

# RÈGLES Th-U

## FASCICULE 4 : PAROIS OPAQUES

---



# Sommaire

<b>1. Introduction</b>	1	3.4.1 Entrevous découpés	42
1.1 Références normatives	1	3.4.2 Entrevous moulés	48
1.2 Définitions, symboles et indices	1	3.4.3 Entrevous comportant un revêtement en sous-face	54
1.2.1 Définitions	1	<b>3.5 Dalles alvéolées à base de granulats courants (<math>R</math>)</b>	54
1.2.2 Symboles	3	<b>3.6 Planchers bas sur vide sanitaire (<math>U_o</math>)</b>	55
1.2.3 Indices	3	3.6.1 Configuration 1	56
1.3 Conventions	4	3.6.2 Configuration 2	56
1.3.1 Propriétés thermiques utiles des produits et matériaux de construction	4	3.6.3 Configuration 3	57
1.3.2 Propriétés thermiques utiles des parois	4	<b>3.7 Planchers bas sur terre-plein (<math>U_o</math>)</b>	57
1.3.3 Résistances superficielles	4	3.7.1 Configuration 1	58
<b>2. Méthodes de calcul</b>	4	3.7.2 Configuration 2	59
2.1 Résistance thermique $R$	5	3.7.3 Configuration 3	59
2.1.1 Couches thermiquement homogènes	5	3.7.4 Configuration 4	60
2.1.2 Couches thermiquement hétérogènes	9	3.7.5 Configuration 5	60
2.1.3 Résistance superficielle	10	3.7.6 Configuration 6	61
2.2 Coefficient de transmission surfacique $U$	11	<b>3.8 Autres parois</b>	61
2.2.1 Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé	11	3.8.1 Éléments à base de plâtre pour cloisons et contre-murs	61
2.2.2 Parois en contact avec le sol	16	3.8.2 Panneaux de particules de bois extrudé	62
2.2.3 Parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé	20	3.8.3 Remplissage d'une lame d'air avec un matériau en vrac	62
2.2.4 Parois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé	23	3.8.4 Étalement sur un plancher haut d'un matériau en vrac	62
<b>3. Valeurs par défaut</b>	23	3.8.5 Matériaux projetés	65
3.1 Murs en maçonnerie courante ( $R$ )	23	3.8.6 Panneaux fibragglo	66
3.1.1 Éléments en briques et blocs de terre cuite	23	3.8.7 Produits réfléchissants	66
3.1.2 Blocs en béton	30	<b>3.9 Ponts thermiques intégrés courants (<math>\psi</math>, <math>\chi</math>)</b>	69
3.2 Murs en béton cellulaire ( $R$ , $U_o$ )	34	3.9.1 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les systèmes de doublage intérieur des murs	69
3.2.1 Résistance thermique des murs en béton cellulaire	34	3.9.2 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les systèmes d'isolation par l'extérieur des murs	70
3.2.2 Coefficient de transmission surfacique des murs en béton cellulaire	35	3.9.3 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les parois légères à ossature bois	73
3.3 Planchers à entrevous béton ou terre cuite ( $R$ )	37	3.9.4 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les parois acier	88
3.3.1 Planchers à entrevous en terre cuite	37		
3.3.2 Planchers à entrevous en béton	38		
3.4 Planchers à entrevous polystyrène ( $R$ )	40		



## 1. Introduction

Ce fascicule donne les méthodes de calcul des caractéristiques thermiques utiles des parois opaques et de leurs composants, et fournit des valeurs par défaut établies conformément auxdites méthodes.

Les caractéristiques thermiques utiles déterminées selon ce fascicule servent notamment au calcul de la consommation d'énergie des bâtiments.

### 1.1 Références normatives

Le calcul des caractéristiques thermiques des éléments d'enveloppe du bâtiment s'appuie principalement sur les travaux de la normalisation européenne.

<b>NF EN ISO 7345</b>	Isolation thermique – Grandeurs physiques et définitions.
<b>NF EN ISO 13789</b>	Performance thermique des bâtiments – Coefficient de déperdition par transmission – Méthode de calcul.
<b>NF EN ISO 10456</b>	Matériaux et produits pour le bâtiment – Propriétés hygrothermiques – Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles.
<b>NF EN ISO 6946</b>	Composants et parois de bâtiments – Résistance thermique et coefficient de transmission thermique – Méthode de calcul.
<b>NF EN ISO 13370</b>	Performance thermique des bâtiments – Transfert de chaleur par le sol – Méthodes de calcul.
<b>NF EN ISO 10211-1</b>	Ponts thermiques dans les bâtiments – Flux thermiques et températures superficielles – Calculs détaillés.
<b>NF EN ISO 8990</b>	Isolation thermique – Détermination des propriétés de transmission thermique en régime stationnaire – Méthodes à la boîte chaude gardée et calibrée.

### 1.2 Définitions, symboles et indices

#### 1.2.1 Définitions

Dans le présent document, les définitions de la norme NF EN ISO 7345 et les définitions suivantes s'appliquent :

- **local** : un local est un volume totalement séparé de l'extérieur ou d'autres volumes par des parois fixes ou mobiles ;
- **espace chauffé** : local ou volume fermé chauffé à une température supérieure à 12 °C en période d'occupation ;
- **dimensions intérieures** : dimensions mesurées de l'intérieur des locaux déterminés selon le fascicule 1 (Généralités) des règles Th-U ;
- **paroi opaque isolée** : paroi opaque dont le coefficient de transmission thermique  $U$  n'excède pas 0,5 W/(m<sup>2</sup>.K) ;
- **paroi transparente ou translucide** : paroi dont le facteur de transmission lumineuse (hors protection mobile éventuelle) est égal ou supérieur à 0,05. Dans le cas contraire elle est dite opaque ;
- **paroi verticale ou horizontale** : une paroi est dite verticale lorsque l'angle de cette paroi avec le plan horizontal est supérieur ou égal à 60 degrés, elle est dite horizontale lorsque cet angle est inférieur à 60 degrés ;
- **plancher bas** : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face supérieure ;
- **plancher intermédiaire** : paroi horizontale donnant, sur ses faces inférieure et supérieure, sur des locaux chauffés ;
- **plancher haut** : paroi horizontale donnant sur un local chauffé uniquement sur sa face inférieure ;

- **liaisons périphériques** : liaisons situées au pourtour d'une paroi donnée ;
- **liaisons intermédiaires** : liaisons situées à l'intérieur du pourtour d'une paroi donnée ;
- **flux thermique  $\phi$  en W** : quantité de chaleur transmise à (ou fournie) par un système, divisée par le temps ;
- **densité surfacique (ou linéique) du flux thermique  $\phi$ , en  $W/m^2$  (ou  $W/m$ )** : flux thermique par unité de surface (ou par unité de longueur) ;
- **conductivité thermique  $\lambda$ , en  $W/(m.K)$**  : flux thermique par mètre carré, traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce matériau ;
- **coefficient de déperdition par transmission  $H$ , en  $W/K$**  : flux thermique cédé par transmission entre l'espace chauffé et l'extérieur, pour une différence de température d'un kelvin entre les deux ambiances. Les températures, intérieure et extérieure, sont supposées uniformes ;
- **coefficient de transmission surfacique  $U$ , en  $W/(m^2.K)$**  : flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- **coefficient de transmission linéique  $\psi$ , en  $W/(m.K)$**  : flux thermique en régime stationnaire par unité de longueur, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre d'un système ;
- **coefficient de transmission surfacique « équivalent » d'une paroi  $U_e$ , en  $W/(m^2.K)$**  : coefficient de transmission surfacique tenant compte à la fois des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (vide sanitaire, sous-sol non chauffé, sol) ;
- **résistance thermique  $R$ , en  $(m^2.K)/W$**  : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de ce système ;
- **résistance thermique totale  $R_T$ , en  $(m^2.K)/W$**  : somme de la résistance thermique  $R$  d'une paroi et des résistances thermiques superficielles côtés intérieur et extérieur ;
- **résistance superficielle  $R_s$ , en  $(m^2.K)/W$**  : inverse du flux thermique passant par mètre carré de paroi, de l'ambiance à la paroi pour une différence de température de un kelvin entre celles-ci ;
- **isolation répartie** : isolation assurée exclusivement par l'épaisseur de la partie porteuse de la paroi (ex. : blocs à perforations verticales en terre cuite, blocs en béton cellulaire) ;
- **conductivité thermique « équivalente en  $W/(m.K)$  »** : rapport de l'épaisseur d'une paroi sur sa résistance thermique ;
- **maçonnerie courante** : maçonnerie couramment utilisée (à base de béton ou de terre cuite) de conductivité thermique équivalente  $\lambda_e \geq 0,7 W/(m.K)$  ;
- **couche thermiquement homogène** : couche d'épaisseur constante ayant des propriétés thermiques uniformes ou considérées comme telles :
  - les couches à hétérogénéités faibles et régulières peuvent être assimilées à une couche thermiquement homogène (ex. : murs en maçonnerie),
  - un plancher à entrevous non isolant peut être assimilé à une couche thermiquement homogène,
  - une lame d'air d'épaisseur constante est considérée comme une couche thermiquement homogène ;
- **partie courante d'une paroi** : partie constituée d'une ou de plusieurs couches superposées, thermiquement homogènes ;
- **pont thermique intégré** : élément intégré dans la paroi, donnant lieu à des déperditions thermiques supplémentaires par rapport à la partie courante ;
- **dimension caractéristique d'une paroi** : aire de la paroi, divisée par son demi-périmètre, en mètres ;
- **épaisseur « équivalente » d'un système** : épaisseur d'un matériau thermiquement homogène, ayant la même résistance thermique que ce système, en mètres.
- **Avis Technique** : on entend par Avis Technique tout avis formulé conformément à l'arrêté du 2 décembre 1969 relatif à la commission chargée de formuler des Avis Techniques sur des procédés matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction, délivré en vue d'établir l'aptitude à l'emploi des procédés, matériaux, éléments ou équipements utilisés dans la construction dont la constitution ou l'emploi ne relèvent pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.
- **Agrément Technique Européen** : appréciation technique favorable de l'aptitude d'un produit à l'usage prévu, fondée sur la satisfaction des exigences essentielles prévues pour les ouvrages dans lesquels le produit doit être utilisé (directive 89/106/CEE, article 8). Il est délivré par un organisme d'agrément, membre de l'EOTA (*European Organisation for Technical Approvals*), habilité et désigné par son État membre.

## 1.2.2 Symboles

Symbole	Grandeur	Unité
U	Coefficient de transmission surfacique	W/(m <sup>2</sup> .K)
$\psi$	Coefficient de transmission linéique	W/(m.K)
$\chi$	Coefficient de transmission ponctuel	W/K
R	Résistance thermique	m <sup>2</sup> .K/W
A	Surface	m <sup>2</sup>
l, L	Longueur, largeur, linéaire	m
$\lambda$	Conductivité thermique	W/(m.K)
$\Delta T$	Différence de température	K
b	Coefficient de réduction de la température	-
h	Coefficient d'échange	W/(m <sup>2</sup> .K)
2D, 3D	Deux dimensions, trois dimensions	
B'	Dimension caractéristique	m
d	Épaisseur	m
v	Vitesse	m/s

## 1.2.3 Indices

e	Extérieur
i	Intérieur
s	Superficiel
t, T	Total
D	Direct
S	Sol
u	Non chauffé
e	« Équivalent »
iu	Intérieur vers local non chauffé
ue	Local non chauffé vers extérieur
a	Par convection, par conduction
r	Par rayonnement
m	Moyen
p	Relatif à la paroi
g	Relatif au sol
c	Partie courante

## 1.3 Conventions

### 1.3.1 Propriétés thermiques utiles des produits et matériaux de construction

Les propriétés thermiques utiles des matériaux et produits de construction servant au calcul du coefficient de transmission surfacique des parois opaques sont déterminées selon le chapitre 2 du fascicule 2 (Matériaux).

