

L'A.D.E.M.E. (Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) est une agence nationale dont les missions sont les suivantes : « susciter, animer, coordonner, faciliter ou réaliser des opérations ayant pour objet la protection de l'environnement et la maîtrise de l'énergie ».

Dans le domaine du bâtiment, l'agence encourage l'isolation thermique, principe de base de la maison passive. L'isolation permet de réduire les pertes thermiques liées au chauffage ou à la climatisation. L'isolation emprisonne la chaleur à l'intérieur en hiver et garde la maison fraîche en été.

L'agence préconise, d'autre part, des modes de chauffage qui permettent d'économiser les énergies fossiles, tout en limitant les rejets de gaz à effet de serre.

L'agence conseille enfin le contrôle rigoureux des températures des locaux.

Partie A

Pour une maîtrise des pertes d'énergie à travers le vitrage

Les ouvertures vitrées sont les points faibles de l'isolation globale de la construction. La limitation de la surface de ces ouvertures est la première solution pour réduire les déperditions thermiques et, surtout, l'installation du double-vitrage est impérative.

L'espace est rapporté, en coordonnées cartésiennes, à un repère orthonormé direct (Ox, Oy, Oz) de base $(\vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$.

I. Simple vitrage

La figure 1 représente la coupe transversale d'une simple paroi vitrée d'un local à usage d'habitation. Les températures des surfaces intérieure et extérieure, constantes, sont respectivement T_o et T_{ext} , avec $T_o > T_{ext}$. Le vitrage est homogène, d'épaisseur e (lame à faces parallèles) et de conductivité λ_V constante et uniforme. Le mode de transfert de chaleur à l'intérieur du verre, traité en régime permanent et stationnaire, unidimensionnel et unidirectionnel (direction Ox), est un transfert thermique par conduction, obéissant à la loi de Fourier qui s'écrit ici : $\vec{j}_{th}(x) = -\lambda_V \frac{dT(x)}{dx} \vec{e}_x = j_{th}(x) \vec{e}_x$.

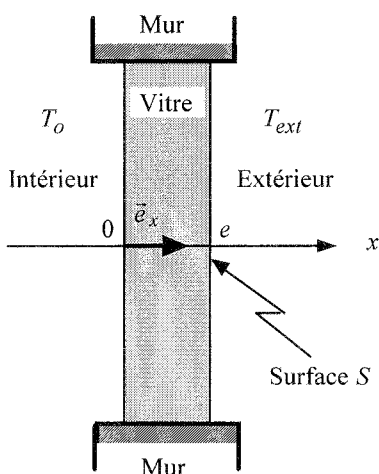


Figure 1

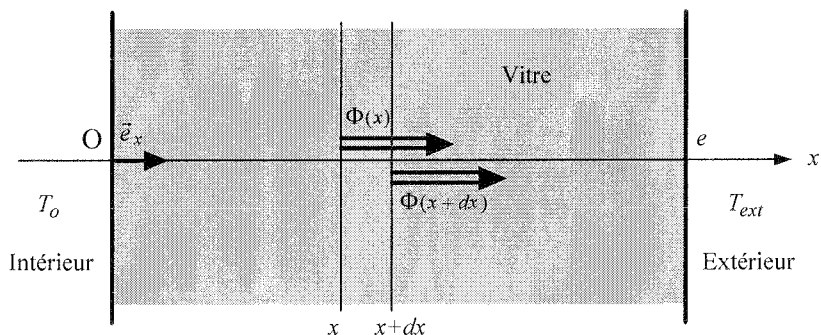


Figure 2

1. Dans le verre, $\Phi(x)$ est le flux (ou puissance) thermique qui traverse la surface d'aire S , à l'abscisse x . Rappeler la relation qui lie $\Phi(x)$ et $j_{th}(x)$.

- Il n'y a aucune accumulation d'énergie en tout point du matériau. Montrer que le bilan thermique sur un petit élément volumique de paroi vitrée, d'aire S et d'épaisseur dx , situé entre les abscisses x et $x+dx$, permet de montrer que la température $T(x)$ est une fonction affine de x , à l'intérieur du verre (figure 2).
- Les faces sont maintenues, par hypothèse, aux températures constantes respectives $T(x=0) = T_o$ et $T(x=e) = T_{ext}$. Déterminer la loi de variation de la température $T(x)$.
- Tracer l'allure de la courbe représentative de cette fonction $T(x)$.
- La résistance thermique R_{th} de la vitre est définie, dans le cas présent, par l'égalité $(T_o - T_{ext}) = R_{th} \Phi$. Exprimer, en fonction de e , λ_V et S , la résistance thermique R_{th} de la vitre de surface S .

