

Transferts thermiques & Isolation

Applications en menuiserie, bâtiment
et architecture intérieure

Seconde Baccalauréat Professionnel
Métiers de l'Agencement, de la Menuiserie et de l'Ameublement

M. Azzouz

Lycée Eugène Hénaff — Bagnolet

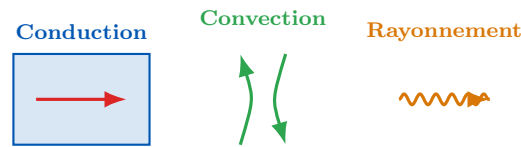
Année scolaire 2025–2026



Table des matières

1	Les transferts thermiques	3
1.1	Qu'est-ce qu'un transfert thermique?	3
1.2	Les trois modes de transfert thermique	3
1.3	Les déperditions d'un bâtiment	4
2	Conductivité et résistance thermique	5
2.1	La conductivité thermique λ	6
2.2	La résistance thermique R	6
3	Flux thermique et parois multicouches	7
3.1	Le flux thermique Φ	8
3.2	Parois multicouches : additivité des résistances	8
3.3	La réglementation thermique RE 2020	8
4	Menuiseries et vitrages	10
4.1	Le coefficient de transmission thermique U	11
4.2	Types de vitrages	11
4.3	Fenêtres : bois, PVC ou aluminium?	11
5	Projet : bilan thermique d'un showroom	12

1 — Les transferts thermiques



Objectifs : Comprendre la notion de transfert thermique ; identifier les trois modes de transfert ; relier ces notions aux situations professionnelles en menuiserie et en bâtiment.

1.1 Qu'est-ce qu'un transfert thermique ?

Définition — Transfert thermique

Un **transfert thermique** (ou « transfert de chaleur ») est un échange d'énergie entre deux corps possédant des températures différentes. Ce transfert se fait **spontanément du corps chaud vers le corps froid**, jusqu'à ce que les deux corps atteignent la même température : c'est l'**équilibre thermique**.

Exemples en atelier de menuiserie :

- Un outil de fraisage sort de l'usinage à 120°C et se refroidit progressivement en transférant de la chaleur vers l'air de l'atelier (20°C).
- En hiver, un atelier chauffé perd de la chaleur vers l'extérieur à travers les murs, les fenêtres et le toit. Plus les parois isolent, moins on consomme d'énergie.

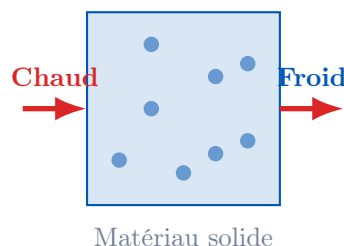
Attention

En physique, on ne dit pas « le froid entre » mais « **la chaleur sort** ». L'énergie thermique est toujours transférée du chaud vers le froid.

1.2 Les trois modes de transfert thermique

La conduction

La chaleur se propage de proche en proche par **contact entre atomes ou molécules voisines** : les particules les plus agitées (côté chaud) transmettent leur énergie aux particules moins agitées (côté froid). Il n'y a **pas de déplacement de matière**.



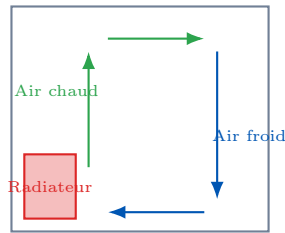
La conduction est très efficace dans les **métaux** (acier, aluminium, cuivre) et faible dans les **isolants** (bois, laine de verre, polystyrène).

Propriété — Le bois, mauvais conducteur thermique

Le bois conduit mal la chaleur : c'est un **isolant naturel**. C'est pourquoi une poignée de porte en bois semble moins froide qu'une poignée en métal : le bois conduit moins vite la chaleur de la main.

La convection

La chaleur est transportée par le **déplacement d'un fluide** (gaz ou liquide). L'air chaud, moins dense, monte ; l'air froid, plus dense, descend. Cela crée une **circulation naturelle**.



En atelier : dans un séchoir à bois, des ventilateurs assurent une **convection forcée** pour homogénéiser la température et accélérer l'évaporation de l'eau du bois.

Le rayonnement

Tout corps au-dessus de 0 K émet des **ondes électromagnétiques** (principalement dans l'infrarouge). Ce transfert ne nécessite **aucun milieu matériel** : il fonctionne dans le vide.

Exemples :

- La chaleur du soleil nous parvient par rayonnement à travers le vide de l'espace.
- Un ouvrier sent la chaleur du poêle à bois à 3 m de distance, sans courant d'air.
- Les lampes infrarouge sont utilisées en finition (séchage de vernis ou de peinture) pour chauffer sans contact.

