

Transferts Thermiques

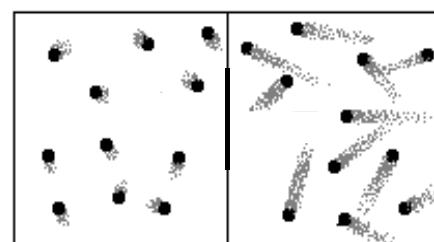
Activité : Rappel de 1^{ère} – Température, énergie thermique et transferts thermiques

Document 1 : Qu'est-ce que la température au niveau microscopique ?

Un corps matériel examiné à l'échelle microscopique se conçoit comme composé de particules (atomes, molécules, ions ...) qui ne restent pas immobiles les unes par rapport aux autres, mais sont continuellement agitées par des mouvements plus ou moins désordonnés.

Tous ces mouvements de vibration, de rotation ou de translation subis par les innombrables particules présupposent qu'elles soient pourvues d'une "énergie d'agitation" que le physicien ne saurait évaluer séparément pour chacune d'entre elles, mais dont il peut estimer à l'échelle macroscopique la valeur moyenne au sein du corps qu'il étudie. C'est cette moyenne de l'énergie d'agitation qui caractérise la température du corps ainsi étudié.

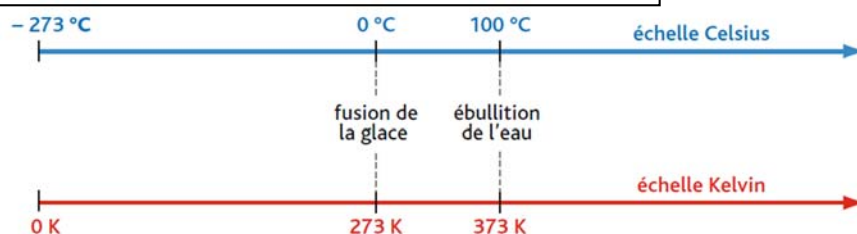
A quel phénomène physique est liée la température ?



Document 2 : Les échelles Celsius et de température absolue

Si T (en Kelvins) et θ (en degrés Celsius) sont les valeurs de cette température obtenues respectivement dans les première et seconde échelles, on passe d'une valeur à l'autre simplement par les égalités :

$$\theta = T - 273,15 \quad \text{ou} \quad T = \theta + 273,15$$



1. Compléter :

$$T_{\text{surface du Soleil}} = 6043 \text{ K} = \dots\dots\dots^\circ\text{C}$$

$$\theta_{\text{corps humain}} = 37^\circ\text{C} = \dots\dots\dots\text{K}$$

2. Quelle est l'échelle de température que nous utilisons couramment et son unité ?

3. Quels sont les points de repères pour cette échelle ?

.....

.....

.....

.....

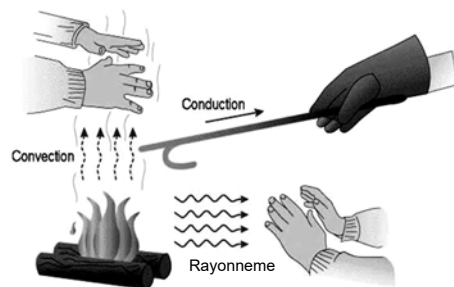
4. Quelle est l'échelle utilisée par les physiciens et son unité ?

5. Qu'est-ce que le zéro absolu ?

Document 3 : Les modes de transfert thermique

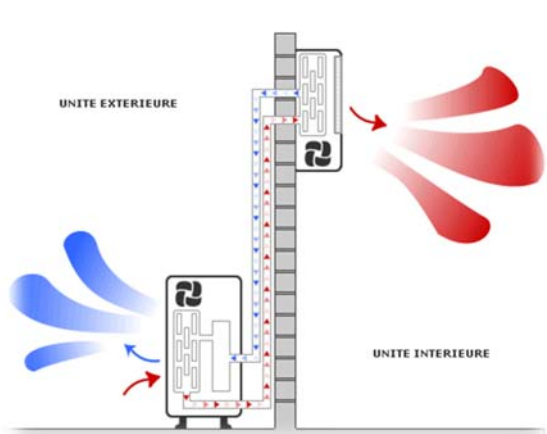
Le transfert thermique est le passage d'énergie d'un corps chaud vers un corps froid. Il y a 3 modes de transfert thermique :

