la transformation du travail mécanique des forces de frottement est absorbée par le système tambour + eau.

2.2. Donner l'expression de cette quantité de chaleur en fonction des températures t_f et t_i .

Calculer numériquement $t_f - t_i$ après 400 tours de manivelle

BTS Etudes et Economie de la Construction 2000

Un ballon d'eau chaude électrique a une capacité de 240 L. Le réchauffage de l'eau s'effectue en tarif de nuit de 22 h 30 à 6 h 30. L'eau est portée de la température $\theta_0 = 10,0^\circ\text{C}$ à la température $\theta_1 = 85,0^\circ\text{C}$.

On donne

- la capacité thermique massique de l'eau: $C = 4186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- la masse volumique de l'eau $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1. Calculer l'énergie Q nécessaire au chauffage de l'eau du ballon.

2. Calculer la puissance électrique minimale du chauffe-eau.

3. Calculer le coût de l'opération, sachant qu'EDF facture un tarif de nuit à 0,3814 F TTC (0,0581 €) le kWh.

4. À 6 h 30, on effectue rapidement un premier puisage de $V_1 = 80$ L d'eau dans le ballon à $\theta_1 = 85,0^\circ\text{C}$.

Calculer la température θ_2 du ballon immédiatement après le puisage. (On suppose que le remplissage se fait encore avec de l'eau à $10,0^\circ\text{C}$).

Un second puisage effectué à 12 h 30 donne de l'eau à une température $\theta_2 = 57,0^\circ\text{C}$. En déduire la puissance moyenne perdue par l'eau du ballon

BTS Esthétique Cosmétique 2001

Dans cet exercice, on négligera les pertes thermiques.

Un appareil à cire est constitué d'une cuve en aluminium de masse 0,25 kg, chauffée par une résistance thermo-régulée.

La puissance électrique de cet appareil est de 200 W.

La cuve contient 500 g de cire, resolidifiée après fusion et épousant donc la forme de la cuve. L'ensemble est à la température ambiante de 18°C .

Cette cire dite « tiède » commence à fondre à 37°C . Le début de la fusion est observé au bout de 2 min 10 s.

1. Calculer la capacité thermique massique de la cire solide.
2. Il faut encore attendre 12 min après le début de la fusion pour que la cire soit totalement fondue,
 - 2.1. Cette cire n'étant pas un corps pur, que peut-on dire de la température en fin de fusion ?
 - 2.2. Calculer la quantité de chaleur nécessaire à cette deuxième étape.
 - 2.3. En négligeant la quantité de chaleur absorbée par la cuve, déduire la quantité de chaleur nécessaire à la fusion de 1 kg de cette cire.

Donnée

- Capacité thermique massique de l'aluminium $c_{Al} = 895 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

BTS Mise en Forme des Alliages Moulés 2001

1. La fusion d'une masse $m = 100 \text{ kg}$ de plomb nécessite une énergie $Q = 2500 \text{ kJ}$. On la réalise dans un four triphasé sous une tension $U = 380 \text{ V}$ et avec une intensité $I = 5 \text{ A}$. Elle dure un temps t que l'on souhaite calculer.

Exprimer Q en fonction de U , I et t et calculer la durée t de la fusion.

2. Le plomb fond à la température $\theta_f = 327,5 \text{ }^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique normale. La chaleur latente de fusion est $L_f = 24,6 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. On coule une masse $m = 100 \text{ g}$ de plomb liquide à la température θ_f dans un moule et on attend sa solidification.

Calculer la quantité de chaleur échangée par le plomb avec l'extérieur pendant la phase de solidification.

3. On sort un bloc de plomb de masse $m_1 = 280 \text{ g}$ d'une étuve à la température $\theta_1 = 98 \text{ }^\circ\text{C}$. On le plonge dans un calorimètre de capacité thermique $C = 209 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ contenant une masse $m_2 = 350 \text{ g}$ d'eau ; l'ensemble est à la température initiale $\theta_2 = 16 \text{ }^\circ\text{C}$. On mesure la température d'équilibre thermique $\theta = 17,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Déterminer en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ la chaleur massique c du plomb.

On négligera toutes les fuites thermiques.

Donnée

- La chaleur massique de l'eau est: $c_{\text{eau}} = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

BTS Mise en Forme des Matériaux par Forgeage 2001

Afin de percer un trou dans un connecteur, on utilise un laser CO_2 de puissance $1,0 \text{ kW}$. Le diamètre du faisceau, supposé parfaitement cylindrique sur le connecteur, est égal à $0,5 \text{ mm}$. Le connecteur est en fer et a une épaisseur de $3,0 \text{ mm}$.

Données :

- Puissance électrique consommée par le laser : $1,8 \text{ kW}$.
- Chaleur massique du fer solide : $C_{\text{fer}} = 448 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Chaleur latente de fusion du fer : $L_{\text{fer}} = 270 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.
- T de fusion du fer : $\theta_{\text{fus}} = 1535 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Masse volumique du fer : $\rho_{\text{fer}} = 7800 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1. Calculer le rendement de ce laser.
2. Donner l'expression de l'énergie W apportée par le rayonnement laser en fonction de la puissance P du laser et du temps t pendant lequel s'effectue cet apport d'énergie. Préciser les unités.
3. Calculer la durée minimale pour percer la pièce, c'est-à-dire pour réaliser la fusion du fer initialement à $20,0^\circ\text{C}$.

BTS Maintenance et Après Vente Automobile 2001

Durant les périodes froides, lorsque la température descend trop bas, le lancement de certains moteurs diesel, non équipés de bougies de chauffage, est difficile. Une des solutions qui a été utilisée (essentiellement sur des camions diesel) est le réchauffage de l'air avant son admission dans les cylindres, au lancement du moteur. Le dispositif se compose d'un manchon métallique renfermant une ou plusieurs résistances électriques enroulées autour de la tuyauterie d'admission d'air après le filtre à air. Nous allons étudier et dimensionner le système de réchauffement d'un camion diesel de 6 cylindres dont chaque cylindre a un volume de $0,2 \text{ L}$. On considère le cylindre totalement occupé par de l'air initialement à la température ambiante de -2°C .

Après le lancement du moteur, pour que celui-ci fonctionne correctement, il doit admettre pendant une minute de l'air à 20°C . Le système réchauffeur d'air est actionné pendant cette minute.

1. Le moteur tourne à 1200 tours par minute. Chaque tour correspond à 2 admissions. Quel est le volume d'air réchauffé pendant la minute qui suit le lancement du moteur ?

- On assimile l'air à un gaz diatomique de capacité thermique volumique $C_p = 0,95 \text{ J} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. L'air admis doit être à la température de 20°C pour que le moteur fonctionne correctement. Calculer la quantité de chaleur que l'on doit fournir à l'air admis.
- L'énergie électrique est totalement dissipée par les résistances sous forme de chaleur mais seulement 50% sert réellement au réchauffage de l'air d'admission. Montrer que l'énergie électrique absorbée par le système pendant son fonctionnement est $W_E = 20 \text{ kJ}$.
- Quelle est la puissance que doivent dissiper les résistances pendant leur fonctionnement ?

BTS Maintenance Industrielle 1997, Nouméa

Une entreprise doit installer un dispositif de chauffage de l'eau de distribution de la ville. Captée à la température $\theta_1 = 15^\circ\text{C}$, l'eau doit être livrée à la température finale $\theta = 85^\circ\text{C}$. Le dispositif est prévu pour réchauffer une masse $M = 1000 \text{ kg}$ d'eau par heure.

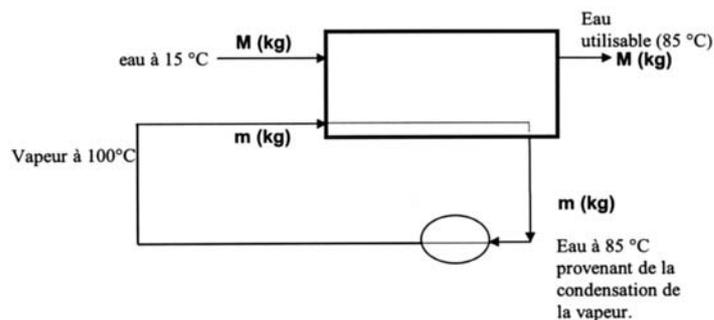
On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4190 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Le dispositif de chauffage (voir figure 1 de l'annexe) comporte une chaudière qui produit par heure une masse m de vapeur d'eau à 100°C . Cette vapeur pénètre avec l'eau à réchauffer dans un échangeur supposé parfaitement calorifugé.

- Calculer la quantité de chaleur Q_{eau} absorbée par 1000 kg d'eau dont la température passe de 15°C à 85°C . Calculer la puissance calorifique reçue par l'eau à réchauffer.
- La chaleur est fournie par la combustion de fuel dans la chaudière. Chaque kilogramme de fuel brûlé donne une quantité de chaleur de $4,2 \times 10^7 \text{ J}$. En supposant le rendement de la chaudière égal à $0,80$; calculer la consommation horaire de fuel.
- Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_1 absorbée par une masse m de vapeur d'eau qui passe de l'état gazeux à l'état liquide. (La chaleur de condensation de la vapeur d'eau est $L_c = -2257,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_2 absorbée par la masse m d'eau provenant de la condensation de la vapeur en passant de la température $\theta_1 = 100^\circ\text{C}$ à la température $\theta_2 = 85^\circ\text{C}$.
- On considère le système formé par la masse M d'eau à réchauffer et la masse m de vapeur d'eau. On admet que ce système n'échange pas de chaleur avec l'extérieur (transformation adiabatique).
 - Ecrire l'équation calorimétrique reliant Q_{eau} , Q_1 et Q_2 .
 - En déduire la masse m de vapeur d'eau nécessaire pour faire passer de 15°C à 85°C la température de 1000 kg d'eau.

ANNEXE

Figure 1



BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2001

On se propose d'étudier le circuit primaire de la centrale nucléaire de Nogent-sur-Seine.

De l'eau sous pression circule dans ce circuit en parcours fermé (voir Figure 1). Elle 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, par le circuit secondaire (non représenté) pour produire de l'énergie électrique.

Pour l'étude qui suit, on considère que tous les points du circuit primaire sont à la même altitude.

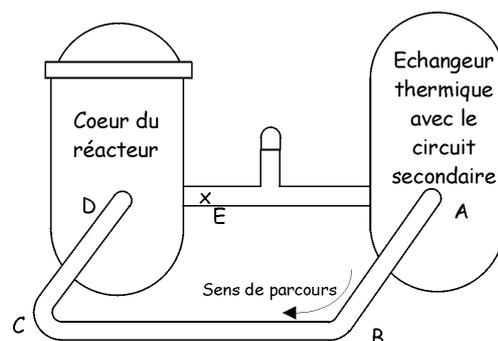


Figure 1 : circuit primaire

Données numériques

- Débit massique de l'eau : $\dot{Q}_m = 13,2 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Diamètre de la conduite du circuit primaire : $D = 600 \text{ mm}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Température de l'eau à l'entrée du cœur (point D) : $\theta_e = 286 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Température de l'eau à la sortie du cœur (point E) : $\theta_s = 323 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Capacité thermique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Puissance électrique nette produite par la centrale : $P_{\text{elec}} = 920 \text{ MW}$.

Étude thermodynamique

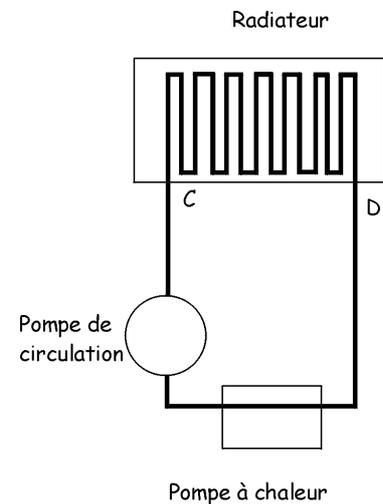
1. Quelle est la quantité de chaleur Q reçue en une seconde par l'eau du circuit primaire dans le cœur du réacteur ?
2. En déduire la puissance thermique moyenne P reçue par l'eau du circuit primaire, c'est-à-dire la quantité de chaleur qu'elle reçoit par seconde ?
On exprimera le résultat en MW.
3. En déduire le rendement η de la centrale nucléaire.

BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2002

On se propose d'étudier le fonctionnement d'une pompe à chaleur alimentant un radiateur modélisé par une canalisation cylindrique.

Données

- Débit volumique de l'eau : $Q_v = 4,17 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Diamètre intérieur des canalisations : $d = 1,5 \times 10^{-2} \text{ m}$.
- Masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.
- Viscosité cinématique de l'eau : $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Longueur des canalisations du radiateur $L_{CD} = 3 \text{ m}$.
- Capacité massique thermique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Vitesse de déplacement u de l'eau dans la canalisation du radiateur.
 $u = 0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$



La pièce chauffée par le radiateur nécessite des besoins énergétiques de 5 000 kWh sur 200 jours.

1. Calculer la puissance du radiateur. Pour la suite du problème on prendra une puissance $P = 1 \text{ kW}$.
2. Calculer le temps t_{CD} mis par un échantillon d'eau pour parcourir les canalisations de longueur L_{CD} à l'intérieure du radiateur.
3. En déduire que la quantité de chaleur fournie par le radiateur au local pendant le temps t_{CD} est $W = 12 \text{ kJ}$.
4. Montrer que le volume total V d'eau que peut contenir le radiateur entre les points C et D vaut $V = 0,53 \text{ L}$.
5. En déduire la masse m d'eau contenue dans le radiateur.
6. On considère que la quantité de chaleur fournie au radiateur par l'eau est intégralement transmise au local.
Calculer la variation de température de cette masse d'eau au cours d'un passage dans le radiateur pendant la durée t_{CD} .

BTS Bâtiment 1993

Le débit d'eau dans un radiateur est noté q'_v . L'eau chaude pénètre dans le radiateur à la température θ_1 . Elle ressort à la température θ_2 . L'installation comporte dix radiateurs. La chaudière récupère l'eau provenant des radiateurs, à la température θ_2 et la réchauffe à la température θ_1 .

1. Exprimer la quantité de chaleur Q , dégagée par un radiateur en une minute. Calculer Q .
2. Calculer la puissance du radiateur.
3. La chaudière utilise comme combustible du gaz. Le rendement de la combustion est de 80%. La chaleur de combustion de ce gaz est $890 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Le volume molaire de ce gaz, mesuré dans les conditions de combustion est $24 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$. Calculer le débit du gaz brûlé.

Données : $q'_v = 0,035 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$; $\theta_1 = 75 \text{ }^\circ\text{C}$; $\theta_2 = 65 \text{ }^\circ\text{C}$; $C = 4185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

BTS Economie Sociale et Familiale 2001

Données

- volume molaire d'un gaz (conditions normales de température et de pression) : $25 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$
- proportion de dioxygène dans l'air (en volume) : $1/5$
- chaleur de combustion du méthane dans les conditions de l'expérience: $900 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- masse de l'autocuiseur: 2 kg
- masse de la soupape : 50 g
- section de l'orifice d'échappement de la vapeur: 10 mm^2
- intensité du champ de pesanteur: $g = 10 \text{ kg} \cdot \text{N}^{-1}$
- capacité thermique massique
 - des matériaux de l'autocuiseur : $c' = 0,5 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 - de l'eau : $c = 4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- masse volumique de l'eau : $1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$
- pression atmosphérique normale : 10^5 Pa
- chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température d'ébullition: $2000 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

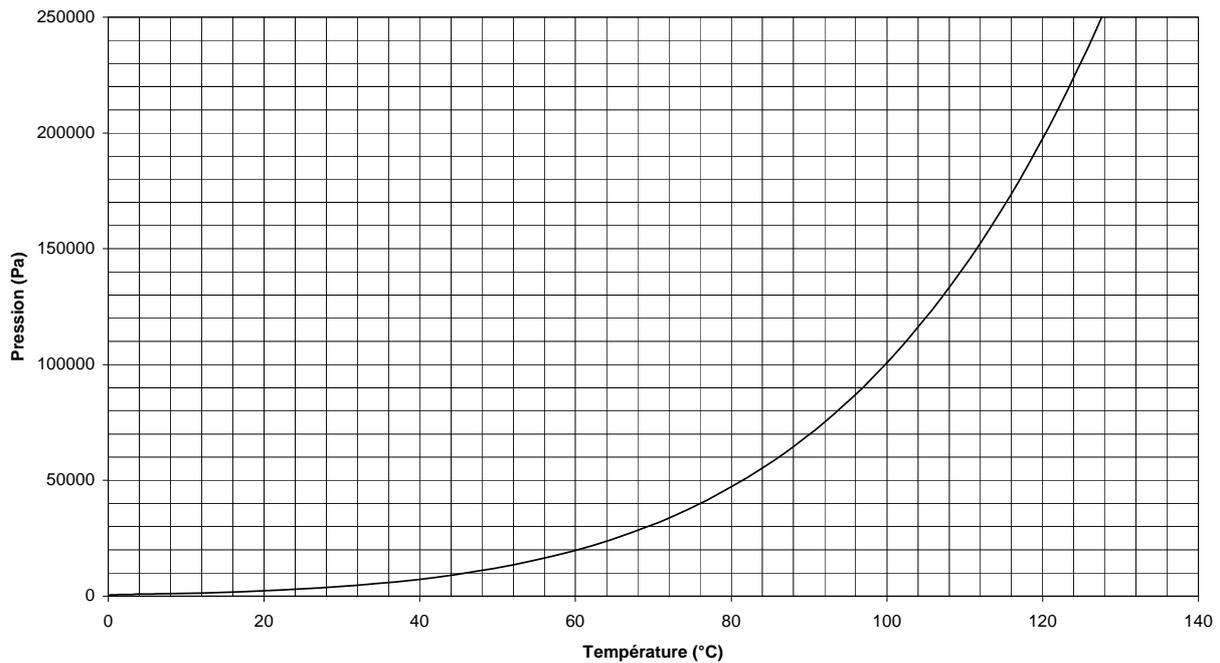
Depuis quelques années, le consommateur se trouve devant un large choix d'appareils de cuisson utilisant le gaz comme source d'énergie.

Etude d'une cuisson sous pression

Un autocuiseur est utilisé pour cuire des carottes. L'ensemble eau-carottes est assimilable à un volume d'eau de 1 L initialement à 20°C .

1. On fixe l'ensemble couvercle et chapeau sur l'autocuiseur.
 - 1.1. Calculer la pression la plus élevée que pourra atteindre la vapeur d'eau dans l'appareil.
 - 1.2. En utilisant l'annexe, montrer que la cuisson est plus rapide en autocuiseur qu'à pression atmosphérique.
2. Calculer le temps nécessaire à l'autocuiseur pour parvenir à la température déterminée en 1.2. Le brûleur est à la puissance maximale de 3000 W et le rendement est de 80% .
3. Dès la mise en rotation de la soupape, le brûleur est mis au ralenti et sa puissance vaut alors 1500 W .
 - 3.1. Calculer la masse d'eau vaporisée en 10 minutes. Le rendement vaut maintenant 70% .
 - 3.2. Le brûleur fonctionne à l'allure 3000 W pendant 3 minutes et à l'allure 1500 W pendant 10 minutes. Calculer l'énergie fournie par le gaz et en déduire le volume de gaz consommé.
 - 3.3. Justifier l'utilisation d'un autocuiseur pour cette cuisson

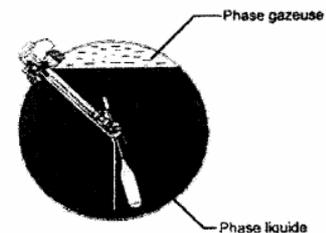
Pression saturante de la vapeur d'eau

**BTS Etudes et Economie de la construction 2004**

Un véhicule fonctionne au GPL (gaz de pétrole liquéfié). Le volume intérieur du réservoir est $V = 100$ L.

I Lors du remplissage du réservoir à la température $\theta = 15^\circ\text{C}$, le GPL occupe 85% du réservoir sous forme liquide et le reste sous forme gazeuse. La pression p_1 du gaz est alors de $4,5 \cdot 10^5$ Pa.

1. Dans ces conditions, le GPL liquide a une masse volumique $\rho_{\text{GPL}} = 560 \text{ kg m}^{-3}$. Calculer la masse de GPL liquide contenu dans le réservoir.
2. Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits.
3. La phase gazeuse du GPL est assimilée à un gaz parfait de masse molaire 50 g mol^{-1} . Calculer la masse de GPL présent dans le réservoir sous forme gazeuse.



