

11/3/2015

Connaître les qualités isolantes des matériaux et les utilisations possibles

A – cours théorique

1/ les unités spécifiques de la thermique :

les unités : joule / Watt / Watt.heure
la densité
la capacité calorifique
la conductivité thermique
l'épaisseur

2/ les caractéristiques thermiques :

- la résistance thermique R
- l'inertie thermique :
 - o la diffusivité thermique
 - o l'effusivité thermique

3/ le calcul des déperditions :

calcul du U et déperditions par les parois
les isolants non homogènes ; les ponts thermiques intégrés
les normes, les méthodes de calcul

4/ les différents type d'isolants :

- l'isolation par l'intérieur
- l'isolation par l'extérieur
- l'isolation répartie

5/ le marquage des isolants :

A/ rappels théoriques :

1/ les unités spécifiques de la thermique :

la calorie :

la calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 gramme d'eau

le joule :

1 calorie = 4,1855 Joules

le Watt :

1 Watt = 1 Joule.seconde

le Watt heure :

1 Wh = 3 600 Joules Seconde ou 1 Joule * 3600 secondes

le kilowatt heure :

1 Kwh = 1000 Wh

le Mètre

le °C ou °K

la densité (Kg.m⁻³) : ρ

Sert à définir le poids volumique du matériau

L'épaisseur (m.) : e

2/ les caractéristiques thermiques :

La capacité thermique massique ou chaleur spécifique (J.kg⁻¹.K⁻¹) : Cp

Elle représente la quantité d'énergie à apporter pour élever d'un degré la température de l'unité de masse d'une substance.

La conductivité thermique (W.m⁻¹.K⁻¹) : λ

La conductivité thermique est la quantité de chaleur (exprimée en watt) traversant un mètre de matériau par conduction pour une différence de température de 1°C entre ces deux faces.

Plus un matériau est isolant plus sa conductivité thermique est faible.

la résistance thermique (m².K.W⁻¹) : R

Elle caractérise la capacité d'un matériau à résister au transfert de chaleur.

$$R = e / \lambda$$

la diffusivité thermique (m².s⁻¹) : (def. Wikipédia)

La **diffusivité thermique** est une grandeur physique qui caractérise la capacité d'un matériau continu à transmettre un signal de température d'un point à un autre de ce matériau. Elle dépend de la capacité du matériau à conduire la chaleur (sa conductivité thermique) et de sa capacité à stocker la chaleur (capacité thermique). La diffusivité thermique est souvent désignée par les lettres a , D ou la lettre grecque α .

$$D = \frac{\lambda}{\rho c} \text{ (en m}^2\text{/s)}$$

λ est la conductivité thermique du matériau, en [W.m⁻¹.K⁻¹]

ρ est la masse volumique du matériau, en [kg.m⁻³]

c est la capacité thermique massique du matériau, en [J.kg⁻¹.K⁻¹]

l'effusivité thermique (J.K⁻¹.m⁻².s^{-1/2}) : (def. Wikipédia)

L'**effusivité thermique** d'un matériau caractérise sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement. Elle est donnée par :

$$E = \sqrt{\lambda \rho c}$$

λ est la conductivité thermique du matériau (en [W.m⁻¹.K⁻¹])

ρ la masse volumique du matériau (en [kg.m⁻³])

c la capacité thermique massique du matériau (en [J.kg⁻¹.K⁻¹])

Illustrations - exemples

Soit un matériau 1, d'effusivité $E1$ à la température $T1$, mis en contact avec un matériau 2 d'effusivité est $E2$ et de température $T2$. On suppose que la mise en contact se fait par une surface plane parfaitement lisse. On néglige donc la résistance de contact. Quelle est immédiatement après le contact la température de surface des deux matériaux ?

La réponse est :

$$T = \frac{(E1T1 + E2T2)}{(E1 + E2)}$$

Par exemple, si on pose la main sur du bois et de l'acier de même température (disons 20°C), l'acier paraît plus froid car son effusivité est de 14 000 (J/Km³)(m²/s) et celle de la peau 400. La température alors ressentit par les capteurs de la peau est : $(14000.20 + 400.37) / 14400 = 20.47$ °C. Par contre, pour le bois d'effusivité de l'ordre de 400, la température ressentit $(400.20 + 400.37) / 800 = 28.5$ °C : le bois est senti comme une matière "chaude", alors que sa température est la même que celle de la pièce 20°C .

