

DEVOIR MAISON N°9

Conduction thermique

➤ A rendre le VENDREDI 28 FEVRIER 2025

Seule la dénommé « Première partie » sera étudiée ici.

Documents et données numériques.

DOCUMENT 1 : Le plan Home Star et les économies d'énergie.

La crise pétrolière de 1973 a amené les pouvoirs publics à des politiques volontaristes en matière d'énergie. La construction des logements obéit depuis lors à des règles d'isolation thermiques. Ces règles sont de plus en plus contraignantes au fil des décennies mais réalisables grâce à des avancées technologiques majeures et ont permis de limiter la facture énergétique française.

Celle-ci représente toutefois encore en 2017 de 2,5 et 3% du PIB et 40 % de cette charge est due au chauffage des bâtiments. La France importe en effet la quasi-totalité de l'énergie fossile dont elle a besoin.

La rénovation des bâtiments anciens est donc un enjeu fondamental des prochaines décennies.

La consommation d'énergie pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire des logements est en moyenne de :

- 100 kWh.m⁻².an⁻¹ pour ceux construits après 2000.
- 200 kWh.m⁻².an⁻¹ pour ceux construits entre 1975 et 2000, soit le quart du parc immobilier.
- 375 kWh.m⁻².an⁻¹ pour les bâtiments d'avant 1975, qui représentent les deux tiers du parc immobilier.

Ces dernières années, la problématique du réchauffement climatique a amené les gouvernements à accélérer la transition énergétique afin d'améliorer le bilan carbone de la France et diversifier ses sources d'énergie. La France développe en particulier la part des énergies dites renouvelables dans son bouquet énergétique.

De même, les Etats Unis, premier consommateur au monde d'énergie fossile, ont lancé en 2010 le **plan Home star**, plan d'isolation thermique des bâtiments, défendu par le président Obama en personne.

DOCUMENT 2 : Isolation thermique de bâtiments.

On trouve dans une notice pour l'isolation thermique des bâtiments, les valeurs suivantes de conductances thermiques **pour une surface unité de matériau** :

Éléments du bâtiment	Conductance thermique <u>pour un m² de surface en USI</u> N.B : Il est appelé coefficient U_w de performance. Il inclut toutes les déperditions (conductif et conducto-convectif)
Fenêtre simple vitrage	$U_w = 6,0$
Fenêtre double vitrage	$U_w = 3,0$
Mur plein d'épaisseur 30cm	$U_w = 2,0$

Eléments du bâtiment	Conductance thermique pour un m ² de surface en USI N.B : Il est appelé coefficient U de performance. Il inclut toutes les déperditions (conductif et conducto-convectif)
Mur creux d'épaisseur 30cm	$U_w = 1,5$
Polystyrène d'épaisseur 2cm	$U_w = 0,5$

Document 3 : Conductivités thermiques en USI

Matériau	Conductivité thermique en USI
Cuivre	400
Verre à vitre	1,0
Air sec	0,03
Laine de verre	0,04

On prendra pour les applications numériques :

- Prix du kWh en Euros en 2018 : 0,15 Euros. On rappelle que le kWh est l'énergie produite pendant une heure par une puissance de 1kW.
- On prendra pour les calculs 5,5 mois = 4000 heures, une année $\approx 3.10^7$ s
- On donne $3,14.10^6$ heures ≈ 360 ans
- Diffusivité thermique du cuivre $D_{Cuivre} = 120.10^{-6}$ USI et $\frac{1}{D_{Cuivre}} \approx 8330$ USI
- $\frac{8330}{60} \approx 139$
- $\sqrt{6} \approx 2,4$

Le problème comporte trois parties **largement indépendantes**. Dans une première partie, on s'intéresse à l'isolation thermique et au concept de bâtiments dits à énergie positive. La seconde partie abordera le chauffage d'un appartement. Enfin, la troisième partie étudiera une PAC air /eau soit une énergie renouvelable et avec un bon bilan carbone.

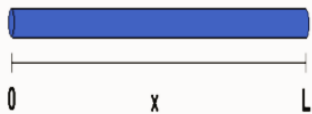
Première partie : Etude de l'isolation thermique d'un appartement (40% du barème)

On considère une barre métallique en cuivre de longueur L dont la surface latérale est isolée thermiquement.

Sa masse volumique est notée ρ et sa chaleur massique à pression constante est notée C_m .

On rappelle que l'unité de C_m est le $J.kg^{-1}.K^{-1}$. On note A l'aire de sa section droite. Enfin, on note λ sa conductivité thermique du cuivre. Le métal de la barre vérifie la loi phénoménologique de Fourier.