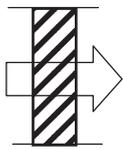
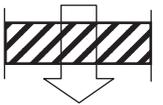
### 1.3.2 Propriétés thermiques utiles des parois

Les propriétés thermiques utiles ( $R_u$ ,  $U_u$ ) des parois doivent être déterminées selon le présent fascicule (Parois opaques) à partir des propriétés thermiques utiles des matériaux et produits déterminées selon le chapitre 2 du fascicule 2 (Matériaux).

### 1.3.3 Résistances superficielles

La méthode de calcul des résistances superficielles est donnée au *paragraphe 2.1.1*, cependant et en absence d'informations spécifiques sur les conditions aux limites des surfaces planes, les résistances superficielles, intérieure ( $R_{si}$ ) et extérieure ( $R_{se}$ ), suivantes doivent être utilisées :

Tableau I

Paroi donnant sur : – l'extérieur – un passage ouvert – un local ouvert <sup>(1)</sup>	$R_{si}$ m <sup>2</sup> .K/W	$R_{se}^{(2)}$ m <sup>2</sup> .K/W	$R_{si} + R_{se}$ m <sup>2</sup> .K/W
Paroi verticale Inclinaison $\geq 60^\circ$  Flux horizontal	0,13	0,04	0,17
Paroi horizontale Inclinaison $< 60^\circ$  Flux ascendant	0,10	0,04	0,14
	 Flux descendant	0,17	0,04

1. Un local est dit « ouvert » si le rapport de la surface totale de ses ouvertures permanentes sur l'extérieur, à son volume, est égal ou supérieur à 0,005 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>. Ce peut être le cas, par exemple, d'une circulation à l'air libre, pour des raisons de sécurité contre l'incendie.

2. Si la paroi donne sur un autre local non chauffé,  $R_{si}$  s'applique des deux côtés.

La valeur de  $R_{si}$  pour le flux ascendant s'applique aux planchers dotés d'un système de chauffage intégré et aux entrepôts frigorifiques.

## 2. Méthodes de calcul

Ce chapitre donne les méthodes de calcul du coefficient de transmission surfacique utile  $U_p$  et de la résistance thermique utile  $R$  des parois opaques.

Une alternative aux méthodes de calcul décrites ci-après est la mesure de la paroi à la boîte chaude gardée conformément à la norme NF EN ISO 8990. Toutefois, les résultats de mesure ne valent que pour l'échantillon mesuré.

La détermination du coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  des parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, fait l'objet d'un calcul spécifique détaillé aux paragraphes 2.2.2 et 2.2.3.

Les coffres de volets roulants installés dans la baie doivent être intégrés dans le calcul de la baie vitrée, les autres doivent être calculés comme des parois opaques. La méthode générale de calcul des coffres de volets roulants est donnée dans le fascicule 3 (Parois vitrées).

Dans le cas où une caractéristique thermique déclarée de la paroi est disponible, par référence aux normes européennes harmonisées ou aux agréments techniques européens, se reporter au fascicule 1 (Généralités) pour la détermination de la caractéristique thermique utile correspondante.

## 2.1 Résistance thermique $R$

La résistance thermique  $R$  d'une paroi est l'inverse du flux thermique à travers un mètre carré de paroi pour une différence de température de un kelvin entre les deux faces de la paroi.  $R$  s'exprime en  $m^2.K/W$  et elle est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux constituant la paroi.

À l'exception des résistances superficielles arrondies à deux décimales, les valeurs des résistances thermiques utilisées dans les calculs intermédiaires doivent être calculées avec au moins trois décimales.

### 2.1.1 Couches thermiquement homogènes

#### 2.1.1.1 Couches solides

Il s'agit de couches d'épaisseur constante, à hétérogénéités faibles et régulières pouvant être assimilées à des couches homogènes.

La résistance thermique d'une couche homogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R_i = \frac{e_i}{\lambda_i} \text{ (Formule 1) ;}$$

où

$R_i$  est la résistance thermique de la couche  $i$ , en  $m^2.K/W$  ;

$e_i$  est l'épaisseur de la couche  $i$ , mesurée d'après sa mise en œuvre dans la paroi, en mètres ;

$\lambda_i$  est la conductivité thermique utile de la couche  $i$  déterminée conformément au fascicule 2 (Matériaux), en  $W/m.K$ .

La résistance thermique d'un composant de bâtiment constitué de plusieurs couches thermiquement homogènes, superposées perpendiculaires au flux de chaleur, est la somme des résistances thermiques individuelles de chacune des couches :

$$R = \sum R_i \text{ (Formule 2).}$$

#### 2.1.1.2 Espaces d'air

Certains espaces d'air peuvent être considérés comme des couches thermiquement homogènes. Cependant, leur résistance thermique doit faire l'objet d'un calcul spécifique tenant compte des phénomènes convectifs et radiatifs.

Les espaces d'air sont traités comme des milieux ayant une « résistance thermique » parce que la transmission de chaleur par convection et par rayonnement y est à peu près proportionnelle à l'écart de température des faces qui les limitent.

Sont traitées dans ce chapitre :

1. Les lames d'air qui ont une largeur et une longueur toutes deux supérieures à 10 fois l'épaisseur mesurée dans le sens du flux de chaleur.
2. Les cavités d'air qui ont une longueur ou une largeur comparable à leur épaisseur.
3. Certains espaces non chauffés (combles perdus, garages, buanderies, etc.) lorsque leur enveloppe extérieure n'est pas isolée.

Si l'épaisseur d'une lame d'air varie, il convient d'utiliser sa valeur moyenne pour calculer sa résistance thermique.

Un traitement spécifique des espaces d'air, rencontrés dans les vitrages isolants et dans les profilés de menuiserie, est décrit dans le fascicule 3 (Parois vitrées).

#### 2.1.1.2.1 Lames d'air

La méthode de calcul donnée ci-après s'applique aux lames d'air dont l'épaisseur mesurée dans la direction du flux de chaleur n'excède pas 0,3 m. Dans le cas où cette épaisseur dépasse 0,3 m, le calcul de la déperdition doit être effectué en établissant un bilan thermique (coefficient  $b$ ) comme décrit dans le fascicule 1 (Généralités) des règles Th-U.

##### 2.1.1.2.1.1 Lames d'air non ventilées

Une lame d'air peut être considérée comme non ventilée s'il n'y a pas de disposition spécifique pour un écoulement d'air la traversant.

Une lame d'air non séparée de l'ambiance extérieure par une couche isolante mais comportant de petites ouvertures vers l'ambiance extérieure peut aussi être considérée comme une lame d'air non ventilée, si ces ouvertures ne sont pas disposées de façon à permettre un écoulement d'air traversant et si elles ne dépassent pas :

- 500 mm<sup>2</sup> par mètre de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;
- 500 mm<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de superficie pour les lames d'air horizontales.

La résistance thermique d'une lame d'air non ventilée se calcule d'après la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \text{ (Formule 3) ;}$$

où

$R_g$  est la résistance thermique de la lame d'air, en m<sup>2</sup>.K/W ;

$h_a$  est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en W/(m<sup>2</sup>.K) et se calcule d'après le tableau II :

Tableau II : Calcul de  $h_a$

Sens du flux de chaleur	$h_a$ W/(m <sup>2</sup> .K)	
	$\Delta T \leq 5$	$\Delta T > 5$
Horizontal	Max (1,25 ; 0,025/d)	Max (0,73 $(\Delta T)^{1/3}$ ; 0,025/d)
Ascendant	Max (1,95 ; 0,025/d)	Max (1,14 $(\Delta T)^{1/3}$ ; 0,025/d)
Descendant	Max (0,12 $d^{-0,44}$ ; 0,025/d)	Max (0,09 $(\Delta T)^{0,187} d^{-0,44}$ ; 0,025/d)

où

$d$  est l'épaisseur de la lame, en mètre, dans la direction du flux de chaleur ;

$\Delta T$  est la différence de température dans la lame d'air entre les deux faces en vis-à-vis, en K ;

$h_r$  est le coefficient de rayonnement. Il s'exprime en W/(m<sup>2</sup>.K) et se calcule comme suit :

$$h_r = E h_{r0} ;$$

où

$E$  est l'émissance entre les deux surfaces limitant la lame d'air :

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ (Formule 4) ;}$$

où

$\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont les émissivités hémisphériques (corrigées) des surfaces limitant la lame d'air. La valeur utile de l'émissivité doit tenir compte de l'effet de ternissement des surfaces et d'accumulation

de poussière avec le temps. À défaut de valeurs utiles déterminées selon le présent fascicule ou données dans un document d'Avis Technique, prendre :

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0,9.$$

$h_{r_0}$  est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. formule 10 et tableau V).

Des valeurs par défaut de la résistance thermique sont données au tableau III pour des lames d'air non ventilées dont les émissivités des deux faces sont au moins égales à 0,8. Les valeurs de la colonne « horizontal » s'appliquent également à des flux thermiques inclinés jusqu'à  $\pm 30\%$  par rapport au plan horizontal.

Tableau III : Valeurs de la résistance thermique  $R$

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

Note 1 : ces valeurs correspondent à une température moyenne de la lame d'air de 10 °C.  
Note 2 : les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

#### 2.1.1.2.1.2 Lames d'air fortement ventilées

Il s'agit de lames d'air dont les orifices d'ouverture vers l'ambiance extérieure sont supérieures ou égales à :

- 1 500 mm<sup>2</sup> par mètre de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;
- 1 500 mm<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de superficie pour les lames d'air horizontales.

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air fortement ventilée s'obtient en négligeant la résistance thermique de la lame d'air et de toutes les couches situées entre la lame d'air et l'ambiance extérieure, et en appliquant une résistance thermique superficielle égale à  $R_{si}$  sur la surface intérieure de la lame d'air.

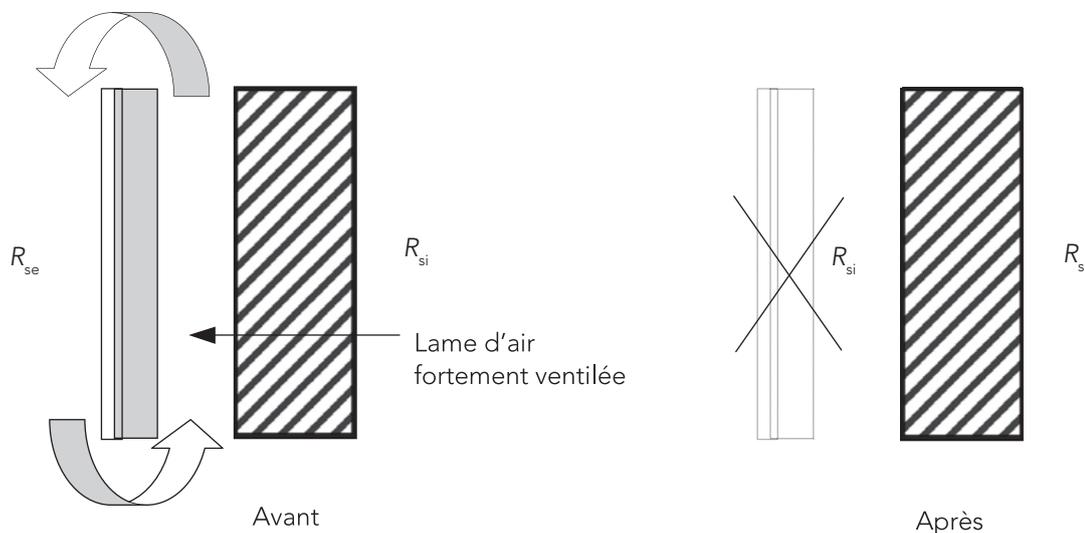


Figure 1 : Traitement des parois contenant une lame d'air fortement ventilée

### 2.1.1.2.1.3 Lames d'air faiblement ventilées

Il s'agit de lames d'air dans lesquelles il y a un écoulement d'air limité du fait d'ouvertures communiquant avec l'ambiance extérieure, comprises dans les plages suivantes :

- > 500 mm<sup>2</sup> mais < 1 500 mm<sup>2</sup> par m de longueur comptée horizontalement pour les lames d'air verticales ;
- > 500 mm<sup>2</sup> mais < 1 500 mm<sup>2</sup> par m<sup>2</sup> de superficie pour les lames d'air horizontales.