De même, lorsque l'on marche pieds nus, le marbre est senti comme un matériau froid, alors qu'il est à la même température que l'air ambiant. Ceci est dû au fait que le marbre possède une grande effusivité.

Le problème des brûlures est légèrement différent. On comprend que la main posée sur une plaque chaude de bois ou de métal (disons à 60°C) sent plus vite "le chaud" avec le métal qu'avec le bois. Cette intuition physiologique est juste mais exprimée de manière trompeuse : ce n'est pas la température qui "brûle", mais le flux de chaleur. De même, en électricité, ce n'est pas le voltage qui tue mais l'intensité du courant qui passe dans le corps (évidemment l'un est lié à l'autre!). C'est donc le flux de chaleur qui passe dans les tissus et qui va les détériorer. Tout cela est donc difficile à faire comprendre à des enfants : il y a la température T , la capacité à s'échauffer quand on chauffe : $Q = C \cdot (T_f - T_i)$ et la durée, plus exactement dQ/dt , la cadence de réception de l'énergie, traduite par la diffusivité, et sa conséquence la variation temporelle de température dT/dt ; tout cela à comprendre sans parler de célérité mais de diffusivité.

Physiquement, la diffusivité thermique est la capacité d'un matériau à imposer sa température au milieu extérieur. Cette grandeur est fortement liée à l'effusivité thermique. Par exemple, lorsque l'on marche sur du sable chaud, on sent une sensation de brûlure. Cela s'explique par le fait que le sable a une plus grande diffusivité que le pied ; le sable impose donc sa température à notre corps, de manière plus importante que notre corps impose sa température au sable.

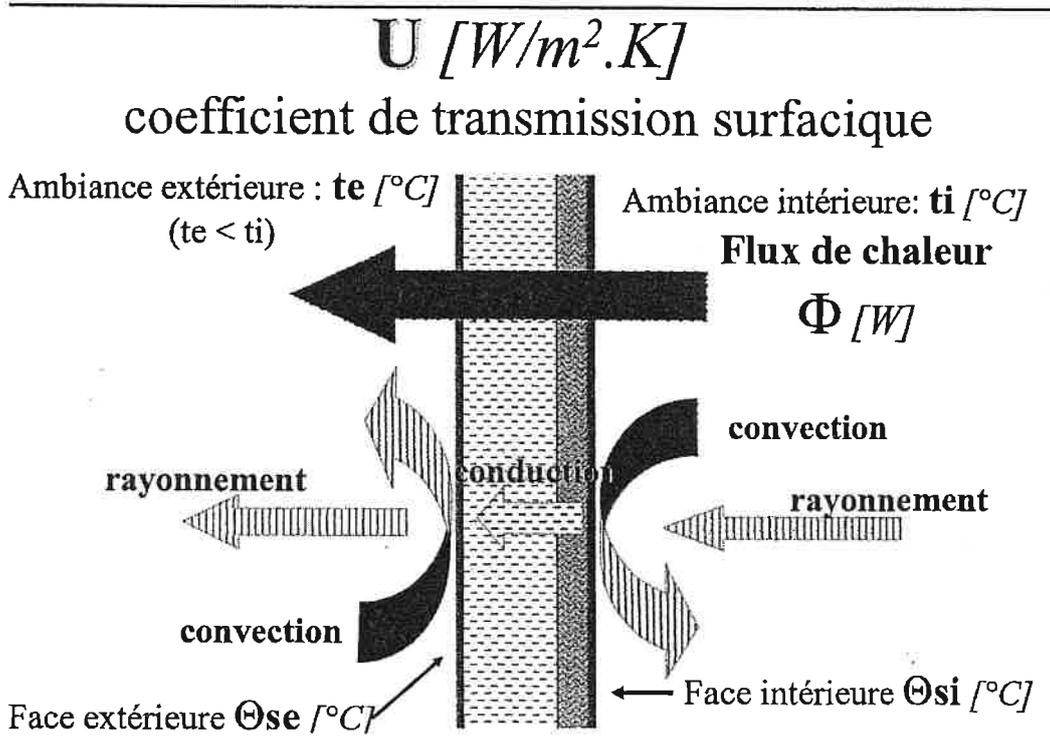
La Diffusivité thermique caractérise un transfert de chaleur dans le matériau ;
L'Effusivité caractérise un échange de chaleur au contact du matériau.