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

II Le GPL est puisé dans le réservoir à l'état liquide. Il passe ensuite à l'état gazeux, il est vaporisé. La chaleur nécessaire à cette transformation est fournie par le circuit de refroidissement du moteur. On suppose qu'à un instant donné, le débit de GPL liquide est de $0,16 \text{ L min}^{-1}$. La chaleur latente de vaporisation du GPL (Quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser un kilogramme de liquide) est dans ces conditions : $L_v = 365 \text{ kJ kg}^{-1}$.

Calculer la puissance thermique qui doit être fournie par le circuit de refroidissement du moteur pour obtenir la vaporisation du GPL.

Transferts de chaleur

BTS Peintures, encres et adhésifs 2004

Données

Masse molaire de l'eau: $18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Masse volumique de l'eau liquide: $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Chaleur latente de fusion de la glace à 0°C : $L_{\text{fus}} = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau (100°C): $L_{\text{vap}} = 2260 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Chaleur massique de l'eau solide ou liquide: $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

On chauffe sous la pression atmosphérique, en utilisant une plaque chauffante, de l'eau contenue dans un récipient cylindrique.

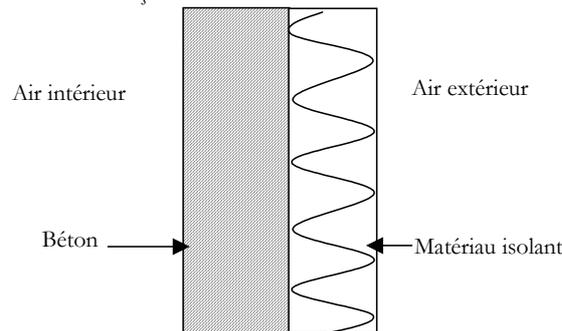
L'eau est initialement sous forme de glace à -5°C et doit être chauffée jusqu'à 90°C . Le volume de l'eau est $V = 36,0 \text{ cm}^3$ lorsqu'elle est liquide.

1. Représenter l'allure de l'évolution de la température de l'eau avec le temps.
2. Calculer la valeur de l'énergie reçue par l'eau.
3. Lister les différents modes de transfert de la chaleur.
4. Quel est le mode majoritaire de transfert de la chaleur dans l'eau liquide que l'on chauffe

Conduction, Résistance thermique

BTS Domotique 1989

Les parois d'un local sont constituées de la façon suivante :



On fait les hypothèses suivantes :

- la température extérieure θ_0 est constante et égale à 5°C ;
- tous les points de l'air intérieur et des parois de béton sont à la même température θ à un instant donné.
- l'ensemble air intérieur–parois a une capacité calorifique $C = 1,2 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
- la résistance thermique des parois vaut $R_{\text{th}} = 2,0 \cdot 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{W}^{-1}$
- le local est chauffé par une source de chaleur de puissance $P = 2,0 \text{ kW}$

1. La source de chauffage est mise en service à l'instant $t = 0$

La température intérieure θ , initialement égale à θ_0 , varie de $d\theta$ entre les dates t et $t + dt$.

En considérant le système formé par l'air intérieur et les parois de béton, montrer que l'on a la relation :

$$P = C (d\theta/dt) + (1/R_{\text{th}}) (\theta - \theta_0) \quad (1)$$

- 1.1. En résolvant l'équation différentielle (1), exprimer θ en fonction du temps¹.
- 1.2. Calculer la valeur atteinte par θ si la source de chaleur fonctionne pendant un temps infini.
2. En fait, un thermostat interrompt le fonctionnement de la source de chaleur lorsque θ atteint la valeur $\theta_{\text{max}} = 20^\circ\text{C}$.
 - 2.1. Calculer la date t_1 , à laquelle ceci se produit.

¹ REMARQUE : La solution d'une équation différentielle de la forme $(d\theta/dt) + a\theta = b$ est $\theta = A e^{-at} + B$

- 2.2. La source de chaleur ne fonctionne plus à partir de l'instant $t = t_1$. Par analogie avec l'équation (1) donner, l'équation différentielle régissant les variations de θ .
- 2.3. En déduire l'expression de $\theta = f(t)$.

3.

- 3.1. Calculer la durée $t_2 - t_1$ nécessaire pour que θ décroisse jusqu'à la valeur $\theta_{\min} = 18^\circ\text{C}$.
Le thermostat permet alors que la source de chaleur fonctionne à nouveau, et ainsi de suite.
- 3.2. Calculer la durée $t_3 - t_1$ nécessaire pour que θ remonte jusqu'à la valeur θ_{\max} .
- 3.3. Tracer sommairement la courbe $\theta = f(t)$.

4. Calculer l'énergie nécessaire en kWh pour chauffer le local pendant 24 heures à partir de la date t_1 .**BTS Travaux Publics 1975**

Une paroi hétérogène est constituée d'une couche de cuivre accolée à une couche d'une substance homogène que l'on veut étudier.

On donne:

- Épaisseur du cuivre : $e_1 = 20 \text{ mm}$.
- Épaisseur de l'autre substance : $e_2 = 10 \text{ mm}$.
- Conductivité thermique du cuivre : $\lambda_1 = 3,76 \times 10^2 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Conductivité de l'autre substance : $\lambda_2 = \text{inconnue}$.
- Température extérieure du cuivre : $t_1 = 20,97^\circ\text{C}$.
- Celle de l'autre substance : $t_2 = 11,65^\circ\text{C}$.
- Température de la jonction : $t_3 = 15,65^\circ\text{C}$.

1. Calculer la puissance thermique traversant la paroi par m^2 de surface.
2. Calculer la résistance thermique de la couche de cuivre par m^2 de surface.
3. Calculer la résistance thermique de la couche accolée au cuivre par m^2 de surface.
4. Calculer λ_2 .
5. Quelle est l'incertitude sur λ_2 sachant que e_1 et e_2 sont mesurées à 1/10 mm près, et que la détermination des températures est entachée d'une incertitude de 1/5 $^\circ\text{C}$?

BTS Travaux Publics 1988

On considère un mur de béton, d'épaisseur 10 cm, qui sépare un milieu A d'un milieu B.

On donne:

- température du milieu A: 18°C ,
- température du milieu B: 5°C ,
- conductivité du béton $\lambda = 1,1 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,
- résistance thermique superficielle interne : $1/h_i = r_i = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$,
- résistance thermique superficielle externe : $1/h_e = r_e = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$,

1. Calculer les résistances thermiques relatives à ce mur.
2. Calculer le flux thermique par mètre carré de surface.
3. Calculer les températures de surface et tracer le diagramme des températures

BTS Travaux Publics 1992

On considère un mur en béton, d'épaisseur 30 cm, qui sépare un milieu A d'un milieu B. On donne :

- la température du milieu A : 15°C (intérieur).
- la température du milieu B : -5°C (extérieur).
- la conductivité du béton : $\lambda = 1,1 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- les résistances thermiques superficielles :
 - intérieure : $r_i = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
 - extérieure : $r_e = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

1. Calculer la résistance thermique globale de ce mur. En déduire le coefficient de transmission thermique K .
2. Calculer le flux thermique par mètre carré de surface.
3. Calculer les températures de surface et tracer le diagramme des températures (à l'intérieur du mur).

Échelle : abscisse : 1 cm pour 3 cm de distance dans le mur.
ordonnée : 1 cm pour 1°C d'écart de température.

BTS Plasturgie 2002

- Définir succinctement, par une simple phrase, les expressions suivantes relatives aux transferts d'énergie thermique
 - conduction thermique,
 - convection thermique,
 - rayonnement.
 Pour chaque mode de transfert, donner un exemple lié à la transformation ou à l'utilisation des matières plastiques.
- Pour déterminer la conductivité thermique λ d'un polyéthylène basse pression, on maintient une face d'un disque de ce matériau d'épaisseur $e = 0,8$ cm et de surface $s = 100$ cm², à une température de $\theta_1 = 21,8^\circ\text{C}$, et l'autre face du disque à une température de $\theta_2 = 24,3^\circ\text{C}$. La puissance thermique transférée par conduction a pour valeur $P = 0,97$ W.
 - Quelle relation relie les grandeurs P , λ , e , S et $(\theta_2 - \theta_1)$. On précisera pour chaque grandeur l'unité du système international à utiliser.
 - En déduire la valeur de la conductivité thermique de ce polyéthylène

BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2002

On étudie le flux thermique à travers un mur de longueur 7 m et de hauteur 2,5 m, constitué de deux parois en béton d'épaisseur 10 cm séparées par 5 cm d'air.

La température extérieure est de 5°C et la température intérieure est maintenue à 20°C .

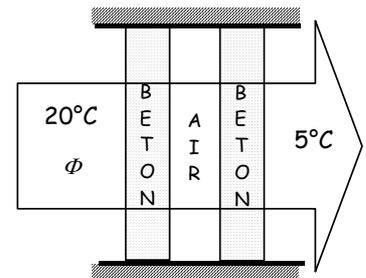
- Calculer la résistance thermique totale de ce mur.
- Calculer le flux de chaleur traversant le mur.

Formulaire

- Résistance thermique d'une paroi : $R = \sum \frac{e_i}{\lambda_i S}$
- Flux de chaleur traversant une paroi : $\Phi = \frac{\Delta T}{R}$

Données

- Conductibilité thermique du béton : $\lambda_{\text{béton}} = 0,92$ W \cdot m⁻¹ \cdot K⁻¹.
- Conductibilité thermique de l'air : $\lambda_{\text{air}} = 0,026$ W \cdot m⁻¹ \cdot K⁻¹.

**BTS Domotique 1996**

Descriptif de la pièce

Murs

Parpaing creux : épaisseur $e_1 = 0,2$ m

Isolation des murs :

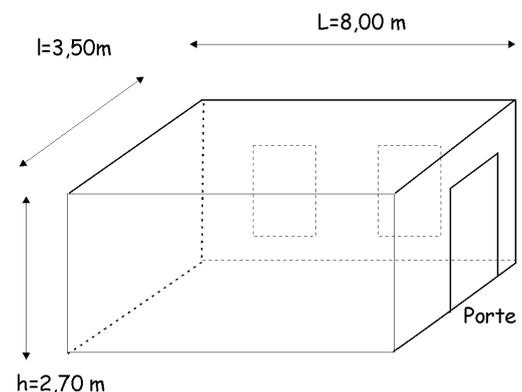
Polystyrène : épaisseur $e_2 = 0,05$ m

Plafond et plancher :

Béton plein sans isolation.

Fenêtres :

Double vitrage sur menuiserie bois. Surface $S_2 = 5$ m²



Chauffage de cette salle de séjour

On désire maintenir dans cette pièce une température $\theta_2 = 19^\circ\text{C}$ alors que la température extérieure est $\theta_1 = -5^\circ\text{C}$.

La surface des murs donnant sur l'extérieur est de 26 m² hors surface des fenêtres de 5 m².

On donne :

- Conductivité thermique des parpaings creux $\lambda_1 = 1,05$ W \cdot m⁻¹ \cdot K⁻¹
- Conductivité thermique du polystyrène $\lambda_2 = 0,039$ W \cdot m⁻¹ \cdot K⁻¹
- Coefficient de transmission surfacique du double vitrage $K = 3,3$ W \cdot m⁻² \cdot K⁻¹

2.

- 2.1. Calculer l'accroissement moyen de résistance thermique surfacique, donné par 10 mm de polystyrène.
- 2.2. En déduire la résistance thermique surfacique R_1 du plâtre.
- 2.3. Déterminer les conductivités thermiques λ_1 et λ_2 .

On utilise un panneau de résistance thermique surfacique $R = 1,21 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ pour doubler un mur d'épaisseur $e_0 = 30 \text{ cm}$, et de conductivité thermique $\lambda_0 = 0,82 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La résistance thermique surfacique superficielle totale est $R_s = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. Les températures extérieure et intérieure sont respectivement $t_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ et $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

3.

- 3.1. Calculer les pertes surfaciques (par m^2) de paroi :
 - 3.1.1. sans isolation
 - 3.1.2. avec isolation.
- 3.2. Calculer le pourcentage de réduction des pertes dû à l'isolation.

BTS Bâtiment 1996

- 1. Citer les divers modes de transmission de la chaleur et donner dans chaque cas un exemple caractéristique.
- 2. On note R la résistance thermique totale d'une paroi et r sa résistance thermique par m^2 .
Donner la relation existant entre la résistance thermique R , le flux thermique Φ à travers cette paroi, et l'écart de température $\Delta\theta$ entre les deux faces de la paroi. Préciser l'unité de la résistance thermique R .
- 3. On considère une maison assimilée à un parallélépipède rectangle de dimensions moyennes L, l, b . Les murs, en pierre mélangée à de la terre, ont une épaisseur moyenne e_1 et une conductivité thermique λ_1 .
 - 3.1. Exprimer littéralement puis calculer la résistance thermique par m^2 , r , de ces murs.
 - 3.2. Exprimer littéralement puis calculer le flux thermique Φ transmis à travers l'ensemble des murs.
 - 3.3. Le prix moyen du kWh est 0,1 €. Calculer le coût du fonctionnement d'un chauffage électrique permettant de compenser les pertes thermiques qui se produisent pendant les 120 jours de froid.
- 4. Dans le cadre d'une réfection de la maison, on envisage de recouvrir les façades extérieures d'un enduit et de doubler intérieurement les murs par du placoplâtre séparé du mur par du polystyrène.
 - 4.1. Exprimer littéralement puis calculer la résistance thermique par m^2 , notée r' du mur isolé.
 - 4.2. Calculer l'économie ainsi réalisée pendant les 120 jours de froid.

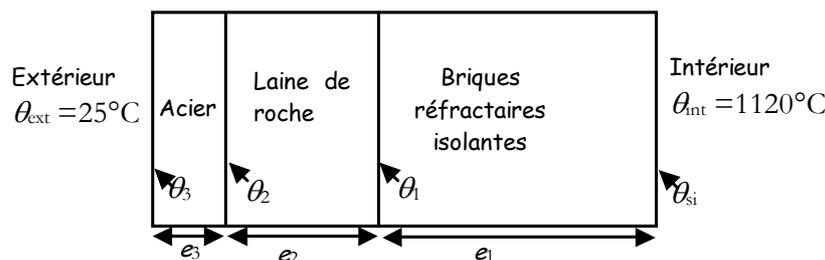
Données

- On suppose négligeables les pertes de chaleur par le sol, le plafond, et les ouvertures.
- La valeur moyenne, sur la durée des quatre mois d'hiver, de la différence entre la température de la face intérieure et celle de la face extérieure du mur est notée $\Delta\theta$.
- On donne : $e_1 = 0,5 \text{ m}$
 $\lambda_1 = 1,2 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 $L = 15 \text{ m}$
 $l = 10 \text{ m}$
 $b = 6 \text{ m}$
 $\Delta\theta = 12 \text{ }^\circ\text{C}$
- On donne dans le tableau ci-dessous les épaisseurs e et les conductivités thermiques λ des divers matériaux.

matériau	pierre + terre	enduit extérieur	polystyrène	plâtre
e en cm	$e_1 = 50$	$e_2 = 1$	$e_3 = 5$	$e_4 = 0,35$
λ en $\text{W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\lambda_1 = 1,2$	$\lambda_2 = 1,1$	$\lambda_3 = 0,041$	$\lambda_4 = 0,35$

BTS Industries Céramiques 2002

La paroi d'un four industriel est constituée comme l'indique la figure ci-dessous des matériaux suivants.



Les températures θ_{si} , θ_1 , θ_2 , θ_3 sont les températures de surface des matériaux aux endroits indiqués sur le schéma ci-dessus. Le régime permanent est établi.

On rappelle que $\Delta\theta = R \cdot \Phi$ où $\Delta\theta$ est la différence de température, R la résistance thermique et Φ le courant thermique.

1. Citer les 3 modes de transmission de la chaleur
2. Préciser l'unité de la résistance thermique.
3. Exprimer littéralement en fonction des données puis calculer la résistance thermique de l'ensemble du four de surface S .
4. Calculer le courant thermique traversant l'ensemble des parois du four.
5. Calculer dans cet ordre les températures θ_{si} , θ_1 , θ_2 , θ_3 au niveau des différentes interfaces.

Données numériques:

- La surface intérieure du four est $S=8,00 \text{ m}^2$.
- Les coefficients de transmission de chaleur sont respectivement pour la paroi interne $\alpha_{int} = 25 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ et pour la paroi externe $\alpha_{ext} = 6,0 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
- L'épaisseur et la conductivité des matériaux cités sont rassemblées dans le tableau ci-dessous

Matériau	Epaisseur	Conductivité thermique
Briques réfractaires isolantes	$e_1 = 250 \text{ mm}$	$\lambda_1 = 0,10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Laine de roche	$e_2 = 200 \text{ mm}$	$\lambda_2 = 0,042 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Acier	$e_3 = 5 \text{ mm}$	$\lambda_3 = 45 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

BTS Productique Bois 2002

On considère un local destiné à servir de sauna. Il s'agit d'une pièce cubique, de côté $a = 3 \text{ m}$.

La température initiale θ_1 de l'air est, à l'intérieur comme à l'extérieur, $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$.

Un radiateur électrique de puissance $P = 10 \text{ kW}$ est chargé d'amener la température du local à la valeur $\theta_2 = 60^\circ\text{C}$.

La capacité thermique équivalente de la pièce et des accessoires est $C = 100 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$

On donne :

- Chaleur massique de l'air à volume constant : $c_V = 0,72 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Chaleur massique de l'air à pression constante : $c_p = 1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Masse volumique de l'air considéré comme un gaz parfait : $\mu = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