L'effet de la ventilation de la lame d'air dépend de la taille et de la répartition des orifices de ventilation.

La résistance thermique totale d'une paroi contenant une lame d'air faiblement ventilée peut être calculée comme suit :

$$R_T = \frac{1\,500 - A_V}{1\,000} R_{T,n} + \frac{A_V - 500}{1\,000} R_{T,v} ;$$

où

$R_{T,n}$  est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée non ventilée (cf. *paragraphe 2.1.1.2.1.1* (Lames d'air non ventilées)) ;

$R_{T,v}$  est la résistance thermique totale de la paroi contenant une lame d'air supposée fortement ventilée (cf. *paragraphe 2.1.1.2.1.2* (Lames d'air fortement ventilées)).

### 2.1.1.2.2 Cavités d'air

#### 2.1.1.2.2.1 Cavités d'air non ventilées

Il s'agit de petits espaces d'air dont la largeur est inférieure à 10 fois l'épaisseur ( $b < 10 d$ ).

La résistance thermique  $R_g$  d'une cavité d'air est donnée par la formule suivante :

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} ;$$

avec

$$h_r = \frac{h_{ro}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 2 + \frac{2}{\left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b}\right)^2} - \frac{d}{b}\right)}} \quad (\text{Formule 5}) ;$$

où

$d$  est l'épaisseur de la cavité, mesuré dans la direction du flux de chaleur, en mètre ;

$b$  est la largeur de la cavité prise sur la plus petite section transversale, en mètre ;

$\varepsilon_1$  et  $\varepsilon_2$  sont les émissivités hémisphériques des surfaces, côtés chaud et froid de l'espace d'air ;

$h_{ro}$  est le coefficient de rayonnement du corps noir (cf. *formule 10* et *tableau V*) ;

$h_a$  est le coefficient de convection/conduction, il s'exprime en W/(m<sup>2</sup>.K) et se calcule d'après le *tableau II*.

Pour une cavité de forme non rectangulaire, prendre la résistance thermique d'un vide rectangulaire ayant la même superficie et le même rapport de forme ( $b/d$ ) que la cavité réelle.

#### 2.1.1.2.2.2 Cavités d'air ventilées

Pour une cavité d'air fortement ventilée telle que définie au *paragraphe 2.1.1.2.1.2*, suivre la procédure spécifiée au *paragraphe 2.1.1.2.1.2*.

Pour une cavité d'air faiblement ventilée telle que définie au *paragraphe 2.1.1.2.1.3*, suivre la procédure spécifiée au *paragraphe 2.1.1.2.1.3*.

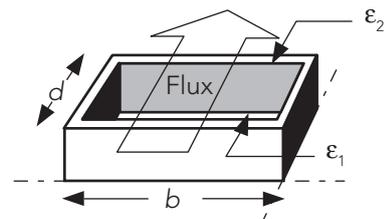


Figure 2

### 2.1.1.2.3 Espaces non chauffés

Lorsque l'enveloppe extérieure de certains espaces non chauffés n'est pas isolée, les méthodes simplifiées suivantes peuvent s'appliquer en assimilant l'espace non chauffé à une résistance thermique équivalente (une méthode plus détaillée pour la prise en compte des déperditions à travers les espaces non chauffés est donnée au fascicule 1 (Généralités) des règles Th-U).

#### 2.1.1.2.3.1 Combles non aménagés

En cas d'un plancher haut isolé situé sous un comble non aménagé, l'espace d'air du comble ainsi que la toiture peuvent être assimilés à une couche d'air thermiquement homogène dont la résistance thermique est donnée ci-dessous :

Tableau IV : Résistance thermique équivalente des combles

Caractéristiques du toit		$R_u$
1	Toit à tuiles sans écran, panneaux ou équivalents	0,06
2	Toiture à base de longues feuilles mécaniques, ou toiture en tuiles avec écran ou panneaux équivalents sous les tuiles	0,2
3	Idem que 2, mais avec un revêtement à faible émissivité en sous-face de la toiture	0,3
4	Toit doublé de panneaux et écran	0,3

Note :  $R_u$  comprend la résistance thermique de l'espace d'air et la résistance de la toiture en pente. Elle ne comprend pas la résistance superficielle  $R_{se}$  de la toiture et elle ne doit pas être prise en compte pour le calcul des caractéristiques intrinsèques du plancher sous comble.

#### 2.1.1.2.3.2 Autres espaces

Lorsque le bâtiment a un petit espace non chauffé contigu (garages, abris, buanderies, etc.), l'ensemble, constitué de l'espace non chauffé et des composants de construction externes peut être assimilé à une couche homogène ayant une résistance thermique  $R_u$  donnée par :

$$R_u = \frac{A_i}{\sum_k (A_{e,k} U_{e,k}) + 0,33 \times nV} \quad (\text{Formule 6});$$

où

$A_i$  est la surface totale des composants séparant l'intérieur du local non chauffé, en  $m^2$  ;

$A_{e,k}$  est la surface de l'élément  $k$  séparant le local non chauffé de l'environnement extérieur à l'exception des planchers bas en contact avec le sol, en  $m^2$  ;

$U_{e,k}$  est le coefficient de transmission thermique de l'élément  $k$  entre l'espace non chauffé et l'environnement extérieur, en  $W/(m^2.K)$  ;

$n$  est le taux de renouvellement d'air du local non chauffé, en volume d'air par heure ;

$V$  est le volume du local non chauffé, en  $m^3$ .

Si les détails constructifs des parois extérieures du local non chauffé ne sont pas connus, prendre :  $U_{e,k} = 2 W/(m^2.K)$  et  $n = 3$  volumes d'air par heure.

## 2.1.2 Couches thermiquement hétérogènes

Il s'agit de couches présentant une forte hétérogénéité due principalement à la présence simultanée de deux ou de plusieurs matériaux ayant des conductivités thermiques différentes.

Le transfert de chaleur par conduction à travers une couche thermiquement hétérogène est généralement de nature bidimensionnelle sauf cas particuliers où l'hétérogénéité est régulière et le transfert est monodimensionnel.

La résistance thermique  $R$  d'une couche hétérogène se calcule d'après la formule suivante :

$$R = \frac{1}{U_p} - R_{si} - R_{se} \quad (\text{Formule 7});$$

où

$R_{si}$  et  $R_{se}$  sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 1.3.3*, en  $m^2.K/W$  ;

$U_p$  est le coefficient de transmission surfacique en  $W/(m^2.K)$  de la couche, déterminé d'après le *paragraphe 2.2*.

### 2.1.3 Résistance superficielle

#### 2.1.3.1 Surfaces planes

La résistance superficielle  $R_s$  se calcule d'après la formule suivante :

$$R_s = \frac{1}{h_a + h_r} \quad (\text{Formule 8}) ;$$

où

$h_r$  est le coefficient d'échanges par rayonnement, en  $W/(m^2.K)$  ;

avec :

$$h_r = \varepsilon h_{ro} \quad (\text{Formule 9}) ;$$

$$h_{ro} = 4 \sigma T_m^3 \quad (\text{Formule 10}) ;$$

où

$\varepsilon$  est l'émissivité hémisphérique (corrigée) de la surface qui tient compte de l'effet de ternissement des surfaces et d'accumulation de poussière avec le temps. À défaut de valeurs données dans les documents d'Avis Techniques ou déterminées selon le présent fascicule, prendre  $\varepsilon = 0,9$  ;

$h_{ro}$  est le coefficient de rayonnement d'un corps noir (cf. *tableau V*) ;

$\sigma$  est la constante de Stefan-Boltzmann ( $5,67 \times 10^{-8} W/(m^2.K^4)$ ) ;

$T_m$  est la température moyenne de la surface et des surfaces environnantes, en K ;

Tableau V : Valeurs de  $h_a$

Température moyenne $T_m$ °C	$h_{ro}$ $W/(m^2.K)$
-10	4,1
0	4,6
10	5,1
20	5,7
30	6,3

$h_a$  est le coefficient d'échanges par convection, en  $W/(m^2.K)$  :

– sur les faces intérieures d'une paroi ou les faces extérieures adjacentes à une lame d'air fortement ventilée :

Tableau VI : Valeurs de  $h_a$  sur les faces intérieures

Flux de chaleur	$h_a$ $W/(m^2.K)$
Ascendant	5,0
Horizontal	2,5
Descendant	0,7

– sur les faces extérieures :  $h_a = 4 + 4v$  (Formule 11) ;

où

$v$  est la vitesse du vent à proximité de la surface en m/s.

Des valeurs de la résistance superficielle côté extérieur  $R_{se}$  sont données dans le tableau suivant en fonction de la vitesse  $v$  du vent.

Tableau VII : Valeurs de  $R_{se}$  en fonction de la vitesse du vent

Vitesse du vent m/s	$R_{se}$ $m^2.K/W$
1	0,08
2	0,06
3	0,05
4	0,04
5	0,04
7	0,03
10	0,02

**Nota** : les valeurs des résistances superficielles intérieures  $R_{si}$  et extérieures  $R_{se}$ , données au *paragraphe 1.3.3*, ont été calculées avec une émissivité corrigée  $\epsilon = 0,9$  et  $h_{ro}$  calculé à 20 °C côté intérieur et à 0 °C côté extérieur pour une vitesse de vent de 4 m/s.

### 2.1.3.2 Surfaces non planes

Les parties en saillie par rapport au plan des parois, telles que des poteaux de structure, peuvent être ignorées pour le calcul de la résistance thermique totale si elles sont constituées d'un matériau dont la conductivité thermique n'excède pas 2,5 W/(m.K).

Si la partie saillante est constituée d'un matériau de conductivité thermique supérieure à 2,5 W/(m.K), et n'est pas isolée, la résistance superficielle, à appliquer à l'aire projetée  $A_p$  de la paroi, doit être corrigée dans le rapport de l'aire projetée de la partie saillante à son aire développée réelle  $A$  :

$$R_{sp} = R_s \frac{A_p}{A} \text{ (Formule 12) ;}$$

où

$R_s$  est la résistance superficielle d'un composant plan ;

$A_p$  est l'aire projetée de la partie saillante ;

$A$  est l'aire développée réelle de la partie saillante.

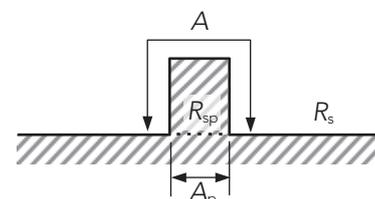


Figure 3

## 2.2 Coefficient de transmission surfacique $U$

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi  $U_p$  est le flux thermique en régime stationnaire par unité de surface, pour une différence de température de un kelvin entre les milieux situés de part et d'autre de cette paroi. Il s'exprime en W/(m<sup>2</sup>.K) et il est fonction des caractéristiques géométriques et thermiques des matériaux et des résistances superficielles.

Les valeurs des coefficients surfaciques utilisées dans des calculs intermédiaires de parois opaques doivent être calculées avec au moins trois décimales. Les valeurs de  $U$  servant au calcul de la consommation d'énergie dans le bâtiment doivent être exprimées avec deux chiffres significatifs.

### 2.2.1 Parois donnant sur l'extérieur ou sur un local non chauffé

Une paroi qui donne sur l'extérieur ou sur un local non chauffé (à l'exception des vides sanitaires et des sous-sols non chauffés) est caractérisée par son coefficient de transmission surfacique intrinsèque  $U_p$ .

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ou donnant sur un vide sanitaire ou un sous-sol non chauffé, sont exprimées à l'aide d'un coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  calculé en fonction des caractéristiques intrinsèques de la paroi et de son environnement (cf. paragraphes 2.2.2 et 2.2.3).

