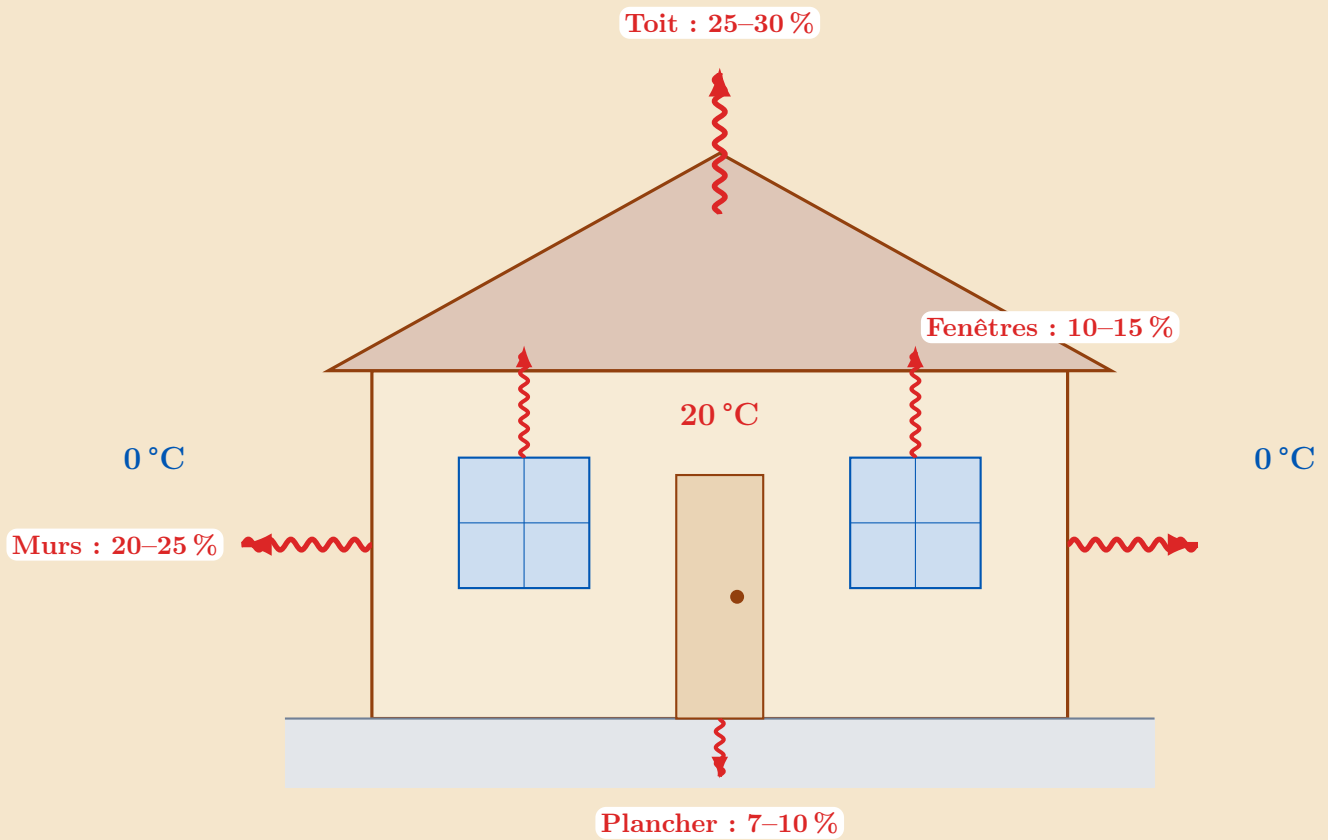


# Transferts thermiques & Isolation

Applications en menuiserie, bâtiment et architecture intérieure

Seconde Baccalauréat Professionnel — MAMA

M. Azzouz Lycée Eugène Hénaff — Bagnolet — 2025–2026



*Déperditions thermiques d'un bâtiment non isolé*

Nom : ..... Prénom : .....

Classe : ..... Date : .....