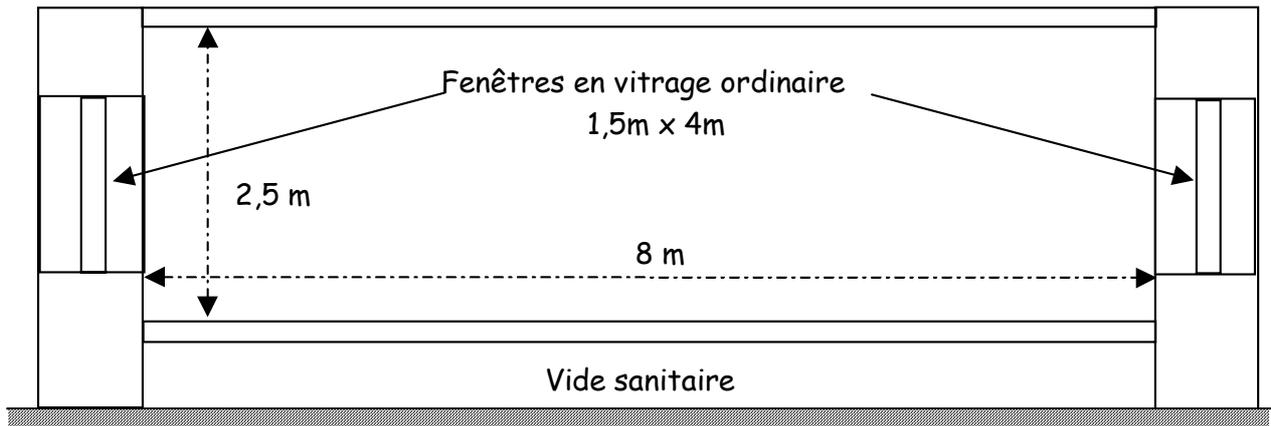
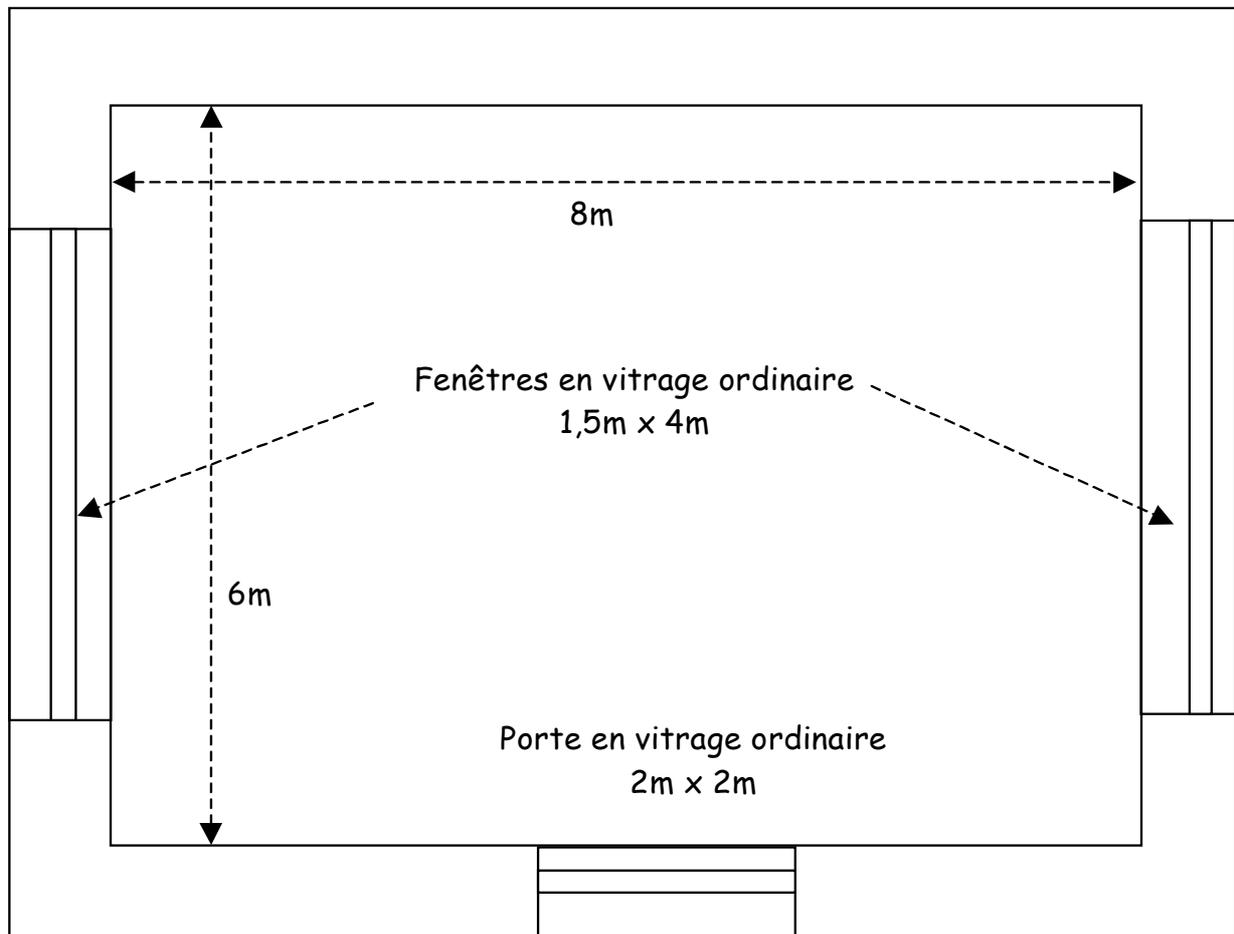
1. Le local est considéré comme une enceinte adiabatique.
 - 1.1. Définir le terme "adiabatique".
 - 1.2. Quelle est l'énergie à fournir pour atteindre la température θ_2 à l'intérieur du local?
 - 1.3. Quelle sera alors la durée de fonctionnement du radiateur à pleine puissance ?
 - 1.4. L'air étant toujours considéré comme un gaz parfait, quelle sera la valeur atteinte par la pression de l'air dans l'enceinte ?
2. En fait, la pièce n'est pas parfaitement isolée thermiquement, la déperdition d'énergie par conduction thermique ne s'effectuant qu'à travers ces parois latérales.
On considère que le coefficient de transmission thermique surfacique moyen vaut $K = 1,85 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Calculer la puissance perdue par conduction à travers ces parois lorsque la température de l'air dans la pièce est de $\theta_2 = 60^\circ\text{C}$ et celle de l'air extérieur est de $\theta_1 = 10^\circ\text{C}$.

BTS Architecture Intérieure 2002

L'annexe est à rendre avec la copie à l'issue de l'épreuve.

Une mairie désire transformer un local d'un seul tenant en office de tourisme. Avant aménagement, elle demande une expertise du local afin d'apporter des améliorations sur trois points : acoustique, thermique, photométrique.

Les dimensions du local sont précisées sur les figures ci-dessous.

Vue de profilVue de dessus

II. Etude thermique

On désire maintenir en ce lieu une température de 20°C en hiver sachant que la température moyenne à l'extérieur du bâtiment est de 6°C et que la température dans le vide sanitaire est 10°C.

1. Donner l'expression littérale du flux thermique Φ par transmission à travers une paroi en précisant la signification et l'unité de chaque terme.
2. Compléter le tableau en annexe (à rendre avec la copie) et en déduire le flux thermique moyen Φ , à travers les parois du local, l'hiver.
3. Le prix moyen du kWh étant d'environ 0,08 euro, calculer le coût du fonctionnement d'un chauffage électrique permettant de compenser les pertes thermiques qui se produisent pendant les 120 jours de froid.

ANNEXE à rendre avec la copie

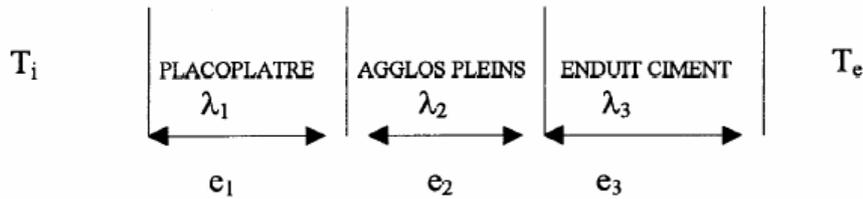
Matériaux	K en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	S en m^2	$\Delta\theta$ en K	Φ en W
Fenêtres + porte	5,0			
Murs	1,2			
Plancher sur vide sanitaire	0,9			
Plafond	1,5			
				Bilan $\Phi =$

BTS Architecture intérieure 2003

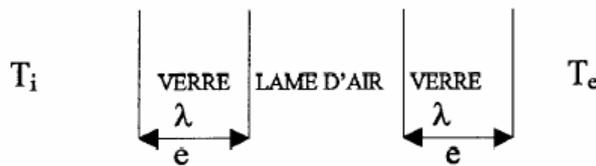
Echanges thermiques

Un bureau situé dans un immeuble est séparé de l'extérieur par une paroi qui comprend le mur de façade dont l'aire est $S_m = 24 \text{ m}^2$ et une baie vitrée dont l'aire est $S_v = 8 \text{ m}^2$. Les températures intérieure $T_i = 20^\circ\text{C}$ et extérieure $T_e = -5^\circ\text{C}$ de part et d'autre de la paroi sont supposées constantes. Les autres murs ainsi que le plafond et le plancher sont supposés parfaitement isolés.

Description du mur : Il comprend trois couches de matériaux



Description de la baie vitrée : double vitrage



Matériau	Épaisseur en cm	Conductivité thermique en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
Placoplâtre	$e_1 = 6$	$\lambda_1 = 0,45$
Agglos	$e_2 = 10$	$\lambda_2 = 1,40$
Enduit ciment	$e_3 = 2$	$\lambda_3 = 1,25$
Verre	$e = 1$	$\lambda = 1,15$

A l'intérieur $R_{si} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ A l'extérieur $R_{se} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

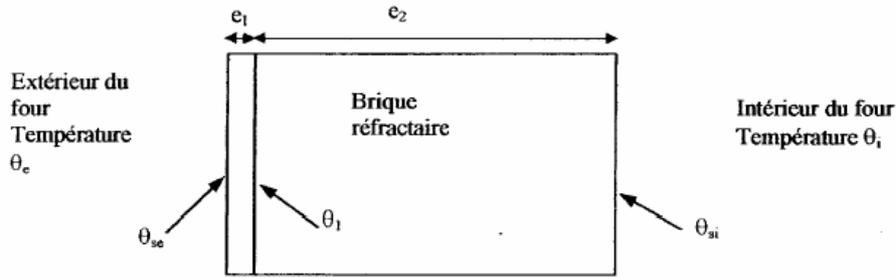
La résistance thermique de la lame d'air est $R_{air} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

- Comment la chaleur se propage-t-elle à travers les murs ?
Comment se propage-t-elle dans l'air ? Expliquer brièvement les deux phénomènes à considérer.
On répondra brièvement (5 ou 6 lignes) à l'ensemble de cette question 1.
- Donner l'expression littérale de la résistance thermique du mur notée R_m et celle du double vitrage notée R_v .
- Calculer R_m et R_v .
- En déduire les coefficients de transmission thermique K_m du mur et K_v du vitrage.
- Exprimer littéralement les flux thermiques Φ_m et Φ_v respectivement à travers le mur et le vitrage.
- Calculer Φ_m et Φ_v . En déduire le flux thermique total Φ à travers la paroi.

BTS Industries céramiques 2004

Transferts thermiques en régime stationnaire

L'isolation du four est constituée d'une épaisseur e_1 de fibre céramique et d'une épaisseur e_2 de brique réfractaire. Le schéma ci-dessous représente la coupe d'une paroi.



La surface intérieure du four est $S = 6 \text{ m}^2$.

On rappelle que la résistance thermique R s'exprime en fonction de la différence de température $\Delta\theta$ et du courant thermique ϕ : $R = \frac{\Delta\theta}{\phi}$

1. Donner l'unité de résistance thermique.
2. Exprimer puis calculer la résistance thermique de la surface totale du four en fonction de S , des différents coefficients thermiques et des épaisseurs de matériau.
3. Calculer le flux thermique ϕ
4. La température intérieure étant maintenue à 1100°C , calculer la température à la surface de la brique à l'intérieur du four (θ_{si}) puis celle à l'interface brique-fibre, que l'on note θ_1 , et celle de la paroi extérieure θ_{se} .

Données

- Température de l'atmosphère du four : $\theta_i = 1100^\circ\text{C}$
- Température de l'atmosphère de l'atelier : $\theta_e = 20^\circ\text{C}$
- Coefficient de transmission de chaleur à l'intérieur du four : $\alpha_i = 27 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$
- Coefficient de transmission de chaleur à l'extérieur du four : $\alpha_e = 12,5 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

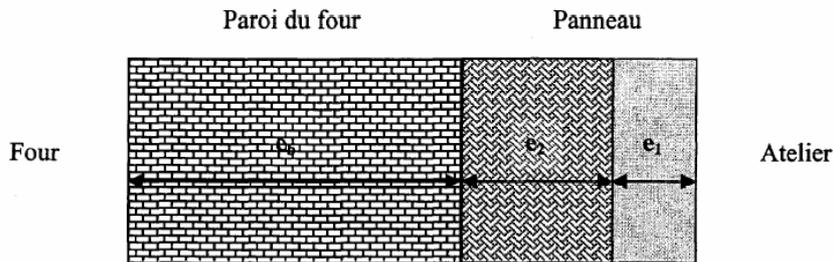
Matériau	fibre	Brique
Épaisseur	$e_1 = 2,5 \text{ cm}$	$e_2 = 22 \text{ cm}$
λ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$\lambda_1 = 0,0625$	$\lambda_2 = 0,15$

BTS Traitement des matériaux 2004

Dans le cadre de la rénovation d'un atelier de traitements thermiques, on désire utiliser des panneaux composites pour renforcer l'isolation thermique des fours de revenus.

Ces panneaux composites notés $(e_1 + e_2)$ sont constitués par une plaque de plâtre d'épaisseur $e_1 = 10 \text{ mm}$ associée à une plaque isolante d'épaisseur e_2 .

La plaque de plâtre est dirigée vers le local de l'atelier, la plaque isolante est en contact avec la paroi externe du four.



Dans l'atelier, les parois de l'ancien four sont constituées par une couche de briques réfractaires d'épaisseur $e_b = 11 \text{ cm}$, de conductivité thermique λ_b égale à $1,8 \text{ kJ} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La différence moyenne de température mesurée entre l'intérieur du four de revenus et l'atelier est égale à 500°C .

Le fabricant des panneaux composites fournit la résistance thermique d'un mètre-carré de panneau composite pour différentes épaisseurs de plaque isolante

Épaisseur d'isolant	e_2 (mm)	20	30	50	70	90
Résistance thermique du panneau composite	R_{thp} ($^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$)	0,524	0,774	1,274	1,774	2,274

Compte-tenu des toutes ces données, le choix définitif se porte vers le panneau composite le plus épais (10+90).

On rappelle que pour une plaque d'épaisseur e , de conductivité thermique λ et de surface S , la résistance thermique R_{th} s'exprime par la relation

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda S}$$

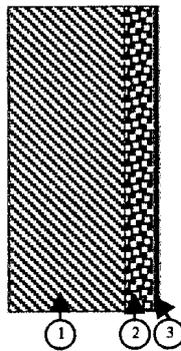
1. La résistance thermique équivalente du panneau composite R_{thp} s'exprime par la relation $R_{thp} = R_{th1} + R_{th2}$ où R_{th1} est la résistance thermique du plâtre et R_{th2} la résistance thermique de la plaque isolante. Etablir cette relation.
 2. Tracer, sur papier millimétré, le graphe de la fonction $R_{thp} = f(e_2)$ représentant les variations de la résistance thermique du panneau en fonction de l'épaisseur e_2 de la plaque isolante. En déduire, en le justifiant, l'équation cartésienne de cette courbe.
- Échelle donnée : en abscisses 1 cm = 5 mm, en ordonnée 1 cm = 0,1 °C · W⁻¹.
3. Préciser l'unité légale de la conductivité thermique.
 4. Déduire de l'équation cartésienne de la courbe $R_{thp} = f(e_2)$, la conductivité thermique λ_1 du plâtre seul.
 5. Déduire de l'équation cartésienne de la courbe $R_{thp} = f(e_2)$, la conductivité thermique λ_2 de la plaque isolante seule.
 6. Calculer le flux thermique à travers un mètre-carré de paroi du four avant l'isolation.
 7. Calculer le flux thermique à travers un mètre-carré de paroi du four après l'isolation avec les panneaux composite (10 + 90).
 8. Conclure cette étude en calculant l'écart relatif entre les flux thermiques avant et après l'isolation du four.

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2004

Détermination de puissance thermique

On considère que les murs du local à chauffer sont tous constitués de la façon suivante

- une partie en béton notée ①, d'épaisseur e_1 ($e_1 = 20$ cm) et de conductivité thermique k_1 : $k_1 = 1,4$ W m⁻¹ · K⁻¹ ;
 - une isolation de polystyrène notée ②, d'épaisseur e_2 ($e_2 = 5$ cm) et de conductivité thermique k_2 : $k_2 = 0,03$ W m⁻¹ · K⁻¹,
 - une finition intérieure en plaques de plâtre notée ③ d'épaisseur e_3 ($e_3 = 1$ cm) et de conductivité thermique k_3 : $k_3 = 0,4$ W m⁻¹ · K⁻¹
- (conformément au schéma représenté ci-dessous).



L'air intérieur du local est maintenu à la température constante θ_1 ($\theta_1 = 20$ °C) avec un coefficient d'échange de chaleur par convection h_1 ($h_1 = 5$ W m⁻² · K⁻¹) ; l'air extérieur est supposé être à la température constante θ_2 ($\theta_2 = 5$ °C) avec un coefficient d'échange de chaleur par convection h_2 ($h_2 = 12$ W m⁻² · K⁻¹).

1.

1.1. La puissance thermique P à travers un mur de surface S de conductivité thermique k est donnée par la

relation:
$$P = -k \frac{\Delta\theta}{\Delta x}$$

 avec $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$.

The diagram shows a horizontal line representing a wall segment. A vertical line at position x is labeled with θ_1 and an arrow pointing right. Another vertical line at position $x + \Delta x$ is labeled with θ_2 and an arrow pointing left. A horizontal arrow below the line indicates the thickness Δx .

En déduire l'expression de la résistance thermique R' par conduction d'un mur de surface $S = 1$ m² et d'épaisseur e .

1.2. Quelle est l'expression de la résistance thermique R'' par convection pour une paroi de surface $S = 1$ m², de coefficient de convection h ? (On appellera $\Delta\theta$ la différence de température entre l'air et la paroi).

- 1.3. Calculer la résistance thermique totale R_t du mur du local à chauffer ici.
- 1.4. Calculer la puissance thermique P_u traversant 1 m^2 du mur.
2. La surface totale des murs étant S ($S = 2,0 \times 10^3 \text{ m}^2$), déterminer la puissance thermique P_m traversant les murs.
3. La déperdition thermique à travers la toiture et les ouvertures étant estimée à 5 kW , calculer la puissance thermique totale P_T qu'il faut fournir au local pour maintenir sa température constante.
4. On a choisi un échangeur dont la puissance thermique P est égale à 25 kW . Quel doit être son rendement minimum pour satisfaire aux besoins ?

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999

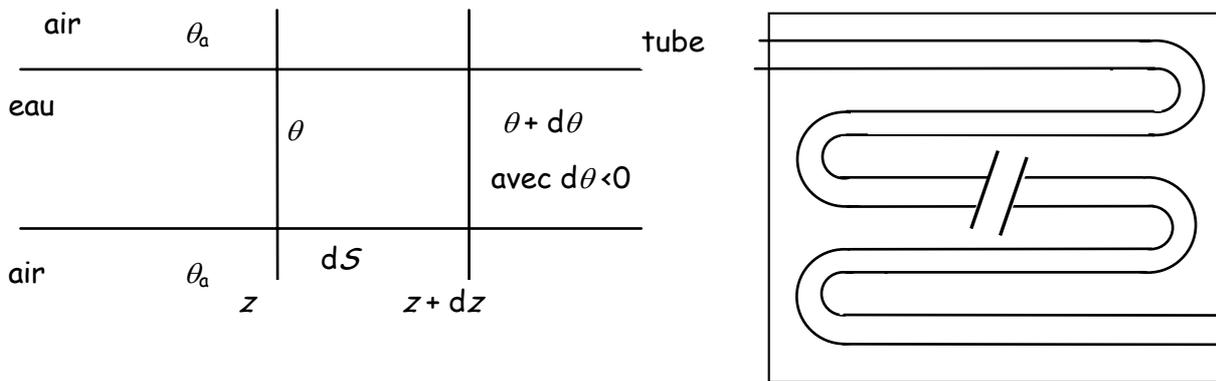
Une solution pour compenser les pertes de chaleur consiste à placer un radiateur dans la pièce. L'eau chaude provenant de la chaudière pénètre dans le radiateur à la température de 65°C avec un débit en volume $D_v = 5,5 \text{ litre/minute}$.

On donne :

- masse volumique de l'eau : $\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4,180 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Viscosité dynamique de l'eau: $\eta = 1,0 \times 10^{-3} \text{ Pa s}$

Le radiateur est constitué par un tube de diamètre 34 mm disposé en serpentin (voir schéma) mais équivalent à un tube droit de même longueur dans lequel l'eau circule horizontalement.

N.B. : Si dans la résolution d'une question des hypothèses supplémentaires apparaissent nécessaires, il convient de les énoncer clairement.



1. Montrer que le régime d'écoulement est turbulent. En conséquence on considèrera que la température de l'eau est homogène dans une section droite du tuyau.
2. Calculer la température de l'eau à la sortie du radiateur sachant que le flux cédé par le radiateur est de 550 W .
3. On admet un coefficient global d'échange K constant le long du tube. On veut calculer la surface d'échange S entre l'eau chaude et l'air ambiant.

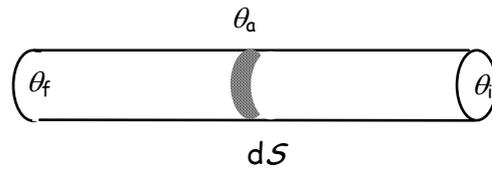
Entre les plans d'abscisses z et $z+dz$, le fluide chaud cède à travers la surface d'échange dS , pendant la durée dt , la quantité de chaleur $K dS (\theta_i - \theta_a) dt$, où θ_a est la température de l'air ambiant, constante ($\theta_a = 19^\circ\text{C}$).

- 3.1. Exprimer pendant cet intervalle de temps dt la masse dm d'eau chaude qui traverse une section du tube.
- 3.2. Exprimer la quantité de chaleur cédée par cette masse de fluide quand elle passe de la température θ_i à la température θ_f pendant dt en considérant

- d'une part l'échange avec l'air extérieur
- d'autre part l'abaissement de la température de l'eau.

En déduire l'équation différentielle reliant θ , $d\theta$ et dS . (On négligera la diffusion thermique dans l'eau). Intégrer cette équation différentielle entre l'entrée et la sortie du tube.

Montrer que :
$$Ln \frac{(\theta_f - \theta_a)}{(\theta_i - \theta_a)} = - \frac{K}{\rho \cdot D_v \cdot c} S$$
 où θ_i et θ_f sont les températures d'entrée et de sortie de l'eau dans le radiateur. (voir schéma ci-dessous).



3.3. Application numérique : $K = 5,73 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculer la surface totale d'échange S .