### 2.2.1.1 Paroi comportant des couches d'épaisseur uniforme

Le coefficient de transmission surfacique global des parois courantes,  $U_p$  en  $W/(m^2.K)$ , se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 \text{ (Formule 13) ;}$$

où

$U_c$  est le coefficient de transmission surfacique en partie courante de la paroi :

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \text{ (Formule 14) ;}$$

où

$R_{si}$ ,  $R_{se}$  sont les résistances superficielles côtés intérieur et extérieur de la paroi, déterminées selon le paragraphe 1.3.3 du présent fascicule ;

$R$  est la résistance thermique de la paroi, en  $m^2.K/W$ , déterminée comme étant la somme des résistances thermiques des couches composant la paroi y compris celles des lames d'air éventuelles :

$$R = \sum R_i ;$$

$\Delta U_1$  est l'impact des ponts thermiques intégrés à la paroi :

$$\Delta U_1 = \frac{\sum_i \psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \text{ (Formule 15) ;}$$

où

$\psi_i$  est le coefficient linéique du pont thermique intégré  $i$ , déterminé selon le présent fascicule, exprimé en  $W/(m.K)$  ;

$\chi_j$  est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré  $j$ , exprimé en  $W/K$  ;

$L_i$  est le linéaire du pont thermique intégré  $i$ , en mètres ;

$A$  est la surface totale de la paroi, en  $m^2$ .

Les ponts thermiques intégrés  $\psi_i$  et  $\chi_j$  peuvent être déterminés d'après les valeurs tabulées dans le présent fascicule, données par type de procédé.

En l'absence de valeurs tabulées, l'impact des ponts thermiques intégrés peut être déterminé par calcul numérique, conformément à la méthode suivante :

$$\Delta U_1 = \frac{\phi}{A \times \Delta T} - U_c \text{ (Formule 16) ;}$$

où

$\phi$  est le flux total exprimé en  $W$  (calcul 3D) ou en  $W/m$  (calcul 2D) ;

$A$  est la dimension du modèle représentant un élément répétitif de la paroi, traversée par le flux, en  $m^2$  (3D) ou en  $m$  (2D) ;

$\Delta T$  est la différence de température entre les ambiances intérieure et extérieure, en  $K$ .

Cette formule s'applique à toutes les parois notamment à celles où la distinction entre partie courante et ponts thermiques intégrés est difficile (paroi à forte hétérogénéité thermique).

Dans le cas particulier d'une paroi comportant des fixations ponctuelles sans contact direct entre ces fixations et un ou des parement(s) métallique(s) situés de part et d'autre de la fixation, la correction du coefficient de transmission thermique de la paroi concernée peut être déterminée selon la formule suivante :

$$\Delta U_1 = 0,8 \times \frac{d_1}{d_0} \times \frac{\lambda_f A_f n_f}{d_0} \times \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 \text{ (Formule 17) ;}$$

où

$d_f$  est la longueur de la fixation, mesurée dans la couche isolante, en mètres ;

$d_0$  est l'épaisseur de la couche d'isolation pénétrée par la fixation, en mètres ;

$\lambda_f$  est la conductivité thermique de la fixation, en W/(m.K) ;

$n_f$  est le nombre de fixations par  $m^2$  ;

$A_f$  est l'aire de la section droite de la fixation, en  $m^2$  ;

$R_1$  est la résistance thermique de la couche isolante pénétrée par les fixations, en  $m^2.K/W$  ;

$R_{T,h}$  est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en  $m^2.K/W$  ;

$\Delta U_2$  est l'impact des circulations d'air au sein des parois ventilées sur l'extérieur :

$$\Delta U_2 = \Delta U'' \left( \frac{R_1}{R_{T,h}} \right)^2 ;$$

où

$R_1$  est la résistance thermique de la couche isolante contenant les cavités, en  $m^2.K/W$  ;

$R_{T,h}$  est la résistance thermique totale de la paroi, déterminée sans tenir compte des ponts thermiques intégrés, en  $m^2.K/W$  ;

$\Delta U''$  est la correction relative à la présence de cavités et de lames d'air dans la paroi, obtenue d'après le tableau ci-dessous, en W/( $m^2.K$ ).

Trois niveaux de correction sont identifiés :

Niveau	Configuration des cavités et des lames d'air parasites dans la paroi ventilée sur l'extérieur	$\Delta U''$
1	Aucune cavité <sup>(1)</sup> ou lame d'air <sup>(2)</sup> n'est présente dans la paroi	0,00
2	Seules des cavités d'air ponctuelles ou linéaires, traversant la totalité ou une partie de l'épaisseur de l'isolation, sont présentes dans la paroi	0,01
3	Des cavités d'air (niveau 2) communiquant avec une ou plusieurs lames d'air, parallèles à la paroi et située dans l'épaisseur et/ou en contact avec la face chaude de l'isolation	0,04

1. Une cavité d'air est perpendiculaire au plan de l'isolation. Elle pénètre dans l'épaisseur de la couche isolante.  
2. Une lame d'air est parallèle au plan de l'isolation. Elle se situe à l'interface entre deux couches de la paroi.

### ■ Exemples :

- Exemples de procédés constructifs concernés par la correction  $\Delta U_2$   
Rampants de toitures, bardages extérieurs ventilés, couvertures double peau, vêtements et vêtements.
- Exemples de niveau 1  
La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane pare-vapeur, parement, panneau de contreventement, ossature, etc.). Les joints entre panneaux isolants sont soit faibles ( $e < 5$  mm) soit traités (tenons mortaise, remplissage mastic) :

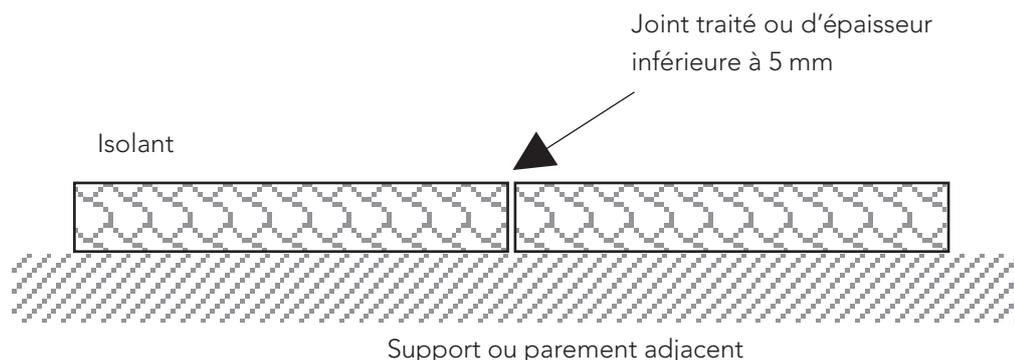


Figure 4

### 3. Exemples de niveau 2

La surface intérieure de l'isolation est en contact intime avec la couche intérieure adjacente (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature). Les joints entre panneaux isolants sont supérieurs à 5 mm.

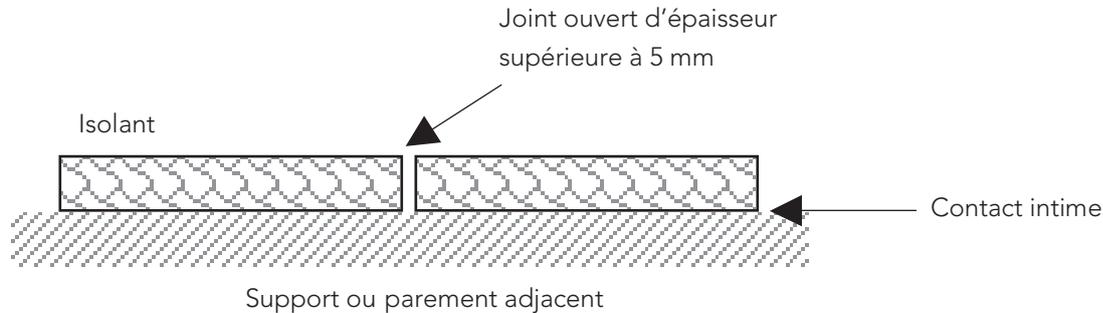


Figure 5

### 4. Exemples de niveau 3

La surface intérieure de l'isolation a un contact irrégulier avec la couche adjacente située côté intérieur (membrane, parement, panneau de contreventement, ossature, etc.). Des cavités entre panneaux isolants communiquent avec les lames d'air parasites et permettent ainsi la circulation de l'air entre les côtés chaud et froid de l'isolation.

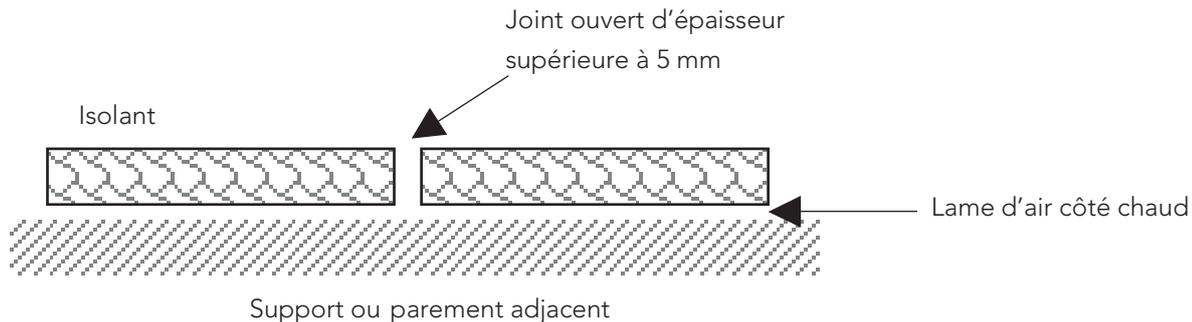


Figure 6

$\Delta U_3$  est l'impact de l'écoulement des eaux de pluie entre l'isolant et la membrane d'étanchéité pour les toitures-terrasses avec isolation inversée :

$$\Delta U_3 = p f x \times \left( \frac{R_1}{R_T} \right) \text{ (Formule 18) ;}$$

où

$p$  est l'intensité moyenne des précipitations pendant la saison de chauffage, en mm/jour (cf. tableau VIII) ;

$f$  est le coefficient d'écoulement donnant la fraction de  $p$  atteignant la membrane d'étanchéité ;

$x$  est le coefficient d'augmentation de la déperdition de chaleur provoquée par l'écoulement des eaux de pluie sur la membrane ;

$R_1$  est la résistance thermique de la couche isolante située au-dessus de la membrane d'étanchéité ;

$R_T$  est la résistance thermique totale de la toiture avant l'application de la correction, en  $m^2.K/W$ .

**Nota 1 :** pour les toitures-terrasses avec couche unique d'isolation comportant des joints secs avec protection lourde ouverte à l'extérieur prendre  $f x = 0,04$ . Pour d'autres configurations se référer aux Avis Techniques correspondants.2012

**Nota 2 :** le calcul de la résistance thermique de l'isolant en toiture inversé doit tenir compte d'une majoration de sa conductivité thermique due à un taux d'humidité généralement supérieur à celui couramment rencontré dans les autres techniques. Le mode de détermination du facteur de conversion correspondant est donné au fascicule 2 (Matériaux).

