Pourquoi le métal semble-t-il plus froid que le bois? (CME4)

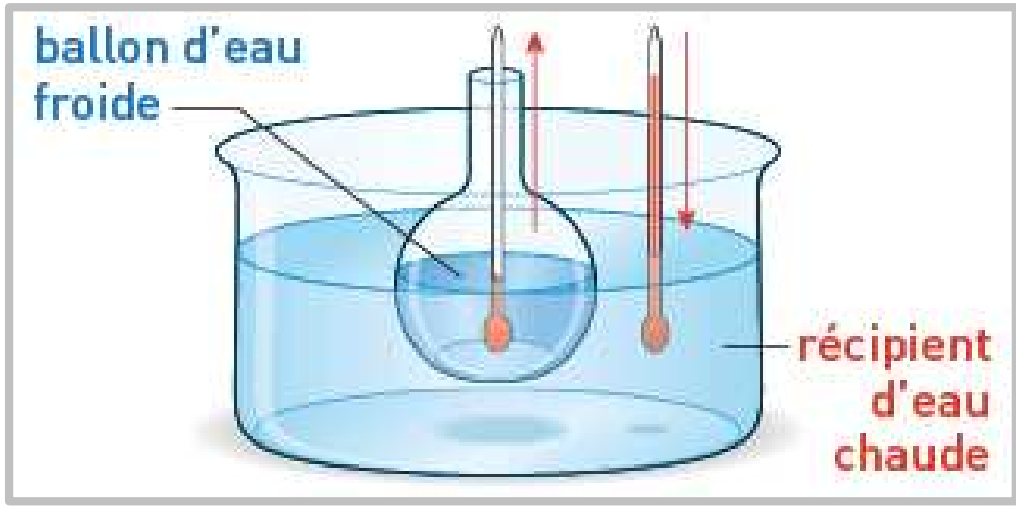
Physique et Chimie: Voie Professionnelle

2010-2011

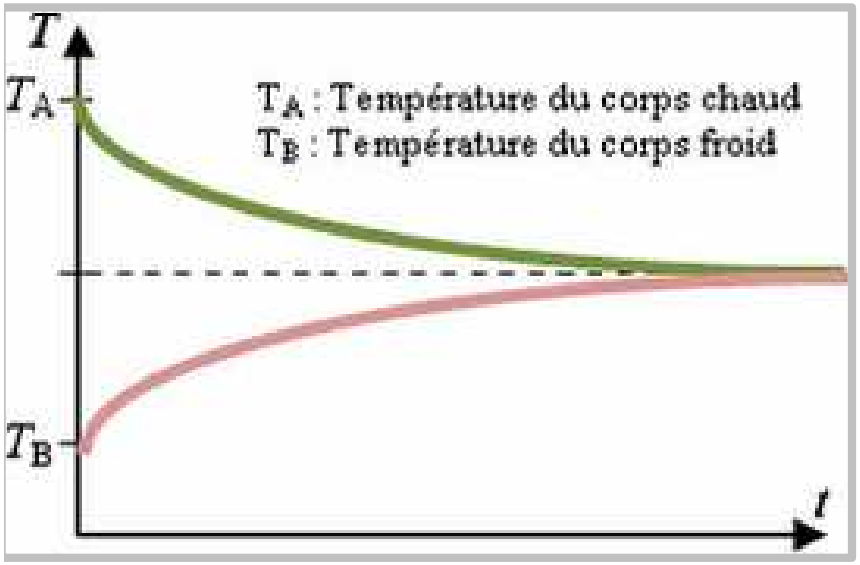
Sommaire

1. Équilibre thermique des matériaux
2. Conduction thermique
3. Capacité thermique massique d'un matériau
4. Quantité de chaleur
5. Notion de flux thermique
6. La résistance thermique d'un matériau

