

# FICHE 1

## Fiche à destination des enseignants

### TS 20

## Les transferts thermiques dans un bâtiment

Type d'activité	Activité avec étude documentaire	
	<p><b>Notions et contenus du programme de T<sup>erm</sup> S</b></p> <p><b>Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques :</b>          Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement.</p> <p>Flux thermique. Résistance thermique.</p>	<p><b>Compétences exigibles du programme de T<sup>erm</sup> S</b></p> <p>Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique.</p> <p>Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces.</p>
	<p align="center"><b>Compétences du préambule du cycle terminal</b></p> <p><b>Démarche scientifique</b>          Mettre en œuvre un raisonnement          Mobiliser ses connaissances          Rechercher, extraire et organiser l'information utile          Maîtriser les compétences mathématiques de base          Communiquer à l'écrit          Maîtriser les compétences langagières (français)</p>	
	<p align="center"><b>Compétences relatives à « Extraire et exploiter des informations »</b></p> <p><b>Extraire</b>          Choisir de manière argumentée ce qui est à retenir dans des ensembles          Supports d'information :              Textes de vulgarisation              Tableaux de données</p> <p><b>Exploiter</b>          Identification des grandeurs physiques          Exploitation qualitative          Analyse dimensionnelle          Comparaison d'ordres de grandeur          Communication en tant que scientifique</p>	
	<p align="center"><b>Compétences relatives à « Mesures et incertitudes »</b></p> <p><b>Expression et acceptabilité du résultat</b>          Maîtriser l'usage des chiffres significatifs et l'écriture scientifique.          Associer l'incertitude à cette écriture.</p>	
Commentaires sur l'exercice proposé	Cette activité illustre la partie <b>« Comprendre : lois et modèles »</b> et la sous-partie <b>« Energie, matière et rayonnement »</b> du programme de Terminale S.	
Conditions de mise en œuvre	Durée : 1 h	
Remarques	Les notions de transferts thermiques, de flux thermique, de conductivité thermique d'un matériau, de résistance thermique d'une paroi ne doivent pas avoir été abordées avant l'activité dont l'objectif est de les introduire. A l'issue de l'activité, une structuration des connaissances sera effectuée en cours. La résistance thermique a été définie par analogie avec la loi d'Ohm ; dans le domaine du bâtiment, on parle toujours de résistance thermique surfacique, <b>en omettant le terme surfacique</b> . On attirera bien l'attention des élèves sur ce point, afin qu'il y ait cohérence dans les relations et les unités.	

## FICHE 2

### Texte à distribuer aux élèves

### TS 20

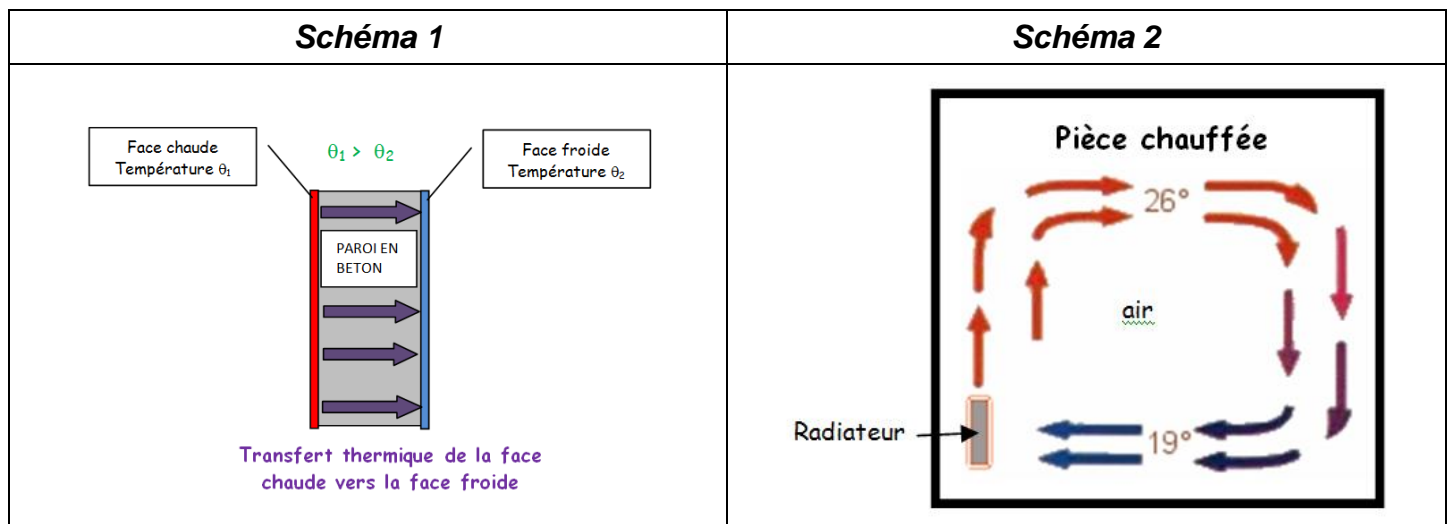
## Les transferts thermiques dans un bâtiment