Données

Matériaux	Densité (kg/m ³) ρ	Capacité thermique volumique (Wh/m ³ .K)	Conductibilité thermique (W/m.K) λ	Diffusivité thermique (m ² /h)
Diffutherm (LDB)	1050	113	0,04	0,64.10 ⁻³
Béton	2200	639	2	2,82.10 ⁻³
Bois	500	263	0,13	0,57.10 ⁻³
Fermacell	1150	229	0,32	1,1.10 ⁻³
Brique isolante	1150	202	0,12	0,59.10 ⁻³
Béton léger	800	417	0,5 à 1	1,25.10 ⁻³
Verre	2500	521	1	1,92.10 ⁻³
Polyuréthane	30 à 40	17	0,03	1,89.10 ⁻³
Pierre sédimentaire	2600	500	1,7	2,5.10 ⁻³
Laine de roche	20 à 250	10 à 40	0,04	4,7.10 ⁻³
Polystyrène expansé	20 à 30	10	0,04	4,6.10 ⁻³
Laine de verre	20 à 250	8 à 30	0,04	5,2.10 ⁻³
Fer	7800	975	50	51,3.10 ⁻³
Aluminium	2700	660	230	350,5.10 ⁻³

3/ le calcul des déperditions :

calcul du U et déperditions par les parois



U [W/m².K] 13

$$\frac{1}{U} = R_{si} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{se} = R$$

[m] [W/m.K]

R_{si} et R_{se} [m².K/W] ou

Résistances superficielles R [m².K/W]

les isolants non homogènes ; les ponts thermiques intégrés

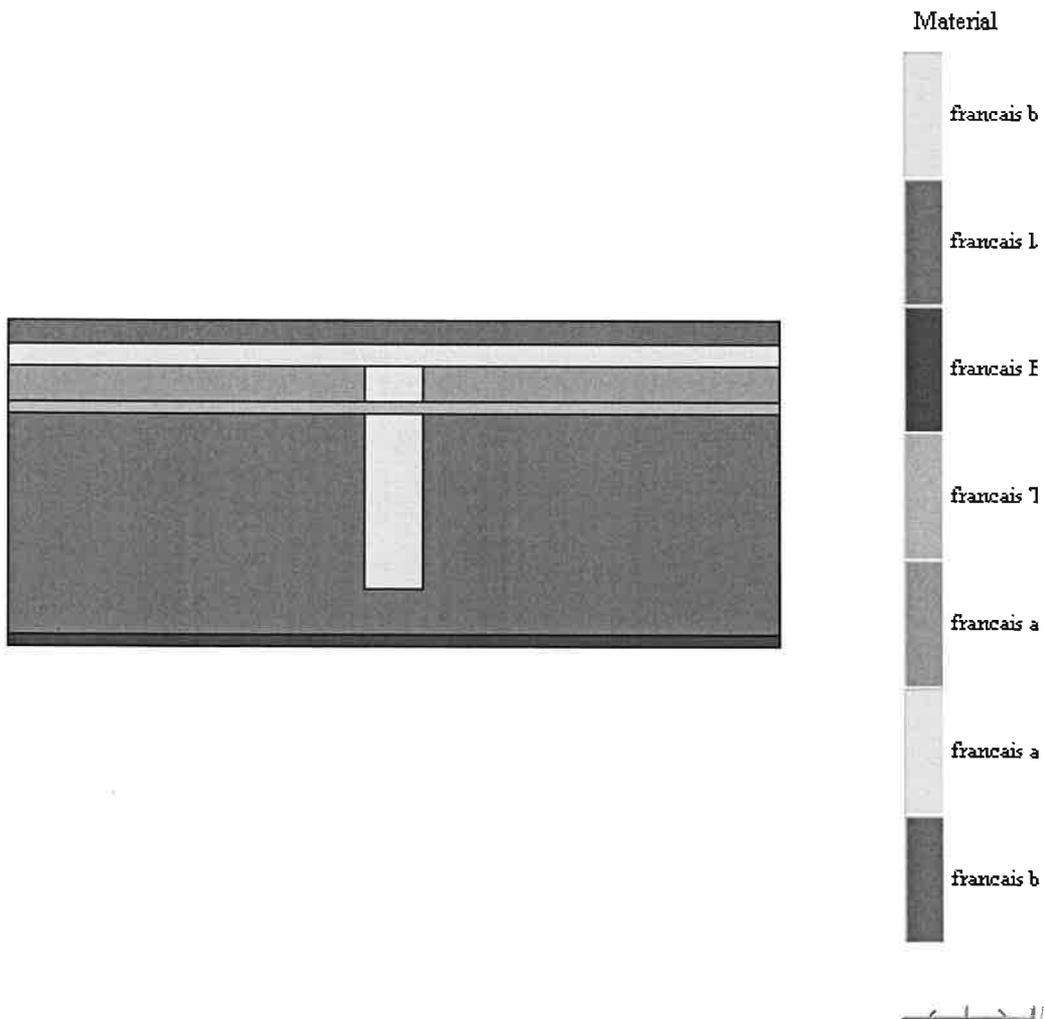
Les ponts thermiques intégrés sont l'ensemble des éléments d'une paroi de conductivité supérieure au matériau isolant qui coupent l'isolation.