1. Équilibre thermique

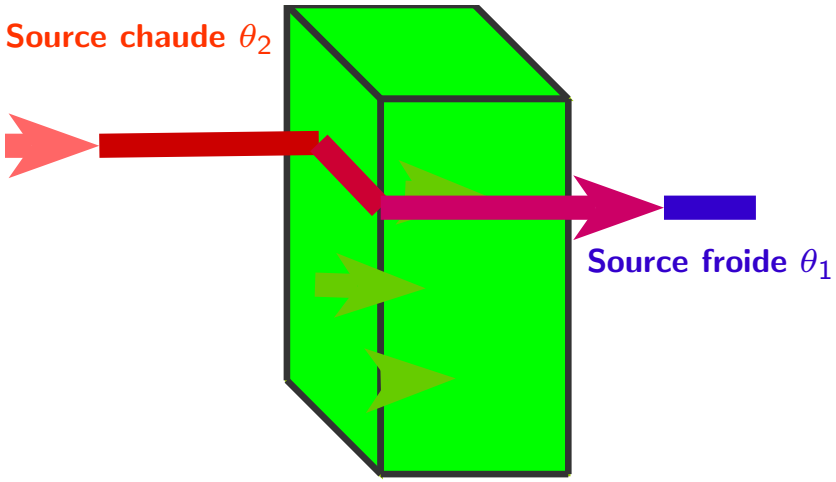


- L'eau chaude cède de la chaleur, sa température diminue.
- L'eau froide du ballon reçoit de la chaleur, sa température s'élève.



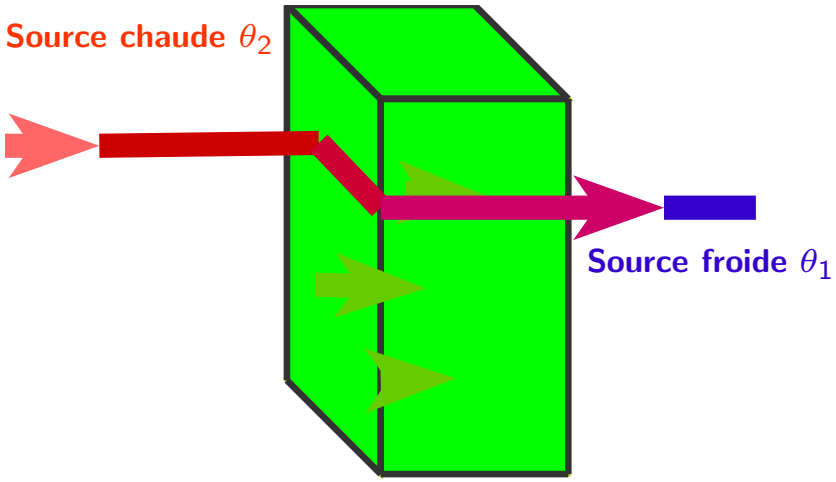
- La chaleur est toujours transférée du corps chaud vers le corps froid.
- Le transfert cesse lorsque tous les corps sont à la même température: c'est l'équilibre thermique.

2. Conduction thermique dans un matériau



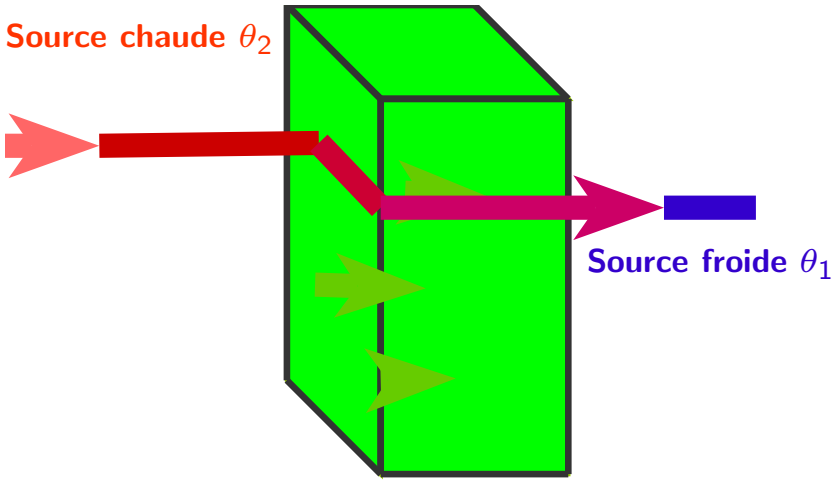
- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.