### 1. Les trois types de transferts thermiques

#### Document 1

<b>Caractéristiques de transferts thermiques</b>	
<b>A</b>	Transfert d'énergie qui existe pour tout corps. Il a lieu sans contact physique et correspond à de l'énergie électromagnétique.
<b>B</b>	Transfert d'énergie par contact dans un matériau ou à l'interface entre 2 milieux. Il a lieu lorsqu'une différence de température existe entre 2 régions d'un système. L'énergie des particules se communique de proche en proche.
<b>C</b>	Transfert d'énergie provoqué par le mouvement d'ensemble d'un fluide (liquide ou gaz). Il peut être naturel ou forcé.

#### Document 2



#### Document 3

<b>Types de transferts thermiques</b>	
<b>1</b>	Conduction
<b>2</b>	Convection
<b>3</b>	Rayonnement

#### Question 1

Associer à chacun des schémas 1 et 2 le type de transfert thermique illustré ainsi que les caractéristiques correspondantes.

Schéma	Types de transferts thermiques (1, 2 ou 3)	Caractéristiques de transferts thermiques (A, B ou C)
1		
2		

## Question 2

Compléter le tableau suivant concernant le(s) type(s) de transfert(s) thermique(s) mis en jeu au niveau des zones ou des équipements suivants d'une maison :

Localisation	Types de transferts thermiques mis en jeu (1, 2 ou 3)
Murs extérieurs	
	Justification :
Dalle béton sur vide sanitaire	
	Justification :
Toiture	
	Justification :
Vitres	
	Justification :
Radiateur électrique	
	Justification :
Cheminée	
	Justification :

## 2. Conductivité thermique d'un matériau

### Document 4

- ❖ La conductivité thermique  $\lambda$  d'un matériau caractérise sa capacité à conduire la chaleur : plus la valeur de  $\lambda$  est faible, plus le matériau est isolant.
- ❖ Le flux thermique  $\Phi$  en W à travers une paroi de surface S, d'épaisseur e, constituée d'un seul matériau de conductivité  $\lambda$ , est proportionnel à la différence de température  $\Delta\theta$  entre les 2 faces :  $\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \times \Delta\theta$ .
- ❖ Dans cette formule, la température s'exprime généralement en kelvins (K) : **une différence de 1K correspond à une différence de 1°C**. La conductivité  $\lambda$  du matériau constituant la paroi s'exprime donc en  $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

## Question 3

Justifier l'unité de conductivité précisée dans le document 4.

## Document 5

Conductivité thermique	Béton plein	Bois de sapin	Paille	Laine minérale (laine de verre)	Plaque de plâtre BA13	Béton armé	Brique pleine
$\lambda$ en $W.m^{-1}.K^{-1}$	1,7	0,14	0,050	0,040	0,25	2,2	1,0

### Question 4

Classer les matériaux du document 5, utilisés dans le bâtiment, du moins isolant au plus isolant.

### 3. Flux thermique à travers une paroi et résistance thermique

#### Document 6

La résistance thermique R d'une paroi traduit la résistance aux transferts thermiques.

Elle est liée au flux thermique  $\Phi$  en W à travers la paroi et à la différence de température  $\Delta\theta$  entre les 2 faces

par :  $\Phi = \frac{\Delta\theta}{R}$ .

On définit également la résistance thermique **surfactive**  $R_s$ , telle que :  $R = \frac{R_s}{S}$ . C'est la résistance thermique de la paroi pour une surface de 1 m<sup>2</sup>.