1.3 Les déperditions d'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 agencier intervient directement sur les fenêtres, portes, cloisons et bardages : il est un acteur clé de la performance thermique du bâtiment.

Activité 1 — Identifier les transferts dans un atelier

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 :

2 — Conductivité et résistance thermique

Objectifs : Connaître la conductivité thermique λ ; calculer la résistance thermique R ; comparer les matériaux de construction.

2.1 La conductivité thermique λ

Définition — Conductivité thermique

La **conductivité thermique** λ (lambda) d'un matériau caractérise sa capacité à conduire la chaleur. Elle s'exprime en $\mathbf{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$.

- λ **grand** \Rightarrow le matériau conduit bien la chaleur \Rightarrow **mauvais isolant** (métaux).
- λ **petit** \Rightarrow le matériau conduit mal la chaleur \Rightarrow **bon isolant** (bois, laine de verre).

Matériau	λ ($\mathbf{W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}}$)	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
Chêne	0,18	Parquets, portes, fenêtres
Pin / Sapin	0,12	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
Air immobile	0,025	Piégé dans le double vitrage

Propriété — Le bois est un bon isolant naturel

Avec $\lambda \approx 0,12$ à $0,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, le bois est environ :

- **10 fois** meilleur isolant que le béton,
- **6 à 8 fois** meilleur isolant que le verre,
- **plus de 400 fois** meilleur isolant que l'acier.

C'est pourquoi les menuiseries en bois contribuent naturellement à l'isolation du bâtiment.

2.2 La résistance thermique R

Définition — Résistance thermique

La **résistance thermique** R d'une paroi caractérise sa capacité à **s'opposer** au transfert de chaleur. Plus R est grand, plus la paroi **isole bien**.

Pour une paroi plane d'épaisseur e et de surface S :

$$R = \frac{e}{\lambda \times S} \quad \text{en K/W}$$

- e = épaisseur de la paroi en **mètres** (m)
- λ = conductivité thermique en $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
- S = surface de la paroi en m^2

Méthode — Calculer une résistance thermique

1. Convertir l'épaisseur en mètres (e en m).
2. Repérer λ du matériau dans le tableau.
3. Appliquer la formule $R = e/(\lambda \times S)$.
4. Vérifier : plus λ est petit ou e est grand, plus R est grand.

Exemple : Un panneau de pin ($\lambda = 0,12$) de 18 mm d'épaisseur et de surface $1,8 \text{ m}^2$ (porte).

$$R = \frac{0,018}{0,12 \times 1,8} = \frac{0,018}{0,216} \approx 0,083 \text{ K/W}$$

À retenir

La résistance thermique joue pour la chaleur le même rôle que la résistance électrique pour le courant : $\Phi = \Delta T/R$ est l'analogie de $I = U/R$ (loi d'Ohm).

Activité 2 — Classer et comparer les matériaux

1. En utilisant le tableau des conductivités, classer les matériaux suivants du **meilleur isolant** au **moins bon** : aluminium, pin, béton, laine de verre, verre, chêne.

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

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

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

3 — Flux thermique et parois multicouches

Objectifs : Calculer le flux thermique Φ à travers une paroi ; additionner les résistances thermiques d'une paroi multicouche ; vérifier la conformité RE 2020.

3.1 Le flux thermique Φ

Définition — Flux thermique

Le **flux thermique** Φ (phi) est la puissance du transfert thermique : c'est la quantité d'énergie qui traverse la paroi par unité de temps.

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{en Watts (W)}$$

— $\Delta T = T_{\text{chaud}} - T_{\text{froid}}$ en K (ou °C)

— R = résistance thermique de la paroi en K/W

Plus Φ est grand, plus la paroi **laisse passer** de chaleur. Un bon isolant réduit Φ .

Exemple : La porte en pin de l'exemple précédent ($R = 0,083$ K/W), avec $\Delta T = 15$ °C :

$$\Phi = \frac{15}{0,083} \approx 181 \text{ W}$$

Ce panneau laisse passer environ 181 W de chaleur en régime permanent — c'est l'équivalent de 18 ampoules LED de 10 W.

3.2 Parois multicouches : additivité des résistances

Propriété — Résistances en série

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

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

C'est le même principe que les résistances électriques en série.

Attention

En pratique, pour une paroi multicouche, on calcule souvent la résistance surfacique (pour 1 m²) :

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

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

3.3 La réglementation thermique RE 2020

Le saviez-vous ? — La RE 2020

La **Réglementation Environnementale 2020** (RE 2020) fixe des exigences minimales d'isolation pour les constructions neuves. Un menuisier agenceur ou un architecte d'intérieur doit connaître ces seuils :

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 1 — 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.

- Calculer la surface S de la porte en m^2 .

- Convertir l'épaisseur e en mètres.