2. Conduction thermique dans un matériau



- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.
- Les matériaux sont caractérisés par leur aptitude à conduire la chaleur thermique.

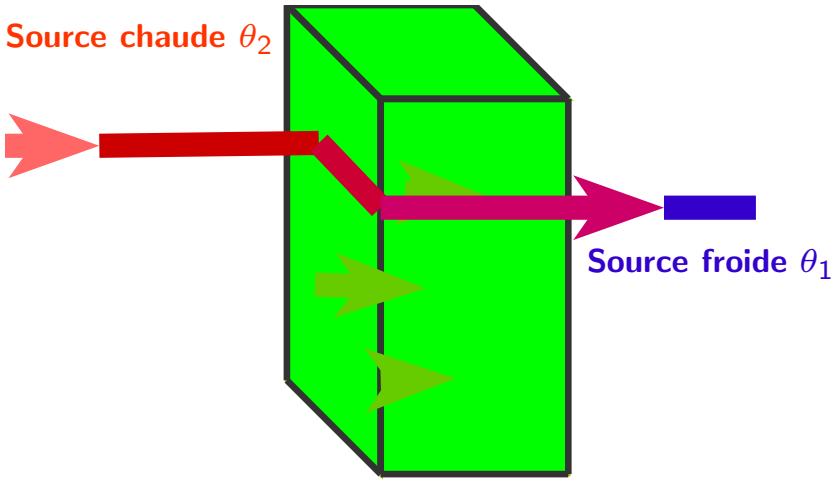
2. Conduction thermique dans un matériau



- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.
- Les matériaux sont caractérisés par leur aptitude à conduire la chaleur thermique.

- L'aptitude à conduire la chaleur thermique est matérialisée par *la conductivité thermique* λ (*lire lamda*) est aussi appelé *coefficient de conduction thermique*.

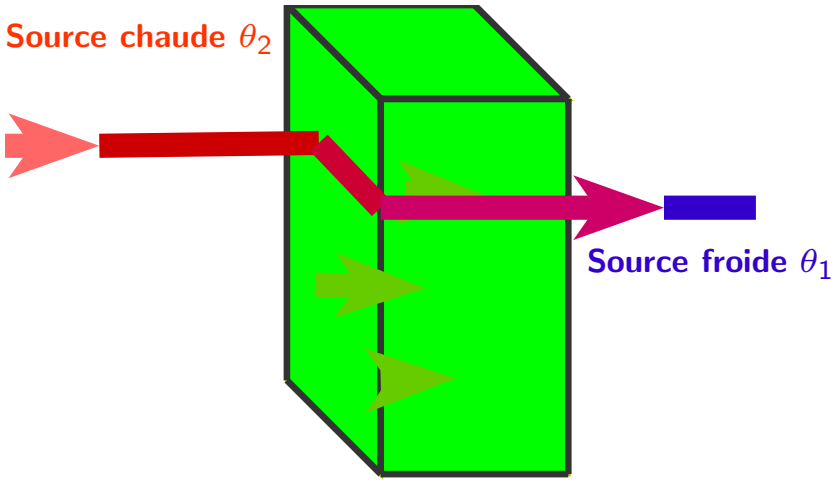
2. Conduction thermique dans un matériau



- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.
- Les matériaux sont caractérisés par leur aptitude à conduire la chaleur thermique.