Le flux thermique  $\Phi$  s'écrit donc aussi :  $\Phi = \frac{S}{R_s} \times \Delta\theta$  avec S la surface de la paroi.

Dans le cas d'une paroi constituée de plusieurs couches de matériaux différents, les résistances thermiques s'additionnent.

### Question 5

A l'aide des documents 4 et 6 :

a. Déterminer l'unité de la résistance thermique R.

b. Justifier la phrase suivante : « plus la valeur de la résistance thermique d'une paroi est grande, plus celle-ci est isolante. »

c. Pour une paroi constituée d'un seul matériau, établir l'expression de la résistance surfactive  $R_s$  en fonction de certaines caractéristiques de la paroi et du matériau.

#### Document 7

L'étiquette de chaque matériau isolant présente les caractéristiques générales du produit, les performances, le marquage CE et la certification :



Les fabricants d'isolants préfèrent afficher les résistances thermiques surfaciques mais, pour simplifier, ils omettent le terme « surfacique » et les notent R, en m<sup>2</sup>.K/W.

 <p>Nom ou marque distinctive Adresse déposée du fabricant 2 derniers chiffres de l'année d'apposition marquage CE N° certificat de conformité CE N° EN de cette norme produit Identité du produit</p>			
Organisme notifié n° XXXXX		code de désignation	
Euroclasse <b>A2</b> S1d0	R m <sup>2</sup> .K/W	$\lambda$ W/m.K <b>0,038</b>	épaisseur mm <b>50</b>
m <sup>2</sup> /colis <b>3,60</b>	pièces par colis <b>3</b>	longueur mm <b>1200</b>	largeur mm <b>1000</b>
<b>NOM PRODUIT</b> XXXXXXXX			
N° contrôle + usine			
 <p>En option : profil d'usage ISOLE certifié</p>			
AT CSTB N° XX/YY-ZZZZ			
<b>Nom ou marque commerciale</b>			

#### Performances de l'isolant

La résistance thermique déclarée R et la conductivité thermique déclarée  $\lambda$  sont données en tant que valeurs limites représentant au moins 90 % de la production, avec un niveau de confiance de 90%.

- La valeur de la conductivité thermique  $\lambda$  est arrondie à 0,001 W/(m.K) par excès et déclarée par pas de 0,001 W/(m.K).
- La résistance thermique R est calculée à partir de l'épaisseur nominale et de la conductivité thermique correspondante non arrondie. La valeur de la résistance thermique calculée est arrondie à 0,05m<sup>2</sup>.K/W par défaut. Elle est déclarée par pas de 0,05m<sup>2</sup>.K/W

### Question 6

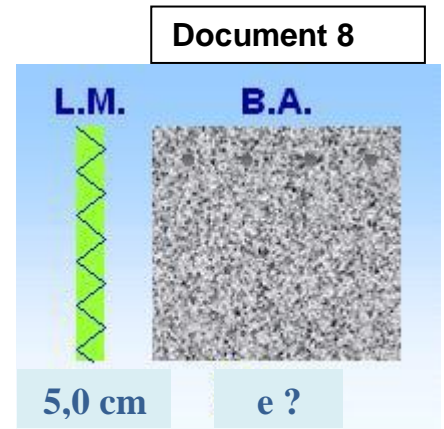
Sur l'étiquette du matériau isolant ci-dessus, la valeur de la résistance thermique surfacique a été effacée. Retrouver cette valeur, sachant que la valeur de la conductivité thermique non arrondie est  $0,03702 \text{ W/m.K}$  ; les règles d'arrondi à respecter sont indiquées dans le document 7.

### Question 7

Sur le document 8 ci-contre,  $e$  est l'épaisseur nécessaire pour qu'une paroi en béton armé (B.A.) présente les mêmes performances thermiques qu'une paroi idéale d'épaisseur  $5,0 \text{ cm}$  en laine minérale (L.M.).