- **Conduction** : si l'on chauffe l'extrémité d'une barre métallique, on remarque que la température de l'autre extrémité augmente très vite. Les particules de la partie chaude communiquent une partie de l'agitation thermique aux particules voisines et ainsi de suite : l'agitation thermique se transmet de proche en proche de la région chaude vers la région froide sans transport de matière. Il existe de bons conducteurs thermiques comme les métaux et de bons isolants thermiques comme la laine de verre, le polystyrène, le vide...
- **Convection** : l'énergie est transférée par mélange de la matière, il y a transport de matière (exemple de l'air chauffé au voisinage d'un radiateur). L'air chaud est plus léger que l'air froid : l'air chaud s'élève et en s'élevant, se refroidit en échangeant de l'énergie avec les couches supérieures.
- **Rayonnement** : l'énergie est transportée sous forme de radiations électromagnétiques (exemple du Soleil). Tout corps chaud émet des radiations électromagnétiques qui transportent de l'énergie



6. Quels sont les 3 modes de transfert thermique ? Donner des exemples de la vie courante :

7. Par quel mode de transfert thermique un climatiseur refroidit-il une pièce en été ?



Document 4 : Qu'est-ce que l'énergie interne ?

À l'échelle microscopique, les particules constituant le système sont animées de mouvements individuels et cette agitation augmente avec la température : on l'appelle l'agitation thermique. Les molécules possèdent donc de l'énergie cinétique microscopique qui est liée à l'agitation thermique et donc à l'énergie thermique.

Ces molécules possèdent également une énergie potentielle microscopique qui est une énergie potentielle d'interaction entre des particules. Elle correspond à une énergie due aux interactions ou aux répulsions entre paires de particules.

L'énergie interne est la somme des énergies cinétique et potentielle microscopiques, c'est l'énergie liée à la structure interne microscopique de la matière et elle est notée U .

8. Qu'appelle-t-on énergie interne ?

.....
.....

9. Que se passe-t-il au niveau énergétique quand on chauffe un corps ?

.....
.....

10. Sera-t-il capable de restituer cette énergie ultérieurement ?

.....
.....

La variation d'énergie interne reçue ou perdue par un matériau lors d'un transfert thermique est donnée par :

$$Q = \Delta U = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Cette relation peut aussi s'écrire :

$$Q = U_{\text{finale}} - U_{\text{initiale}} = m \cdot c \cdot (T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}})$$

Avec :

Q :

U :

T :

c : capacité calorifique massique du matériau ()

m : masse du matériaux ()

11. A quelle variation de grandeur est proportionnelle la variation d'énergie interne lors d'un transfert thermique?

.....
.....

Application : faire bouillir de l'eau $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

12. Déterminer l'énergie nécessaire Q pour amener 3,0 L d'eau de 20°C à 100°C

(masse volumique de l'eau : $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

.....
.....
.....
.....

13. On utilise une plaque de cuisson de puissance $P = 5,0 \text{ kW}$. Quelle sera la durée nécessaire pour réaliser l'opération précédente ?

.....
.....
.....
.....

Etude du chauffage d'un local en béton

Un local est ouvert en plein hiver après une longue période d'inactivité. L'air et les parois en béton (murs, plafond et sol) sont à la température de 0°C . On souhaite chauffer ce local à la température de 20°C .

Données Techniques :

Dimensions du local en mètres $L \times \ell \times h = 11,0 \times 7,0 \times 3,0$

Volume de béton pour les murs, le sol et le plafond : $V = 262 \text{ m}^3$

Masse volumique de l'air : $\rho_{\text{air}} = 1,25 \text{ kg/m}^3$; Masse volumique du béton $\rho_{\text{béton}} = 2\,200 \text{ kg/m}^3$

Capacité thermique massique de l'air : $c_{\text{air}} = 1\,005 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Capacité thermique massique du béton : $c_{\text{béton}} = 880 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Prix du kWh : 0,0839 €

$1 \text{ J} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$

$T = \theta + 273,15$

1. Calculer le volume de l'air, puis la masse d'air à chauffer.

.....

.....

.....

.....

2. Calculer la masse de béton à chauffer.

.....

.....

.....

.....

3. Calculer l'énergie interne U_{air} nécessaire pour porter à 20°C la température de l'air du local.

.....

.....

.....

.....

Quand le local sera chauffé, la face intérieure des murs sera à la température de 20°C et celle extérieure à 0°C , nous prendrons une température finale moyenne des murs à 10°C .

4. Calculer l'énergie interne $U_{\text{béton}}$ nécessaire pour porter à 10°C la température des parois en béton.

.....