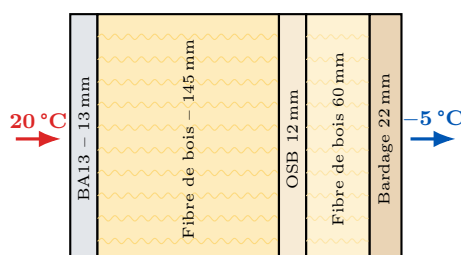
- Calculer la résistance thermique $R = e / (\lambda \times S)$.

- Calculer le flux thermique Φ qui traverse la porte.

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

Exercice 2 — 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	λ ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)	R ($\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$)
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_{total} (pour 1 m ²)			

- Calculer $R = e/\lambda$ pour chaque couche (pour 1 m²) et compléter le tableau.
- Calculer R_{total} du mur.

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

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

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

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

4 — Menuiseries et vitrages

Objectifs : Comparer les performances de différents vitrages ; utiliser le coefficient U ; conseiller un client sur le choix de menuiseries.

4.1 Le coefficient de transmission thermique U

En pratique, on caractérise la performance thermique d'une fenêtre par son **coefficient global de transmission thermique U** (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Ce coefficient tient compte de la conduction dans les matériaux, des échanges avec l'air et de la structure complète de la menuiserie.

Définition — Coefficient U

$$\Phi = U \times S \times \Delta T$$

— U = coefficient de transmission thermique ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$)

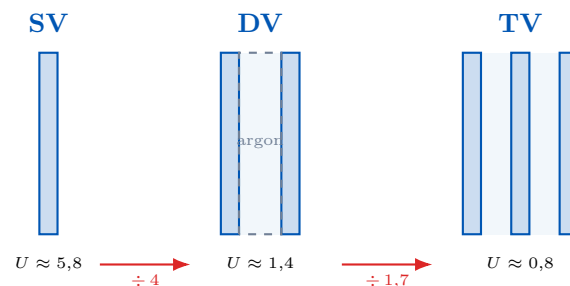
— S = surface de la menuiserie (m^2)

— ΔT = écart de température (K ou $^{\circ}\text{C}$)

Plus U est **petit**, meilleure est l'isolation.

4.2 Types de vitrages

Type de vitrage	U typique	Principe
Simple vitrage	$\approx 5,8$	Une seule vitre
Double vitrage air	$\approx 2,9$	Deux vitres + lame d'air
Double vitrage argon	$\approx 1,4$	Deux vitres + lame d'argon
Triple vitrage	0,7 à 1,0	Trois vitres + deux lames



4.3 Fenêtres : bois, PVC ou aluminium ?

Cadre	λ du cadre	Durée de vie	Entretien	Bilan carbone
Bois	0,12	40–50 ans	Lasure tous les 5–8 ans	Très faible
PVC	0,17	20–30 ans	Aucun	Moyen
Alu (sans RPT)	230	30–40 ans	Aucun	Élevé
Alu + RPT	—	30–40 ans	Aucun	Élevé

RPT = rupture de pont thermique, inserts isolants dans le profilé aluminium.

Exercice 3 — Rénovation des fenêtres d'un appartement PHYSIQUE-CHIMIE MATHS
MENUISERIE ARCHITECTURE

Un architecte d'intérieur rénove un appartement de 85 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 Φ 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.

5 — Projet : bilan thermique d'un showroom

Objectifs : Réaliser un bilan thermique simplifié ; chiffrer les pertes énergétiques et leur coût ; proposer des améliorations.

Contexte : Une entreprise d'agencement de cuisines ouvre un **showroom** de 120 m² dans un ancien entrepôt. L'espace doit être confortable (20 °C en hiver) et conforme à la réglementation. Le menuisier agencier et l'architecte d'intérieur travaillent ensemble.

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

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 Φ_{total} et conversion en kW.

4. Consommation annuelle en kWh (10h/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 m² ($U = 1,1$). 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.

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** λ caractérise un matériau : petit λ = 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. Le coefficient U caractérise les menuiseries : petit U = bonne performance.
7. La **RE 2020** impose des seuils minimaux. Un professionnel doit savoir les vérifier.
8. Le calcul des **pertes en kWh et en €** permet de **conseiller un client** et de justifier le choix de matériaux performants.

Tableau récapitulatif

Grandeur	Symbole	Unité	Formule
Conductivité thermique	λ	$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	Propriété du matériau
Résistance thermique	R	K/W	$R = e/(\lambda \times S)$
Résistance surfacique	R_{surf}	$\text{m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$	$R_{\text{surf}} = e/\lambda$
Flux thermique	Φ	W	$\Phi = \Delta T/R$
Coefficient de transmission	U	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	$\Phi = U \times S \times \Delta T$
Énergie perdue	Q	J (ou kWh)	$Q = \Phi \times t$

Fin du livret — Bon travail !