T90. Transfert thermique à travers une paroi.
La température intérieure de surface d'une paroi est égale à $T_i = 15$ °C et sa température extérieure de surface $T_e = 13$ °C. Son épaisseur est $e = 10$ cm.
Calculer la puissance thermique qui traverse perpendiculairement un mètre carré de cette paroi, en régime stationnaire :
1) si elle est en béton (conductivité du béton : $\lambda_B = 1{,}75$ W·m^{-1}·K^{-1})
2) si elle est en plâtre (conductivité du plâtre : $\lambda_P = 0{,}50$ W·m^{-1}·K^{-1})
3) si elle est en laine de verre (conductivité de la laine de verre : $\lambda_L = 0{,}04$ W·m^{-1}·K^{-1})

Réponse(s) : 35 W *; 10* W *; 0,8* W

T91. Paroi multicouche.
On réalise une paroi multicouche avec un mur en béton d'épaisseur $e_B = 10$ cm, une couche de laine de verre d'épaisseur $e_L = 8$ cm et une plaque de plâtre d'épaisseur $e_P = 2$ cm. La température extérieure de surface est $T_e = 2$ °C (côté béton) et la température de surface intérieure est $T_i = 18$ °C (côté plâtre). On donne les conductivités thermiques du béton, de la laine de verre et du plâtre : $\lambda_B = 1{,}75$ W·m^{-1}·K^{-1} ; $\lambda_L = 0{,}04$ W·m^{-1}·K^{-1} ; $\lambda_P = 0{,}50$ W·m^{-1}·K^{-1}.
1) Calculer le flux thermique qui traverse perpendiculairement, en régime stationnaire, un mètre carré de cette paroi.
2) Calculer les températures T_1 au point de contact entre le béton et la laine de verre, et T_2 au point de contact entre la laine de verre et le plâtre. Représenter le graphe de $T(x)$, x représentant la position dans l'épaisseur du mur.

Réponse(s) : 7,63 W *; 2,4* °C *; 17,7* °C

T92*. Isolation d'une canalisation.
Une canalisation en acier de faible épaisseur, de rayon extérieur $a = 2$ cm et de longueur $L = 30$ m, transporte de l'eau à la température $T_i = 90$ °C. Pour diminuer les déperditions thermiques, on l'entoure d'un manchon isolant d'épaisseur $e = 4$ cm en laine de verre. La température de la surface extérieure du manchon est $T_e = 30$ °C.
1) Montrer que la résistance thermique du manchon isolant s'exprime par $R_{th} = \dfrac{1}{2\pi\lambda L}\ln\dfrac{a+e}{a}$.
2) On donne les conductivités thermiques de la laine de verre et de l'acier : $\lambda_L = 0{,}04$ W·m^{-1}·K^{-1} ; $\lambda_A = 50$ W·m^{-1}·K^{-1}.
Expliquer pourquoi on peut négliger la résistance thermique du métal.
3) En déduire les déperditions thermiques (puissance thermique à travers la paroi de la canalisation).

Réponse(s) : 412 W

T93. Double vitrage.
Une lame de verre d'épaisseur $e = 6$ mm sépare un local de température $T_i = 20$ °C du milieu extérieur de température $T_e = 0$ °C.
1) On rappelle la loi de Newton $j_{CC} = h(T - T_0)$, h étant le coefficient de transfert thermique de surface, à appliquer à l'intérieur avec h_i et à l'extérieur avec h_e. On donne :
- conductivité thermique du verre $\lambda = 1{,}15$ W·m^{-1}·K^{-1}
- résistance thermique surfacique de contact entre l'ambiance intérieure et la lame de verre : $1/h_i = 0{,}11$ m^2·K·W^{-1}
- résistance thermique surfacique de contact entre l'ambiance extérieure et la lame de verre : $1/h_e = 0{,}06$ m^2·K·W^{-1}

Calculer les températures de surface de part et d'autre de la vitre, notées T_{Si} et T_{Se}.

2) On dispose un second vitrage de même épaisseur parallèlement au premier à une distance $D = 8$ mm de celui-ci. Calculer les températures de surface de part et d'autre de chacune des lames de verre.
On donne la résistance thermique surfacique d'une lame d'air d'épaisseur 8 mm : $1/h = 0{,}13$ m^2·K·W^{-1}
En déduire les avantages du double vitrage.

Réponse(s) :7,4 °C *et 6,8* °C *; 12,9* °C *et 3,9* °C

T94*. Chauffage par circulation de vapeur d'eau.
De l'eau circule dans un tuyau avec un débit $D_V = 1{,}8$ m^3·h^{-1}. On veut réchauffer cette eau à l'aide d'une circulation de vapeur d'eau à la température $T_V = 100$ °C. Les deux fluides circulent de part et d'autre de la paroi du tuyau.
On modélise les échanges thermiques avec l'extérieur en utilisant : $\mathscr{P}_{th} = KS\left(T_V - \dfrac{T_{E1} + T_{E2}}{2}\right)$
K désigne le coefficient global de transport thermique (ou coefficient de transmission surfacique) : $K = 1\,400$ W.m^{-2}.K^{-1},
S la surface de la paroi interne du tuyau, T_{E1} et T_{E2} les températures de l'eau à l'entrée et à la sortie.
1) Interpréter cette loi.
2) Calculer la surface S que doit présenter le tuyau pour que l'eau qui entre à $T_{E1} = 18$ °C sorte à $T_{E2} = 64$ °C.
3) Quelle est la masse de vapeur d'eau liquéfiée en une heure ?
Données : Capacité thermique massique de l'eau liquide : $4\,180$ J·kg^{-1}K^{-1}
Chaleur latente massique de vaporisation de l'eau : $2{,}26$ MJ·kg^{-1}.