Convection et coefficient global

BTS Equipement Technique Energie 2000

On souhaite étudier l'évolution de la température de l'eau d'un ballon d'eau chaude, de volume $V = 300$ L, pendant les heures creuses de l'après-midi de 14 h à 17 h.

Avant 14 h, une famille utilise en moyenne $V' = 200$ L d'eau chaude issue du ballon. L'eau utilisée est alors remplacée par de l'eau froide à la température θ_c .

On suppose le ballon parfaitement calorifugé et l'eau chauffée par une résistance dont la température θ_r est uniforme.

On donne

- Coefficient d'échange convectif : $h = 3 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
- Surface de l'échange convectif : $S = 2000 \text{ cm}^2$
- Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_c = 10 \text{ }^\circ\text{C}$: température de l'eau froide
- $\theta_r = 70 \text{ }^\circ\text{C}$: température de l'eau chaude
- masse volumique de l'eau 1000 kg/m^3

1.

1.1. On suppose qu'à 14 h la température de l'eau est uniforme. Montrer qu'elle vaut $\theta_m = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

1.2. En déduire l'énergie nécessaire pour amener l'eau du ballon à la température θ_r

1.3. Calculer la puissance minimale P_{mini} du chauffage pour que l'eau soit chaude à 17 h.

2.

2.1. L'échange de chaleur entre la résistance et l'eau se fait uniquement par convection entre l'eau et la résistance de température θ_r . La quantité de chaleur δQ , fournie par le chauffage pendant une durée dt est liée à la température θ de l'eau par la relation : $\delta Q_1 = h \cdot S (\theta_r - \theta) dt$. Vérifier que cette relation respecte l'équation aux dimensions.

2.2. Donner l'expression littérale de la quantité de chaleur δQ_2 nécessaire pour faire passer une masse d'eau m de θ à $\theta + d\theta$.

3.

3.1. En faisant un bilan, d'énergie, montrer que l'équation régissant l'évolution de la température dans le

ballon s'écrit $\tau \frac{d\theta}{dt} + \theta = \theta_r$ avec $\tau = \frac{m \cdot c}{h \cdot S}$

3.2. Montrer que l'unité de τ est la seconde et calculer sa valeur.

3.3. Vérifier que $\theta(t) = (\theta_m - \theta_r) e^{-\frac{t}{\tau}} + \theta_r$ est solution de l'équation différentielle où θ_m est la température de l'eau à 14 h. Donner l'allure de $\theta(t)$.

4.

4.1. Calculer la température de l'eau après 2 h 30 de chauffage. Que peut-on en conclure ?

4.2. En déduire la puissance moyenne du chauffage.

BTS Architecture

On étudie un local comportant une grande façade vitrée de longueur $L = 18$ m et de hauteur $H = 3$ m.

Cette paroi vitrée donne sur la rue, la température extérieure est $\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$ et la température intérieure est $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

On néglige les déperditions thermiques surfaciques par le sol, le plafond, les portes et les murs du local étudié et toutes les déperditions par pont thermique.

Les coefficients d'échanges superficiels extérieur et intérieur sont les suivants : $h_e = 20 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ et d'autre part $h_i = 7 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

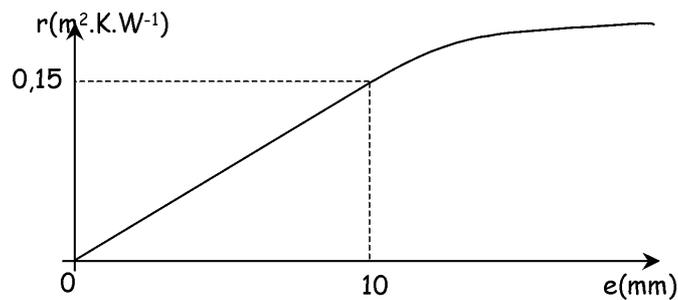
La vitrine du magasin est en simple vitrage d'épaisseur $e_v = 8$ mm et le coefficient de conductivité du verre est $\lambda = 1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Calculer la résistance thermique surfacique globale R_1 de la paroi vitrée.

1.

1.1. Déterminer la densité de flux thermique φ_1 traversant la paroi vitrée.

- 1.2. Calculer alors la puissance thermique minimale P des chauffages à installer dans ce local.
2. On propose de remplacer la vitrine par un double vitrage constitué par deux vitres, d'épaisseur $e_v = 8$ mm chacune, séparées par une lame d'air non ventilée d'épaisseur $e = 8$ mm.
On rappelle que le coefficient de conductivité du verre est $\lambda = 1,15 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
On donne ci-dessous la caractéristique $r = f(e)$ d'une lame d'air non ventilée, où r désigne la résistance thermique et e l'épaisseur de la lame
- 2.1. Calculer la résistance thermique surfacique globale R_2 de cette paroi.
 - 2.2. Déterminer la densité de flux thermique φ_2 traversant la paroi à double vitrage.
 - 2.3. En déduire la puissance thermique perdue au travers de cette paroi. Conclure.



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1997

Exemple de calcul de la surface d'un radiateur.

On se propose de faire une étude préalable à l'installation du système de chauffage central d'une maison particulière.

On veut maintenir la température des pièces de l'habitation à 19°C . Pour ce faire, on doit placer des radiateurs à circulation d'eau chaude dans chacune des pièces.

Dans cette partie, on s'intéressera à l'une des pièces de l'habitation, le bureau, dont le plan est donné en annexe 1. On suppose que les pièces voisines du bureau (ainsi que celle qui est au dessus et celle qui est en dessous) ont une température constante et égale à 19°C et que la température extérieure est de -5°C (cas le plus défavorable dans cette région).

On rappelle que le flux de chaleur, ou puissance thermique, à travers une paroi de surface S peut se mettre sous la forme ($D = k.S.(T_1 - T_2)$) où T_1 et T_2 sont les températures des deux faces de la paroi, (D est en watt, S en m^2 et k est un coefficient global d'échange).

1. Quels sont les différents modes de transfert de chaleur dont le coefficient k doit tenir compte ? Préciser les modes à considérer dans le cas de l'échange à travers le mur et dans le cas de l'échange entre le radiateur et l'air de la pièce.
2. Calculer la puissance thermique à fournir à l'air de la pièce pour maintenir sa température à 19°C .

Données pour les murs extérieurs : $k = 1,6 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

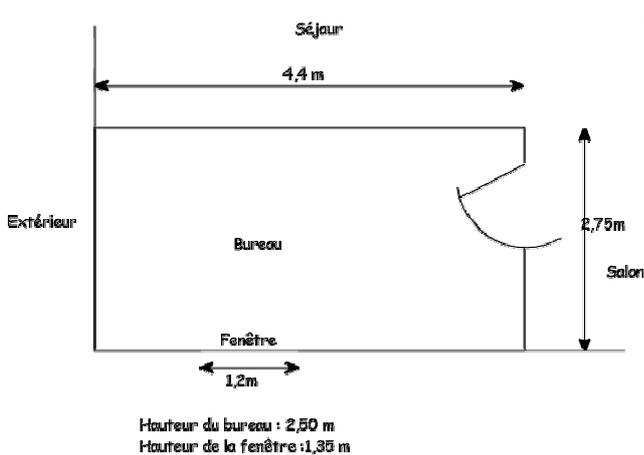
pour les cloisons (et portes) intérieures $k = 2,5 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$,

pour les fenêtres $k = 8 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

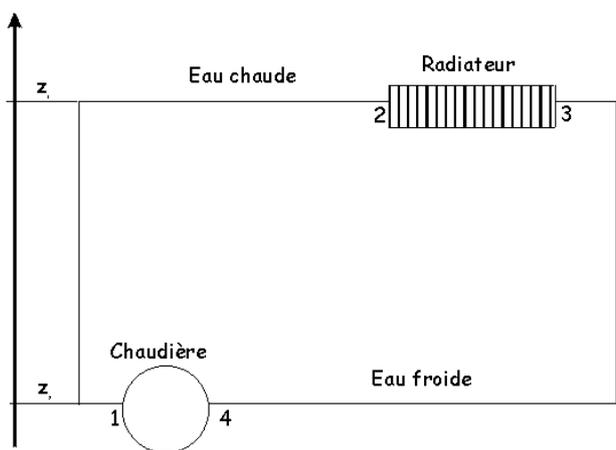
pour le plafond et les planchers $k = 4 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

3. La température de l'eau à l'intérieur du radiateur est supposée uniforme et égale, en moyenne, à 60°C . Le coefficient global d'échange est pour le radiateur $k = 9 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.
Calculer la surface à donner au radiateur pour que la température du bureau soit maintenue à 19°C .

Annexe 1 Plan du bureau



Annexe 2 Schéma d'implantation



BTS Bâtiment 1981

Un mur de béton sépare deux milieux. La température du milieu intérieur est de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. La température du milieu extérieur est de $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pour renforcer thermiquement cette paroi, on est amené à placer des matériaux isolants, côté intérieur ou côté extérieur.

1) Isolation intérieure:

De l'intérieur vers l'extérieur les matériaux sont les suivants :

- plâtre cartonné d'épaisseur 1 cm et de conductivité thermique égale à $0,70\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$,
- polystyrène d'épaisseur 5 cm et de conductivité thermique égale à $0,036\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$,
- béton d'épaisseur 20 cm et de conductivité thermique égale à $1,4\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

2) Isolation extérieure::

De l'intérieur vers l'extérieur les matériaux sont les suivants :

- béton d'épaisseur 20 cm et de conductivité thermique égale à $1,4\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.
- polystyrène d'épaisseur 5 cm et de conductivité thermique égale à $0,036\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$,
- enduit ciment de 1,5 cm d'épaisseur et de conductivité thermique égale à $1,15\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

1. Calculer la résistance thermique de chaque type d'isolation et le coefficient de transmission thermique.

On donne :
résistance superficielle interne = $0,11\text{ m}^2\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$
résistance superficielle externe = $0,06\text{ m}^2\text{ K}\cdot\text{W}^{-1}$

N.B: On dressera les résultats obtenus dans un tableau.

2. Calculer les températures des différentes faces du mur et de son isolation dans les deux cas. Faire un schéma du diagramme des températures dans chaque cas en précisant les échelles utilisées.

3. Analyser les résultats précédents. Quelles constatations pouvez vous faire ? Quel type d'isolation convient le mieux dans les différents cas suivants :

3.1. Amélioration du "volant thermique".

3.2. Diminution des risques de condensation dans le mur en béton. Justifiez vos réponses.

BTS Bâtiment 1994

Les murs latéraux d'un local industriel maintenu à la température constante $\theta_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ sont réalisés en béton banché d'épaisseur $e = 20\text{ cm}$ et de conductivité thermique, $\lambda = 1,2\text{ W m}^{-1}\text{ K}^{-1}$.

Les résistances thermiques superficielles interne et externe ont respectivement pour valeur $1/h_i = 0,11\text{ W}^{-1}\text{ m}^2\text{ K}$ et $1/h_e = 0,06\text{ W}^{-1}\text{ m}^2\text{ K}$.

1. Exprimer puis calculer la résistance thermique de la paroi.

2. Exprimer puis calculer la densité du flux thermique, φ , transmis lorsque la température extérieure est $\theta_e = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3. En déduire la quantité de chaleur transmise par unité de surface de la paroi et par jour

BTS Bâtiment 1990

Les questions 1 et 2 sont indépendantes.

1. Un mur est constitué (de l'intérieur vers l'extérieur) par :

- une cloison de placoplâtre de résistance thermique (pour 1 m^2) : R_1 ;

- une épaisseur e de laine de verre de conductivité thermique : λ ;
- une paroi de béton de résistance thermique (pour 1 m^2) : R_2

La somme des résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure est R_3 (pour 1 m^2).

1.1. Donner l'expression littérale du coefficient de transmission surfacique K de ce mur en fonction de R_1 , R_2 , R_3 , e et λ .

1.2. Calculer K sachant que :

$$R_1 = 0,77 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; R_2 = 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; R_3 = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; e = 10 \text{ cm} ; \lambda = 0,04 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}.$$

2.

2.1. Donner l'expression littérale du flux thermique surfacique ϕ à travers un mur de coefficient de transmission surfacique K , les températures ambiantes interne et externe étant respectivement t_i et t_e .

2.2. Calculer ϕ en utilisant les données numériques ci-dessous.

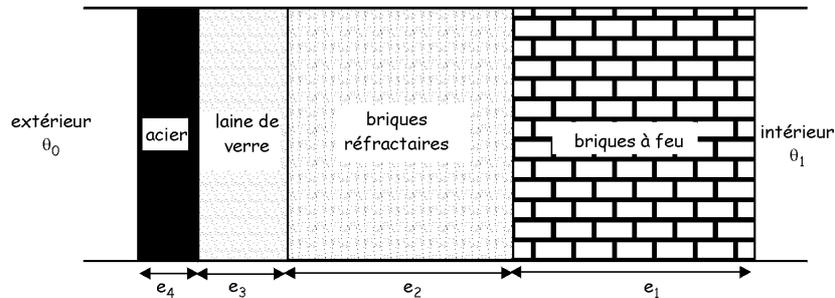
2.3. En déduire les températures superficielles intérieure et extérieure t_{si} et t_{se} , sachant que les résistances thermiques superficielles (pour 1 m^2) sont respectivement r_i pour l'intérieur et r_e pour l'extérieur. On donnera les expressions littérales de t_{si} et t_{se} , puis on calculera leurs valeurs en utilisant les données numériques ci-dessous.

Données numériques pour la question 2 :

$$r_i = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; r_e = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1} ; K = 0,27 \text{ m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{W} ; t_i = 18 \text{ }^\circ\text{C} ; t_e = -13 \text{ }^\circ\text{C}.$$

BTS Bâtiment 1998

La paroi d'un four électrique industriel est constituée de plusieurs matériaux comme l'indique le schéma ci-dessous.



Données numériques.

- Température ambiante intérieure : $\theta_i = 1092 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Température ambiante extérieure : $\theta_e = 32 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Surface intérieure du four : $S = 8,00 \text{ m}^2$.
- Résistance superficielle interne pour un mètre carré de paroi : $1/h_i = r_i = 0,036 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- Résistance superficielle externe pour un mètre carré de paroi : $1/h_e = r_e = 0,175 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.
- Caractéristiques des divers matériaux :

Matériau	Épaisseur	Conductivité thermique
Brique à feu	$e_1 = 230 \text{ mm}$	$\lambda_1 = 1,04 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Brique réfractaire	$e_2 = 150 \text{ mm}$	$\lambda_2 = 0,70 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Laine de verre	$e_3 = 50 \text{ mm}$	$\lambda_3 = 0,07 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Acier	$e_4 = 3 \text{ mm}$	$\lambda_4 = 45 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1. Exprimer littéralement puis calculer la résistance thermique globale R de un mètre carré de paroi.
2. Exprimer littéralement puis calculer la densité de flux thermique ϕ (puissance thermique par unité de surface) traversant la paroi.
3. Déterminer les températures au niveau des diverses interfaces : de l'intérieur vers l'extérieur θ_{si} , θ_1 , θ_2 , θ_3 , θ_{se} .
4. En admettant que la transmission de la chaleur est uniforme sur l'ensemble des parois du four, calculer la puissance électrique P nécessaire à son fonctionnement à vide.
5. Calculer le coût de fonctionnement journalier du four sachant que le prix du kW.h est 0,10 Euros.

BTS Bâtiment 2000

Un mur est constitué de l'intérieur vers l'extérieur par :

- une cloison de placoplâtre dont la résistance thermique pour 1 m^2 est notée R_p

- une couche de laine de verre d'épaisseur e et de conductivité thermique λ ,
- une paroi de béton dont la résistance thermique pour 1 m^2 est notée R_B .

Les températures ambiantes interne et externe sont notées respectivement θ_i et θ_e .

Les résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure sont notées respectivement r_i et r_e .

1.

1.1. Donner l'expression littérale du coefficient de transmission surfacique K de ce mur en fonction de R_p ,

R_B , r_i , r_e , e et λ .

1.2. Calculer K

2.

2.1. Donner l'expression littérale du flux thermique surfacique φ à travers ce mur.

2.2. Calculer φ .

3.

3.1. Donner les expressions littérales des températures superficielles intérieure θ_{si} et extérieure θ_{se} .

3.2. Calculer θ_{si} et θ_{se} .

Données :

- $R_p = 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $R_B = 0,30 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $r_i = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $r_e = 0,12 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- $e = 10 \text{ cm}$
- $\lambda = 0,04 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
- $\theta_e = 40^\circ\text{C}$.

BTS Bâtiment 2001 Nouméa

Une maison d'habitation couvre une surface de 120 m^2 ($10 \text{ m} \times 12 \text{ m}$). La hauteur sous plafond est de $3,0 \text{ m}$. La surface globale des portes et des fenêtres est de 40 m^2 . Les coefficients de transmission thermique sont :

- murs extérieurs : $K_1 = 0,60 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
- fenêtres et portes : $K_2 = 3,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;
- plafond et toiture : $K_3 = 0,33 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$;

On se propose d'étudier un chauffage par le sol. La température à maintenir dans la maison est $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. La température extérieure est $\theta_e = -5^\circ\text{C}$.

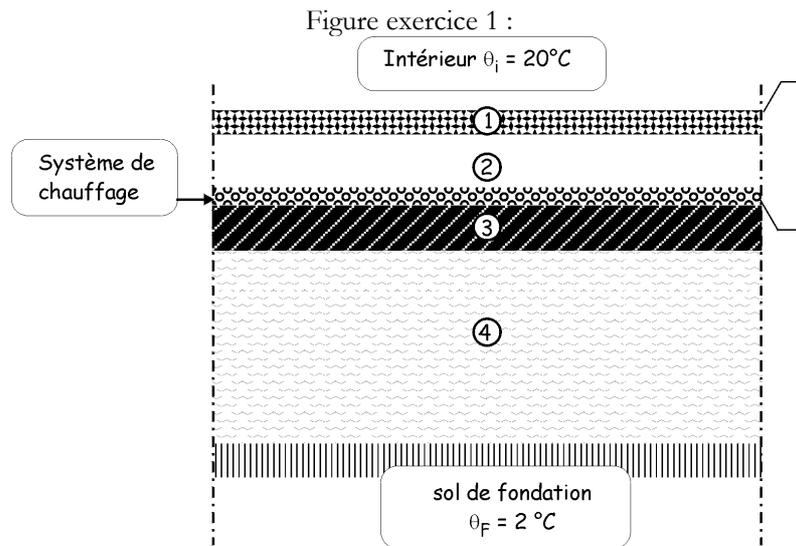
1. Calculer le flux de chaleur ϕ_1 transmis à travers l'ensemble des parois.
2. La figure 1 représente la coupe transversale d'un plancher dans lequel on a incorporé un système de chauffage. Ce système est constitué d'un tube dans lequel circule de l'eau à une température moyenne supposée uniforme. On assimile le système de chauffage à un plan horizontal de 120 m^2 ayant une température uniforme θ_c .

On note :

- θ_f , la température du sol de fondation : $\theta_f = 2^\circ\text{C}$,
- θ_i , la température intérieure ; $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
- h , le coefficient d'échange par convection et par rayonnement entre la surface du revêtement du plancher à la température θ_c et le milieu ambiant à la température θ_i ; $h = 10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

- 2.1. Calculer r_{ci} , la résistance thermique surfacique comprise entre le système de chauffage et l'intérieur de la maison.
- 2.2. Calculer r_{cf} , la résistance thermique surfacique comprise entre le système de chauffage et le sol de fondation.
- 2.3. Le flux de chaleur vers l'intérieur fourni par le plancher chauffant étant : $\Phi_1 = 5370 \text{ W}$,
 - 2.3.1. Calculer la densité de flux : ϕ_1 .
 - 2.3.2. En déduire les températures θ_c et θ_{sc} .
- 2.4. Calculer le flux de chaleur Φ_2 transmis du système de chauffage au sol de fondation.

2.5. On considère que le rendement de l'ensemble chaudière + plancher chauffant est de 80%. Le prix du kWh étant de 0,14 F, calculer le prix de revient d'une journée de chauffage.



Désignation	Indices	Conductivités thermiques λ en $\text{W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Épaisseurs en cm
Revêtement	1	0,25	1
Mortier	2	1,15	5
Isolant	3	0,02	5
Béton	4	1,40	20

BTS Bâtiment 2002

- A partir de la formule définissant l'énergie cinétique, $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ exprimer la dimension d'une énergie en fonction des grandeurs fondamentales : longueur L , masse M et temps T .
Quelles sont les dimensions d'une puissance thermique et d'un débit volumique ?
- L'air et les parois en béton d'un local (murs, plafond et sol) sont à la température de 0°C . Calculer
 - la quantité de chaleur Q_a nécessaire pour porter à 20°C la température de l'air du local ;
 - la quantité de chaleur Q_b nécessaire pour porter à 10°C la température des parois en béton. Conclure.