II. Avantage du « double vitrage »

L'intérêt du « double vitrage » dans la maîtrise des pertes d'énergie, est maintenant pris en considération. La figure 3 représente la coupe transversale d'une paroi vitrée composée de trois couches, dont les faces sont parallèles : deux lames de verre identiques, d'épaisseur e et séparées par une couche d'air (lame d'air sec), elle aussi d'épaisseur e . Les faces externes de cet ensemble sont maintenues, par hypothèse, aux températures constantes respectives $T(x=0) = T_o$ et $T(x=3e) = T_{ext}$, avec $T_o > T_{ext}$. L'air sec, de conductivité thermique λ_A constante et uniforme, est considéré comme un matériau sans turbulences, obéissant à la loi de Fourier.

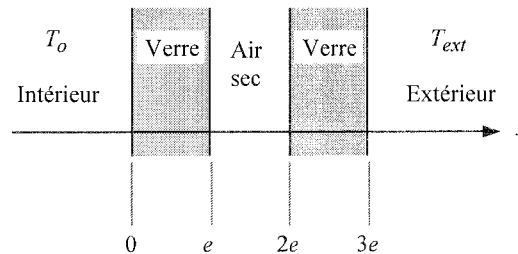


Figure 3

- Établir l'expression qui relie les quatre écarts de températures $(T_o - T_{ext})$, $(T_o - T(x=e))$, $(T(x=e) - T(x=2e))$ et $(T(x=2e) - T_{ext})$.
- Soit Φ' , le flux thermique qui traverse toute section S orthogonale à l'axe Ox de la paroi « composite », entre les abscisses $x = 0$ et $x = 3e$. Déterminer l'expression de la différence de température $(T_o - T_{ext})$ en fonction de Φ' , λ_A , λ_V , e et S .
- En déduire, en fonction de λ_A , λ_V , e et S , l'expression de la nouvelle résistance thermique R'_{th} du vitrage composite, de surface S .
- En déduire l'expression de la résistance thermique r_v de l'unité de surface (1 m^2) de double vitrage.
- Application numérique* : $\lambda_A = 2,6 \times 10^{-2} \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $\lambda_V = 1,3 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $e = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$.
 - Calculer r_v .
 - Calculer le rapport Φ'/Φ . Commenter.

III. Limitation des surfaces vitrées

Le volume du local est un parallélépipède rectangle, de surface latérale totale S_{tot} (somme des aires des parois verticales : murs et fenêtres). Le plafond et le sol sont supposés parfaitement calorifugés. Soit x_v la fraction surfacique des ouvertures à double vitrage : la surface « double-vitrée » totale s'écrit donc $S_v = x_v S_{tot}$. Les murs (surface totale S_m), de résistance thermique globale r_m par unité de surface (1 m^2), sont des cloisons composites (couches successives de plâtre, d'isolant, de béton, d'air et de bardage).

1. Déterminer, en fonction de S_v , r_v et $(T_o - T_{ext})$, l'expression du flux thermique Φ_v à travers l'ensemble des ouvertures à double vitrage.
2. En déduire une relation analogue définissant, en fonction de S_m , r_m et $(T_o - T_{ext})$, le flux thermique Φ_m à travers l'ensemble des murs.
3. Sachant que $r_m > r_v$, montrer que le flux thermique total Φ_{tot} correspondant aux pertes thermiques, à travers la surface totale S_{tot} , est une fonction affine croissante de x_v (d'où l'intérêt de limiter l'importance de la surface des ouvertures vitrées).
4. *Application numérique* : $T_o = 292 \text{ K}$; $T_{ext} = 273 \text{ K}$; $S_{tot} = 120 \text{ m}^2$; $x_v = 0,30$;
 $r_v = 0,20 \text{ W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ K}$; $r_m = 2,0 \text{ W}^{-1} \text{ m}^2 \text{ K}$.

Calculer le flux (ou puissance) thermique Φ_{tot} perdu(e) à travers la surface latérale S_{tot} du local.