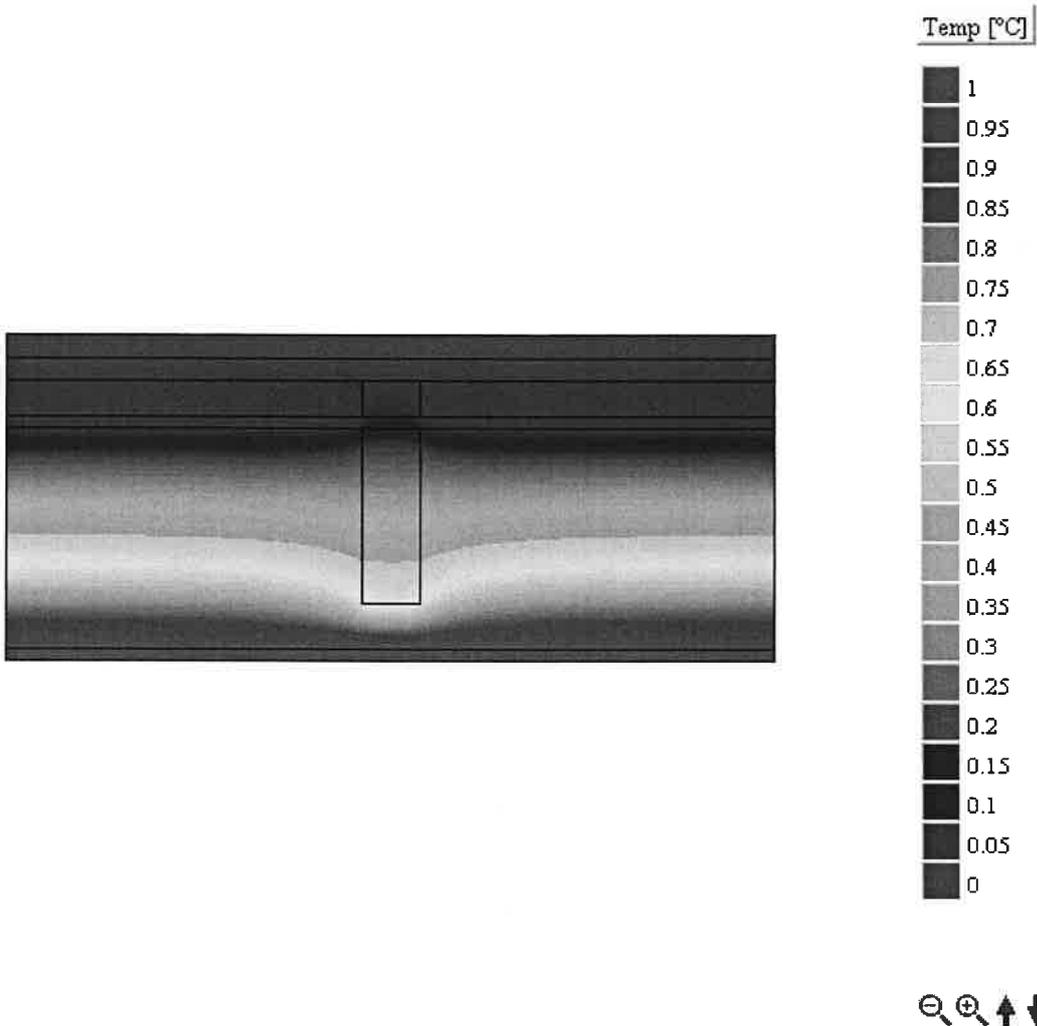
Les ponts thermiques sont linéaires (exprimés en $W/m.K$) ou ponctuels (exprimés en W/K).