Tableau VIII : Précipitations moyennes en mm/jour

Département		p	Département		p	Département		p
n°	Nom	mm/j	n°	Nom	mm/j	n°	Nom	mm/j
01	AIN	2,12	33	GIRONDE	2,90	65	HAUTES-PYRÉNÉES	3,33
02	AISNE	1,89	34	HÉRAULT	2,31	66	PYRÉNÉES-ORIENTALES	1,87
03	ALLIER	1,84	35	ILLE-ET-VILAINE	1,93	67	BAS-RHIN	1,33
04	ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE	2,03	36	INDRE	2,06	68	HAUT-RHIN	1,31
05	HAUTES-ALPES	2,03	37	INDRE-ET-LOIRE	1,98	69	RHÔNE	2,12
06	ALPES-MARITIMES	2,74	38	ISÈRE	2,58	70	HAUTE-SAÔNE	2,86
07	ARDÈCHE	2,62	39	JURA	2,21	71	SAÔNE-ET-LOIRE	2,21
08	ARDENNES	1,89	40	LANDES	2,87	72	SARTHE	1,99
09	ARIÈGE	2,85	41	LOIR-ET-CHER	1,99	73	SAVOIE	2,91
10	AUBE	1,81	42	LOIRE	1,56	74	HAUTE-SAVOIE	2,91
11	AUDE	2,22	43	HAUTE-LOIRE	1,56	75	VILLE DE PARIS	1,69
12	AVEYRON	2,19	44	LOIRE-ATLANTIQUE	2,48	76	SEINE-MARITIME	2,24
13	BOUCHES-DU-RHÔNE	1,81	45	LOIRET	1,78	77	SEINE-ET-MARNE	1,81
14	CALVADOS	2,09	46	LOT	2,50	78	YVELINES	1,69
15	CANTAL	1,93	47	LOT-ET-GARONNE	1,99	79	DEUX-SÈVRES	1,86
16	CHARENTE	2,40	48	LOZÈRE	1,56	80	SOMME	2,04
17	CHARENTE-MARITIME	2,42	49	MAINE-ET-LOIRE	1,86	81	TARN	1,83
18	CHER	1,94	50	MANCHE	1,84	82	TARN-ET-GARONNE	1,99
19	CORRÈZE	1,93	51	MARNE	1,58	83	VAR	2,42
20	CORSE	2,41	52	HAUTE-MARNE	2,25	84	VAUCLUSE	2,01
21	CÔTE-D'OR	1,89	53	MAYENNE	1,93	85	VENDÉE	2,32
22	CÔTES-D'ARMOR	2,37	54	MEURTHE-ET-MOSELLE	2,00	86	Vienne	2,07
23	CREUSE	1,93	55	MEUSE	2,25	87	HAUTE-VIENNE	3,01
24	DORDOGNE	1,99	56	MORBIHAN	2,90	88	VOSGES	2,00
25	DOUBS	3,00	57	MOSELLE	2,08	89	YONNE	1,72
26	DRÔME	2,62	58	NIÈVRE	2,20	90	TERRITOIRE DE BELFORT	3,06
27	EURE	1,59	59	NORD	1,84	91	ESSONNE	1,69
28	EURE-ET-LOIR	1,59	60	OISE	1,83	92	HAUTS-DE-SEINE	1,69
29	FINISTÈRE	2,89	61	ORNE	2,24	93	SEINE-SAINT-DENIS	1,69
30	GARD	2,44	62	PAS-DE-CALAIS	1,67	94	VAL-DE-MARNE	1,69
31	HAUTE-GARONNE	1,83	63	PUY-DE-DÔME	1,19	95	VAL-D-OISE	1,69
32	GERS	1,99	64	PYRÉNÉES-ATLANTIQUES	3,42			

### 2.2.1.2 Paroi comportant des couches d'épaisseur variable

Il s'agit notamment des formes de pente présentes en toitures-terrasses. Les formules ci-après ne sont valables que pour des pentes ne dépassant pas 5 %. Pour des pentes supérieures des méthodes numériques peuvent être utilisées.

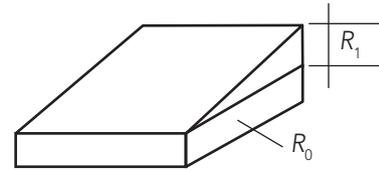
Pour calculer le coefficient de transmission surfacique d'une paroi comportant différentes parties élémentaires à épaisseurs variables, procéder comme suit :

1. calculer le coefficient  $U_i$  de chaque partie élémentaire de surface  $A_i$  en utilisant la formule correspondante donnée dans les sections (a) à (d) ci-dessous ;
2. calculer le coefficient de transmission surfacique global pour la paroi en utilisant la formule suivante :

$$U = \frac{\sum U_i A_i}{\sum A_i};$$

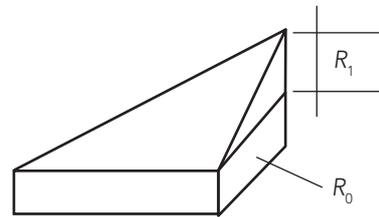
a – surface rectangulaire :

$$U = \frac{1}{R_1} \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right);$$



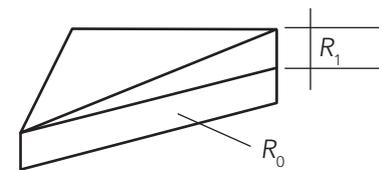
b – surface triangulaire ayant l'épaisseur maximale à la pointe :

$$U = \frac{2}{R_1} \left[ \left( 1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right];$$



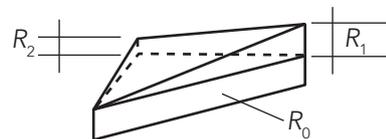
c – surface triangulaire ayant l'épaisseur minimale à la pointe :

$$U = \frac{2}{R_1} \left[ 1 - \frac{R_0}{R_1} \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right];$$



d – surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet :

$$U = 2 \left[ \frac{R_0 R_2 \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - R_0 R_1 \ln \left( 1 + \frac{R_2}{R_0} \right) + R_1 R_2 \ln \left( \frac{R_0 + R_1}{R_0 + R_2} \right)}{R_1 R_2 (R_1 - R_2)} \right];$$



où

$R_0$  est la résistance thermique totale des autres couches inférieures d'épaisseurs homogènes, y compris les résistances superficielles de la paroi, en  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  ( $R_0 \neq 0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) ;

$R_1$  est la résistance thermique maximale de la couche d'épaisseur variable comme montré sur les figures ci-dessus, en  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$  ( $R_1 \neq 0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ) ;

$R_2$  est la résistance thermique située au niveau du troisième sommet en cas d'une surface triangulaire ayant une épaisseur différente à chaque sommet comme montré sur la figure 7 en (d), en  $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ .

### 2.2.2 Parois en contact avec le sol

Les déperditions à travers les parois en contact avec le sol ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique « équivalent » dont la méthode de calcul est donnée ci-après (pour plus d'information se référer à la norme NF EN ISO 13370).

Des valeurs par défaut du coefficient surfacique équivalent  $U_e$  de planchers bas sur terre-plein sont données au paragraphe 3.7.

### 2.2.2.1 Paramètres de calcul

#### 2.2.2.1.1 Dimension caractéristique du plancher

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} \text{ (Formule 19) ;}$$

où

- $B'$  est la dimension caractéristique du plancher, en mètres ;  
 $A$  est l'aire du plancher bas en contact avec le sol, en mètres carrés ;  
 $P$  est le périmètre du plancher bas mesuré du côté intérieur, en mètres.

#### 2.2.2.1.2 Épaisseur équivalente du plancher en contact avec le sol

$$d_t = w + \lambda_s (R_{si} + R_f + R_{se}) \text{ (Formule 20) ;}$$

où

- $d_t$  est l'épaisseur « équivalente » du plancher, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que ce plancher, en mètres ;  
 $w$  est l'épaisseur totale du mur, toutes couches comprises, en mètres ;  
 $\lambda_s$  est la conductivité thermique du sol non gelé déterminée selon le *paragraphe 1.3.1*, en W/(m.K) ;  
 $R_f$  est la résistance thermique du plancher en contact avec le sol y compris l'effet des ponts thermiques intermédiaires (un exemple de calcul de  $R_f$  est donné au *paragraphe 2.2.2.1.5*) en m<sup>2</sup>.K/W ;  
 $R_{si}$ ,  $R_{se}$  sont les résistances superficielles de la paroi côtés intérieur et extérieur, déterminées selon le *paragraphe 1.3.3*, en m<sup>2</sup>.K/W.

#### 2.2.2.1.3 Épaisseur équivalente des murs enterrés

$$d_w = \lambda_s (R_{si} + R_w + R_{se}) \text{ (Formule 21) ;}$$

où

- $d_w$  est l'épaisseur « équivalente » du mur enterré, égale à l'épaisseur du sol ayant la même résistance thermique totale que le mur, en mètres ;  
 $R_w$  est la résistance thermique du mur enterré toutes couches comprises, en m<sup>2</sup>.K/W.

#### 2.2.2.1.4 Autres paramètres

- $D$  est la largeur ou la profondeur de l'isolation périphérique respectivement horizontale ou verticale, en mètres ;  
 $R_n$  est la résistance thermique de l'isolation périphérique horizontale ou verticale (ou du mur de fondation) en m<sup>2</sup>.K/W ;  
 $d_n$  est l'épaisseur de l'isolation périphérique (ou du mur de fondation en cas d'isolation répartie), en mètres ;  
 $z$  est la profondeur moyenne au-dessous du sol de la face inférieure du plancher bas du sous-sol chauffé, en mètres.

#### 2.2.2.1.5 Calcul de $R_f$

$R_f$  doit tenir compte des ponts thermiques des liaisons éventuelles avec le plancher bas.

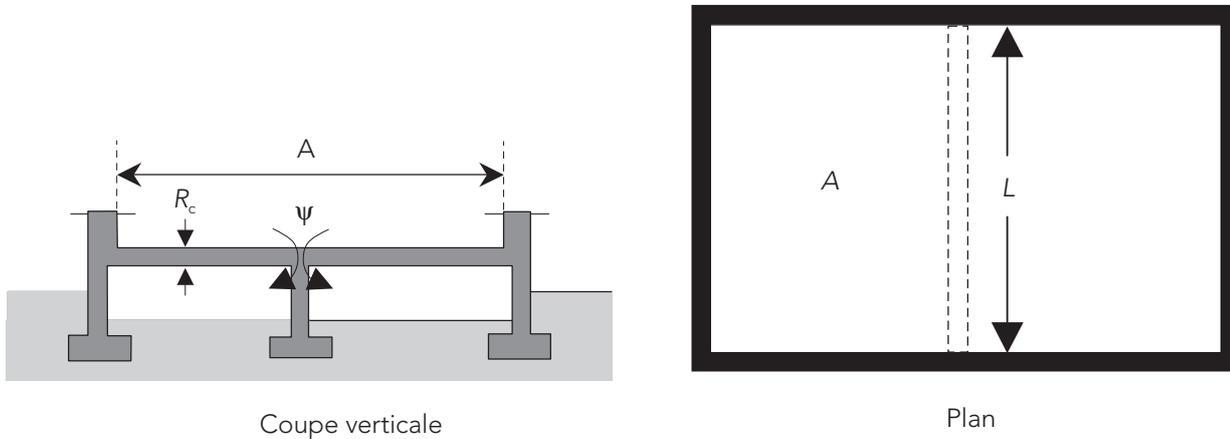


Figure 8

Soit un plancher bas de surface  $A$  donnant sur un vide sanitaire, un sous-sol non chauffé ou en contact avec le sol et supporté par un refend intermédiaire de longueur  $L$  (cf. figure 8 ci-dessus) et où :

$R_p$  est la résistance thermique du plancher ;

$U_p$  est le coefficient surfacique correspondant ;

$\psi$  est le coefficient linéique de la liaison plancher bas-refend ;

$R_f$  est la résistance thermique globale du plancher incluant l'effet de tous les ponts thermiques situés entre le local chauffé et le vide sanitaire, et  $U_f$  le coefficient surfacique correspondant.

$R_f$  se calcule par la formule suivante :

$$R_f = \frac{1}{U_f} - 2R_{si} ;$$

où

$$U_f = U_p + \frac{\psi \cdot L}{A} ;$$

$$U_p = \frac{1}{R_p + 2R_{si}} ;$$

$R_{si}$  est la résistance superficielle côté intérieur et côté vide sanitaire.