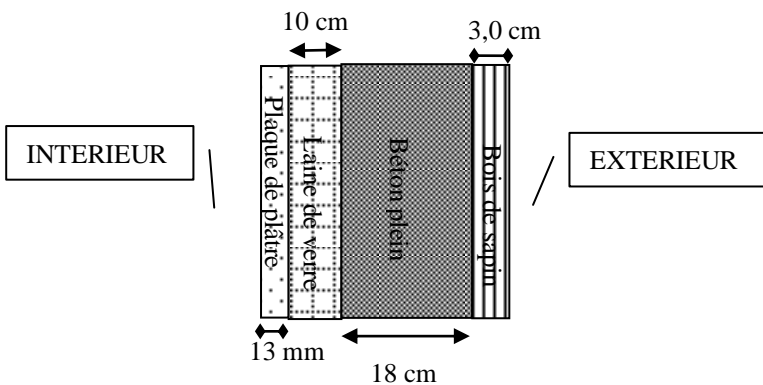
A l'aide des documents, calculer la valeur de  $e$  et rédiger une argumentation concernant la phrase suivante, extraite d'une brochure sur l'isolation thermique :

« Les matériaux lourds de maçonnerie ne constituent jamais une isolation acceptable. »

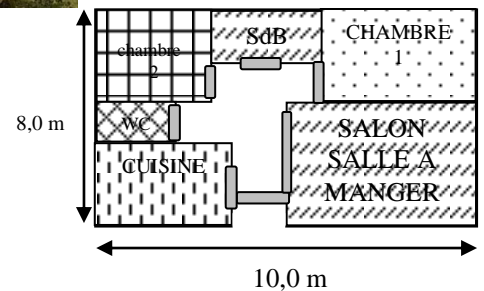


### Document 9 : le chalet pyrénéen

#### Constitution des murs extérieurs du chalet :



#### Plan du chalet :



Hauteur des murs : 3,0 m

### Question 8

A l'aide des différents documents, calculer la valeur du flux thermique par conduction, à travers les murs extérieurs du chalet auquel se rapporte le document 9, lorsque la température intérieure est de  $18^\circ\text{C}$  et la température extérieure de  $0^\circ\text{C}$ . Pour simplifier, on ne tiendra pas compte des surfaces des portes et des parois vitrées.

## FICHE 3

## Correction. Fiche à destination des enseignants

### Question 1

Schéma	Types de transferts thermiques (1, 2 ou 3)	Caractéristiques de transferts thermiques (A, B ou C)
1	1	B
2	2	C

### Question 2

Localisation	Types de transferts thermiques mis en jeu (1, 2 ou 3)
Murs extérieurs	1 (dans murs), 2 (vent), 3 (rayonnement diurne du Soleil, rayonnement nocturne du mur vers le ciel)
Dalle béton sur vide sanitaire	1, 2
Toiture	1, 2, 3
Vitres	1,2, 3 (principalement de l'extérieur -énergie rayonnée par Soleil qui traverse la vitre-, vers l'intérieur)
Radiateur électrique	1, 2 (mouvements convectifs d'air) et 3 (effet Joule dans la résistance)
Cheminée	1 (paroi de la cheminée chaude), 2, 3

### Question 3

La conductivité  $\lambda$  est donnée par :  $\lambda = \frac{\Phi \times e}{S \times \Delta\theta}$

Sa dimension est donc :  $[\lambda] = \left[ \frac{\Phi \times e}{S \times \Delta\theta} \right] = \frac{[\Phi] \times [e]}{[S] \times [\Delta\theta]} = \frac{[\Phi] \times L}{L^2 \times [\Delta\theta]} = [\Phi] \cdot L^{-1} \cdot [\Delta\theta]^{-1}$

$\lambda$  s'exprime donc en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ .

### Question 4

Plus  $\lambda$  est faible, plus le flux thermique  $\Phi$ , pour  $S$ ,  $e$  et  $\Delta\theta$  données est faible : plus le matériau isolant. On classe donc les matériaux par conductivité thermique décroissante :

Béton armé - béton plein – brique pleine – plaque de plâtre – bois de sapin – paille – laine minérale

de + en + isolant  $\rightarrow$

### Question 5

a. La résistance thermique  $R$  est donnée par :  $R = \frac{\Delta\theta}{\Phi}$

Sa dimension est donc :  $[R] = \frac{[\Delta\theta]}{[\Phi]} = [\Delta\theta] \cdot [\Phi]^{-1}$

$R$  s'exprime donc en  $K \cdot W^{-1}$ .