Le calcul des ponts thermiques intégrés sert à recalculer la valeur moyenne U_p (U moyen) de la paroi (exprimée en $W/m^2.K$).

Exemple :

Mur à ossature bois :





U sans ponts thermiques intégrés : 0,1545 W/m².K
U avec ponts thermiques intégrés : 0,1766 W/m².K

Les modalités de calcul :

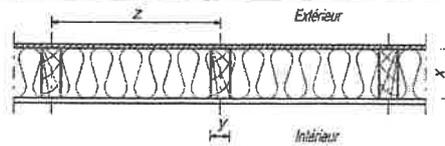
- 1/ les bibliothèques de ponts thermiques et le calcul simple
- 2/ le calcul par éléments finis suivant EN ISO 10211-2
- 3/ le calcul réel

1 les bibliothèques de ponts thermiques et le calcul simple

IV.1.1 Surfaceutiques

IV.1.1.1 Murs Me1

Désignation	Remarques	Nombre de schémas
Partie Courante	Ponts thermique intégrés	/
Me1	1/2, 1, 1/2	1

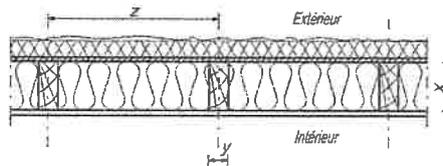


Me 1

Epaisseur isolant et largeur montant (en mm)	Epaisseur Montants (en mm)	Ψ (W/m.K)	Up (en W/m².K)	
			Entraxe montants (en mm)	
			400	600
100	36	0,03	0,42	0,40
	50	0,04	0,45	0,41
120	36	0,03	0,37	0,35
	50	0,04	0,40	0,36
140	36	0,03	0,33	0,31
	50	0,03	0,33	0,31
160	36	0,02	0,28	0,26
	50	0,03	0,30	0,28

IV.1.1.2 Murs Me2

Désignation	Remarques	Nombre de schémas
Me2		1



Me 2

Epaisseur isolant et largeur montant (en mm)	Epaisseur Montants (en mm)	Ψ (W/m.K)	Up (en W/m².K)	
			Entraxe montants (en mm)	
			400	600
Complément d'isolant en extérieur de 40 mm d'épaisseur				
100	36	0,02	0,31	0,30
	50	0,02	0,31	0,30
120	36	0,02	0,28	0,27
	50	0,02	0,28	0,27
140	36	0,01	0,23	0,23
	50	0,02	0,26	0,24
160	36	0,01	0,21	0,21
	50	0,02	0,24	0,22

1^{ère} approche : la valeur du pont thermique est connue

$$U_p = U_c + \frac{\sum_i \psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \quad (13)$$