En $x = 0$ est placé un thermostat de température $T(x = 0) = T_1$ et en $x = L$ un thermostat de température $T(x = L) = T_2$



Question 1 : Qu'appelle-t-on thermostat ou source de chaleur ?

Question 2 : Donner un exemple de système thermodynamique assimilable à un thermostat.

Question 3 : Quelle est en théorie la capacité thermique d'un thermostat idéal ?

Question 4 : Rappeler la loi de Fourier de la conduction au sein d'un matériau homogène.

Question 5 : En faisant un bilan local d'enthalpie entre x et $x + dx$:

a) Etablir l'équation de la chaleur qu'on mettra sous la forme : $\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

avec $T(x, t)$ la température locale de la tranche mésoscopique entre x et $x + dx$ à une date t .

b) Donner l'expression de D en fonction de λ , ρ et C_m .

Question 6 : Quelle est, en utilisant une équation aux dimensions de l'équation aux dérivées partielles, l'unité de D ?

Question 7 : On admet que le temps caractéristique pour atteindre le régime permanent s'écrit :

$$\tau = \frac{L^a}{D^b}$$

a) Déterminer la valeur du coefficient a et du coefficient b par analyse dimensionnelle.

b) Commenter physiquement la pertinence du résultat et l'expression de D en fonction de λ , ρ et C_m .

c) Calculer ce temps pour une barre de cuivre où $L = 1m$. Commenter le résultat.

Question 8 : Etablir la solution de l'équation de la chaleur en régime permanent stationnaire c'est à dire le profil de température $T(x)$ et en faire le graphe.

Question 9 : On note ϕ le courant ou flux thermique. Il représente **la puissance** qui traverse une section droite de la barre.

a) Montrer qu'en **convention récepteur** pour la différence de température, on a :

$$T_1 - T_2 = R_{Th} \phi$$

b) Donner l'expression de R_{Th} en fonction de λ , A et L .

R_{Th} est appelée *résistance thermique* et son inverse $G_{Th} = \frac{1}{R_{Th}}$ est appelée *conductance thermique*.

c) Donner **en français** la signification physique de la conductance thermique après avoir précisé son unité.

Question 10 : Utilisation des documents 2 et 3

Commenter physiquement les documents 2 et 3. On donnera deux commentaires physiques **en français** par document.

Question 11 : En faisant un schéma, expliquer ce qu'est le double vitrage. Quel est l'intérêt d'une couche d'air dans le double vitrage ? Justifier soigneusement vos réponses en utilisant les documents fournis.

Question 12 : « Déperdition » à travers les fenêtres

On se place dans cette partie en hiver et en Alsace. Le différentiel moyen de température entre l'intérieur de la maison et l'extérieur est supposé de manière simplifiée égal à une valeur moyenne $\Delta T = 10K$ pendant une durée $\Delta t = 5,5\text{mois} \approx 4000 \text{ heures}$ et de $0K$ (Coût nul) le reste de l'année. On présentera les résultats sous forme d'un tableau **à reproduire sur la copie**.

- a) Calculer le courant ou flux thermique Φ traversant **un mètre carré** de fenêtre simple vitrage puis un mètre carré de fenêtre double vitrage.
- b) En déduire l'énergie E consommée **en kWh** pour **un mètre carré** de fenêtre pendant l'année et le coût correspondant en Euros.

	$\Phi (W)$	$E (kWh)$ Sur l'année	Coût annuel (€)
Simple vitrage			
Double vitrage			

Question 13 : « Déperdition » à travers les murs non isolés puis isolés

On présentera les résultats sous forme d'un tableau **à reproduire sur la copie**.

- a) Calculer le courant ou flux thermique traversant **dans les mêmes conditions un mètre carré** de mur plein de 30 cm d'épaisseur
- b) En déduire l'énergie consommée **en kWh** et le coût annuel par **mètre carré de mur**.
- c) Calculer littéralement puis numériquement en Euro l'économie réalisée si l'on isole totalement le mètre carré de mur d'un seul côté avec une couche de polystyrène de 2cm . Commenter.

	$\Phi (kW)$	$E (kWh)$ Sur l'année	Coût annuel (€)
Mur (surface unité)			
Mur isolé (surface unité)			

Question 14 : Dans le cadre d'appartements dits « à énergie positive », on positionne de grandes fenêtres au sud, de petites fenêtres au Nord. Enfin, on plante des arbres à feuilles caduques au niveau de la face Sud. On se place toujours en Alsace.

- a) Proposer une explication.
- b) A-t-on intérêt à avoir des volets en métal ou en bois ? Justifier votre réponse.