

Conduction thermique

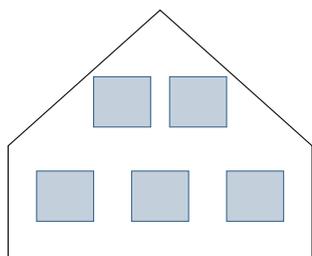
Isolation d'un pignon

Les valeurs numériques ont été choisies de telle sorte que tous les calculs numériques soient faisables de tête.

Document 1 : De la nécessité de l'isolation

Le secteur du bâtiment représente 44 % de l'énergie consommée en France, loin devant le secteur des transports (31 %). Chaque année, le secteur du bâtiment émet plus de 123 millions de tonnes de CO₂, près du quart du total national, ce qui en fait l'un des domaines clé dans la lutte contre le réchauffement climatique et la transition énergétique. Pour rendre le bâtiment plus économe en énergie, il faut rénover massivement l'existant et développer des normes plus strictes en termes de consommation d'énergie pour les bâtiments neufs. C'est l'objet de la politique de l'énergie dans les bâtiments.

Extrait du site internet du Ministère de la Transition Écologique et Solidaire



Une famille souhaite isoler le pignon de sa maison. La maçonnerie est en béton cellulaire ($\lambda = 0,3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), et a une surface (hors fenêtres) $S = 40 \text{ m}^2$ et une épaisseur $e = 12 \text{ cm}$. Il est percé de cinq fenêtres identiques, toutes de surface $S' = 2 \text{ m}^2$, faites d'une épaisseur $e' = 5 \text{ mm}$ de simple vitrage ($\lambda' = 1,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).

L'objectif de l'exercice est de comparer deux solutions d'isolation : ou bien recouvrir l'ensemble du béton cellulaire d'une couche de laine de verre, ou bien installer des fenêtres en double vitrage.

Donnée : $1/2600 = 3,85 \cdot 10^{-4}$ et $1/60 = 1,66 \cdot 10^{-2}$.

- 1 - Établir l'expression de la résistance thermique R_{th} d'une paroi plane d'épaisseur e et de surface S . En déduire la résistance R du mur en béton et celle R' d'une fenêtre.
- 2 - Exprimer la résistance thermique R_0 du pignon non isolé et la calculer numériquement.
- 3 - La première possibilité est d'isoler la maçonnerie par une couche de laine de verre ($\lambda_1 = 4 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$) d'épaisseur e_1 . Exprimer et calculer numériquement la résistance thermique R_1 du pignon isolé de la sorte pour $e_1 = 16 \text{ cm}$.
- 4 - Le second choix d'isolation consiste à installer du double vitrage, composé de deux lames de verre d'épaisseur $e'_2 = 4 \text{ mm}$ entourant une couche d'air d'épaisseur $e_2 = 12 \text{ mm}$ ($\lambda_2 = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), suffisamment fine pour que les mouvements de convection y soient négligeables. Calculer la résistance thermique R'_{dv} d'une fenêtre en double vitrage.
- 5 - En déduire la résistance thermique R_2 du pignon pour lequel toutes les fenêtres auraient été remplacées.
- 6 - Conclure : quels travaux faut-il envisager en priorité ?

Éléments de correction

1 Voir cours,

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

On a alors

$$R = 1 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1} \quad \text{et} \quad R' = 2 \cdot 10^{-3} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

2 Les résistances thermiques du mur et des fenêtres sont montées en parallèle, donc

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R} + \frac{5}{R'} = 2600 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{donc} \quad R_0 = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{5}{R'}} = 3,85 \cdot 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

3 Le béton cellulaire et la laine de verre sont superposées, leurs résistances thermiques sont donc montées en série, ainsi

$$R_{\text{m}+1} = R + \frac{e_1}{\lambda_1 S} = 0,11 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

La résistance thermique du mur est donc largement améliorée (facteur 10). Ainsi,

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{\text{m}+1}} + \frac{5}{R'} = 2508 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1} \quad \text{donc} \quad R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{m}+1}} + \frac{5}{R'}} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

Une fois les fenêtres prises en compte, l'impact des travaux est peu perceptible!

La résistance thermique du mur est tellement supérieure à celle des fenêtres que, finalement, tout se passe comme si seules les fenêtres étaient des conducteurs thermiques. On peut faire l'analogie avec l'électronique : quand deux résistances très différentes sont montées en parallèle, la plus élevée équivaut à un interrupteur ouvert ... et l'association devient équivalente à la plus faible des deux résistances.

4 Les deux lames de verre et la couche d'air sont montées en série, donc

$$R'_{\text{dv}} = \frac{2e'_2}{\lambda' S'} + \frac{e_2}{\lambda_2 S'} = 2,43 \cdot 10^{-1} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

5 Finalement,

$$R_2 = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{R'_{\text{dv}}}{5}} = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}.$$

6 Pas beaucoup de doute à avoir : il vaut mieux changer les fenêtres!

Cette conclusion est largement vérifiée, même si les valeurs numériques choisies dans cet exercice rendent les résultats un peu caricaturaux. De plus, en pratique, le toit joue également un rôle crucial dans l'isolation d'une maison.