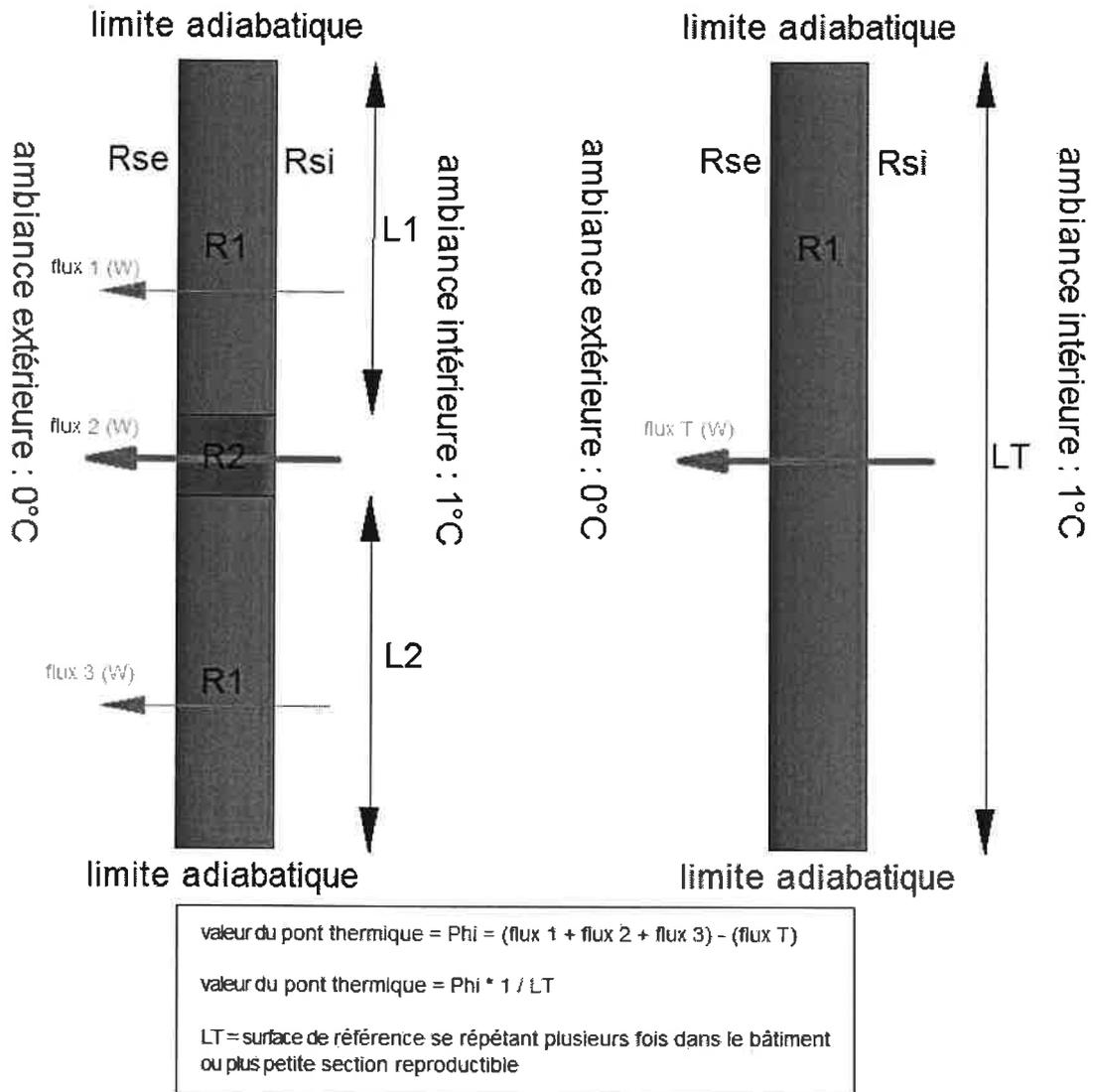
où

- U_p est le coefficient de transmission surfacique global de la paroi, en $W/(m^2.K)$.
- U_c est le coefficient surfacique en partie courante de la paroi, calculé selon la formule (13).
- ψ_i est le coefficient linéique du pont thermique structurel calculé selon le chapitre II du fascicule « *Ponts thermiques* », en $W/(m.K)$.
- χ_j est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré j , calculé selon le chapitre II du fascicule « *Ponts thermiques* », en W/K .
- L_i est le linéaire du pont thermique intégré i , en m.
- A est la surface totale de la paroi, en m^2 .

2^{ème} approche : la valeur du pont thermique n'est pas connue

Pour calculer le U_p , on divise la paroi en tranches homogènes et on calcule les différents U . la somme des U est ensuite rapportée au m^2 .