# Livret — Transferts thermiques & isolation

PHYSIQUE-CHIMIE

MATHS

MENUISERIE

ARCHITECTURE

## Objectifs du livret :

1. Identifier les trois modes de transfert thermique (conduction, convection, rayonnement).
2. Connaître la conductivité thermique  $\lambda$  et comparer les matériaux.
3. Calculer la résistance thermique  $R$  d'une paroi.
4. Calculer le flux thermique  $\Phi$  à travers une paroi.
5. Additionner les résistances d'une paroi multicouche.
6. Utiliser le coefficient  $U$  pour les menuiseries et vitrages.
7. Réaliser un bilan thermique simplifié et chiffrer les pertes en kWh et en €.

## Pourquoi ce livret ?

Un menuisier agenceur, un charpentier ou un architecte d'intérieur doit maîtriser les bases de la thermique du bâtiment. Il doit pouvoir :

- choisir les bons matériaux pour l'isolation,
- vérifier la conformité d'une paroi à la RE 2020,
- conseiller un client sur le choix de menuiseries performantes,
- chiffrer les économies d'énergie réalisées grâce à une rénovation.

## Rappels — Formules essentielles

— **Conductivité thermique** :  $\lambda$  en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Petit  $\lambda$  = bon isolant.

— **Résistance thermique** :

$$R = \frac{e}{\lambda \times S} \quad (\text{K/W}) \qquad R_{\text{surf}} = \frac{e}{\lambda} \quad (\text{m}^2\cdot\text{K/W})$$

— **Résistances en série** :  $R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$

— **Flux thermique** :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R} \quad (\text{W}) \qquad \Phi = U \times S \times \Delta T \quad (\text{W})$$

— **Énergie perdue** :  $Q = \Phi \times t$  (J ou kWh, avec  $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ )

— **Coefficient  $U$**  : en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ . Petit  $U$  = bonne isolation.

## Partie 1 — Les transferts thermiques dans un bâtiment

### Le saviez-vous ?

Dans un bâtiment non isolé, la chaleur s'échappe par tous les éléments de l'enveloppe. Répartition typique des pertes :

Zone	% des pertes	Mode principal
Toiture	25–30 %	Convection (air chaud monte)
Murs	20–25 %	Conduction à travers les parois
Fenêtres et portes	10–15 %	Conduction + rayonnement
Plancher bas	7–10 %	Conduction vers le sol
Ponts thermiques	5–10 %	Conduction aux jonctions
Renouvellement d'air	20–25 %	Convection (ventilation)

Un menuisier agenceur intervient directement sur les fenêtres, portes, cloisons et bardages : il est un acteur clé de la performance thermique du bâtiment.

### Exercice 1 — Identifier les transferts dans un atelier **PHYSIQUE-CHIMIE**

Pour chaque situation, indiquer le mode de transfert dominant (conduction, convection ou rayonnement) et justifier en une phrase.

- a. La poignée métallique de la porte de l'atelier est glacée au toucher.

**Mode :** .....

**Justification :**

---



---

- b. L'air chaud s'accumule sous la verrière du toit tandis que le sol reste froid.

**Mode :** .....

**Justification :**

---



---

- c. Un ouvrier sent la chaleur du poêle à bois à 3 mètres de distance, sans courant d'air.

**Mode :** .....

**Justification :**

---



---

- d. La chaleur traverse le mur en parpaing de l'atelier vers l'extérieur.

**Mode :** .....

**Justification :**

---



---

- e. En ouvrant la porte, un courant d'air froid entre au niveau du sol.

**Mode :** .....

**Justification :**

---



---



## Partie 2 — Matériaux et conductivité thermique

**Contexte professionnel :** Un architecte d'intérieur ou un menuisier agencier doit choisir les matériaux en tenant compte de leurs propriétés thermiques. La conductivité thermique  $\lambda$  est la grandeur clé pour comparer les matériaux.