Données :

- dimensions intérieures du local en mètres : $L \times l \times b = 11,0 \times 7,0 \times 3,0$ (L : longueur; l : largeur; b : hauteur) ;
- épaisseur du béton pour les murs, le sol et le plafond : $e = 20$ cm ;
- masse volumique de l'air : $\rho_a = 1,25 \text{ kg m}^{-3}$;
- masse volumique du béton : $\rho_b = 2,30 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$;
- capacité thermique massique de l'air : $c_a = 1,00 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- capacité thermique massique du béton : $c_b = 0,80 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

- L'air intérieur du local précédent est maintenu à la température $\theta_i = 20^\circ\text{C}$, la température de l'air extérieur étant $\theta_e = 0^\circ\text{C}$.

La conductivité thermique du béton est $\lambda = 1,1 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Les résistances superficielles intérieure et extérieure sont respectivement $1/h_i = 0,11 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$ et $1/h_e = 0,06 \text{ W}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}$.

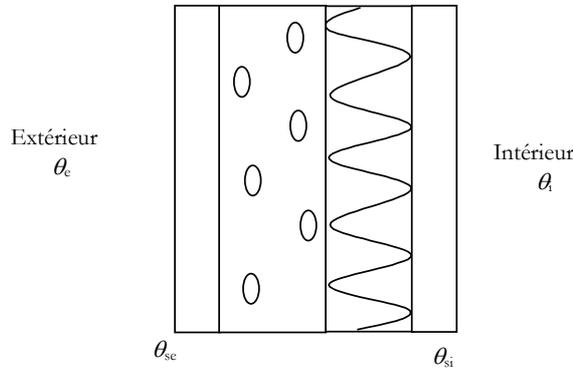
- 3.1. Citer les trois modes de propagation de la chaleur.
- 3.2. Exprimer, en fonction de e , λ , h_i et h_e , la résistance thermique surfacique R d'une paroi en béton. Calculer sa valeur.
- 3.3. Calculer le flux thermique surfacique passant au travers d'une paroi en béton.
- 3.4. Calculer la puissance thermique (ou flux total) perdue au travers des quatre murs du local (on ne tient pas compte du sol, du plafond et des ouvertures).
4. Dans un radiateur, l'eau entre à la température de 70°C et en ressort à 40°C avec un débit massique $q_m = 0,020 \text{ kg s}^{-1}$.

- 4.1. Calculer la puissance thermique transférée par ce radiateur sachant que la capacité thermique massique de l'eau est $c = 4,19 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- 4.2. Combien de radiateurs munis de robinets thermostatiques faut-il prévoir pour le local étudié précédemment dans l'hypothèse de la question 3–4 ?

BTS Enveloppe du Bâtiment 2000

Une paroi est constituée successivement, de l'extérieur vers l'intérieur, d'enduit ciment, de béton plein, de polystyrène et d'enduit plâtre

On tiendra compte, dans les calculs, des résistances thermiques superficielles intérieure et extérieure (cf données)



Données

- Masse volumique du béton $\rho = 2400 \text{ kg m}^{-3}$;
- Capacité thermique massique du béton $c = 920 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Surface de la paroi $S = 10 \text{ m}^2$.
- On donne les résistances superficielles $\frac{1}{h_i} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ et $\frac{1}{h_e} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

	Epaisseur	Conductivité thermique
Enduit extérieur	$e_e = 1 \text{ cm}$	$\lambda_e = 1,15 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Béton plein	$e_b = 15 \text{ cm}$	$\lambda_b = 1,75 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Isolant	$e_i = 7 \text{ cm}$	$\lambda_i = 0,044 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
Plâtre	$e_p = 1,2 \text{ cm}$	$\lambda_p = 0,35 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

- On donne $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ et $\theta_e = -1 \text{ }^\circ\text{C}$.
1. Détermination de la densité de flux thermique
 - 1.1. Etablir l'expression littérale de la résistance thermique R de la paroi. Calculer R .
 - 1.2. En déduire le coefficient de transmission thermique K .
 - 1.3. Exprimer la densité de flux thermique ϕ de la paroi en fonction de θ_i , θ_e et K . Calculer ϕ .
 2. Calculs des températures

La densité de flux thermique par mètre carré de paroi est 11 W m^{-2} ,

 - 2.1. Donner une expression littérale de la température superficielle intérieur θ_{si} ; Calculer θ_{si} .
 - 2.2. Donner une expression littérale de la température superficielle extérieur θ_{se} Calculer θ_{se} .
 3. Inertie thermique du béton
 - 3.1. Exprimer la masse m du béton en fonction de ses caractéristiques ρ , S et e . Calculer m .
 - 3.2. Calculer la quantité de chaleur Q nécessaire pour élever sa température de $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$
 - 3.3. Pour réaliser cet apport on dispose d'un flux thermique moyen $\Phi = 500 \text{ W}$ fourni par une chaudière. Calculer la durée Δt nécessaire pour cette opération.

BTS Enveloppe du Bâtiment 2003

Un mur de béton sépare deux milieux. La température du milieu intérieur est $\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. La température du milieu extérieur est $\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pour renforcer thermiquement cette paroi, on est amené à placer des matériaux isolants.

Nous allons comparer, du point de vue thermique, les effets d'une isolation effectuée côté intérieur puis côté extérieur.

ISOLATION INTERIEURE

De l'intérieur vers l'extérieur les matériaux sont les suivants

plâtre cartonné d'épaisseur $e_1 = 1,0$ cm et de conductivité thermique $\lambda_1 = 0,70$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

polystyrène d'épaisseur $e_2 = 6,0$ cm et de conductivité thermique $\lambda_2 = 0,036$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

béton d'épaisseur $e_3 = 20$ cm et de conductivité thermique $\lambda_3 = 1,4$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

ISOLATION EXTERIEURE

De l'intérieur vers l'extérieur les matériaux sont les suivants

béton d'épaisseur $e_3 = 20$ cm et de conductivité thermique $\lambda_3 = 1,4$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

polystyrène d'épaisseur $e'_2 = 5,0$ cm et de conductivité thermique $\lambda_2 = 0,036$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

enduit ciment d'épaisseur $e_4 = 1,5$ cm et de conductivité thermique $\lambda_4 =$ W m⁻¹ .°C⁻¹ ;

On donne

la résistance thermique d'échange superficielle intérieure $r_i = 0,11$ m² .°C .W⁻¹ ;

la résistance thermique d'échange superficielle extérieure $r_e = 0,060$ m² .°C .W⁻¹.

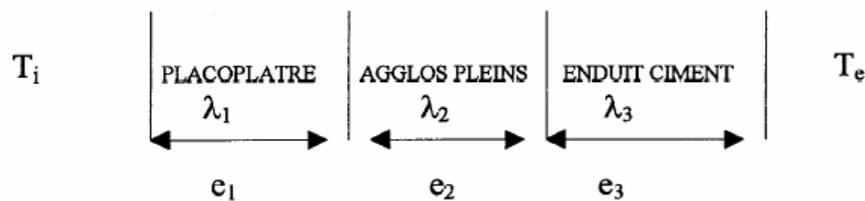
1. Etablir les expressions littérales de la résistance thermique de chacune des parois composites appelées R_i dans le cas d'une isolation intérieure et R_e dans le cas d'une isolation extérieure. Calculer R_i et R_e .
2. Que peut-on dire alors de l'isolation de ce mur par rapport au flux de chaleur dans les deux types d'isolation ?
3. Etablir les expressions littérales de la densité de flux thermique par mètre carré de paroi appelées ϕ dans le cas d'une isolation intérieure et ϕ_e dans le cas d'une isolation extérieure. Calculer ϕ et ϕ_e .
4. Dans le cas d'une isolation intérieure, on note θ_s la température de la surface intérieure, θ_{pp} la température de l'interface plâtre-polystyrène, θ_{pb} la température de l'interface polystyrène-béton, θ_{se} la température de la surface extérieure. Calculer θ_s , θ_{pp} , θ_{pb} et θ_{se} .

BTS Architecture Intérieure 2003

Echanges thermiques

Un bureau situé dans un immeuble est séparé de l'extérieur par une paroi qui comprend le mur de façade dont l'aire est $S_m = 24$ m² et une baie vitrée dont l'aire est $S_v = 8$ m². Les températures intérieure $T_i = 20^\circ\text{C}$ et extérieure $T_e = -5^\circ\text{C}$ de part et d'autre de la paroi sont supposées constantes. Les autres murs ainsi que le plafond et le plancher sont supposés parfaitement isolés.

Description du mur : Il comprend trois couches de matériaux



Description de la baie vitrée : double vitrage



Matériau	Épaisseur en cm	Conductivité thermique en W m ⁻¹ ·K ⁻¹
Placoplâtre	$e_1 = 6$	$\lambda_1 = 0,45$
Agglos	$e_2 = 10$	$\lambda_2 = 1,40$
Enduit ciment	$e_3 = 2$	$\lambda_3 = 1,25$

Verre	$e = 1$	$\lambda = 1,15$
-------	---------	------------------

A l'intérieur $R_{si} = 0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ A l'extérieur $R_{se} = 0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

La résistance thermique de la lame d'air est $R_{air} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

- Comment la chaleur se propage-t-elle à travers les murs ?
Comment se propage-t-elle dans l'air ? Expliquer brièvement les deux phénomènes à considérer.
On répondra brièvement (5 ou 6 lignes) à l'ensemble de cette question 1.
- Donner l'expression littérale de la résistance thermique du mur notée R_m et celle du double vitrage notée R_v .
- Calculer R_m et R_v .
- En déduire les coefficients de transmission thermique K_m du mur et K_v du vitrage.
- Exprimer littéralement les flux thermiques Φ_m et Φ_v respectivement à travers le mur et le vitrage.
- Calculer Φ_m et Φ_v . En déduire le flux thermique total Φ à travers la paroi.

BTS Domotique 1991

On considère une baie vitrée de surface $S = 10 \text{ m}^2$, qui sépare un appartement où la température est $T_i = 20^\circ\text{C}$, de l'extérieur où la température est $T_o = -10^\circ\text{C}$.

On utilise un double vitrage constitué par un ensemble de 2 glaces de 5 mm d'épaisseur, séparées par une lame d'air de 12 mm.

- Calculer la quantité de chaleur Q , qui s'échappe par la baie vitrée en une heure.
Calculer la température de la face interne du vitrage.

Données

- Conductivité thermique du verre : $\lambda_v = 1,15 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Résistance thermique de la lame d'air de 12 mm : $R_{air} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- Résistance superficielle interne : $0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$
- Résistance superficielle externe : $0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

BTS Domotique 2002

Dans le plancher d'un local de surface $S = 16 \text{ m}^2$, représenté ci-dessous, on a incorporé un système de chauffage maintenant la température ambiante à $\theta_a = 20^\circ\text{C}$

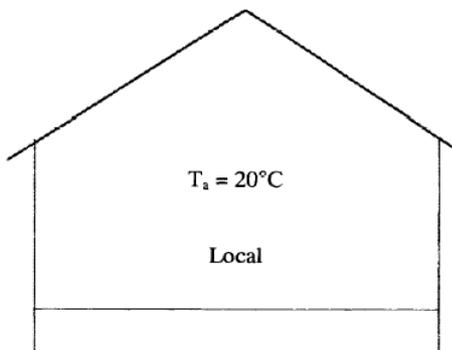


Figure 1

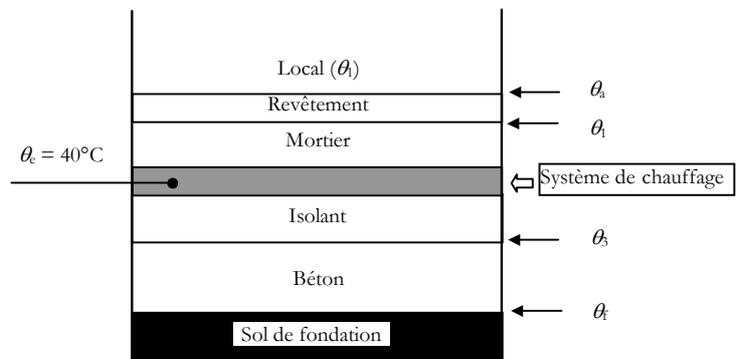


Figure 2

Le système de chauffage est constitué d'un tube dans lequel circule de l'eau à température moyenne supposée constante $\theta_e = 40^\circ\text{C}$.

Ce système de chauffage est modélisé sur la figure 2 par une couche de température uniforme $\theta_e = 40^\circ\text{C}$.

Données

- Conductivités thermiques et épaisseurs des couches
 - Revêtement: $\lambda_1 = 2,5 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ épaisseur $e_1 = 1,0 \text{ cm}$
 - Mortier: $\lambda_2 = 1,12 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ épaisseur $e_2 = 5,0 \text{ cm}$
 - Isolant: $\lambda_3 = 0,020 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ épaisseur $e_3 = 2,0 \text{ cm}$
 - Béton : $\lambda_4 = 1,4 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ épaisseur $e_4 = 10 \text{ cm}^*$
- Température du sol de fondation $\theta_t = 7^\circ\text{C}$ supposée parfaitement uniforme.
- Le coefficient d'échange par convection entre la surface du revêtement du plancher et le local est $h = 10 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

- On néglige les phénomènes de rayonnement thermique.

1.

- 1.1. Calculer la densité surfacique de flux, ϕ_1 , émise vers le haut par le système de chauffage.
- 1.2. Calculer la densité surfacique de flux, ϕ_2 , émise vers le bas par le système de chauffage.
- 1.3. En déduire la puissance thermique perdue, la puissance reçue par le local et la puissance fournie par le système de chauffage.

2. Calculer les températures θ_s , θ_1 et θ_3 .3. On désire limiter les pertes vers le sol de fondation à 10% de la puissance utile. On supposera ces pertes égales à 0,22 kW. On conserve le même isolant ($\lambda_3 = 0,020 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) et la même épaisseur de béton.

4. Calculer la nouvelle épaisseur de l'isolant.

Calculer la nouvelle puissance fournie par le système de chauffage.

BTS Bois 1999

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

L'usage des instruments de calcul est autorisé.

Les extraits du mémento technique ci joint apportent de nombreux renseignements sur les capacités isolantes du verre dans l'habitat. Les données et informations nécessaires pour traiter les questions qui suivent sont contenues dans cette documentation.

1. Le verre permet des transferts thermiques par deux moyens, lesquels?
2. Montrer que l'on peut retrouver le coefficient de transmission utile d'un simple vitrage donné dans le texte $K = 5,7 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ en prenant comme valeur de l'épaisseur $e = 6 \text{ mm}$ et comme coefficients d'échanges superficiels : $h_i = 9,1 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ et $h_e = 16,7 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$. La valeur numérique de la conductivité thermique est fournie dans l'extrait du mémento technique.
3. Calculer la puissance perdue à travers 1 m^2 de simple vitrage lorsque la température à l'intérieur est 20 °C et à l'extérieur 5 °C .
4. Le texte nous montre que la valeur de K peut changer suivant la vitesse du vent. Sur quel phénomène le vent influe-t-il ? Pourquoi ?
5. Le document nous indique que pour une fenêtre avec sa menuiserie le coefficient K vaut $5 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$ (valeur approchée) au lieu de $5,7 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{°C}^{-1}$. Retrouver l'ordre de grandeur de cette valeur avec les données du texte.
6. Pour quelle raison le double vitrage a-t-il de meilleures performances isolantes que le simple vitrage ? Quel facteur essentiel influe sur ces performances. Justifier d'après les documents.
7. Le verre laisse passer le rayonnement solaire mais cependant empêche les pertes thermiques d'une pièce par rayonnement. Comment appelle-t-on ce phénomène ?

En hiver, on désire effectuer le bilan thermique d'une fenêtre de toit, qui éclaire une pièce située dans les combles d'un immeuble. On suppose que le flux solaire est constant et égal à 250 W m^{-2} et que 80% de ce rayonnement est effectivement piégé à l'intérieur de la pièce.

8.

- 8.1. Calculer l'énergie solaire E_1 piégée dans la pièce pendant une durée d'ensoleillement constant de 8 heures.
- 8.2. Cette fenêtre, de surface $S = 1 \text{ m}^2$, est constituée par un double vitrage dont la lame d'air a une épaisseur de 10 mm. Calculer l'énergie E_2 perdue par conduction à travers la fenêtre durant une journée si on suppose que la différence de température entre intérieur et extérieur est constante et égale à 15 °C .
- 8.3. Comparer E_1 et E_2 et conclure.

Conductivité thermique :

Flux de chaleur : quantité de chaleur échangée par unité de temps. Il s'exprime en watts (W) ou en kilocalorie par heure (kcal/h).

La conductivité thermique est le flux de chaleur par mètre carré traversant 1 mètre d'épaisseur de matériau homogène pour 1 degré de différence de température entre ses deux faces. Pour le verre, d'après les D.T.U. :

$\lambda = 1,16 \text{ W/m} \cdot \text{°C}$ ou $1 \text{ kcal/h} \cdot \text{m} \cdot \text{°C}$.

Transmission thermique :

Le flux de Chaleur traversant une paroi est fonction de la conductivité du matériau constituant cette paroi, de son rayonnement, et des coefficients d'échanges thermiques des surfaces

Le D.T.U. édité par le C.S.T.B. : « Règles de Calculs des caractéristiques thermiques utiles des parois de construction et des déperditions de base des bâtiments » (Règles Th) fixe les valeurs à prendre en considération pour des parois verticales ou horizontales extérieures ou intérieures. Cette règle permettant de calculer la valeur conventionnelle appelé « coefficient de transmission thermique utile K », qui, pour un vitrage vertical simple donnant sur l'extérieur, est : $K = 5,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}$ (ou $4,9 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{°C}$).

Il faut noter que si l'on considère l'ensemble de la fenêtre, le coefficient K peut être différent de celui du vitrage.

Ainsi, une fenêtre en menuiserie sapin de 32 mm d'épaisseur, munie d'un simple vitrage occupant 72 % de la surface totale, aura un coefficient K de 5 W/m² °C (les coefficients K respectifs du verre et de la menuiserie étant de 5,7 et 2.4 W/m² °C). Voir tableau ci contre. De même, des conditions de site particulières peuvent amener à évaluer des coefficients K différents (Kf). La valeur conventionnelle est établie pour un vent extérieur de l'ordre de 2 m /s, alors que pour un autre site il faudra peut-être retenir un vent de 15 m /s, (qui donnerait un Kf de l'ordre de 7 W/m² °C au lieu de 5,7). Le coefficient K des vitrages isolants est beaucoup plus faible du fait de la résistance thermique des lames d'air séparant les parois. Le tableau ci contre indique les valeurs du coefficient K des principaux produits verriers calculées suivant le D.T.U. « Règles Th », pour des parois donnant sur l'extérieur (sauf autres indications).

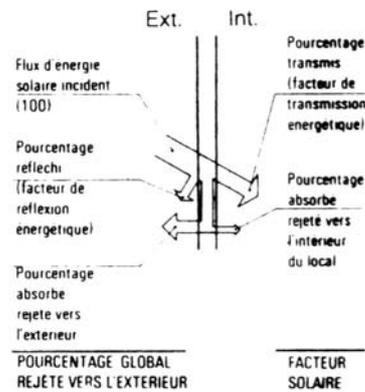
COEFFICIENTS K

Coefficients de transmission thermique surfacique en partie courante

I. PAROIS VERTICALES	
PRODUITS	W/m ² °C
1. Vitrages simples Verres étirés. verres coulés. verres armés. vitrage feuilleté STADIP, glace PLANILUX, PARSOL, PARELIO, ANTELIO	5.7
2. Vitrages doubles BIVER. CLIMALIT. POLYGLASS	
vitrage double 1 lame d'air de 6 mm et CONTRASONOR 33 16 et 35.20	3,4
vitrage 1 lame d'air de 8 mm	3,2
Vitrage double 1 lame d'air de 10 mm	3,1
vitrage double 1 lame d'air de 12 mm et CONTRASONOR 40.34	3.0

Facteur solaire.

Le facteur solaire d'un vitrage est le rapport entre l'énergie totale entrant dans le local à travers ce vitrage et l'énergie solaire incidente. Cette énergie totale est la somme de l'énergie solaire entrant par transmission directe, et de l'énergie cédée par le vitrage à l'ambiance intérieure à la suite de son échauffement par absorption énergétique.