.....

.....

.....

.....

5. Que remarque-t-on ?

.....

.....

6. Calculer l'énergie totale nécessaire pour chauffer le local en unité SI puis en $kW.h$

.....

.....

.....

7. Calculer le coût du chauffage.

.....

.....

Transferts Thermiques

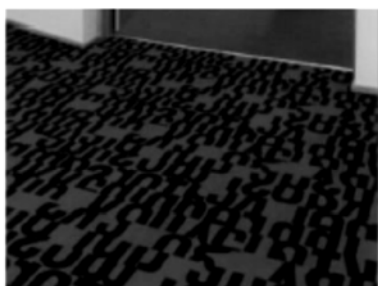
TP : Quel matériau choisir pour une bonne isolation ?

Document 1 : Qu'est-ce qu'un bilan thermique ?

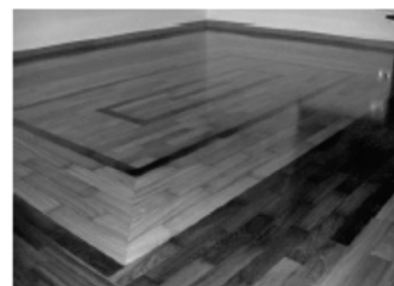
Dans une maison, où toutes les pièces sont à la même température, on marche pieds nus sur les trois types de sols suivants :



①



②



③

1. Les classer par ordre de sensation, du matériau le plus « chaud » au matériau le plus « froid ».

.....

.....

Ces matériaux sont pourtant tous à la même température.

Pour comprendre cette « sensation », nous allons pratiquer plusieurs démarches expérimentales.

Mode opératoire :

Démarche expérimentale I : « Etoile »

On veut classer différents métaux (cuivre, fer, laiton et aluminium) par conduction croissante.

Placer un peu de paraffine dans les encoches sur chacun des métaux de l'étoile.

Faire chauffer le centre de l'étoile à l'aide d'une bougie.

2. Déterminer le classement de la conduction des différents métaux.

.....

.....

.....

Démarche expérimentale II : « Glaçons »

<p><u>Matériel mis à la disposition des élèves :</u></p> <p>5 plaques de différents matériaux</p> <p>5 glaçons</p> <p>Une éponge.</p>	<p><u>Consignes données au groupe :</u></p> <p>Placer un glaçon sur chaque plaque</p>
--	--

3. Par quel mode de transfert thermique l'échange se fait-il ?

.....

.....

4. Ainsi dans cette expérience le classement des matériaux qui conduit le mieux la chaleur à celui qui conduit le moins bien la chaleur est :

.....

Transferts Thermiques

Activité : Quel matériaux choisir pour une bonne isolation thermique

Problème

On souhaite construire un chalet de vacances en haute montagne. Pour cela, l'architecte consulté propose deux solutions à des prix différents selon les matériaux employés :

1ère possibilité : maison à ossature en bois dont les cloisons sont constituées de :

- 8 cm de pin maritime,
- 10 cm de polystyrène expansé,
- 4 cm de panneaux de particules de bois.

2nde possibilité : construction traditionnelle dont les cloisons sont constituées de :

- 2 cm de mortier d'enduit,
- 20 cm de parpaing,
- 4 cm de polystyrène expansé,
- 5 cm de carreaux de plâtre.

Comment comparer les différents matériaux constituant les chalets ?

Le constructeur fournit les données suivantes :

Conductivité thermique λ (en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$) pour les divers matériaux envisagés :					
Pin maritime	Polystyrène expansé	Panneaux de particules de bois	Mortier d'enduit	Parpaing ou béton caverneux	Carreaux de plâtre
0,15	0,042	0,16	1,15	1,15	0,70

Document 1 : La conductivité thermique

Pour caractériser cette capacité des matériaux à résister à la perte d'énergie thermique, on utilise la conductivité thermique λ du matériau, qui caractérise la manière dont un matériau laisse passer l'énergie thermique.

Elle s'exprime en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$:

Matériau	λ ($W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$)
Air	0,024
Liège expansé	0,04
PVC	0,03
Fibres minérales	0,04
Mousse de verre	0,06
Liège	0,10
Béton	0,10 à 0,85
Verre	1,13
Marbre	3
Fer	72
Aluminium	230

Plus la conductivité est grande, *moins/plus* le matériau laissera passer l'énergie thermique

Parmi les corps, ceux qui présentent les plus faibles valeurs de conductivité thermique λ , sont les gaz : on se servira donc au maximum des pour isoler.