Matériau	$\lambda$ ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	Usage courant
Aluminium	230	Menuiseries alu, profilés
Acier	50	Charpente métallique, serrurerie
Béton plein	1,75	Murs, dalles
Verre	1,00	Vitrages
Brique creuse	0,50	Murs, cloisons
Plâtre (BA13)	0,32	Cloisons, doublages
<b>Chêne</b>	<b>0,18</b>	Parquets, portes, fenêtres
<b>Pin / Sapin</b>	<b>0,12</b>	Ossature, bardage, lambris
Panneau OSB	0,13	Contreventement, planchers
Fibre de bois	0,040	Isolation biosourcée
Laine de verre	0,035	Isolation courante
Polystyrène expansé	0,035	Isolation sous dalle, ITE
Polyuréthane	0,023	Isolation haute performance
Air immobile	0,025	Piégé dans le double vitrage

### Exercice 2 — Classer et comparer les matériaux PHYSIQUE-CHIMIE MENUISERIE

En utilisant le tableau des conductivités ci-dessus, répondre aux questions suivantes.

- Classer les matériaux suivants du **meilleur isolant** au **moins bon** : aluminium, pin, béton, laine de verre, verre, chêne.

---



---

- Combien de fois le pin isole-t-il mieux que le béton ? Calculer  $\lambda_{\text{béton}}/\lambda_{\text{pin}}$ .

---



---

- L'aluminium est très utilisé pour les menuiseries modernes. Pourquoi pose-t-il un problème thermique ? Quelle solution technique existe ?

---



---

- Citer deux isolants **biosourcés** du tableau. Quel avantage environnemental par rapport au polystyrène ?

---



---

### Exercice 3 — Résistance d'une porte intérieure en chêne PHYSIQUE-CHIMIE MATHS MENUISERIE

Un menuisier fabrique une porte intérieure en chêne massif ( $\lambda = 0,18 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ).

Dimensions : hauteur 2,04 m, largeur 0,83 m, épaisseur 40 mm.

La température du couloir est 16 °C, celle de la chambre 20 °C.

1. Calculer la surface  $S$  de la porte en  $\text{m}^2$ .

---

---

2. Convertir l'épaisseur  $e$  en mètres.

---

3. Calculer la résistance thermique  $R = e/(\lambda \times S)$ .

---

---

---

4. Calculer le flux thermique  $\Phi$  qui traverse la porte.

---

---

---

5. Interpréter : cette porte laisse-t-elle passer beaucoup de chaleur ? Comparer à une ampoule LED (10 W).

---

---

## Partie 3 — Parois multicouches et ossature bois

### Définition — Additivité des résistances thermiques

Quand une paroi est composée de plusieurs couches de matériaux différents, les résistances thermiques s'additionnent :

$$R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

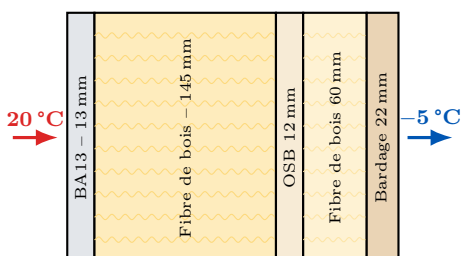
Pour une paroi multicouche, on calcule la résistance surfacique (pour 1 m<sup>2</sup>) :

$$R_{\text{surf}} = \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \frac{e_3}{\lambda_3} + \dots \quad \text{en m}^2 \cdot \text{K/W}$$

Le flux pour une surface  $S$  est alors :  $\Phi = S \times \Delta T / R_{\text{surf}}$ .

### Exercice 4 — Mur à ossature bois PHYSIQUE-CHIMIE MATHS MENUISERIE ARCHITECTURE

Un charpentier–menuisier construit le mur extérieur d'une maison à ossature bois.