b. D'après la relation  $\Phi = \frac{\Delta\theta}{R}$ , pour  $\Delta\theta$  donnée, plus la valeur de  $R$  est grande, plus celle de du flux thermique  $\Phi$  à travers la paroi est petite : plus la paroi est isolante.

c. A l'aide de la relation  $\Phi = \frac{\lambda \times S}{e} \times \Delta\theta$  du doc. 4 et  $\Phi = \frac{S}{R_s} \times \Delta\theta$  du document 6, on obtient :

$\frac{S}{R_s} = \frac{\lambda \times S}{e}$ , soit  $R_s = \frac{e}{\lambda}$ , avec  $e$  en  $m$  et  $\lambda$  en  $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ .

### Question 6

$R_s = \frac{e}{\lambda} = \frac{0,050}{0,03702} = 1,35 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$  (valeur arrondie à  $0,05 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$  près).

### Question 7

Calculons la résistance thermique surfacique  $R_s$  de la paroi en laine minérale d'épaisseur  $5,0 \text{ cm}$  :

$R_s = \frac{e_{LM}}{\lambda_{LM}} = \frac{0,050}{0,040} = 1,25 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

L'épaisseur  $e$  de béton armé qui permet d'avoir la même résistance thermique surfacique est telle que :

$$R_s = \frac{e}{\lambda_{BA}}, \text{ soit } e = R_s \times \lambda_{BA} = 1,25 \times 2,2 = 2,8 \text{ m}$$

Pour avoir une bonne isolation avec une paroi en béton armé, il faudrait donc des épaisseurs de murs de près de 3 m, ce qui n'est pas envisageable dans la construction.

Les matériaux lourds de maçonnerie comme le béton armé ne conduisent pas à une bonne isolation thermique : une paroi de 28 cm sera 10 fois moins performante qu'une paroi de 5,0 cm de laine de verre.

### Question 8

Il faut calculer au préalable :

D'une part la surface totale des murs du chalet

D'autre part, la résistance thermique des murs.

#### Surface totale $S_{\text{totale}}$ des murs du chalet :

Hauteur  $H=3,0$  m

Largeur  $\ell = 8,0$  m

Longueur :  $L = 10,0$  m

$$S_{\text{totale}} = H \times P = H \times 2 \times (L + \ell) = 3,0 \times 2 \times (10,0 + 8,0) = 108 \text{ m}^2$$

#### Résistance thermique $R_{\text{mur}}$ des murs :

D'après le document 6, la résistance thermique des murs est la somme des résistances thermiques des 4 parois les constituant :  $R_{\text{mur}} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$

Avec :  $R_1$  la résistance thermique de la paroi de plaque de plâtre, d'épaisseur  $e_1$

$R_2$  la résistance thermique de la paroi de laine de verre, d'épaisseur  $e_2$

$R_3$  la résistance thermique de la paroi de béton plein, d'épaisseur  $e_3$

$R_4$  la résistance thermique de la paroi de bois de sapin, d'épaisseur  $e_4$

On obtient :

$$R_{\text{mur}} = \frac{R_{s1}}{S} + \frac{R_{s2}}{S} + \frac{R_{s3}}{S} + \frac{R_{s4}}{S} = \frac{1}{S} \times (R_{s1} + R_{s2} + R_{s3} + R_{s4})$$

$$R_{\text{mur}} = \frac{1}{S} \left( \frac{e_1}{\lambda_{\text{placo}}} + \frac{e_2}{\lambda_{\text{laine verre}}} + \frac{e_3}{\lambda_{\text{béton plein}}} + \frac{e_4}{\lambda_{\text{bois sapin}}} \right) = \frac{1}{108} \times \left( \frac{0,013}{0,25} + \frac{0,10}{0,040} + \frac{0,18}{1,7} + \frac{0,030}{0,14} \right) = 0,0266 \text{ K} \cdot \text{W}^{-1}$$

#### Flux thermique $\Phi$ par conduction à travers murs extérieurs, pour un écart de température int / ext de $\Delta\theta = 18^\circ\text{C} = 18 \text{ K}$ :

$$\Phi = \frac{\Delta\theta}{R_{\text{mur}}} \times S = \frac{18}{0,0266} = 6,8 \cdot 10^2 \text{ W}$$