## 2.2.2.2 Planchers

### 2.2.2.2.1 Planchers sur terre-plein

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un plancher bas sur terre-plein s'exprime en  $W/(m^2 \cdot K)$  et se calcule d'après les formules suivantes :

1. Plancher à isolation continue (cf. figure 9)

$$U_e = U_c \text{ (Formule 22) ;}$$

2. Plancher à isolation périphérique (cf. figure 10)

$$U_e = U_c + 2 \frac{\Delta \psi}{B'} \text{ (Formule 23) ;}$$

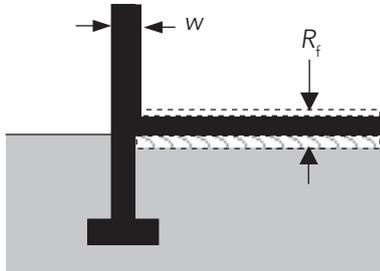


Figure 9

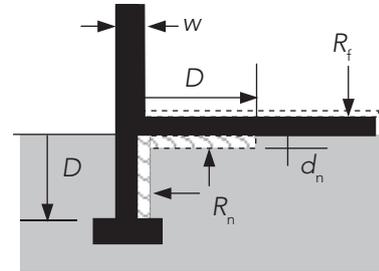


Figure 10

où

$U_c$  est le coefficient surfacique « équivalent » du plancher sans l'effet de l'isolation périphérique :

$$\text{Si } d_t < B', \quad U_c = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (\text{Formule 24});$$

$$\text{Si } d_t \geq B', \quad U_c = \frac{\lambda_s}{0,457B' + d_t} \quad (\text{Formule 25});$$

$\Delta\Psi$  est un terme correctif qui tient compte de la présence d'une isolation périphérique :

$$\text{horizontale,} \quad \Delta\Psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (\text{Formule 26});$$

$$\text{verticale,} \quad \Delta\Psi = -\frac{\lambda_s}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (\text{Formule 27});$$

où

$d'$  est l'épaisseur supplémentaire « équivalente » résultant de la couche d'isolant périphérique, elle s'exprime en mètre et se calcule d'après la formule suivante :

$$d' = \lambda_s R_n - d_n \quad (\text{Formule 28}).$$

#### 2.2.2.2 Planchers bas de sous-sol chauffé

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un plancher bas en sous-sol chauffé s'exprime en  $W/(m^2.K)$  et se calcule d'après les formules suivantes :

$$\text{Si } \left( d_t + \frac{z}{2} \right) < B', \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi B' + d_t + \frac{z}{2}} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t + \frac{z}{2}} + 1 \right) \quad (\text{Formule 29});$$

$$\text{Si } \left( d_t + \frac{z}{2} \right) \geq B', \quad U_e = \frac{\lambda_s}{0,457B' + d_t + \frac{z}{2}} \quad (\text{Formule 30}).$$

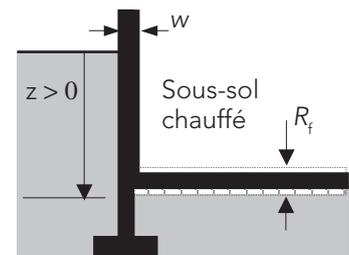


Figure 11

### 2.2.2.2.3 Planchers hauts enterrés

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un plancher haut enterré s'exprime en  $W/(m^2.K)$  et se calcule d'après la formule suivante :

$$U_e = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad (\text{Formule 31});$$

où

$\sum_i R_i$  est la somme des résistances thermiques de toutes les couches  $i$  comprises entre la face inférieure du plancher et la face supérieure du sol (cf. figure 12), déterminée selon les paragraphes 2.1.2 ou 2.1.3.

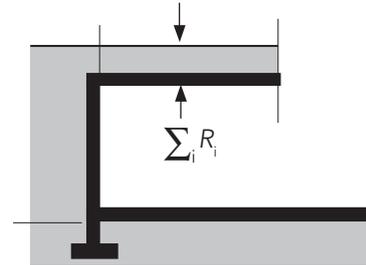


Figure 12

### 2.2.2.3 Murs enterrés

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un mur enterré s'exprime en  $W/(m^2.K)$  et se calcule d'après la formule suivante :

$$\text{si } d_w \geq d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (\text{Formule 32});$$

$$\text{si } d_w < d_t, \quad U_e = \frac{2\lambda_s}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5d_w}{d_w + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (\text{Formule 33}).$$

## 2.2.3 Parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé

Les déperditions à travers les parois donnant sur vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé ne dépendent pas uniquement des caractéristiques intrinsèques de la paroi, mais aussi du flux de chaleur à travers le sol et à travers l'espace non chauffé. Elles sont exprimées au moyen d'un coefficient surfacique « équivalent » dont la méthode de calcul est donnée ci-après (une méthode numérique alternative est décrite dans la norme NF EN 10211).

Des valeurs par défaut du coefficient surfacique équivalent  $U_e$  de planchers bas donnant sur vide sanitaire sont données au paragraphe 3.6.

### 2.2.3.1 Paramètres de calcul

Les paramètres de calcul donnés au paragraphe 2.2.2.1 et les paramètres suivants sont utilisés pour le calcul de  $U_e$ .

$d_g$  est l'épaisseur « équivalente » de toute isolation posée sur le sol, exprimée en mètres et calculée d'après la formule suivante :

$$d_g = w + \lambda_s (R_{si} + R_g + R_{se}) \quad (\text{Formule 34});$$

où

$R_g$  est la résistance thermique de toute isolation posée sur le sol, en  $m^2.K/W$ .

$U_f$  est le coefficient de transmission surfacique total du plancher bas donnant sur l'espace non chauffé, il tient compte de l'effet des liaisons intermédiaires du plancher (un exemple de calcul de  $U_f$  est donné au paragraphe 2.2.2.1) :

$$U_f = U_p + \frac{\sum_k \psi_k L_k}{A} \quad (\text{Formule 35});$$

où

$U_p$  est le coefficient surfacique du plancher bas exprimé en  $W/(m^2.K)$  et calculé selon le paragraphe 2.2.

- $\psi_k$  est le coefficient linéique de la liaison intermédiaire  $k$  du plancher bas, exprimé en  $W/(m.K)$  et déterminé selon le fascicule 5 (Ponts thermiques) ;
- $L_k$  est le linéaire de la liaison intermédiaire (cf. Définitions au *paragraphe 1.2*), en mètres ;
- $A$  est la surface intérieure du plancher bas, en  $m^2$ .
- $h$  est la hauteur moyenne de la face supérieure du plancher au-dessus du niveau du sol extérieur, en mètres.
- $z$  est la profondeur moyenne du sol du vide sanitaire au-dessus du niveau du sol extérieur, en mètres.
- $p$  est le périmètre du vide sanitaire ou du sous-sol non chauffé, en mètres.
- $U_w$  est le coefficient surfacique global du mur du vide sanitaire situé au-dessus du niveau du sol, exprimé en  $W/(m^2.K)$  et calculé selon le *paragraphe 2.2*.
- $\varepsilon$  est l'aire des ouvertures de ventilation divisée par le périmètre du vide sanitaire en  $m^2/m$ .
- $f_w$  est le facteur de protection contre le vent.
- $v$  est la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, en  $m/s$ .

En l'absence de valeur mesurée, prendre :  $v = 4 \text{ m/s}$ .

### 2.2.3 2 Planchers sur vide sanitaire

La méthode de calcul ci-dessous traite du cas classique de vide sanitaire dans lequel l'espace sous plancher est ventilé naturellement par l'extérieur. En cas de ventilation mécanique, ou si le taux de renouvellement d'air est spécifié, se reporter à la norme NF EN ISO 13370.

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un plancher donnant sur un vide sanitaire s'exprime en  $W/(m^2.K)$  et se calcule d'après la formule suivante :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (\text{Formule 36});$$

où

$U_f$  est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la *formule 35* et exprimé en  $W/(m^2.K)$  ;

$U_g$  est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en  $W/(m^2.K)$  :

si  $z \leq 0,5 \text{ m}$ ,  $U_g$  se calcule d'après la *formule 24* en remplaçant  $d_t$  par  $d_g$  ;

si  $z > 0,5 \text{ m}$ ,  $U_g = U_{bf} + \frac{zP}{A} U_{bw}$  (*Formule 37*) ;

où

$U_{bf}$  correspond aux déperditions par le sol du vide sanitaire et calculé d'après la *formule 29* en remplaçant  $d_t$  par  $d_g$  ;

$U_{bw}$  correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la *formule 32* ou la *formule 33* en remplaçant  $d_t$  par  $d_g$  ;

$U_x$  est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du vide sanitaire et aux déperditions par renouvellement d'air résultant de la ventilation du vide sanitaire, exprimé en  $W/(m^2.K)$  et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{1450\varepsilon v f_w}{B'} \quad (\text{Formule 38});$$

Si  $h$  varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne.

Des valeurs forfaitaires de  $f_w$  sont données dans le *tableau IX* :

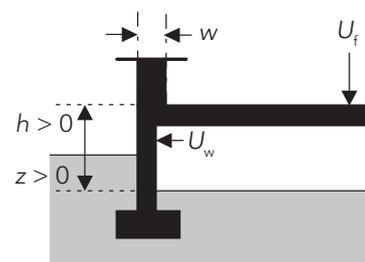


Figure 13

Tableau IX : Valeurs forfaitaires de  $f_w$ 

Situation	Exemple	$f_w$
Abritée	Centre ville	0,02
Moyenne	Banlieue	0,05
Exposée	Milieu rural	0,10

### 2.2.3.3 Planchers sur sous-sol non chauffé

Les formules indiquées dans ce paragraphe s'appliquent aux sous-sols non chauffés ventilés depuis l'extérieur.

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un plancher donnant sur un sous-sol non chauffé s'exprime en  $W/(m^2.K)$  et se calcule d'après la formule :

$$\frac{1}{U_e} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x};$$

où

$U_f$  est le coefficient de transmission surfacique global du plancher bas déterminé selon la formule 35 et exprimé en  $W/(m^2.K)$  ;

$U_g$  est le coefficient de transmission thermique correspondant au flux de chaleur à travers le sol, exprimé en  $W/(m^2.K)$  et calculé d'après la formule :

$$U_g = U_{bf} + \frac{z\rho}{A} U_{bw};$$

où

$U_{bf}$  correspond aux déperditions par le sol du sous-sol non chauffé et calculé d'après les formules 29 ou 30, en remplaçant  $d_t$  par  $d_g$  ;

$U_{bw}$  correspond aux déperditions à travers la partie enterrée du mur de soubassement et calculé d'après la formule 32 ou la formule 33, en remplaçant  $d_t$  par  $d_g$  ;

$U_x$  est un coefficient de transmission surfacique équivalent correspondant au flux de chaleur à travers les murs du sous-sol non chauffé et à celui résultant de la ventilation du sous-sol, exprimé en  $W/(m^2.K)$  et calculé d'après la formule suivante :

$$U_x = \frac{2hU_w}{B'} + \frac{0,33nV}{A} \quad (\text{Formule 39});$$

où

$V$  est le volume d'air du sous-sol, en  $m^3$  ;

$n$  est le taux de renouvellement d'air du sous-sol, en nombre de renouvellements d'air par heure.

Si  $h$  varie le long du périmètre du plancher, il convient d'utiliser sa valeur moyenne.

### 2.2.3.4 Murs

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'un mur donnant sur un vide sanitaire ou sur un sous-sol non chauffé peut être calculé d'après les formules 34 à 39 en remplaçant les caractéristiques thermiques du plancher par celles du mur.

$B'$  étant toujours la dimension caractéristique du plancher séparant l'espace non chauffé du sol.

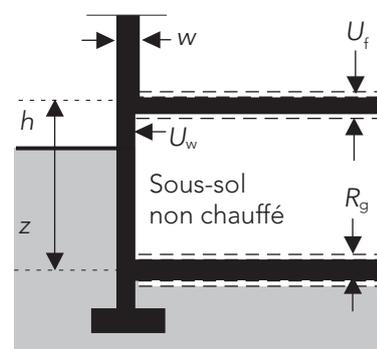


Figure 14

### 2.2.4 Parois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé

Le coefficient de transmission surfacique « équivalent »  $U_e$  d'une paroi dont la face froide est à la fois en contact avec le sol et donnant sur un volume non chauffé (local ou vide sanitaire) est calculé comme suit :

$$U_e = \frac{\sum U_{ei} A_i}{\sum A_i};$$

où

$U_{ei}$  est le coefficient de transmission équivalent de la paroi calculé comme si toute la paroi était en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire ;

$A_i$  est la superficie de la partie  $i$  de la paroi en contact avec le sol, ou donnant sur un local non chauffé ou donnant sur un vide sanitaire.