Les matériaux isolants sont donc fibreux, alvéolaires ou poreux de faible masse volumique, car ils renferment beaucoup d'air

La nature fournit de nombreux matériaux isolants (fourrures, paille, ...) mais ils sont putrescibles et absorbent l'humidité. Le liège peut être traité pour éliminer ces inconvénients. Les fibres minérales (laines de verre ou de roches) sont encore meilleures.

Dans les bâtiments on surveillera la ventilation (passage de l'air contre des parois chaudes), les ponts thermiques (endroits où l'isolation est interrompue), les vitrages (on utilise donc le principe du double vitrage).

1. Quel est le matériau le plus isolant parmi ceux utilisés dans les chalets ?

2. Que signifie « expansé » dans « polystyrène expansé » ?

.....

3. Pourquoi l'énoncé du problème fournit-il l'épaisseur des différents matériaux utilisés ?

.....

.....

Document 2 : La résistance thermique

Pour savoir si un matériau est un bon isolant, on peut aussi utiliser la résistance thermique du matériau qui exprime la capacité du matériau à résister aux changements de température.

Plus la résistance est grande, moins le matériau laissera passer l'énergie thermique.

Elle est notée R_{th} , s'exprime en $m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ et elle dépend de l'épaisseur e du matériau et de la conductivité thermique du matériau :

$$R_{th} =$$

Dans le cas d'une paroi composée de plusieurs couches de matériaux différents, la résistance R_{thTOT} totale est égale à la somme des résistances thermiques des différents matériaux :

$$R_{thTOT} = \Sigma R_{th} = R_{th1} + R_{th2} + R_{th3} + \dots$$

4. Exprimer puis calculer la résistance thermique totale de chacune des cloisons des 2 chalets :

$$R_{th1} =$$

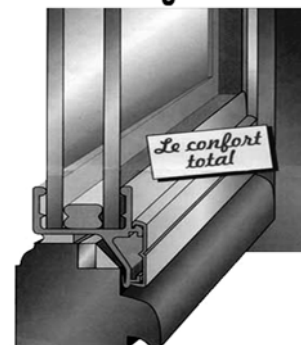
$$R_{th2} =$$

5. Conclure sur la paroi la plus isolante.

.....

.....

Isoler vos fenêtres anciennes
Double vitrage rénovation



Comment faire un bilan thermique ?

Qu'est-ce que le flux thermique ?

Le flux thermique est la quantité d'énergie thermique Q transférée par unité de temps à travers une certaine surface. Il s'exprime en watt (W).

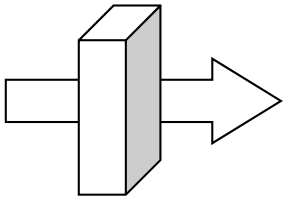
6. Choisir parmi les propositions suivantes, l'expression qui peut correspondre au flux thermique.

$$\Phi = \frac{\Delta t}{Q}$$

$$\Phi = Q \times \Delta t$$

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$$

7. De quoi peut dépendre le flux thermique perdu à travers les murs du chalet étudié ?



-
-
-
-
-
-

8. Choisir parmi les propositions suivantes, l'expression qui peut correspondre au flux thermique.

$$\Phi = \lambda \frac{e}{S} \Delta T$$

$$\Phi = \lambda \frac{S}{e} \Delta T$$

$$\Phi = \lambda \frac{S}{e}$$

Avec : S la surface de l'échantillon (m^2),

e l'épaisseur de l'échantillon (m),

ΔT la différence de température entre les deux parois ($^{\circ}C$ ou K),

Δt la durée du transfert (s).

Avec R_{th} la résistance thermique tel que : $R_{th} = \frac{e}{\lambda}$ On peut exprimer le flux thermique par l'expression :

$$\Phi =$$

Avec :

Φ :

R_{th} :

S :

ΔT :

9. Réécrire l'expression du flux thermique en fonction de la résistance thermique. Que peut-on dire de ce flux thermique lorsque la résistance thermique diminue ?

10. Quelle est l'unité du flux thermique ? Que peut-on en déduire d'un point de vue des radiateurs dans une pièce dont on connaît le flux thermique vers l'extérieur ?