Unités énergétiques					
1 W	=	1 J/s	=	0,86 kcal/h	1 kcal/h = 1,16 W
1 Wh	=	3600 J	=	0,86 kcal	
1 J (joule)	=	1 Ws	=	2,8 · 10 ⁻⁴ Wh	= 2,410 ⁻⁴ kcal

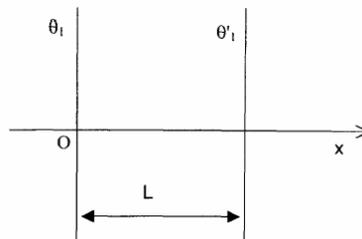
Effet de serre.

L'énergie solaire entrant dans un local à travers un vitrage est absorbée par les objets et parois intérieures qui, s'échauffant, réémettent des rayonnements calorifiques situés principalement dans le lointain infra-rouge (λ supérieur à 5 μm). Les vitrages, même clairs, sont pratiquement opaques aux radiations de longueur d'onde supérieure à 5 μm, l'énergie solaire entrant par les vitrages se trouve donc piégée dans le local qui a tendance à s'échauffer : c'est " l'effet de serre ".

D'après Mémento technique 86 – Saint Gobain Vitrage

BTS Travaux Publics 2003

- Dans le phénomène de conduction thermique à travers un matériau
 - Définir précisément le régime permanent.

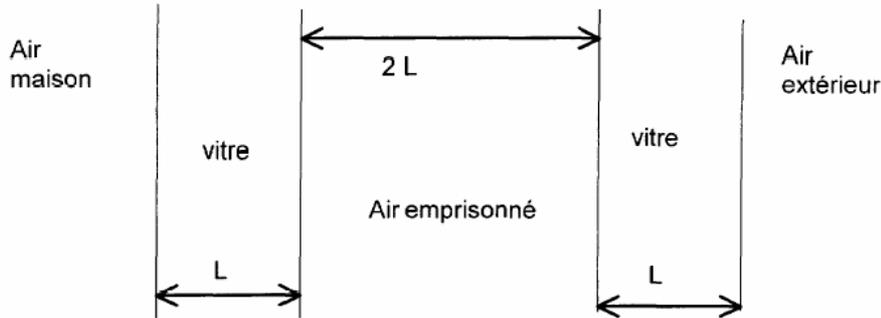


- En utilisant une des deux lois énoncées ci-dessous, démontrer que, pour un problème plan (mur isotrope et homogène, d'épaisseur L, une face à la température θ1 et l'autre à la température θ1'), la courbe de la température θ en fonction de l'abscisse x évaluée sur un axe perpendiculaire aux faces du mur, soit θ = f(x), est une droite.

Données

Loi de Fourier : $\varphi = - \lambda \frac{d\theta}{dx}$ Loi de Laplace : $\frac{d^2\theta}{d^2x} = 0$

2. Un double vitrage comporte deux vitres d'épaisseur L , séparées par une couche d'air d'épaisseur $2L$ (voir le schéma). La température de l'air de la maison est $\theta_{\infty 1}$; celle de l'air extérieur est $\theta_{\infty 2}$. ($\theta_{\infty 1} > \theta_{\infty 2}$)



La conductivité du verre est λ_v , celle de l'air est λ_a . Le coefficient d'échange superficiel sur chacune des faces des vitres en contact avec l'air libre est h .

On rappelle qu'il y a convection entre vitres et air libre (dans la maison et à l'extérieur) mais pas entre vitres et air emprisonné.

- 2.1. Exprimer littéralement la résistance thermique globale R (pour 1 m^2), en fonction des données utiles (le résultat numérique n'est pas demandé).
- 2.2. Calculer la densité de flux thermique ϕ à travers l'ensemble.

Données

$$\theta_{\infty 1} = 20,0 \text{ °C} \quad \theta_{\infty 2} = -10,0 \text{ °C} \quad h = 12,0 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \quad L = 3,0 \text{ mm}$$

$$\lambda_v = 1,20 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \quad \lambda_a = 0,0240 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- 2.3. Calculer les températures des quatre faces des vitres (elles seront obligatoirement notées θ_1 , θ_1' , θ_2 et θ_2').
- 2.4. Tracer précisément le diagramme des températures $\theta = f(x)$, de $\theta_{\infty 1}$ à $\theta_{\infty 2}$ en plaçant les 6 températures connues.

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999

On veut maintenir constante la température d'une pièce d'habitation, en hiver.

Dans ce problème on étudiera successivement les pertes de chaleur à travers le mur extérieur et les différents moyens de chauffage. Les échanges thermiques avec les autres pièces de l'habitation seront supposés nuls.

On rappelle les lois de transfert de la chaleur, utiles dans la première partie du problème

- Conduction : loi de Fourier : $\Phi = -\lambda \cdot S \cdot \frac{d\theta}{dx}$, où Φ est le flux de chaleur (ou puissance thermique) à travers une surface S , et λ la conductivité thermique du matériau traversé.
- Convection : loi de Newton $\Phi = h \cdot S \cdot \Delta\theta$, où $\Delta\theta$ est l'écart de température entre la paroi et le fluide, et h le coefficient d'échange par convection entre le fluide et la paroi.
- Les échanges de chaleur dans un solide se font par conduction et ceux entre un solide et un fluide se font par convection.

1. Pour un mur d'épaisseur e , limitée par deux plans parallèles de surface S maintenus à des températures θ_1 et θ_2 constantes, justifier que le flux de chaleur Φ à travers chaque section du mur est constant.
2. En intégrant la loi de Fourier, établir l'expression du flux de chaleur en fonction de $(\theta_1 - \theta_2)$. Le matériau constituant le mur est supposé homogène et on notera λ sa conductivité thermique.
3. Exprimer les flux de chaleur échangés par convection au niveau des surfaces intérieures et extérieures du mur. On notera le coefficient d'échange air-solide par convection.
4. Justifier l'égalité de ces trois flux. En déduire que $\Phi = \frac{\theta_0 - \theta_3}{\frac{2}{h \cdot S} + \frac{e}{\lambda \cdot S}}$

5. Le mur extérieur d'une pièce d'habitation a 2,70 m de hauteur, 4,10 m de longueur et 25 cm d'épaisseur. Il est constitué de briques de conductivité $\lambda = 0,665 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Au centre du mur est située une fenêtre de dimensions 1,50 m x 1,60 m. Les vitres ont une épaisseur de 5 mm et une conductivité $\lambda' = 0,778 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

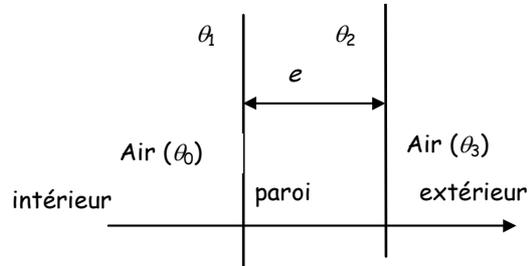
On admet que le coefficient d'échange air–solide est le même à l'intérieur et à l'extérieur, on prendra $h = 11,4 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Sachant que la température extérieure est de 0°C et la température intérieure de 19°C , calculer le flux de chaleur

- à travers les briques
- à travers les vitres.

En déduire le flux total Φ à travers le mur.

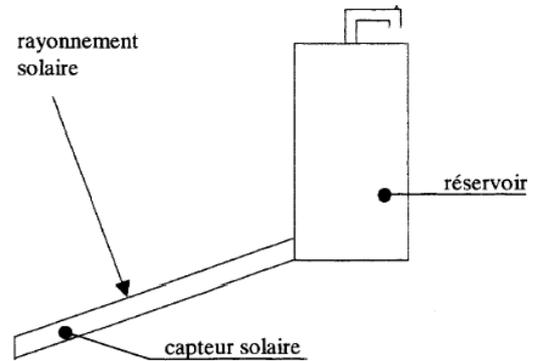
Dans les parties II et III du problème on prendra $\Phi = 550 \text{ W}$



Rayonnement

BTS Enveloppe du Bâtiment 2002

Un chauffe-eau solaire est constitué d'un réservoir et d'un capteur solaire exposé aux rayons solaires.



1. Calculer l'énergie thermique Q nécessaire pour chauffer l'eau de 15°C à 65°C lorsque le réservoir contient 500 litres d'eau.
On donne $c = 4180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$
2. Le capteur, assimilé à un corps noir, reçoit du soleil un flux énergétique surfacique $J_0 = 1,0 \text{ kW}/\text{m}^2$.

On rappelle:

- la loi de Stefan : $J = \sigma T^4$, avec
 J : flux énergétique surfacique ;
 T : température absolue en kelvin ;
 σ : constante de Stefan ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$) ;
- la loi de Wien : $\lambda_{\text{max}} \cdot T = 3 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.

Calculer la température T_0 d'équilibre du capteur solaire en kelvins puis en degrés Celsius.

3. Calculer la longueur d'onde maximale λ_{max} du spectre de réémission.
4. A l'aide du tableau ci-dessous, dire dans quelle partie du spectre se situe le rayonnement de longueur d'onde λ_{max} .

1000 μm	Ondes hertziennes
10 μm	IR long
4 μm	IR moyen
2 μm	IR court
0,76 μm	Lumière visible
0,38 μm	Ultraviolet

Répartition des rayonnements infrarouges (IR dans le spectre des fréquences.)

5. On interpose une vitre entre le capteur solaire et le soleil. Cette vitre est considérée comme transparente pour l'ensemble du rayonnement solaire ; en revanche, le rayonnement réémis par le capteur est absorbé totalement par la vitre. Celle-ci réémet la totalité de ce rayonnement, d'une part vers l'extérieur d'autre part vers le capteur lui-même.

On désigne par

- J_0 : flux énergétique surfacique solaire;
- J_1 : flux énergétique surfacique réémis par le capteur;
- J'_2 : flux énergétique surfacique réémis par la vitre vers l'extérieur;
- J''_2 : flux énergétique surfacique réémis par la vitre vers le capteur.

On néglige tous les échanges de chaleur autres que par rayonnement.

5.1. Ecrire la relation qui lie J_0 , J_1 et J''_2 au niveau du capteur à l'équilibre thermique.

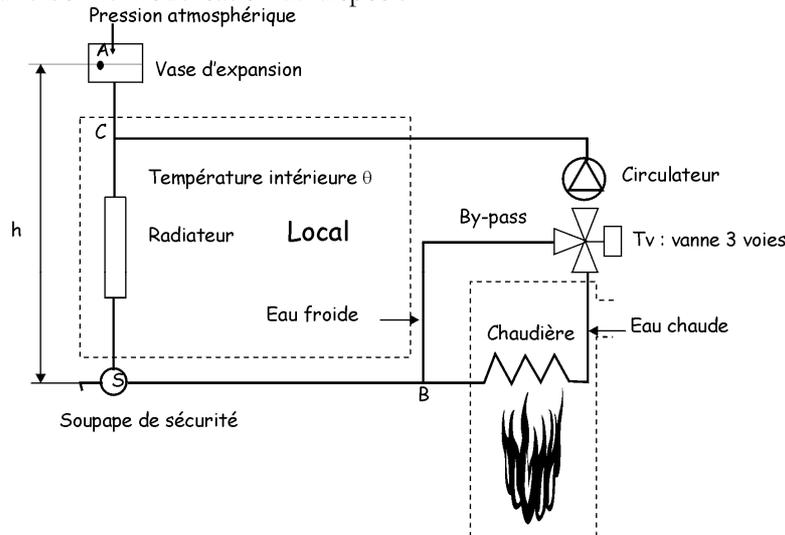
5.2. On admet l'égalité $J'_2 = J''_2$.

En déduire la nouvelle température T_1 du capteur en kelvin puis en degré Celsius.

6.
 - 6.1. Comparer T_1 à la valeur T_0 trouvée à la question 2.
 - 6.2. Quel est le nom de l'effet étudié ?

BTS Domotique 1997

Le fonctionnement de l'installation de chauffage à circulation d'eau d'un local peut être analysé sur le schéma ci-dessous représentant une bonne modélisation du dispositif.



L'installation comporte :

- Une chaudière (dont le corps de chauffe est en acier) de puissance utile $P_{ch} = 22,4 \text{ kW}$
- Un circulateur dont la pompe tourne à 1870 tours par minute et dont le débit volumique Q_v est tel que $0 \leq Q_v \leq 3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$
- Un « Radiateur » symbolisant l'ensemble des radiateurs de l'installation.
- Un vase d'expansion ouvert à la pression atmosphérique.
- Une soupape de sécurité S qui s'ouvre pour une pression p_s ajustable entre 0,5 et 6 bars.

Etude de l'installation : la chaudière fonctionne au tiers de sa puissance : $P = \frac{P_{ch}}{3}$.

1. L'eau pénètre dans le radiateur à la température de 72°C et en ressort à 36°C . On suppose que toute l'énergie produite par la chaudière arrive au radiateur. Evaluer le débit Q_v dans le radiateur.
2. La température moyenne de surface du radiateur est de 50°C , sa surface de $2,44 \text{ m}^2$ a une émissivité $\varepsilon = 0,55$. Quelle est la puissance P_e émise sous forme d'ondes par le radiateur transformant l'énergie thermique en énergie rayonnante ?
3. Comparer P_e à la puissance thermique reçue. Citez les modes d'échange thermique dans le cas général.

Données

Chaleur massique de l'eau	$C_e = 4190 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
Masse volumique de l'eau	$\rho = 1000 \text{ kg m}^{-3}$.
Pression atmosphérique	$p_{atm} = 101300 \text{ Pa}$.
Accélération de la pesanteur	$g = 9,8 \text{ m s}^{-2}$.

BTS Travaux Publics 1986

On étudie le rendement d'un panneau solaire déployable destiné à équiper la navette spatiale. Ce panneau déployable est constitué de générateurs solaires à photopiles afin d'économiser le dioxygène et le dihydrogène, sources d'énergie de trois piles à combustible de 7 kW de puissance chacune ; en effet, une heure de fonctionnement d'une pile consomme 500 g de dihydrogène et $4,8 \text{ kg}$ de dioxygène.

1. L'aire du panneau solaire est de 35 m^2 . Calculer la puissance électrique supplémentaire dont disposerait la navette, sachant que dans l'espace, le flux énergétique solaire est de 1400 W m^{-2} et que le rendement électrique du panneau solaire est de 20% .
2. En considérant que le panneau a un coefficient d'absorption thermique de $0,4$, calculer sa température d'équilibre, dans l'espace. (On considérera que le panneau se comporte comme un corps noir à l'émission).
3. Pour les essais déjà réalisés sur Terre, on demande quelle est la température d'équilibre du panneau sachant que le flux énergétique vaut 700 W m^{-2} , pour une température ambiante de 18°C ?

Donnée : constante de Stefan $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

BTS Travaux Publics 2000

Étude des échanges thermiques entre l'atmosphère et l'eau d'une piscine.

1. Calculer la quantité de chaleur mise en jeu, lorsque la température de l'eau de la piscine varie de 1 degré Celsius.

Pendant le jour, l'eau se réchauffe grâce au rayonnement solaire.

2. L'eau reçoit une puissance moyenne $P_1 = 300 \text{ W m}^{-2}$, pendant une durée de 12 h. L'eau n'absorbe en fait, que 50 % de cette puissance.

2.1. Calculer l'énergie Q_1 absorbée par l'eau pendant ces 12 heures.

2.2. Calculer, pour cette eau, l'augmentation de température $\Delta\theta_1$ qui en résulte.

3. Pendant la nuit, l'eau de la piscine rayonne de l'énergie vers l'atmosphère.

On considère que l'eau se comporte comme un corps noir; on admet que sa température est $\theta_e = 25^\circ\text{C}$.

3.1. Calculer la puissance P_2 perdue par rayonnement, par cette eau, pour 1 m^2 de surface.

3.2. Calculer l'énergie thermique Q_2 perdue au cours d'une nuit de 12 heures.

3.3. Calculer la baisse de température $\Delta\theta_2$ de l'eau, due à cette perte d'énergie.

3.4. Par quel dispositif simple peut-on, la nuit, diminuer la perte par rayonnement ?

4. Faire le bilan énergétique sur une journée de 24 heures.

5. Pour exploiter la piscine à moindre coût, on peut utiliser un chauffage solaire de l'eau. On réalise des capteurs solaires dans lesquels circule l'eau de la piscine. Les capteurs utilisent « l'effet de serre ».

En vous aidant d'un schéma, expliquer en quelques lignes le principe de fonctionnement de ces capteurs.

Données

- Capacité thermique massique de l'eau: $c_e = 4,18 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
- Loi de Stefan : $P = \sigma \cdot T^4$ où P s'exprime en W m^{-2} et $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

BTS Bâtiment 1973

Un satellite sphérique a une surface qui se comporte comme un radiateur intégral et qui suit la loi de Lambert.

1. Dans le vide, à une altitude où le flux énergétique solaire a une densité de 1400 W m^{-2} , déterminer sa température.
2. Au niveau du sol le satellite reçoit un flux de 700 W m^{-2} . La température ambiante étant de 17°C , quelle est la température d'équilibre, si on néglige tout échange d'énergie par conduction et convection ?

Donnée : Constante de Stephan : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

BTS Bâtiment 1987

Une vitre de surface 1 m^2 et d'épaisseur 4 mm sépare deux milieux où la température ambiante d'un côté est 20°C , de l'autre côté 5°C .

Le coefficient d'échange superficiel de part et d'autre est $h = 12 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$; tandis que le coefficient de transmission thermique par conduction dans le verre est $\lambda = 1,2 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Calculez le flux thermique transmis ainsi que les températures de surface du verre.

Ce vitrage est choisi pour couverture transparente d'un capteur solaire; on ne tient compte que des échanges par rayonnement.

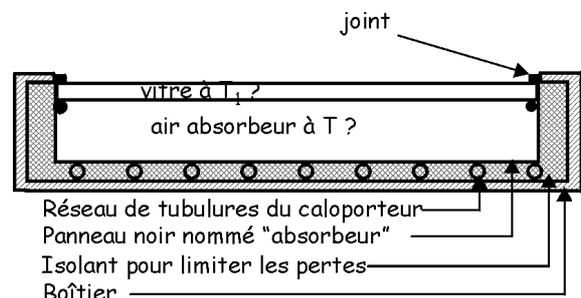
Le verre est complètement transparent aux radiations solaires directes. dans la bande spectrale comprise entre $\lambda = 0,3 \mu\text{m}$ et $\lambda = 2,5 \mu\text{m}$, on admet que le coefficient d'absorption a est nul, que le coefficient de réflexion r est nul, et que le coefficient de transmission $t = 1$.

Au-delà de $2,5 \mu\text{m}$, jusque vers $30 \mu\text{m}$ le verre est au contraire parfaitement absorbant et se comporte comme un corps noir : $a = 1$; $r = t = 0$.

La circulation du fluide caloporteur étant arrêtée, sous l'action du flux solaire ($\Phi_0 = 1000 \text{ W m}^{-2}$) un équilibre thermique s'établit.

2. Déterminer la température T de l'absorbeur ainsi que la température T_1 de la vitre.

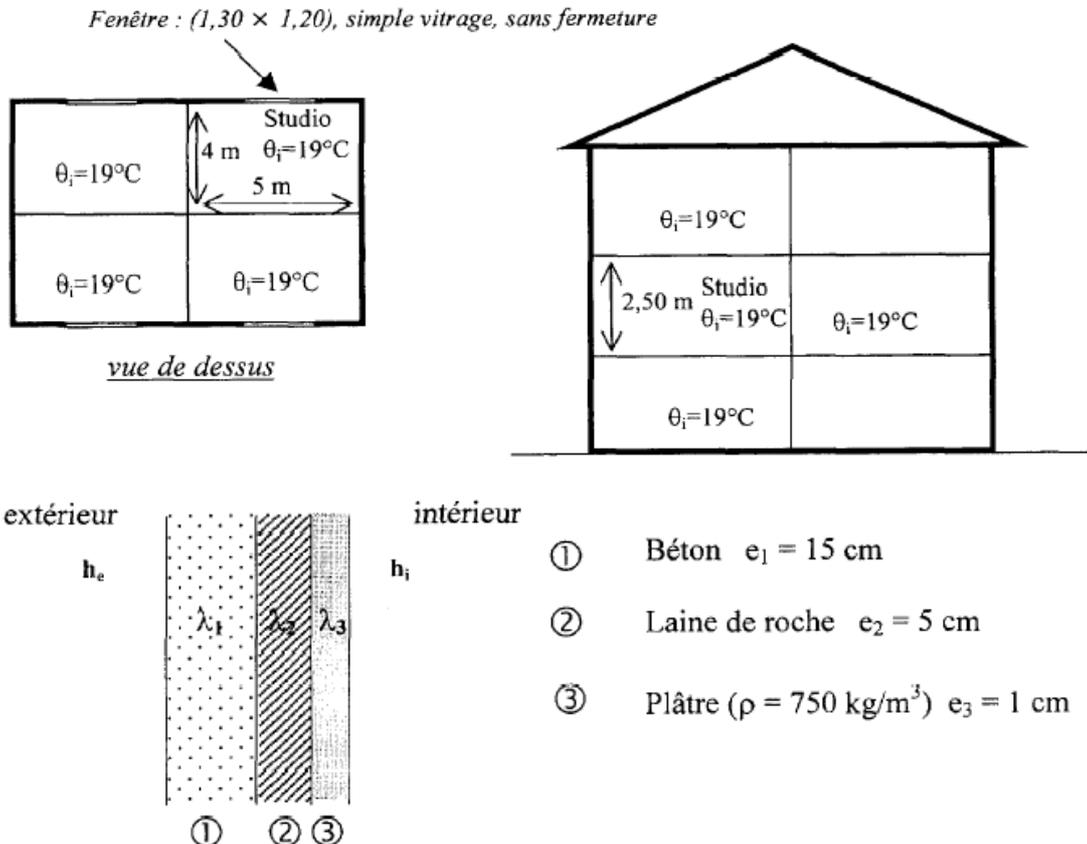
Donnée : $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.