- L'aptitude à conduire la chaleur thermique est matérialisée par *la conductivité thermique* λ (*lire lamda*) est aussi appelé *coefficient de conduction thermique*.
- *Plus la conductivité thermique est grande, plus le matériau conduit de la chaleur.*

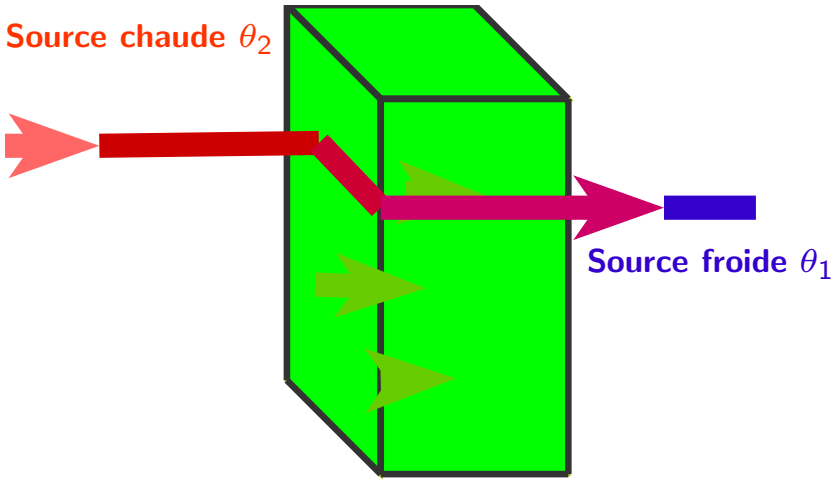
2. Conduction thermique dans un matériau



- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.
- Les matériaux sont caractérisés par leur aptitude à conduire la chaleur thermique.

- L'aptitude à conduire la chaleur thermique est matérialisée par *la conductivité thermique* λ (*lire lamda*) est aussi appelé *coefficient de conduction thermique*.
- *Plus la conductivité thermique est grande, plus le matériau conduit de la chaleur.*
- L'unité, *dans le système international*, de la conductivité thermique est en $W/m/K$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$).

2. Conduction thermique dans un matériau



- La conduction se produit toujours de la source chaude à la source froide.
- Les matériaux sont caractérisés par leur aptitude à conduire la chaleur thermique.

- L'aptitude à conduire la chaleur thermique est matérialisée par *la conductivité thermique* λ (*lire lamda*) est aussi appelé *coefficient de conduction thermique*.
- *Plus la conductivité thermique est grande, plus le matériau conduit de la chaleur.*
- L'unité, *dans le système international*, de la conductivité thermique est en $W/m/K$ ($W.m^{-1}.K^{-1}$).
- Dans la pratique, l'unité utilisée est $W.m^{-1}.^{\circ}\ C^{-1}$.

Conductivité thermique de quelqes matériaux usuels

Matériau	$\lambda \quad (W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1})$
Air (sec au repos)	0,024
Polystyrène (20kg/m^3)	0,039
Laine de verre (15 kg/m^3)	0,041
Bois de sapin (400 kg/m^3)	0,12
Bois de pin	0,14
Placoplâtre	0,46
Verre	1,13
Terre cuite (1 900 kg/m^3)	1,15
Béton plein (2 300 kg/m^3	1,75
Marbre	3
Fer	72
Aluminium	230
Cuivre	380

3. Capacité thermique massique d'un matériau

$$Q = m \bullet c \bullet (\theta_2 - \theta_1)$$

- Q: Chaleur transférée en joule (J);

3. Capacité thermique massique d'un matériau

$$Q = m \bullet c \bullet (\theta_2 - \theta_1)$$

- Q: Chaleur transférée en joule (J);
- m: masse du corps en kilogramme (kg);

3. Capacité thermique massique d'un matériau

$$Q = m \bullet c \bullet (\theta_2 - \theta_1)$$

- Q: Chaleur transférée en joule (J);
- m: masse du corps en kilogramme (kg);
- c: capacité thermique massique en $J/(kg \bullet {}^{\circ}C)$;

3. Capacité thermique massique d'un matériau

$$Q = m \bullet c \bullet (\theta_2 - \theta_1)$$

- Q: Chaleur transférée en joule (J);
- m: masse du corps en kilogramme (kg);
- c: capacité thermique massique en $J/(kg \bullet {}^\circ C)$;
- θ_1: température initiale en ${}^\circ C$;

3. Capacité thermique massique d'un matériau

$$Q = m \bullet c \bullet (\theta_2 - \theta_1)$$

- Q: Chaleur transférée en joule (J);
- m: masse du corps en kilogramme (kg);
- c: capacité thermique massique en $J/(kg \bullet {}^\circ C)$;
- θ_1: température initiale en ${}^\circ C$;
- θ_2: température finale en ${}^\circ C$.