Couche	Épaisseur $e$	$\lambda$ (W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup> )	$R$ (m <sup>2</sup> ·K/W)
Plaque BA13	13 mm	0,32	
Fibre de bois (entre montants)	145 mm	0,040	
Panneau OSB	12 mm	0,13	
Fibre de bois (ITE)	60 mm	0,040	
Bardage pin	22 mm	0,12	
$R_{\text{total}}$ (pour 1 m <sup>2</sup> )			

1. Calculer  $R = e/\lambda$  pour chaque couche (pour 1 m<sup>2</sup>) et compléter le tableau.
2. Calculer  $R_{\text{total}}$  du mur.  


---



---
3. La RE 2020 exige  $R \geq 4,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$  pour un mur extérieur. Ce mur est-il conforme ?  


---



---
4. Quelle couche contribue le plus à l'isolation ? Calculer son pourcentage de  $R_{\text{total}}$ .  


---



---
5. Calculer le flux  $\Phi$  traversant un pan de mur de  $S = 15 \text{ m}^2$  quand  $\Delta T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
*Formule :  $\Phi = S \times \Delta T / R_{\text{total}}$*

6. Convertir en kW. À quelle puissance de chauffage cela correspond-il ?

---

---

## Partie 4 — Menuiseries et vitrages

### Réglementation — RE 2020

La **Réglementation Environnementale 2020** (RE 2020) fixe des exigences minimales d'isolation pour les constructions neuves :

Élément	$R$ minimum ( $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ )
Mur extérieur (zone H1)	$\geq 4,0$
Toiture	$\geq 6,5$
Plancher bas	$\geq 3,0$

Menuiserie	$U_w$ max ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )
Fenêtre (zone H1)	$\leq 1,3$
Porte d'entrée	$\leq 1,7$

### Exercice 5 — Rénovation des fenêtres d'un appartement PHYSIQUE-CHIMIE MATHS

#### MENUISERIE

ARCHITECTURE

Un architecte d'intérieur rénove un appartement de  $85 \text{ m}^2$  à Paris. L'appartement possède **6 fenêtres** identiques de  $1,20 \text{ m} \times 1,40 \text{ m}$  en simple vitrage avec cadre bois ancien. Il propose au client trois options de remplacement :

Option	$U_w$ ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ )	Prix/fenêtre	Durée de vie
Actuel (simple vitrage bois)	4,5	—	—
A — DV argon + cadre PVC	1,4	650 €	25 ans
B — DV argon + cadre bois	1,2	950 €	40 ans
C — Triple vitrage + cadre bois	0,8	1 350 €	40 ans

1. Calculer la surface d'une fenêtre, puis la surface totale vitrée (6 fenêtres).

---



---

2. Quelles options sont conformes à la RE 2020 ( $U_w \leq 1,3$ ) ?

---

3. Avec  $\Delta T = 20 \text{ °C}$ , calculer le flux thermique total  $\Phi$  pour chaque option.

---



---



---



---

4. Calculer les pertes annuelles en kWh (10 h/jour, 150 jours/an) et le coût annuel (0,22 €/kWh).

---



---



---



---

5. Calculer le coût total sur 40 ans (achat + énergie). *Attention : PVC remplacé après 25 ans.*

---

---

---

---

6. Quelle option recommandez-vous ? Justifier avec au moins 3 critères.

---

---

---

## Partie 5 — Projet : bilan thermique d'un showroom

### Exercice 6 — Bilan thermique complet PHYSIQUE-CHIMIE MATHS MENUISERIE ARCHITECTURE

**Contexte :** Une entreprise d'agencement de cuisines ouvre un **showroom** de 120 m<sup>2</sup> dans un ancien entrepôt. L'espace doit être confortable (20 °C en hiver) et conforme à la réglementation. Le menuisier agenceur et l'architecte d'intérieur travaillent ensemble.