BTS Systèmes Constructifs Bois et Habitat 2002

On souhaite réaliser le dimensionnement d'une installation de chauffage par panneaux rayonnants. Le local considéré est un studio (hauteur: 2,5m ; surface au sol : 4m x 5m) qui comporte 2 façades en contact avec l'extérieur, dont l'une comporte une fenêtre. Les appartements adjacents au studio sont à la même température θ ($= 19^\circ\text{C}$) que celui-ci.

Les dimensions utiles et la composition des parois extérieures sont précisées sur les figures ci-dessous, la température extérieure est $\theta_e = 5^\circ\text{C}$.



PARTIE I : CALCUL DES DEPERDITIONS PAR LES PAROIS EXTERIEURES

Dans tout le problème, on ne tiendra pas compte des pertes linéiques (ponts thermiques). Toutes les données nécessaires aux calculs demandés sont fournies en annexe.

1. Les coefficients de transferts thermiques de surface, h_e (échange paroi extérieure –air extérieur) et h_i (échange paroi intérieure –air intérieure) sont également appelés coefficients d'échanges radioconvectifs. Quels sont les modes de transferts thermiques principaux pris en compte dans ces grandeurs ?
2. Exprimer littéralement puis calculer numériquement le coefficient de transmission thermique K_p correspondant aux parois en contact avec l'extérieur.
3. Déterminer la valeur la résistance thermique totale R_p de l'ensemble des deux parois en contact avec l'extérieur.
4. Exprimer littéralement puis calculer
 - 4.1. la densité de flux thermique ϕ_p au travers des parois en contact avec l'extérieur ;
 - 4.2. la densité de flux thermique ϕ_f au travers de la fenêtre.
5. Déterminer les deux flux thermiques traversant les parois en contact avec l'extérieur et la fenêtre du studio. En déduire les déperditions thermiques totales D par les façades (parois + fenêtres) extérieures.

PARTIE II: ETUDE DU CHAUFFAGE PAR RAYONNEMENT.

On étudie, dans cette partie, le chauffage par un panneau rayonnant. Dans toute cette partie on considérera que le panneau rayonnant est un corps noir.

1. Quelle est la principale différence, en ce qui concerne le milieu de propagation, entre les transferts par rayonnement et les autres modes de transfert de la chaleur ?
2. Pour connaître la puissance de chauffage nécessaire, on utilise des règles de conception permettant le dimensionnement de l'installation.

A l'aide de la documentation jointe en annexe 2, , calculer la puissance du panneau rayonnant à installer dans le studio (logement collectif), les déperditions étant évaluées à 281 W.

3. Ce panneau a pour dimensions: longueur $L=1$ m, hauteur $b = 50$ cm.
Calculer sa température sachant que seulement 30% de la puissance fournie par le panneau est émise par rayonnement.

Formulaire pour le rayonnement

Loi de Stefan : cette loi définit l'émittance totale du rayonnement d'un corps noir en fonction de sa température.

$$M(T) = \sigma \cdot T^4$$

- M : émittance, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- σ : constante de Stefan, $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$
- T : température du corps, en K

Puissance émise par rayonnement

$$P(T) = M(T) \cdot S$$

- P : puissance, en W
- M : émittance, en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
- S : surface du corps rayonnant, en m^2

Loi de Wien

$$\lambda_{\text{max}} \cdot T = 2898 \times 10^{-6}$$

- λ_{max} : longueur d'onde pour laquelle l'émittance spectrale est maximale (en m)
- T : température du corps (en K)

Résistances superficielles

$$h_i = 9,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$h_e = 16,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

Conductivités thermiques

- Béton : $1,10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Plâtre : $0,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Laine de roche : $0,039 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Tableau des coefficients λ des matériaux usuels

Matériaux	Masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	λ ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)	Matériaux	Masse volumique ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	λ ($\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}$)
Argent	10 500	420	Panneaux en aggloméré bois	360 à 750	0,10 à 0,17
Aluminium	2 700	230	Verre	2 700	1,10
Cuivre	8 930	380	Laine de roche	100	0,039
Plomb	11 340	35	Laine de verre	12 à 60	0,036 à 0,044
Pierres lourdes	2600	$\approx 2,8$	Mousse PVC	35	0,033
Terre cuite	1900	1,15	Mousse de polyuréthane	30 à 40	0,030
Béton	2300	1,75			
Béton cellulaire	500	0,20			
Plâtre	750 à 1 300	0,35 à 0,50			
Bois chêne	650	0,23			
Sapin	500	0,15			

**Tableau des coefficients K moyens jour-nuit
pour les fenêtres et portes fenêtres en bois**

Type de vitrage	Epaisseur lame d'air (mm)	K moyen (jour-nuit)		
		Sans fermeture	Avec volets ajourés	Volets pleins ou roulants
Simple vitrage		4,25	3,90	3,50
Double vitrage	6	2,90	2,75	2,45
	8	2,80	2,65	2,40
	10	2,75	2,60	2,35
	12	2,65	2,50	2,25
Double fenêtre		2,35	2,25	2,05

Règles de conception

Type	<i>DIMENSIONNEMENT</i>
Panneau rayonnant	$P = D + 10 \cdot V$ (MI) $P = D + 15 \cdot V$ (LC)
Radiateur chaleur douce	$P = D + 10 \cdot V$ (MI) $P = D + 15 \cdot V$ (LC)
Radiateur à inertie	$P = D + 10 \cdot V$ (MI) $P = D + 15 \cdot V$ (LC)
Plafond chauffant électrique	$P = 1,2 \cdot D$
Mixte	$P_b = 1,2 \cdot D$ $P_a = 0,6 \cdot D + 10 \cdot V$
Plancher chauffant/rafraîchissant	$P = 1,2 \cdot D$

- P : puissance de chauffage (W)
- D : déperditions (W)
- V : volume du local (m^3)
- MI : maison individuelle
- LC : logement collectif

Échangeurs

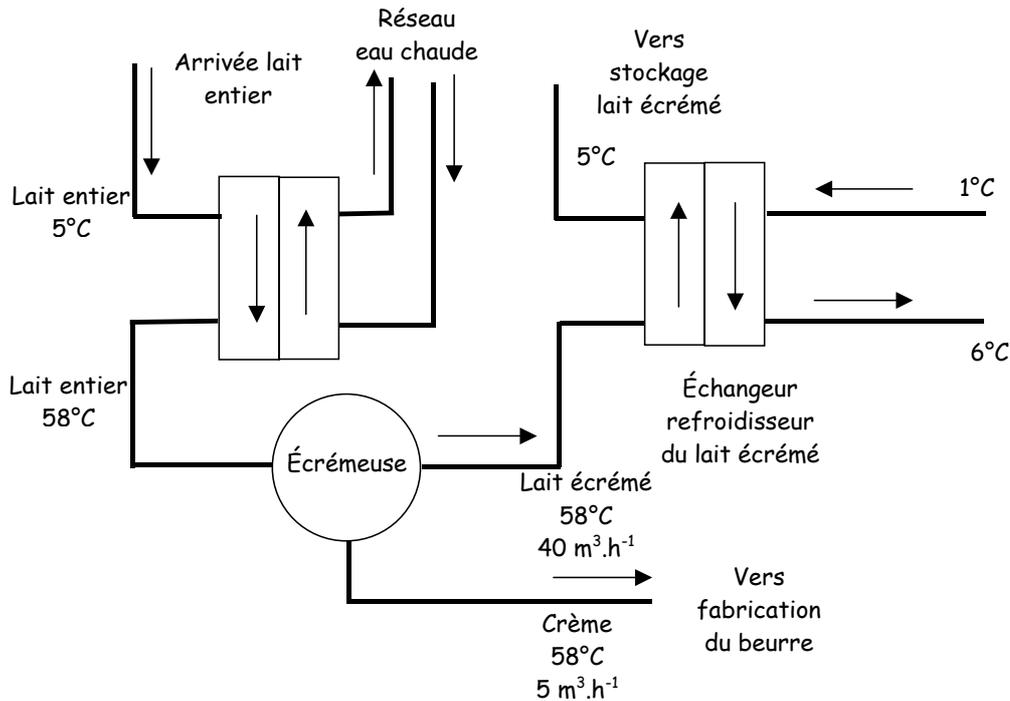
BTS Fluides Énergie Environnement 2001 Épreuve de Fluidique

ÉTUDE D'UN ÉCHANGEUR REFRIGÉRISEUR DE LAIT

La laiterie reçoit par camion, du lait entier à la température de 5°C. Le lait entier va être

- réchauffé de la température de 5°C à 58°C,
- écrémé.

Après écrémage, on obtient 5 m³.h⁻¹ de crème et 40 m³.h⁻¹ de lait écrémé. La crème va être dirigée vers une autre unité de l'usine pour être transformée en beurre. Le lait écrémé va être refroidi puis stocké en cuve.



On demande de déterminer

1. la puissance thermique de l'échangeur de refroidissement du lait écrémé,
2. le débit massique dans le réseau d'eau glacée,
3. l'efficacité de cet échangeur.

Vérification des performances d'un échangeur.

On dispose à l'atelier d'un échangeur à plaques ayant une surface d'échange de $S = 95 \text{ m}^2$. Les débits massiques et températures d'entrée des deux fluides restent inchangés.

On demande de déterminer

4. le nombre d'unités de transfert (NUT),
5. l'efficacité de cet échangeur (à partir de l'abaque fourni)
6. les températures de sortie des deux fluides.

Données complémentaires

Eau glacée capacité calorifique $c_p = 4,21 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

masse volumique: $\rho = 998 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Lait écrémé capacité calorifique $c_p = 4,02 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

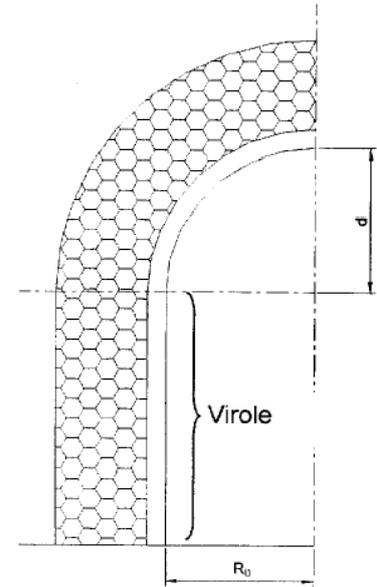
masse volumique: $\rho = 1033 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

Coefficient global d'échange $K_g = 1250 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$.

Formulaire et données

- Perte de charge: $\Delta p = \frac{\lambda}{D} \rho \frac{v^2}{2} L$, perte de charge en Pa ;
- L : longueur de la canalisation en m;
- D : diamètre de la canalisation de section circulaire en m;

- $\rho \frac{v^2}{2}$: pression dynamique due à au fluide de masse volumique ρ en kg m^{-3} et de vitesse constante v exprimée en m s^{-1} .
- Surface d'une calotte sphérique : $S = 2\pi \cdot R_0 \cdot d$
- Pour $Re > 10^5$, $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log \left(R_c \frac{\sqrt{\lambda}}{2,51} \right)$ avec \log : logarithme décimal
- $Re = \rho \frac{v \cdot D}{\mu}$
- Conductance globale en W K^{-1} d'une virole cylindrique multicouches (dans l'hypothèse d'une épaisseur négligeable devant le rayon) $\frac{2\pi \cdot R_0 \cdot H}{\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$
- Conductance globale en W K^{-1} d'une calotte sphérique multicouches (dans l'hypothèse d'une épaisseur négligeable devant le rayon) $\frac{2\pi \cdot R_0 \cdot d}{\sum_i \frac{e_i}{\lambda_i}}$



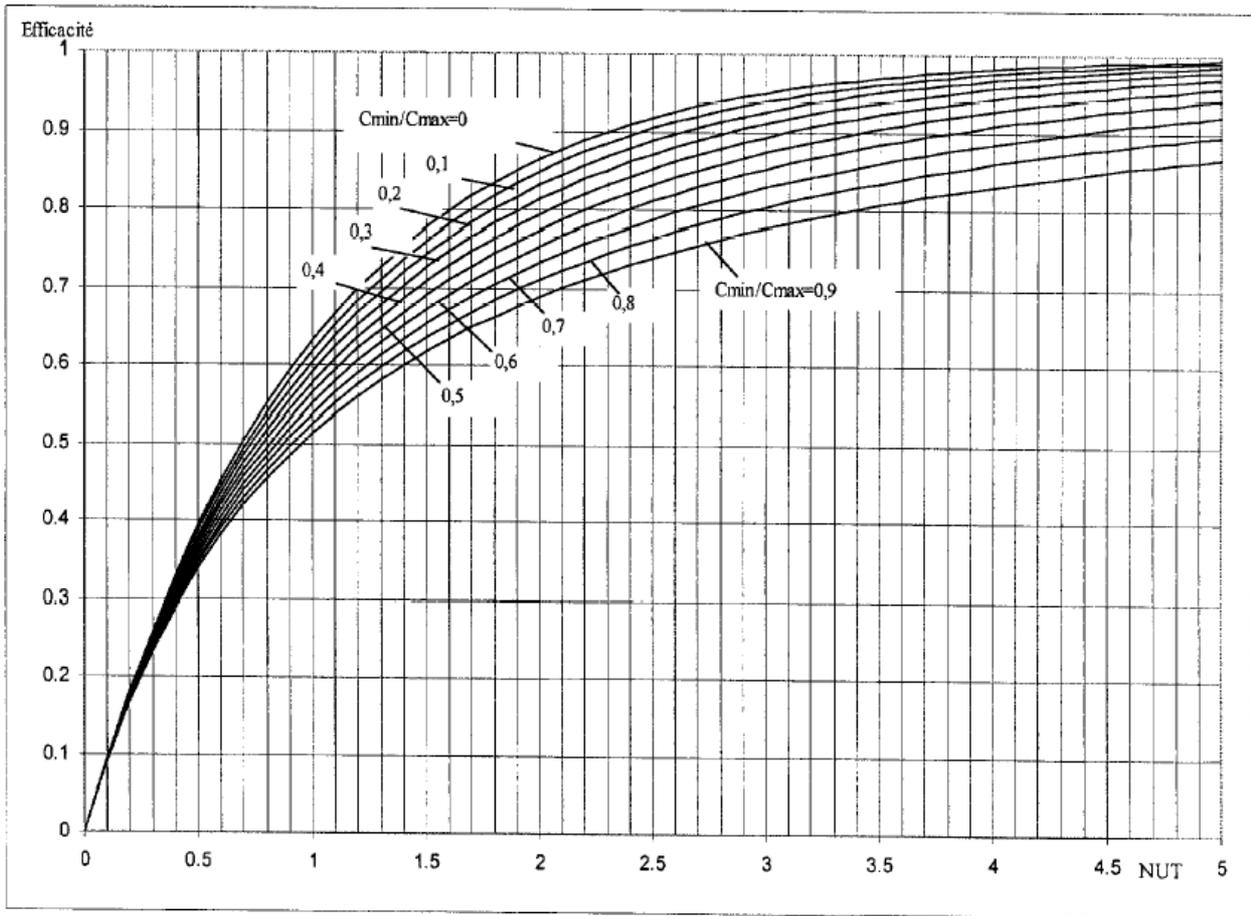
Avec R_0 : rayon intérieur du cylindre ou de la calotte ; H : hauteur de la virole ; e_i et λ_i : épaisseurs et conductivité thermique des matériaux constitutifs des épaisseurs e_i ; d : hauteur de la calotte sphérique.

- Efficacité d'un échangeur = $\frac{\text{Puissance thermique échangée}}{\text{Puissance thermique maximale échangeable}}$
- NUT : Nombre d'unités de transfert : $\frac{K_g \cdot S}{(q_m \cdot C)_{\text{mini}}}$

Caractéristiques de l'eau en phase liquide en fonction de la température θ exprimée en degré Celsius.							
θ	p_s	ρ	h	c_p	$\eta \times 10^6$	$\nu \times 10^6$	λ
0,01	0,00611	999,8	0,000 611	4,218	1786	1,786	0,569
10	0,01227	999,6	41,99	4,194	1304	1,305	0,587
20	0,02337	998,2	83,86	4,182	1002	1,004	0,603
30	0,04241	995,6	125,66	4,179	798,3	0,802	0,618
40	0,07375	992,2	167,47	4,179	653,9	0,659	0,631
50	0,12335	988,0	209,3	4,181	547,8	0,554	0,643
60	0,19920	983,2	251,1	4,185	467,3	0,473	0,653
70	0,31162	977,7	293,0	4,191	404,8	0,414	0,662
80	0,47360	971,8	334,9	4,198	355,4	0,366	0,670
90	0,70109	965,3	376,9	4,207	315,6	0,327	0,676
100	1,01330	958,3	419,1	4,218	283,1	0,295	0,681
110	1,4327	951,0	461,3	4,230	254,8	0,268	0,684
120	1,9854	943,1	503,7	4,244	231,0	0,245	0,687

Avec :

p_s	Pression de saturation, en bar
ρ	Masse volumique en kg m^{-3}
h	Enthalpie massique en kJ kg^{-1}
c_p	Capacité thermique massique à pression constante en $\text{kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
η	Viscosité dynamique en Pa s^{-1}
ν	Viscosité cinématique en $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$: $\frac{\eta}{\rho}$
λ	Conductivité thermique en $\text{W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$



BTS Industries Papetières 2002

A la partie supérieure d'un lessiveur continu « KAMYR » (voir schéma d'ensemble ci-contre) ont lieu l'admission des copeaux imprégnés (en S), leur imprégnation par la vapeur puis leur cuisson au cours de leur descente continue (de S à B).

Pour tout le problème on donne

- accélération de la pesanteur: $g = 9,8 \text{ N} \cdot \text{kg}^{-1}$;
- masse volumique moyenne de la solution: $\rho = 900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

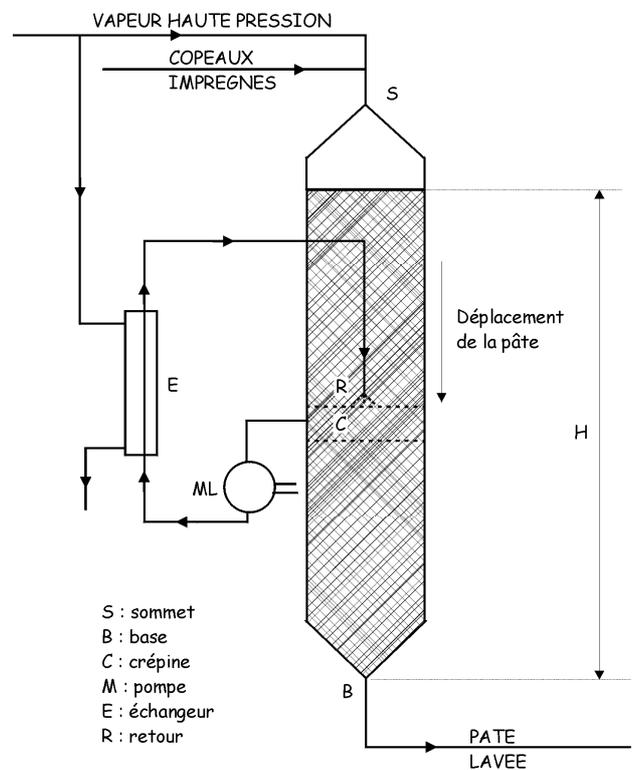
1. La pression de la vapeur mesurée au-dessus du liquide est $p_v = 8,0 \text{ bar}$. La hauteur totale du liquide dans le lessiveur est $H = 70 \text{ m}$.