Capacité thermique massique d'un matériau

Capacités thermiques massiques de différents matériaux

Matériau	$c \quad (j/(kg.^\circ C))$
Aluminium	900
Fer	460
Cuivre	390
Plomb	130
eau	4 180
éthanol	2 400
pétrole	2 100
huile d'olive	1 200

Definition

La quantité de chaleur Q transmise par conduction à travers une paroi plane d'épaisseur e pendant une durée t est donnée par **la loi de Fourrier**:

$$Q = \frac{\lambda . S . (\theta_2 - \theta_1) . t}{e}$$

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)
- S: l'aire de la surface d'échange en mètre carré (m^2)

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)
- S: l'aire de la surface d'échange en mètre carré (m^2)
- θ_1: température de la zone froide (°C)

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)
- S: l'aire de la surface d'échange en mètre carré (m^2)
- θ_1: température de la zone froide (°C)
- θ_2: température de la zone Chaude (°C)

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)
- S: l'aire de la surface d'échange en mètre carré (m^2)
- θ_1: température de la zone froide (°C)
- θ_2: température de la zone Chaude (°C)
- e: Épaisseur de la paroi d'échange en m

Dans cette formule:

- Q: Chaleur transmise en joules (J)
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^{\circ}C^{-1}$)
- S: l'aire de la surface d'échange en mètre carré (m^2)
- θ_1: température de la zone froide (°C)
- θ_2: température de la zone Chaude (°C)
- e: Épaisseur de la paroi d'échange en m
- t: Durée d'échange en secondes (s)

5. Notion de flux thermique

Definition

Le flux thermique est défini en watt (W) par l'une des expressions suivantes:

$$\phi = \frac{Q}{t} \qquad \text{soit} \qquad \frac{\lambda.S.(\theta_2 - \theta_1)}{e}$$

6. La résistance thermique d'un matériau

Definition

C'est l'aptitude du matériau à s'opposer au passage de la chaleur. On la note **R** telle que:

$$\mathbf{R} = \frac{e}{\lambda}$$

- **R**: Résistance thermique en mètre carré degré celcius par watt ($m^2.\,^{\circ}C.W^{-1}$).

6. La résistance thermique d'un matériau

Definition

C'est l'aptitude du matériau à s'opposer au passage de la chaleur. On la note **R** telle que:

$$\mathbf{R} = \frac{e}{\lambda}$$

- **R**: Résistance thermique en mètre carré degré celcius par watt ($m^2.\,^{\circ}C.W^{-1}$).
- e: Épaisseur de la paroi d'échange en m

6. La résistance thermique d'un matériau

Definition

C'est l'aptitude du matériau à s'opposer au passage de la chaleur. On la note **R** telle que:

$$\mathbf{R} = \frac{e}{\lambda}$$

- **R**: Résistance thermique en mètre carré degré celcius par watt ($m^2.\,^\circ C.W^{-1}$).
- e: Épaisseur de la paroi d'échange en m
- λ: Conductivité thermique en watt par mètre par degré celcius ($W.m^{-1}.\,^\circ C^{-1}$)

Remarque:

En thermique, on définit aussi le coefficient de transmission thermique **K** *(exprimé en* $W.m^{-2}.\,^{\circ}C^{-1}$*) tel que:*

$$\mathbf{K} = \frac{1}{R}$$

Un matériau possédant un grand coefficient de transmission **K** est un très bon conducteur de chaleur.

Échanges par rayonnement

- Le transfert de chaleur par *rayonnement* se fait par des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde varie de 0,38 à 10 μm.

Échanges par rayonnement

- Le transfert de chaleur par *rayonnement* se fait par des ondes électromagnétiques dont la longueur d'onde varie de 0,38 à 10 μm.
- thermographie infrarouge permet de réaliser un diagnostic des parois d'un bâtiment.