Élément	Surface	R ou U
Murs extérieurs (ossature bois)	80 m <sup>2</sup>	$R = 5,2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Toiture (isolée laine de bois)	120 m <sup>2</sup>	$R = 7,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Plancher sur terre-plein	120 m <sup>2</sup>	$R = 3,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
Vitrine (triple vitrage + bois)	18 m <sup>2</sup>	$U = 0,9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
Porte d'entrée vitrée	4 m <sup>2</sup>	$U = 1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

**Conditions :**  $T_{\text{int}} = 20 \text{ °C}$ ,  $T_{\text{ext}} = 0 \text{ °C}$  ( $\Delta T = 20 \text{ K}$ ).

1. Pour les parois ( $R$ ) :  $\Phi = S \times \Delta T / R$ .
  - Murs :  $\Phi_{\text{murs}} = \dots\dots\dots$
  - Toiture :  $\Phi_{\text{toit}} = \dots\dots\dots$
  - Plancher :  $\Phi_{\text{plancher}} = \dots\dots\dots$
  
2. Pour les menuiseries ( $U$ ) :  $\Phi = U \times S \times \Delta T$ .
  - Vitrine :  $\Phi_{\text{vitrine}} = \dots\dots\dots$
  - Porte :  $\Phi_{\text{porte}} = \dots\dots\dots$
  
3. Flux total  $\Phi_{\text{total}}$  et conversion en kW.
 

---



---



---
  
4. Consommation annuelle en kWh (10 h/jour, 150 jours/an) et coût annuel (0,22 €/kWh).
 

---



---



---
  
5. L'architecte souhaite remplacer la vitrine par un **mur rideau tout verre** de 30 m<sup>2</sup> ( $U = 1,1$ ). Calculer le nouveau flux vitrine et le surcoût annuel.
 

---



---



---
  
6. Proposer deux solutions techniques pour limiter les pertes du mur rideau sans réduire la surface vitrée.
 

---



---

## Partie 6 — Synthèse

### À retenir

Ce qu'il faut retenir de ce livret :

1. La chaleur s'échappe d'un bâtiment par **conduction** (murs, vitres), **convection** (air) et **rayonnement** (IR).
2. La **conductivité thermique**  $\lambda$  caractérise un matériau : petit  $\lambda$  = bon isolant.
3. La **résistance thermique**  $R = e/(\lambda \times S)$  : grand  $R$  = bonne isolation.
4. Le **bois** est un bon isolant naturel ( $\lambda \approx 0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ), bien meilleur que le béton ou les métaux.
5. Pour une paroi multicouche,  $R_{\text{total}} = R_1 + R_2 + \dots$  — c'est l'**isolant** qui contribue le plus.
6. La **RE 2020** impose des seuils minimaux. Un professionnel doit savoir les vérifier.

### Exercice 7 — Tableau récapitulatif

Compléter le tableau de synthèse sans regarder les rappels.

Grandeur	Symbole	Unité	Formule
Conductivité thermique			
Résistance thermique			
Résistance surfacique			
Flux thermique			
Coefficient de transmission			
Énergie perdue			

### Exercice 8 — Questions de synthèse

1. Pourquoi une maison à ossature bois est-elle naturellement plus isolante qu'une maison en béton ? Donner au moins deux arguments chiffrés.

---



---



---



---

2. Un client hésite entre des fenêtres PVC ( $U_w = 1,4$ ) et des fenêtres bois ( $U_w = 1,2$ ). Rédiger un paragraphe argumenté pour le conseiller en tenant compte des performances thermiques, de la durée de vie, du coût et de l'impact environnemental.

---



---



---

---

---

---

---

---

3. Expliquer en quoi le métier de menuisier agenceur contribue à la transition énergétique des bâtiments. Donner au moins trois exemples concrets.

---

---

---

---

---

*Fin du livret — Bon travail !*

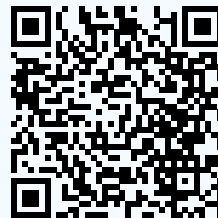
Simulations interactives — Scannez les QR codes !



**Paroi multicouche**

Construisez une paroi couche par couche et calculez  $R$  et  $\Phi$

<https://maths-sciences-lp.github.io/simulations/paroi-multicouche.html>



**Comparateur de vitrages**

Comparez simple, double, triple vitrage et leur coût

<https://maths-sciences-lp.github.io/simulations/comparateur-vitrages.html>