2 le calcul par éléments finis suivant EN ISO 10211-2

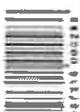


3 le calcul réel

4/ les différents type d'isolants :

- l'isolation par l'intérieur
- l'isolation par l'extérieur
- l'isolation répartie

5/ le marquage des isolants :

<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">  Organisme notifié No </div> <div style="font-size: small;"> ROCKWOL FRANCE S.A.S 111, rue du château des Repliers 75013 Paris agréé apposition marquage CE - 03 certificat de conformité no EN 10102 121 000 000 000 EN 12402 TL - 050710 - WS </div> </div>				
[4]	[5]			
Euroclasse	R m ² .KW	λo W/m.K)	m ² /colle	plâtres par colle
A1	2.65	0.038	6.00	1
Longueur x largeur x Epaisseur (mm)				
1350 x 600 x 100				
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> [7] ROCKMUR KRAFT 121 000 000 </div> <div style="width: 35%; text-align: right;">  </div> </div>				
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  ACERMI 02315321 WWW.ACERMI.COM </div> <div style="text-align: center;">  E 000 </div> </div>				
		usine 6		

- Marquage CE
- conformité
- Euroclasse : comportement au feu
- Résistance thermique
- Coefficient de conductivité thermique
- Épaisseur en mm
- Nom du produit donné par le fabricant
- ACERMI garantit la performance de l'isolant
- Key-mark, marquage facultatif

les informations par grandes zones

B – exercices

Épaisseur de la lame d'air mm	Résistance thermique R (m ² .K)/W		
	Flux ascendant	Flux horizontal	Flux descendant
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

- Ces valeurs correspondent à une température moyenne de la lame d'air de 10 °C.
- Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

Exercice 1 :

Déterminer l'épaisseur de matériaux nécessaire pour 5 isolants afin d'obtenir un R de 5 m².K/W :

- Polyuréthane : $\lambda = 0,023$
- Laine de verre : $\lambda = 0,032$
- Ouate de cellulose : $\lambda = 0,04$
- Laine de bois : $\lambda = 0,043$
- Laine de mouton : $\lambda = 0,037$

Exercice 2 :

Evaluer un Up avec la méthode simple :

- Mur à ossature bois
- Ossature de sapin : largeur des montants : 50 mm / entraxe : 600 mm / épaisseur 140 mm / $\lambda = 0.18$
- Complexe (de l'intérieur à l'extérieur) :
 - o Plaque de plâtre BA 13 / $\lambda = 0.35$
 - o isolation entre montants : $\lambda = 0.04$
 - o Voile travaillant (panneau OSB) : e = 10 mm / $\lambda = 0.13$

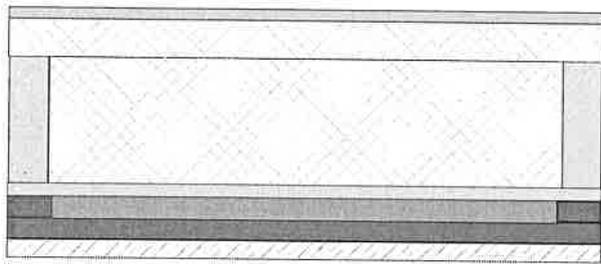
- Isolant extérieur : $e = 40 \text{ mm} / \lambda = 0.04$
- $R_{si} = 0,13 / R_{se} = 0,04$.

C – Contrôle des acquis

Sur la base d'une coupe structurale de mur (ossature bois) et d'une base de matériaux classer les parois suivant leurs valeurs de Up.

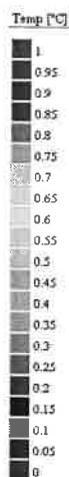
Pour une différence de température de 25°C entre l'intérieur et l'extérieur, calculer les pertes thermiques d'un mur homogène de 20 m^2 pour toutes les parois.

Mur extérieur / M 01

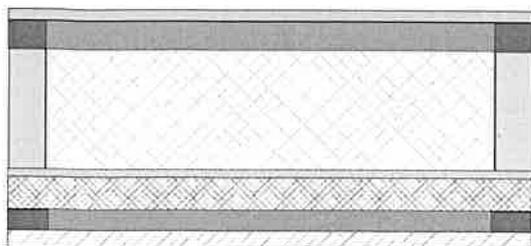


composants de la paroi – coupe (de haut (intérieur) en bas(extérieur))