Exprimer et calculer en pascal et en bar la pression à la base du lessiveur.

2. Il est impératif de maintenir la température de la solution dans la zone de cuisson à $\theta = 165^\circ\text{C}$. Pour compenser les pertes thermiques on prélève donc une fraction de la solution de la zone de cuisson (en C) à travers une crépine. Cette fraction parcourt une boucle de réchauffage

- elle est pompée (pompe notée M),
- réchauffée dans un échangeur thermique (noté E),
- retourne dans le lessiveur (en R), pratiquement à l'altitude où elle a été prélevée. Le débit volumique de la pompe M est $q_v = 80 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

2.1. Vérifier que le débit massique de la pompe est $q = 20 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.



2.2. En traversant l'échangeur, la solution subit une élévation de température $\Delta\theta = 3\text{ °C}$.

Calculer la quantité de chaleur Q reçue par la solution qui a traversé l'échangeur en 1 seconde (flux thermique).

Donnée : capacité thermique massique de la solution: $c_s = 4,0\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$.

2.3. La chaleur est fournie à l'échangeur par de la vapeur haute pression qui entre dans l'échangeur à $\theta_1 = 200\text{ °C}$ et en ressort, après condensation totale, à $\theta_2 = 180\text{ °C}$.

Calculer la variation d'enthalpie massique Δh de la vapeur traversant l'échangeur.

Données

- capacité thermique massique de la vapeur (valeur moyenne) : $C_v = 2,0\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$;
- enthalpie massique de vaporisation de l'eau à 180 °C : $L_v = 2010\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

2.4. En déduire le débit massique de vapeur q_{vapeur} nécessaire au réchauffage de la solution (on néglige les pertes thermiques dans l'échangeur).

3. La question 3. relève de la mécanique des fluides

BTS Chimiste 2000 : épreuve de génie chimique

Échangeur (E_1)

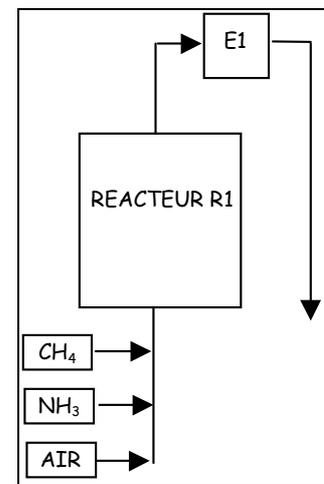
Lors de la synthèse d'acide cyanhydrique, les gaz sortant du réacteur R1 à 1100 °C sont refroidis à 100 °C dans l'échangeur E_1 (faisceau multitubulaire à simple passe), l'énergie récupérée servant à produire de la vapeur d'eau saturante ($\theta = 120\text{ °C}$) à partir d'une eau de refroidissement à 20 °C . L'échangeur est utilisé à contre-courant. On suppose que l'échangeur est adiabatique.

1. Calculer le débit massique d'eau nécessaire.
2. Calculer l'aire de la surface d'échange.
3. En déduire le nombre de tubes de l'échangeur.

Données

- Débit molaire des effluents gazeux sortant du réacteur : $110\text{ kmol}\cdot\text{h}^{-1}$
- Capacité thermique molaire moyenne des effluents gazeux : $30\text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau : $4,20\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau :
 L_v (en $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) = $2535 - (2,9\cdot\theta)$ avec θ en °C
- Coefficient global de l'échange thermique : $540\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$
- Diamètre d'un tube : 50 mm ; longueur d'un tube : $2,4\text{ m}$
- Formule donnant la moyenne logarithmique des écarts de température :

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$



BTS Biotechnologies 2000

Bilan énergétique

Une étape du schéma de fabrication du jus de pommes est donné ci-contre.

Le débit du jus est de $8\,000\text{ L/h}$.

Au niveau du pasteurisateur, le jus de pommes entre à 35 °C , l'eau chaude entre à 90 °C et sort à 50 °C .

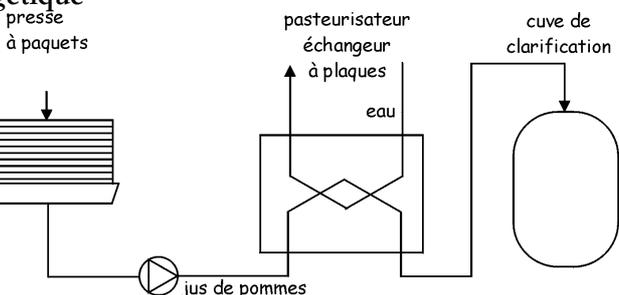
Le jus est pasteurisé à 80 °C .

La circulation des fluides est réalisée à contre courant.

1. Calculer le débit d'eau chaude nécessaire.
2. Calculer la surface totale de l'échangeur.
3. Calculer le nombre de plaques du pasteurisateur.

Données

Densité du jus de pommes:



$d = 1,050$

$C_{\text{jus}} = 3,9\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

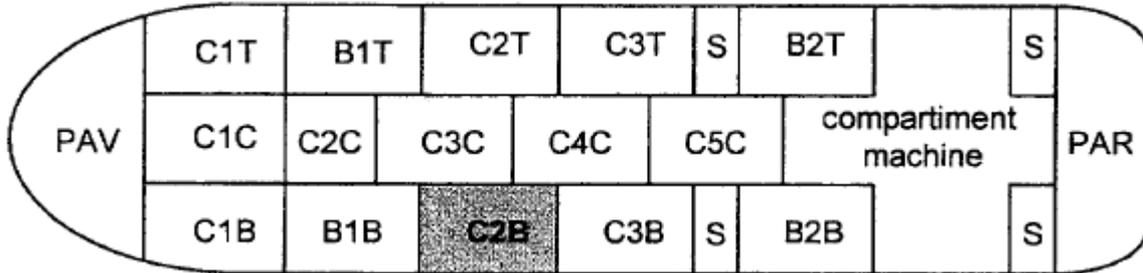
$C_{\text{eau}} = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

$K = 1,2\text{ kW}/(\text{m}^2\cdot\text{°C})$

- Dimension d'une plaque : 0,20m x 0,50m
- Moyenne logarithmique de 2 valeurs, A et B : $DTML = \frac{A - B}{\ln\left(\frac{A}{B}\right)}$
- Puissance thermique au sein de l'échangeur : $P = K.S. DTML$

BTS Construction Navale 2002

On se propose de dimensionner le circuit de réchauffage de la citerne C2B d'un pétrolier

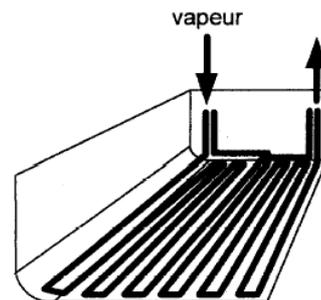


Cette citerne contient un fuel lourd de forte viscosité, difficile à manipuler à la température ambiante.

Un réseau de serpentins parcourus par de la vapeur d'eau sous une pression nominale de 7 bars permet d'élever la température du fuel et de diminuer ainsi sa viscosité.

Ce circuit de réchauffage doit permettre

- de réchauffer dans un temps limité le fuel refroidi,
- d'équilibrer les pertes pour maintenir la température du fuel à la température désirée.



A.Élévation de la température du fuel

On donne

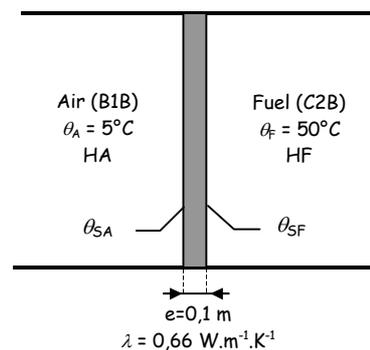
- $V = 3900 \text{ m}^3$: le volume du fuel contenu dans la citerne,
 - $\rho = 940 \text{ kg m}^{-3}$: la masse volumique du fuel,
 - $c = 2000 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$: la chaleur massique du fuel.
1. Calculer l'énergie thermique W à fournir pour élever la température du fuel de $\theta_i = 0^\circ\text{C}$ à $\theta_f = 50^\circ\text{C}$ en supposant les pertes de chaleur nulles.
 2. Calculer la puissance thermique P_{th} nécessaire pour une élévation de 7°C par jour (toujours en supposant les pertes nulles).

B. Coefficient de transmission thermique)

On considère la paroi qui sépare la citerne C2B du ballast B1B

On donne

- $e = 0,1 \text{ m}$: l'épaisseur de la paroi,
- $\lambda = 0,66 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$: la conductivité thermique de la paroi,
- $\theta_A = 5^\circ\text{C}$: la température de l'air,
- $\theta_F = 50^\circ\text{C}$: la température du fuel,
- θ_{SA} θ_{SF} : les températures des surfaces d'échange,
- H_A , H_F : les coefficients de transmission superficiels par convection–rayonnement



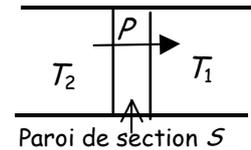
$$\frac{1}{H_A} + \frac{1}{H_F} = 0,007 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

1. En régime permanent, exprimer la puissance thermique échangée entre l'air du ballast et le fuel de la citerne
 - à travers l'interface Fuel–paroi
 - à travers l'interface Air–paroi
 - à travers la paroi.

On désigne par K le coefficient global d'échange ou coefficient de transmission thermique entre l'air du ballast et le fuel de la citerne.

On rappelle la définition du coefficient K d'échange thermique :

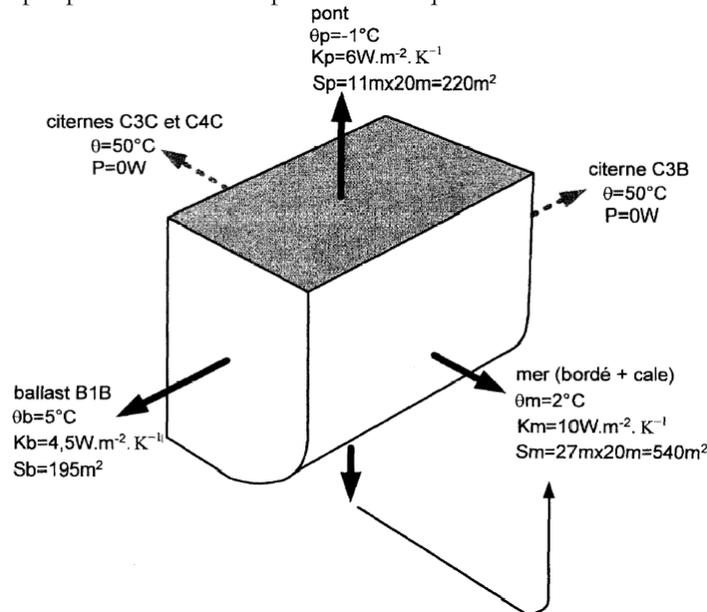
Soit S la surface d'une paroi séparant deux milieux à la température T_1 et T_2 , la puissance P thermique traversant cette paroi est donnée par : $P = K(T_2 - T_1)S$



2. En déduire la relation $\frac{1}{K} = \frac{1}{H_F} + \frac{e}{\lambda} + \frac{1}{H_F}$ puis calculer la valeur numérique de K

C. Compensation des pertes de chaleur

Le schéma ci-dessous fait l'inventaire des températures, des surfaces et des coefficients globaux d'échange thermique à prendre en compte pour le calcul des pertes thermiques de la citerne C2B



Étant donné le fort tirant d'eau du pétrolier, on considèrera que tout le bordé est mouillé.

Les températures de la mer, l'air du pont et l'air du ballast sont fixées pour les conditions climatiques les plus défavorables.

On suppose que le fuel de toutes les citernes a atteint sa température maximale : $\theta = 50$ °C. Les pertes sont alors maximales et les transferts de chaleur vers les citernes adjacentes (C3B, C3C, C4C) sont nuls.

1. Calculer la puissance thermique nécessaire pour compenser l'ensemble des pertes thermiques sur les surfaces de la citerne C2B.

La surface de chauffe S de la citerne C2B est constituée d'un réseau de serpentins de diamètre $D = 40$ mm et de longueur totale L .

Cette surface doit pouvoir fournir une puissance thermique de $P_S = 366$ kW et doit être calculée pour un coefficient global d'échange thermique entre vapeur et fuel égal à $K_S = 110$ W.m⁻².K⁻¹.



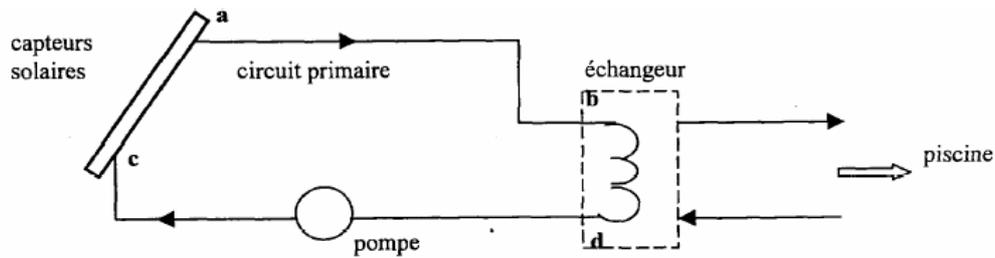
La température de la vapeur des serpentins et celle du fuel valent respectivement : $\theta_V = 135$ °C et $\theta_F = 50$ °C.

2. Calculer la surface de chauffe S nécessaire.
3. En déduire la longueur L .

BTS Conception et Réalisation de Carrosserie 2003

L'eau de la piscine de volume 172,8 m³ est chauffée par des capteurs solaires : de l'eau circule en circuit fermé entre les capteurs et un échangeur. L'échangeur a pour but de transférer l'énergie absorbée par les capteurs vers l'eau de la piscine.

L'eau du circuit primaire arrive dans l'échangeur à une température $\theta_1 = 60$ °C et sort de l'échangeur à une température $\theta_2 = 40$ °C.



La chaleur massique de l'eau est $c = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Le débit volumique est $q_v = 4 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

1. Calculer la chaleur Q_1 cédée par le circuit primaire dans l'échangeur pendant une heure.
2. Cette chaleur Q_1 est entièrement absorbée par l'eau de la piscine. Quelle sera la variation de température $\Delta\theta$ de l'eau de la piscine en une heure ?
3. Pour minimiser les pertes calorifiques dans le circuit primaire, on calorifuge les tuyaux entre les points **a** et **b**, puis entre les points **c** et **d** (cf. schéma).

On considère que la température

- à l'intérieur de la conduite « **ab** » est uniforme et égale à $\theta_1 = 60^\circ\text{C}$;
- à l'intérieur de la conduite « **cd** » est uniforme et égale à $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$.
- Longueur des tuyaux
 - $L_1 = 5 \text{ m}$ pour la portion « **ab** ».
 - $L_2 = 6 \text{ m}$ pour la portion « **cd** ».
- Diamètre intérieur des tuyaux $D_1 = 27 \text{ mm}$.
- Diamètre extérieur des tuyaux avec l'isolant $D_2 = 41 \text{ mm}$.
- Conductivité de l'isolant: $\lambda = 0,042 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- La température extérieure est $\theta_0 = 20^\circ\text{C}$.

- 3.1. Calculer la puissance perdue, sachant que
$$P = \frac{2\pi\lambda(\theta_{\text{intérieur}} - \theta_{\text{extérieur}})}{\text{Ln}\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}$$

L étant la longueur du tuyau considéré exprimée en mètres et « Ln » représentant le logarithme népérien.

- 3.2. En déduire l'énergie perdue en une heure

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2004

ÉTUDE D'UNE COGÉNÉRATION

Un cogénérateur est un moteur thermique permettant la production simultanée de chaleur (pour le chauffage d'un ensemble de bâtiments) et d'électricité (pour l'éclairage et l'alimentation d'appareils électriques dans cet ensemble de bâtiments ; l'excédent éventuel peut être revendu à EDF).

Il est constitué

- d'un moteur à pistons à allumage commandé alimenté en gaz naturel. Ce moteur est couplé à un alternateur pour la fourniture du courant de fréquence 50 Hz ;
- de deux échangeurs thermiques (haute et basse températures) pour récupérer la chaleur dégagée par le moteur et les gaz d'échappement et produire l'eau chaude destinée au chauffage.

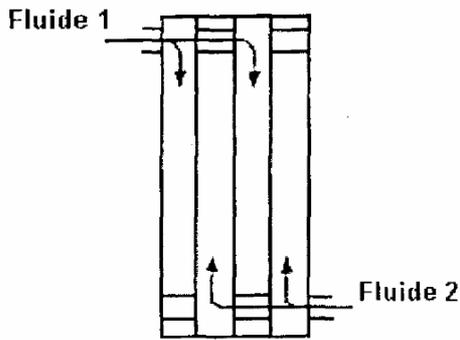
Étude des échangeurs thermiques

Dans cette partie, la capacité thermique massique de l'eau sera considérée comme constante et égale à $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. L'échangeur haute température refroidit directement le moteur grâce à une circulation d'eau sous pression qui rentre dans le moteur à 82°C et en sort à 92°C . On souhaite récupérer une puissance thermique de 656 kW grâce à l'échangeur.

On donne la masse volumique de l'eau à la température moyenne d'échange $\rho = 968 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Déterminer le débit volumique de l'eau dans l'échangeur pour obtenir cette puissance.

2. L'échangeur basse température est un échangeur à plaques où les gaz d'échappement (fluide 1) et l'eau (fluide 2) circulent à contre-courant (voir schéma ci-dessous). Il permet de récupérer une puissance thermique de 967 kW.



Expliquer qualitativement pourquoi la circulation des fluides à contre-courant augmente l'efficacité de l'échangeur par rapport à une circulation à co-courant. On tracera l'allure des graphes donnant l'évolution de la température le long de l'échangeur pour chaque fluide

3. Calculer le rendement de la conversion énergie chimique de combustion \rightarrow énergie thermique pour les deux échangeurs. On rappelle que la puissance thermique libérée lors de la combustion est de 3470 kW.

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2004

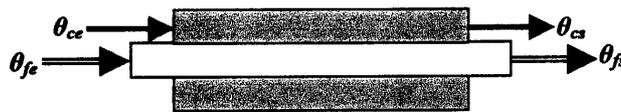
Une usine produit des eaux de lavage (fluide chaud) à la température $\theta_{ce} = 80$ °C, que l'on envoie dans le circuit primaire de l'échangeur. Elles ressortent à la température $\theta_{cs} = 40$ °C.

Dans le circuit secondaire de l'échangeur, l'eau froide entre à la température $\theta_{fe} = 14$ °C et ressort à une température de chauffage θ_{fs} (voir schéma ci-dessous).

On admet que pour les deux eaux la capacité thermique massique est $c_p = 4,2 \times 10^3$ J \cdot kg $^{-1}$ \cdot K $^{-1}$.

La masse volumique de l'eau du circuit primaire est $\rho_1 = 985$ kg \cdot m $^{-3}$, celle de l'eau du circuit secondaire est ρ_2 ($\rho_2 = 995$ kg \cdot m $^{-3}$).

La puissance thermique de l'échangeur est $P = 25$ kW. Dans cette partie, il est supposé parfaitement calorifugé et on néglige toutes les pertes thermiques.



1. Écrire l'équation exprimant le bilan thermique de cet échangeur à partir des débits et des températures d'entrée et de sortie des deux fluides. Calculer le débit volumique Q_{v1} du circuit primaire de l'échangeur, en m 3 s $^{-1}$ et en L min $^{-1}$.
2. Le débit volumique de l'eau dans le circuit secondaire est $Q_{v2} = 3,0 \times 10^{-4}$ m 3 s $^{-1}$. Déterminer la température de sortie θ_{fs}
3. Exprimer et calculer la « différence de température moyenne » $\Delta\theta_{ln}$. On rappelle que

$$\Delta\theta_{ln} = \frac{\Delta\theta - \Delta\theta'}{\ln \frac{\Delta\theta}{\Delta\theta'}}$$

$$\text{avec } \Delta\theta = \theta_{ce} - \theta_{fe} \quad \text{et } \Delta\theta' = \theta_{cs} - \theta_{fs}$$

En déduire la surface totale d'échange S connaissant le coefficient global d'échange K ($K = 2,5 \times 10^3$ W m 2 \cdot K $^{-1}$).