
DM N°7

Diffusion thermique



Lycée LANGEVIN - WALLON

20 octobre 2021

À lire attentivement...

Les diverses parties peuvent être traitées dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.

Les étudiants sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées. En particulier, tout résultat NON ENCADRÉ ne donnera pas lieu à attribution de points.

Toute application numérique NE COMPORTANT PAS D'UNITÉ ne donnera pas lieu à attribution de points. Les résultats numériques devront être donnés sous la forme appropriée.

Les candidats devront vérifier que le sujet comporte bien 4 pages numérotées 1/4, 2/4, ... 4/4. Le sujet comporte :

- un extrait d'annale de chimie.

L'EMPLOI DE LA CALCULATRICE OU DE TOUTE AUTRE AIDE ÉLECTRONIQUE,
NOTAMMENT PYTHON, EST AUTORISÉ.
LE TRAVAIL AVEC SON COURS SOUS LES YEUX EST RECOMMANDÉ.
LE PHOTO-COPILLAGE DU TRAVAIL D'UN CAMARADE SERA SANCTIONNÉ.

Si au cours de la rédaction, un étudiant repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et poursuivra sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il a été amené à prendre.

1 2018 Banque PT B Physique

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 thermique. 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 % à 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 pour ceux construits après 2000.
- 200 kWh · m⁻²/an pour ceux construits entre 1975 et 2000, soit le quart du parc immobilier.
- 375 kWh · m⁻²/an 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 États-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 pour 1 m ² de surface en USI.
Fenêtre simple vitrage	$U_w = 6,0$
Fenêtre double vitrage	$U_w = 3,0$
Mur d'épaisseur 30 cm	$U_w = 2,0$
Mur creux d'épaisseur 30 cm	$U_w = 1,5$
Polystyrène d'épaisseur 2 cm	$U_w = 0,5$

N.B. : il est appelé coefficient U_w de performance. Il inclut toutes les déperditions (conductif et conducto-convectif).

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

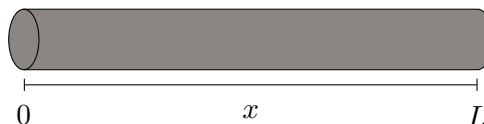
On prendra pour les applications numériques :

1. Prix du $\text{kW} \cdot \text{h}$ en euros en 2018 : 0,15 €. On rappelle que le $\text{kW} \cdot \text{h}$ est l'énergie produite pendant une heure pour une puissance de 1 kW.
2. On prendra pour les calculs 5,5 mois $\simeq 4000 \text{ h}$, et 1 an $= 3 \times 10^7 \text{ s}$.
3. On donne $3,14 \times 10^6 \text{ h} \simeq 360 \text{ an}$.
4. Diffusivité thermique du cuivre $D_{\text{cuivre}} = 120 \times 10^{-6} \text{ USI}$ et $\frac{1}{D_{\text{cuivre}}} \simeq 8330 \text{ USI}$.
5. $\frac{8330}{\sqrt{60}} \simeq 139$
6. $\sqrt{6} \simeq 2,4$

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.

1.1 Étude 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 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. On note A l'aire de sa section droite. Enfin, on note λ sa conductivité thermique. 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 $x = L$ est placé un thermostat de température $T(x = L) = T_2$.

1. Qu'appelle-t-on thermostat ou source de chaleur ?
2. Donner un exemple de système thermodynamique assimilable à un thermostat.
3. Quelle est en théorie la capacité thermique d'un thermostat idéal ?
4. Rappeler la loi de FOURIER de la conduction thermique au sein d'un matériau homogène.
5. En faisant un bilan local d'enthalpie entre x et $x + dx$:
 - (a) Établir l'équation locale 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 .
6. Quelle est, en utilisant une équation aux dimensions de l'équation aux dérivées partielles, l'unité de D ?
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 λ , ρ et C_m .
- (c) Calculer ce temps pour une barre de cuivre où $L = 1$ m. Commenter le résultat.
8. Établir 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.
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.
10. **Utilisation des documents 2 et 3**
 Commenter physiquement les documents 2 et 3. On donnera deux commentaires physiques **en français** par document.
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.
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 $\Delta T = 10$ K pendant une durée $\Delta t = 5,5$ mois $\simeq 4000$ h et de 0 K (coût nul) le reste de l'année. On présentera les résultats sous la 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 kW · h pour un mètre carré de fenêtre pendant l'année et le coût correspondant en euros.

ϕ (W)	E (kW · h) sur l'année	Coût annuel (€)
Simple vitrage		
Double vitrage		

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 kW · h et le coût annuel par mètre carré de mur.
- (c) Calculer littéralement puis numériquement en euros l'économie réalisée si l'on isole totalement le mètre carré de mur d'un seul côté avec une couche de polystyrène de 2 cm. Commenter.

ϕ (kW)	E (kW · h) sur l'année	Coût annuel (€)
Mur (surface unité)		
Mur isolé (surface unité)		

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.