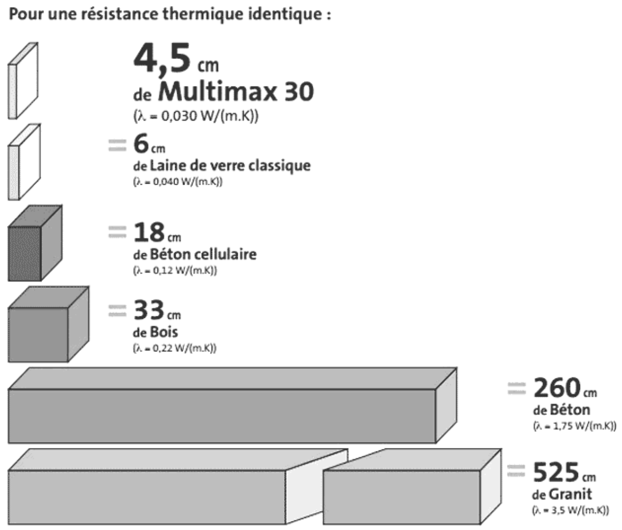
Réponse(s) :1,16 m^2 *; 153* kg

T 95. Fuite thermique d'une habitation

L'intérieur ($T_i = 20$ °C) et l'extérieur ($T_e = 5$ °C) d'une maison sont séparés par un mur de hauteur $h = 3$ m et de largeur $L = 10$ m.
Le mur, d'épaisseur $e = 30$ cm et de conductivité $\lambda = 0{,}7\ \mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$, est recouvert (d'un seul côté) par un revêtement isolant d'épaisseur $e' = 2$ cm et de conductivité $\lambda' = 0{,}03\ \mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.
De plus, le mur est percé d'une fenêtre de surface $S = 4\ \mathrm{m^2}$, constituée d'une épaisseur $e'' = 2$ cm de verre de conductivité $\lambda'' = 1\ \mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.
1) Évaluer la puissance totale des pertes thermiques.
2) Quelle proportion des pertes représente la fenêtre ? Conclusion.

Rép. : 3,4 kW

T 96. Publicité honnête ? (ou qu'est-ce qu'un oxymore)



T97. Pont chauffé.

Afin d'éviter la formation de verglas et de couche de neige, on maintient la température de la surface supérieure d'un pont à une valeur $T_{S,sup} = +2$ °C, à l'aide de câbles électriques chauffants intégrés dans sa structure. Le pont a une longueur de 100 m et comporte deux voies, ayant chacune une largeur de 4 m. Chaque voie est composée de plaques de béton armé de 100 m de longueur, 4 m de largeur et de 30 cm (e_1) d'épaisseur, qui sont recouvertes d'une couche d'enrobé de 4 cm (e_2) d'épaisseur. La nappe de câbles électriques, d'épaisseur négligeable, est située dans le béton, à 2 cm (e) au-dessous de l'enrobé.

Données : on rappelle la loi de Newton : $j_{CC} = h\left(T_S - T_\infty\right)$, *h désignant le coefficient de transfert thermique surfacique.*
Le coefficient de transfert thermique surfacique pour la surface supérieure du pont sera pris égal à $h_{sup} = 17\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$ *et celui de la surface inférieure à* $h_{inf} = 7\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.
Conductivité thermique du béton : $\lambda_1 = 1{,}163\ \mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.
Conductivité thermique de l'enrobé : $\lambda_2 = 0{,}58\ \mathrm{W{\cdot}m^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.

1) On demande de déterminer, en régime stationnaire, lorsque la température extérieure $T_e = -2$ °C, avec un vent faible et pas de précipitation :
1a) la densité de courant thermique j_{sup} au niveau de la surface supérieure du pont ;
1b) la température T_C des câbles chauffants et la densité de courant thermique j_{inf} au niveau inférieur du pont ;
1c) la température $T_{S,inf}$ de la surface inférieure du pont ;
1d) la puissance totale nécessaire pour assurer le fonctionnement de l'installation.

2) Reprendre le problème précédent lors d'une chute de neige, ce qui a pour effet de modifier fortement le coefficient de transfert thermique surfacique de la partie supérieure du pont qui passe à la valeur $h_{sup} = 116\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.

3) La couche de neige a une épaisseur de 5 cm et une densité de $0{,}5$. Nous admettrons que du point de vue de leurs propriétés calorimétriques, les 5 centimètres de neige sont équivalents à $2{,}5$ cm de glace de densité ≈ 1, à la température T_e. En régime stationnaire, quelle sera la durée de la fonte de cette neige, si on utilise la puissance calculée pour le 2) ?

Données complémentaires :
Enthalpie massique de fusion de la glace : 335 $\mathrm{kJ{\cdot}kg^{-1}}$.
Capacité thermique massique de la glace : 2 100 $\mathrm{J{\cdot}kg^{-1}{\cdot}K^{-1}}$.

Réponse(s) :1a) 68 $\mathrm{W.m^{-2}}$ *; b) 7,9 °C ; 25,7* $\mathrm{W.m^{-2}}$ *; c) 1,7 °C ; d) 75* kW *;*
2a) 464 $\mathrm{W.m^{-2}}$ *; b) 42 °C ; 114,6* $\mathrm{W.m^{-2}}$ *; c) 14,4 °C ; d) 463* kW *; 3) 5* h *05* min

T98. Dimension de la conductivité

1) Déterminer la dimension de λ en fonction de $[\mathscr{P}]$. En déduire son unité.
2) Dimension de λ en fonction des grandeurs fondamentales : montrer que $[\lambda] = \mathrm{MLT^{-3}\Theta^{-1}}$