Exemple :

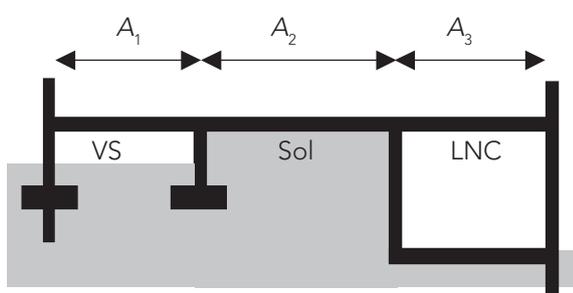


Figure 15

## 3. Valeurs par défaut

Ce chapitre contient des valeurs par défaut des coefficients de transmission, surfaciques ( $U$ ), linéiques ( $\psi$ ) et ponctuels ( $\chi$ ), de la résistance thermique ( $R$ ) des parois opaques ou des composants de parois opaques.

Ces valeurs ont été calculées conformément à la méthode de calcul donnée au *paragraphe 2* avec la prise en compte d'un facteur de sécurité par rapport aux valeurs pouvant être obtenues par un calcul précis.

Priment sur les valeurs par défaut données dans ce chapitre et dans l'ordre de priorité :

- les valeurs certifiées ;
- les valeurs données dans les documents d'Avis Techniques ;
- les valeurs calculées conformément aux méthodes de calcul données au *paragraphe 2* de ce fascicule ou pouvant figurer dans d'autres fascicules des règles Th-U.

### 3.1 Murs en maçonnerie courante ( $R$ )

L'ensemble des valeurs des résistances thermiques des murs, données dans ce chapitre tiennent compte à la fois de la maçonnerie et des joints de mortier, horizontaux et verticaux.

Ces valeurs sont valables pour des épaisseurs de joint comprises entre 1 et 2 cm et un mortier ayant une masse volumique de 1 800 à 2 000 kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.1.1 Éléments en briques et blocs de terre cuite

Les valeurs données ci-après ne sont valables que pour des maçonneries en terre cuite dont la masse volumique du tessou est comprise entre 1 800 et 1 900 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les masses volumiques situées en dehors de ces limites, un calcul spécifique doit être effectué selon la méthode donnée au *paragraphe 2*.

3.1.1.1 Briques de façades

3.1.1.1.1 Plaquettes de parement

Conformes à la norme NF P13-307.

Format courant : 2,5 × 6 × 22 cm.

Résistance thermique : 0,03 m<sup>2</sup>.K/W

3.1.1.1.2 Briques pleines

Conformes à la norme NF EN 771-1 COMPIL.

Format courant : 6 × 10,5 × 22 cm.

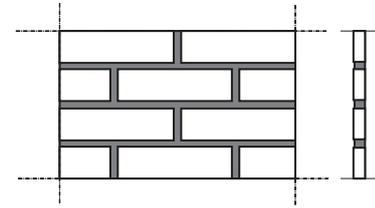
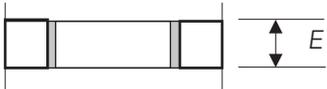
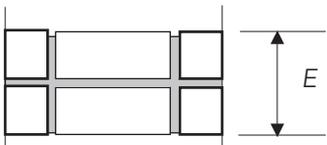
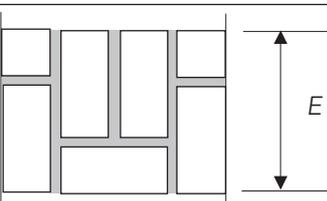
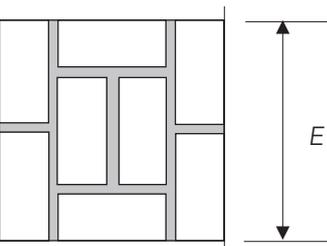


Figure 16 : Plaquettes de parement

Tableau X

Appareillage	Épaisseur <i>E</i> de l'élément en cm				
	6	10,5	22	33,5	45
	0,06	0,12			
			0,22		
				0,32	
					0,44

Résistance thermique de l'élément maçonné en m<sup>2</sup>.K/W

3.1.1.1.3 Briques perforées

Conformes à la norme NF EN 771-1 COMPIL.

Format courant : 6 × 10,5 × 22 cm.

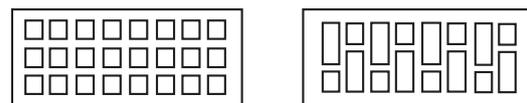
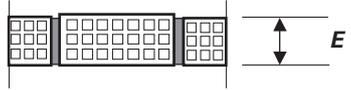
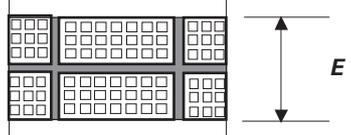
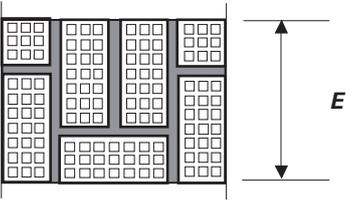
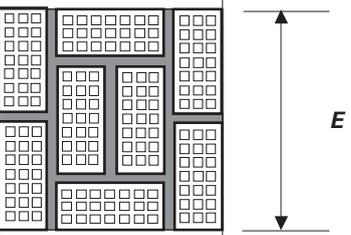


Figure 17 : Briques perforées

Tableau XI

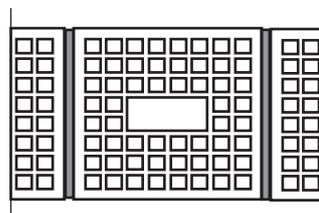
Appareillage	Épaisseur $E$ de l'élément en cm			
	10,5	22	33,5	45
	0,16			
		0,30		
			0,44	
				0,55

Résistance thermique de l'élément maçonné en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

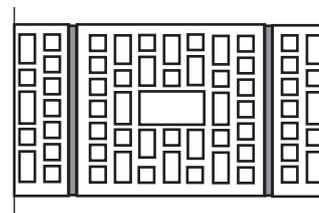
#### 3.1.1.1.4 Blocs perforés

Conformes à la norme NF EN 771-1 COMPIL.

Format courant :  $6 \times 22 \times 22$  cm.



8 rangées d'alvéoles :  
 $R = 0,38 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



7 rangées d'alvéoles :  
 $R = 0,33 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Figure 18 : Blocs perforés

### 3.1.1.2 Briques de structures

#### 3.1.1.2.1 Briques à perforations verticales

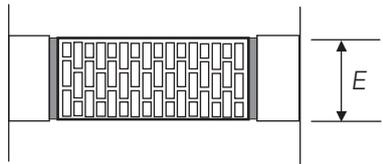
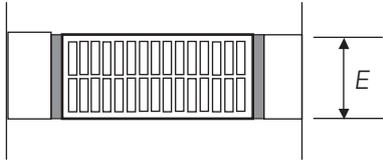
##### 3.1.1.2.1.1 Briques de faible épaisseur

Briques conformes à la NF EN 771-1 COMPIL.

Dimensions :

- hauteur de 15 à 25 cm ;
- épaisseur de 8 à 12 cm ;
- longueur de 25 à 50 cm.

Tableau XII

Briques	Épaisseur $E$ de l'élément en cm		
	8	10	12
	0,17	0,22	0,26
			

Résistance thermique  $R$  de l'élément maçonné en  $m^2.K/W$

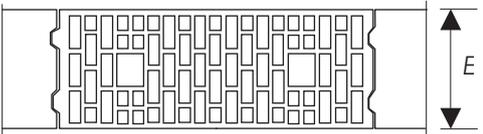
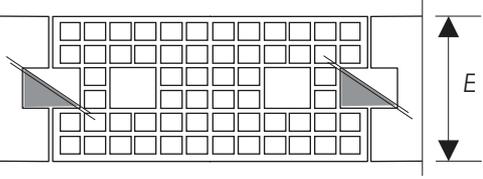
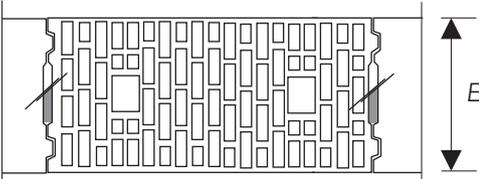
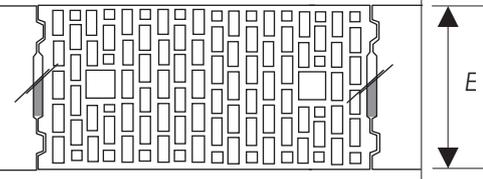
##### 3.1.1.2.1.2 Briques de format moyen

Briques conformes à la NF EN 771-1 COMPIL.

Dimensions :

- hauteur de 15 à 25 cm ;
- épaisseur de 15 à 25 cm ;
- longueur de 25 à 60 cm.

Tableau XIII

Briques	Épaisseur $E$ de l'élément en cm		
	15	20	25
	0,33		
		0,51 (0,47)	
		0,46 (0,42)	
			0,56 (0,52)

Note : les valeurs entre parenthèses correspondent à un joint vertical rempli de mortier (application parasismique).

Résistance thermique  $R$  de l'élément maçonné en  $m^2.K/W$

### 3.1.1.2.1.3 Briques à perforations verticales de forte épaisseur : monomur

Briques conformes à la NF EN 771-1 COMPIL ou titulaires d'un Avis Technique du CSTB.

Dimensions :

- hauteur de 20 à 25 cm ;
- épaisseur > 30 cm ;
- longueur de 25 à 60 cm.

Montages à joints horizontaux discontinus de mortiers traditionnels ou allégés ou mise en œuvre à joint mince au moyen de mortier colle (briques rectifiées).

Les résistances thermiques sont données dans les Avis Techniques et les certifications associées (Certification CSTBât et NF-Briques de terre cuite, option Th).

Les résistances thermiques des briques sans joint peuvent être données dans les certificats NF-Briques de terre cuite, option Th.

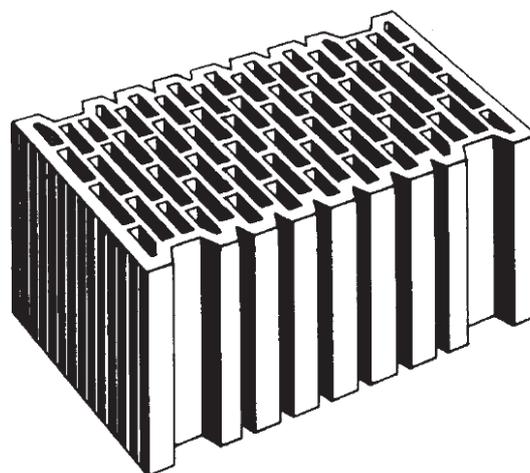


Figure 19

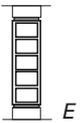
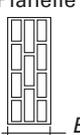
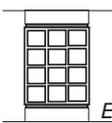
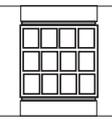
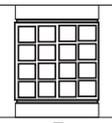
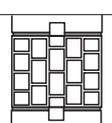
## 3.1.1.2.2 Briques à perforations horizontales

Briques conformes à la NF EN 771-1 COMPIL.

Dimensions :

- hauteur de 20 à 30 cm ;
- épaisseur de 3,5 à 30 cm ;
- longueur de 40 à 60 cm.