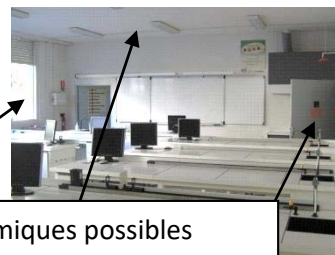
Transferts Thermiques

TP : Bilan thermique d'une salle de classe

Objectif : Choisir la puissance des radiateurs de la salle de TP

Pour que la température de la salle demeure constante, la puissance fournie par les radiateurs (= flux thermique fourni) doit équilibrer les pertes thermiques.

Echanges thermiques possibles



Document 1 : Transfert thermique

Lorsque deux corps portés à des températures respectives T_1 et T_2 sont mis en contact, la température du corps froid augmente tandis que celle du corps chaud diminue. De l'énergie thermique est alors cédée par le corps le plus chaud au corps le plus froid.

Document 2 : Flux thermique

Le flux thermique Φ permet d'estimer la vitesse à laquelle l'énergie thermique est échangée.

Pour calculer le flux thermique traversant une paroi, on utilise la formule suivante :

$$\Phi = \frac{S \cdot (T_1 - T_2)}{R_{th}} \quad \text{avec } T_1 > T_2 \text{ par convention}$$

Document 3 : Données thermiques

Nature de la paroi	Fenêtre Simple vitrage	Fenêtre double vitrage	Mur intérieur	Mur extérieur	Plafond	Porte
Résistance thermique R_{th} ($m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$)	0,175	0,32	1,5	2	3,5	1,3

Document 4 : Exemple de tableur

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Calcul du flux thermique à travers les parois d'une salle de classe								
2									
3		Longueur L (m)	largeur l (m)	Surface S (m ²)	Température intérieure (°C)	Température extérieure (°C)	Delta T (°C)	Résistance thermique Rth ()	Flux thermique Φ (W)
4	Fenêtre 1			0			0	0,32	0
5	Porte 1			0			0	1,3	0
6	Porte 2			0			0	1,3	0
7	Mur extérieur			0			0	2	0
8	Plafond			0			0	3,5	0
9									
10	Total								0

Matériel disponible : Mètres + thermomètres + Ordinateur muni d'un tableur

On néglige toute perte de chaleur par les murs et le sol en contact avec les autres salles de classe.

Votre mission

Vous devez effectuer un compte rendu expliquant votre démarche, en indiquant vos différentes mesures et répondant aux questions.

En utilisant la méthode proposée, calculer le flux thermique perdu par chaque paroi et en déduire le flux total perdu Φ_{pertes} par la salle de classe. Vous présenterez vos calculs dans le tableur Excel.

Déterminer la puissance minimale à fournir par les radiateurs pour que la température de la salle reste constante.

METHODE : Calcul du flux thermique perdu par une paroi de la classe

- Déterminer la surface de la paroi : mesurer la longueur et la largeur ; en déduire la surface de la paroi
- Mesurer la température de la salle T_1
Mesurer la température extérieure T_2

- Calculer du flux thermique en utilisant la formule $\Phi = \frac{S \cdot (T_1 - T_2)}{R_{th}} = \frac{S \cdot \Delta T}{R_{th}}$

Exercices

Exercice 1 : QCM

	A	B	C
Dans une paroi, le transfert thermique s'effectue par :	Conduction	Convection	Rayonnement
Un transfert thermique s'effectue :	Du corps le plus chaud vers le corps le plus froid	Entre deux corps à même température	Du corps froid vers le corps le plus chaud
Une grandeur physique qui se mesure en watt (W) :	Correspond à une énergie	Est forcément une grandeur électrique	Correspond à une puissance
Le flux Thermique se mesure en :	<i>Watt (W)</i>	<i>Joule (J)</i>	<i>Kelvin (K)</i>
Si l'on double la surface d'une paroi, le flux thermique à travers cette paroi :	Est divisé par 2	Ne change pas	Est multiplié par 2
Si l'on double augmente la résistance thermique d'une paroi, le flux thermique à travers cette paroi :	Augmente	Ne change pas	Diminue
Si l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur est multiplié par 2, le flux thermique à travers cette paroi :	Est divisé par 2	Ne change pas	Est multiplié par 2
La résistance thermique d'une paroi :	Dépend du matériau constituant la paroi	Augmente avec l'épaisseur de la paroi	Augmente avec la surface de la paroi
20 cm d'épaisseur d'un matériau de conductivité thermique de $1,0 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$ a une résistance thermique de :	$20 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$0,20 \text{ m}^2.K.W^{-1}$	$0,05 \text{ m}^2.K.W^{-1}$
En ajoutant une couche de matériau sur une paroi :	On diminue le flux thermique à travers la paroi	On modifie la surface de la paroi	On augmente la résistance thermique de la paroi

Exercice 2 : Aménagement d'un garage

Ousmane décide d'aménager son garage en vue de l'utiliser comme salle de jeux.