Échanges par convection

- Dans le transfert thermique par convection le mouvement de l'air chaud permet les échanges thermiques.

Bilan thermique

Échanges par convection

- Dans le transfert thermique par convection le mouvement de l'air chaud permet les échanges thermiques.

Bilan thermique

- La convection et le rayonnement sont pris en compte dans les bilans d'échanges thermiques.

Échanges par convection

- Dans le transfert thermique par convection le mouvement de l'air chaud permet les échanges thermiques.

Bilan thermique

- La convection et le rayonnement sont pris en compte dans les bilans d'échanges thermiques.
- La résistance thermique d'une paroi est la somme des résistances thermiques des différentes couches qui composent cette paroi:

$$\mathbf{R} = \mathbf{R_1} + \mathbf{R_2} + \mathbf{R_3} + \ldots$$

Exercice

application directe du cours

Une maison d'habitation à ossature en bois possède des murs extérieurs qui sont constitués, autour de pièces porteuses, de trois couches de matériaux:

- 8 *cm* de sapin de Norvège;
- 10 *cm* de polystyrène;
- 4 *cm* de bois de pin ;

Exercice

1. En vous aidant du cours, compléter le tableau suivant:

Matériau	$\lambda \quad (W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1})$
Polystyrène (20kg/m^3)	.....
Bois de sapin (400 kg/m^3)	.....
Bois de pin	.....

Exercice

1. En vous aidant du cours, compléter le tableau suivant:

Matériau	$\lambda \quad (W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1})$
Polystyrène ($20kg/m^3$)	.....
Bois de sapin ($400\ kg/m^3$)	.....
Bois de pin	.....

2. Calculer la résistance thermique de chacune des couches à partir de la relation $\mathbf{R} = \frac{e}{\lambda}$:

Exercice

a - Sapin de Norvège: $\mathbf{R_1} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$

Exercice

a - Sapin de Norvège: $\mathbf{R_1} =$ .....

b - Polystyrène: $\mathbf{R_2} =$ .....

Exercice

a - Sapin de Norvège: $\mathbf{R_1} =$ .....

b - Polystyrène: $\mathbf{R_2} =$ .....

c - Bois de pin: $\mathbf{R_3} =$ .....

Exercice

a - Sapin de Norvège: $\mathbf{R_1} =$ .....

b - Polystyrène: $\mathbf{R_2} =$ .....

c - Bois de pin: $\mathbf{R_3} =$ .....

3. Les résistances thermiques superficielles intérieure (r_i) et extérieure (r_e) dues aux couches d'air au contact de la paroi sont telles que: $r_i + r_e = 0{,}15\ m^2.^\circ C.W^{-1}$.
   Calculer la résistance thermique totale du mur
   $\mathbf{R} =$ .....

Exercice

a - Sapin de Norvège: $\mathbf{R_1} =$ .....

b - Polystyrène: $\mathbf{R_2} =$ .....

c - Bois de pin: $\mathbf{R_3} =$ .....

3. Les résistances thermiques superficielles intérieure (r_i) et extérieure (r_e) dues aux couches d'air au contact de la paroi sont telles que: $r_i + r_e = 0{,}15\ m^2.^\circ C.W^{-1}$.
   Calculer la résistance thermique totale du mur
   $\mathbf{R} =$ .....

4. Comparer la résistance thermique de ce mur à celle d'un mur de construction " traditionnelle " constitué de:

Exercice

- 2 cm d'enduit de mortier ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

Exercice

- 2 cm d'enduit de mortier ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 20 cm de parpaing ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

Exercice

- 2 cm d'enduit de mortier ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 20 cm de parpaing ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 6 cm de polystyrène ($\lambda = 0,04 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)

Exercice

- 2 cm d'enduit de mortier ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 20 cm de parpaing ($\lambda = 1,15 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 6 cm de polystyrène ($\lambda = 0,04 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)
- 4 cm de placoplâtre ($\lambda = 0,46 \quad W.m^{-1}.^{\circ}C^{-1}$)