-  **plaque de plâtre BA 13** / 13 mm / $\lambda = 0,25 \text{ W/m.K.} / 800 \text{ kg.m}^{-3}$
- tasseautage intérieur + pare vapeur** / 50 X 50 mm / $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K.} / 500 \text{ kg.m}^{-3}$
-  **Laine de verre** / 45 mm / $\lambda = 0,032 \text{ W/m.K.} / 30 \text{ kg.m}^{-3}$
-  **Ossature bois abouté** / 147 X 46 mm / $\lambda = 0,16 \text{ W/m.K.} / 550 \text{ kg.m}^{-3}$ entraxe 600 mm
-  **Laine de verre** / 150 mm / $\lambda = 0,032 \text{ W/m.K.} / 30 \text{ kg.m}^{-3}$
-  **Panneau OSB + pare pluie** / 9 mm / $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K.} / 600 \text{ kg.m}^{-3}$
-  **Double tasseautage extérieur et lame d'air** / 2 X 25 X 50 mm / $\lambda = 0,13 \text{ W/m.K.} / 500 \text{ kg.m}^{-3}$
-  **bardage douglas** / 21 mm / $\lambda = 0,16 \text{ W/m.K.} / 550 \text{ kg.m}^{-3}$

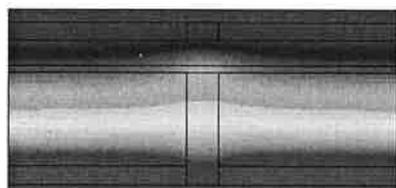


Mur extérieur / M 02



composants de la paroi – coupe (de haut (intérieur) en bas(extérieur))

-  **plaque de plâtre BA 13 / 13 mm / $\lambda = 0,25$ W/m.K. / 800 kg.m⁻³**
-  **tasseautage intérieur + lame d'air + pare vapeur / 35 X 50 mm / $\lambda = 0,13$ W/m.K. / 500 kg.m⁻³**
-  **Laine de verre / 150 mm / $\lambda = 0,032$ W/m.K. / 30 kg.m⁻³**
-  **Ossature bois abouté / 147 X 46 mm / $\lambda = 0,16$ W/m.K. / 550 kg.m⁻³**
-  **Panneau OSB / 9 mm / $\lambda = 0,13$ W/m.K. / 600 kg.m⁻³**
-  **AGEPAN THD / 40 mm / $\lambda = 0,047$ W/m.K. / 230 kg.m⁻³**
-  **tasseautage extérieur / 25 X 50 mm / $\lambda = 0,13$ W/m.K. / 500 kg.m⁻³**
-  **bardage douglas / 21 mm / $\lambda = 0,16$ W/m.K. / 550 kg.m⁻³**

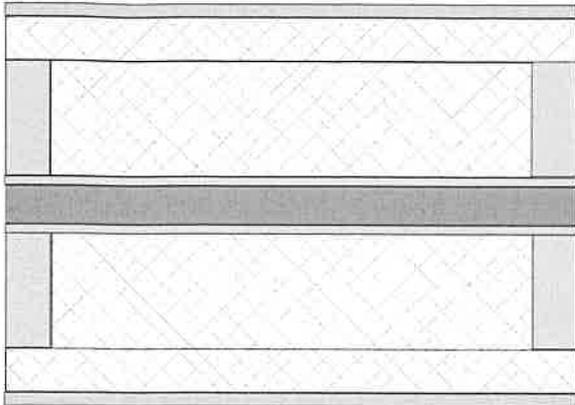


Temp [°C]



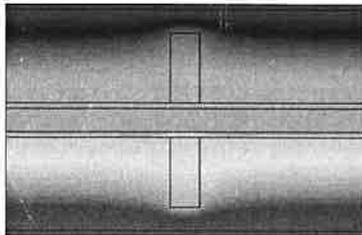
🔍 🔍 🔍 🔍

Mur de refend séparant deux logements / M 03



composants de la paroi (paroi doublée en contact avec deux zones intérieures)

-  plaque de plâtre BA 13 / 13 mm / $\lambda = 0,25$ W/m.K. / 800 kg.m³
-  Laine de verre + tasseautage intérieur (50 X 50 mm) + frein vapeur / 45 mm / $\lambda = 0,032$ W/m.K. / 30 kg.m³
-  Ossature bois abouté / 122 X 46 mm / $\lambda = 0,16$ W/m.K. / 550 kg.m³
-  Laine de verre / 120 mm / $\lambda = 0,032$ W/m.K. / 30 kg.m³
-  Panneau OSB / 9 mm / $\lambda = 0,13$ W/m.K. / 600 kg.m³
-  lame d'air de séparation des deux cloisons / 40 mm



Temp [°C]



🔍 🔍 🔍 🔍