Les murs du garage sont constitués de parpaings d'une épaisseur $e_1 = 20 \text{ cm}$ eux-mêmes recouverts d'une épaisseur $e_2 = 2 \text{ cm}$ d'un enduit à l'extérieur.

Surface du mur $S = 60 \text{ m}^2$

Température intérieure 20°C et extérieure 7°C

Prix du kWh 0,15 euros et $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

Ousmane souhaite isoler les murs avec des panneaux en fibre de bois de 10 cm d'épaisseur.

Comparer les flux thermiques à travers le mur non isolé et le mur isolé. Conclure.

Calculer l'économie réalisée en 24 h

Données : Conductivités thermiques :

- $\lambda_{\text{fibre de bois}} = 0.038 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\lambda_{\text{enduit}} = 1,15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\lambda_{\text{parpaing}} = 0.9 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Exercice 3 : Bilan thermique

Simon souhaite réaliser le bilan thermique de son bureau.

Celui-ci à la forme d'un parallélépipède rectangle. Des pertes thermiques n'existent que sur une face composée de :

- une baie vitrée de longueur $L = 2,50 \text{ m}$ et de hauteur $h = 2,2 \text{ m}$
- une surface de mur $S = 3,5 \text{ m}^2$

Dans son bureau, Simon utilise un ordinateur et une imprimante.

Réalisons le bilan thermique de la pièce en supposant que Simon travaille assis à son bureau.

1. Réaliser un schéma du problème qui se pose.
2. Quelles sont les sources de gain et de pertes d'énergie thermique ?

La température extérieure est $\theta_{ext} = 5^\circ\text{C}$ et la température intérieure est $\theta_{int} = 19^\circ\text{C}$.

3. Calculer le flux thermique perdu à travers le mur Φ_{mur} sachant que la résistance thermique du mur est $R_{mur} = 2 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Rappel : $\Phi = \frac{S \times (\theta_{int} - \theta_{ext})}{R}$

4. Calculer le flux thermique perdu à travers le vitrage $\Phi_{vitrage}$ sachant que la résistance thermique du vitrage est $R_{vitrage} = 0,8 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

5. Si la ventilation implique une perte de $P_{pertes} = 125 \text{ W}$, déterminer la valeur de la puissance totale P_{tot} perdue.
6. Si les appareils bureautiques apportent une puissance thermique moyenne de $P_{app} = 60 \text{ W}$ et Simon, lui, apporte $P_{hum} = 120 \text{ W}$, quel est le bilan thermique global ?
7. Est-il nécessaire de prévoir un système de chauffage ?

Exercice 4 : Simple, double ou triple vitrage ?

On souhaite comparer l'isolation thermique d'un simple vitrage (épaisseur de verre $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$), d'un double vitrage (deux plaques de verres d'épaisseur $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$ séparées par un espace d'air d'épaisseur $e_{\text{air}} = 16 \text{ mm}$) et d'un triple vitrage (trois plaques de verre d'épaisseur $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$ chacune séparées par un espace d'air d'épaisseur $e_{\text{air}} = 16 \text{ mm}$).

Données : conductivités thermiques :

- $\lambda_{\text{air}} = 2,5 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\lambda_{\text{verre}} = 1,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1. Calculer la résistance thermique de chaque vitrage.

Indication : la résistance thermique d'un matériau composé de plusieurs matériaux en couche les uns après les autres est la somme des résistances thermiques de chaque matériau.

2. La température intérieure d'une maison est $\theta_1 = 20^\circ\text{C}$ et la température extérieure est $\theta_2 = 0^\circ\text{C}$.

- a. Calculer le flux thermique par conduction Φ_{simple} à travers une baie vitrée (simple vitrage) d'épaisseur $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$ et de surface $S = 8 \text{ m}^2$.
- b. Calculer le flux thermique par conduction Φ_{double} à travers une baie vitrée (double vitrage) d'épaisseur $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$ et de surface $S = 8 \text{ m}^2$.
- c. Calculer le flux thermique par conduction Φ_{triple} à travers une baie vitrée (triple vitrage) d'épaisseur $e_{\text{verre}} = 4 \text{ mm}$ et de surface $S = 8 \text{ m}^2$.

3. Lequel des trois vitrages offre la meilleure isolation thermique ?