Tableau XIV : Résistance thermique  $R$  de l'élément maçonné en  $m^2.K/W$

Briques classiques	Épaisseur $E$ de l'élément en cm									
	3,5	4	5	7,5	10	15	20	22,5	25	27,0
 $E$	0,08	0,09	0,11							
 $E$			0,16	0,21	0,24					
Planelle  $E$			0,24							
 $E$						0,35				
 $E$							0,5 (0,45)			
 $E$							0,47 (0,44)			
 $E$							0,56	0,60	0,63	0,65

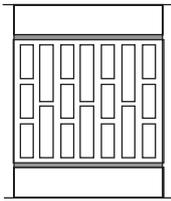
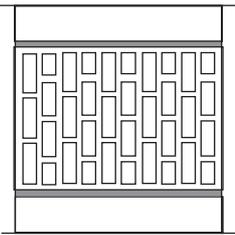
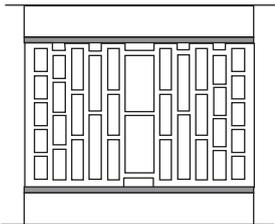
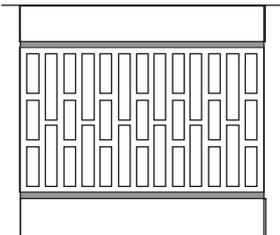
Note : les valeurs entre parenthèses correspondent à un joint vertical rempli de mortier.

Briques conformes à la NF EN 771-1 COMPIL.

Dimensions :

- hauteur de 20 à 30 cm ;
- épaisseur de 20 à 30 cm ;
- longueur de 40 à 60 cm.

Tableau XV

Briques de type G	Épaisseur $E$ de l'élément en cm		
	20	27	30
 $E$	0,67 (0,63)		
 $E$		0,84 (0,80)	
 $E$			0,86 (0,81)
 $E$			1,00 (0,95)

Note : les valeurs entre parenthèses correspondent à un joint vertical rempli de mortier (application parasismique).

Résistance thermique  $R$  de l'élément maçonné en  $m^2.K/W$

### 3.1.2 Blocs en béton

3.1.2.1 Blocs en béton de granulats courants, destinés à rester apparents et conformes à la norme NF EN 771-3 et répondant aux spécifications suivantes

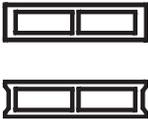
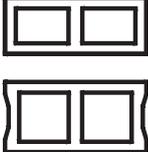
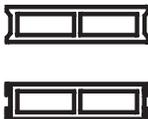
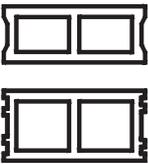
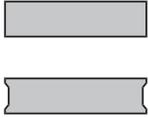
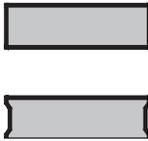
Masse volumique apparente du béton constitutif : 1 900 à 2 100 kg/m<sup>3</sup>.

Vides : 35 à 45 %.

Épaisseur des parois extérieures : 30 à 32 mm.

Épaisseur des parois intérieures : 30 mm environ.

Tableau XVI

Profil	Dimensions de coordination modulaire	Épaisseur (cm)	Hauteur (cm)	Longueur (cm)	Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)
Alvéoles borgnes 	10 x 20 x 40	9 ± 0,2	19	39 ± 0,2	0,09
Alvéoles borgnes 	15 x 20 x 40 20 x 20 x 40 20 x 20 x 50	14 ± 0,2 19 ± 0,2 19 ± 0,2	19 ± 0,15 19 ± 0,15 19 ± 0,15	39 ± 0,2 39 ± 0,2 49 ± 0,2	0,13 0,16 0,17
Alvéoles débouchants 	10 x 20 x 40	9 ± 0,2	19 ± 0,15	39 ± 0,2	0,12
Alvéoles débouchants 	15 x 20 x 40 20 x 20 x 40	14 ± 0,2 19 ± 0,2	19 ± 0,15 19 ± 0,15	39 ± 0,2 39 ± 0,2	0,17 0,20
Blocs pleins 	5 x 20 x 40	4 ± 0,2	19 ± 0,15	39 ± 0,2	0,03
	10 x 20 x 40	9 ± 0,2	19 ± 0,15	39 ± 0,2	0,06
	10 x 10 x 20 10 x 10 x 40 20 x 10 x 20 20 x 10 x 40	9 ± 0,2 9 ± 0,2 19 ± 0,2 19 ± 0,2	9 ± 0,15 9 ± 0,15 9 ± 0,15 9 ± 0,15	19 ± 0,2 39 ± 0,2 19 ± 0,2 39 ± 0,2	0,06 0,06 0,13 0,12

### 3.1.2.2 Blocs creux en béton de granulats courants conformes à la norme NF EN 771-3 et répondant aux spécifications suivantes

Masse volumique apparente du béton constitutif : 1 900 à 2 150 kg/m<sup>3</sup>.

Vides : 45 à 55 %.

Épaisseur des parois extérieures : 17 à 19 mm.

Épaisseur des parois intérieures : 17 mm environ.

Tableau XVII : Blocs creux

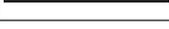
Bloc creux	Caractéristiques géométriques					Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	
	Profil	Dimensions de coordination modulaire	Épaisseur (cm)	Hauteur (cm)	Longueur (cm)		Nombre de rangées d'alvéoles
		5 x 20 x 50	5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	1	0,07
		7,5 x 20 x 50	7,5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	1	0,10
		10 x 20 x 50	10 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	1	0,12
		12,5 x 20 x 50	12,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	1	0,13
		15 x 20 x 50 15 x 25 x 50	15 ± 0,5 15 ± 0,5	19 ± 0,4 24 ± 0,4	49,4 ± 0,5 49,4 ± 0,5	1	0,14
		15 x 20 x 50 15 x 25 x 50	15 ± 0,5 15 ± 0,5	19 ± 0,4 24 ± 0,4	49,4 ± 0,5 49,4 ± 0,5	2 2	0,18
		17,5 x 20 x 50	17,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,21
		20 x 20 x 50 20 x 25 x 50	20 ± 0,5 20 ± 0,5	19 ± 0,4 24 ± 0,4	49,4 ± 0,5 49,4 ± 0,5	2 2	0,23 (0,21)
		20 x 20 x 50	20 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	3	0,29 (0,26)
		22,5 x 20 x 50	22,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,24
		25 x 20 x 50	25 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	3	0,32 (0,28)
		27,5 x 20 x 50	27,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	3	0,34 (0,30)

Note : les valeurs entre parenthèses correspondent à la résistance thermique avec joint central rempli de mortier (application parasismique).

### 3.1.2.3 Blocs pleins et pleins perforés en béton de granulats courants conformes à la norme NF EN 771-3 et répondant aux spécifications suivantes

Masse volumique apparente du béton constitutif : 1 900 à 2 150 kg/m<sup>3</sup>.

Tableau XVIII : Blocs pleins et perforés

Blocs pleins et perforés	Caractéristiques géométriques						Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)
	Profil	Dimensions de coordination modulaire	Épaisseur (cm)	Hauteur (cm)	Longueur (cm)	Diamètre maximal	
	5 x 20 x 40	5 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,03
	5 x 20 x 50	5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,03
	5 x 20 x 40	5 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	2	1	0,04
	5 x 20 x 50	5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	1	0,04
	7,5 x 20 x 40	7,5 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,05
	7,5 x 20 x 50	7,5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,05
	7,5 x 20 x 40	7,5 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	4	1	0,07
	7,5 x 20 x 50	7,5 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	4	1	0,07
	10 x 20 x 40	10 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,06
	10 x 20 x 50	10 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,06
	10 x 20 x 40	10 ± 0,4	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	3,5	2	0,11
	10 x 20 x 50	10 ± 0,4	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	3,5	2	0,11
	12,5 x 20 x 40	12,5 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,08
	12,5 x 20 x 50	12,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,08
	12,5 x 20 x 40	12,5 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	4	2	0,13
	12,5 x 20 x 50	12,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	4	2	0,13
	15 x 20 x 40	15 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,09
	15 x 20 x 50	15 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,09
	15 x 20 x 40	15 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	4	3	0,15
	15 x 20 x 50	15 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	4	3	0,15
	17,5 x 20 x 40	17,5 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,11
	17,5 x 20 x 50	17,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,11
	17,5 x 20 x 40	17,5 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	4	3	0,18
	17,5 x 20 x 50	17,5 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	4	3	0,18
	20 x 20 x 40	20 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	-	-	0,12
	20 x 20 x 50	20 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	-	-	0,12
	20 x 20 x 40	20 ± 0,5	19 ± 0,4	39,4 ± 0,5	4	3	0,20
	20 x 20 x 50	20 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	4	3	0,20

### 3.1.2.4 Blocs creux en béton de granulats légers (argile expansée ou schiste expansé) conformes à la norme NF EN 771-3 et répondant aux spécifications suivantes

Masse volumique apparente du béton constitutif : 1 000 à 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

Vides : 45 à 55 %.

Épaisseur des parois extérieures : supérieure à 20 mm.

Épaisseur des parois intérieures : 15 à 20 mm.

Tableau XIX : Blocs creux

Blocs creux	Caractéristiques géométriques					Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	
	Profil	Dimensions de coordination modulaire	Épaisseur (cm)	Hauteur (cm)	Longueur (cm)		Nombre de rangées d'alvéoles
		10 x 30 x 50	10 ± 0,4	29 ± 0,4	49,4 ± 0,5	1	0,21
		15 x 30 x 50	15 ± 0,5	29 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,32
		17,5 x 25 x 50	17,5 ± 0,5	24 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,37
		17,5 x 30 x 50	17,5 ± 0,5	29 ± 0,4	49,4 ± 0,5		
		20 x 20 x 50	20 ± 0,5	19 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,38
		20 x 30 x 50	20 ± 0,5	29 ± 0,4	49,4 ± 0,5		
		22,5 x 30 x 50	22,5 ± 0,5	29 ± 0,4	49,4 ± 0,5	2	0,40

### 3.1.2.5 Blocs perforés en béton de granulats légers (argile expansée ou schiste expansé) conformes à la norme NF EN 771-3 et répondant aux spécifications suivantes

Masse volumique apparente du béton constitutif : 600 à 1 200 kg/m<sup>3</sup>.

Vides : 35 à 45 %.

Tableau XX : Blocs pleins et perforés

Blocs pleins et perforés	Caractéristiques géométriques				Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)	
	Profil	Dimensions de coordination modulaire	Épaisseur (cm)	Hauteur (cm)		Longueur (cm)
		5 x 22,5 x 50	5 ± 0,4	21,5 ± 0,4	49,4 ± 0,5	0,11
		15 x 33 x 60	15 ± 0,5	32 ± 0,4	59,4 ± 0,5	0,33
		20 x 33 x 60	20 ± 0,5	32 ± 0,4	59,4 ± 0,5	
		25 x 33 x 60	25 ± 0,5	32 ± 0,4	59,4 ± 0,5	0,55

## 3.2 Murs en béton cellulaire ( $R$ , $U_p$ )

Priment sur les valeurs données ci-après les valeurs données dans les Avis Techniques ou figurant dans les certificats CSTBât ou NF blocs de béton cellulaire.

Les valeurs de résistance thermique  $R$  et le coefficient de transmission surfacique  $U$  ne sont valables que pour des blocs de béton cellulaire autoclavé conformes à la norme NF EN 771-4 et son complément national et ont été établies suivant les valeurs de conductivité thermique des bétons cellulaires traités à l'autoclave du *paragraphe 2.2.5* du fascicule 2 (Matériaux).

### 3.2.1 Résistance thermique des murs en béton cellulaire.

L'épaisseur des joints maçonnés est supposée comprise entre 1 et 2 cm, pour ce qui concerne les joints collés l'épaisseur est de 2,5 mm. La hauteur des blocs est supposée égale à 25 cm et la longueur égale à 62,5 cm. Les résistances thermiques ci-dessous sont valables pour des éléments dont l'épaisseur diffère au maximum de 1 cm de celle indiquée, en plus ou en moins.

#### ■ Valeurs pour la RT 2005

Tableau XXI : Blocs maçonnés

Masse volumique nominale ( $\text{kg/m}^3$ )	Épaisseur des blocs, en cm									
	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
400	0,75	0,88	1,01	1,13	1,26	1,38	1,51	1,63	1,76	1,89
450	0,70	0,82	0,94	1,06	1,17	1,29	1,41	1,53	1,64	1,76
500	0,66	0,77	0,88	0,99	1,10	1,21	1,32	1,43	1,54	1,65
550	0,62	0,73	0,83	0,93	1,04	1,14	1,24	1,35	1,45	1,55
600	0,58	0,67	0,77	0,86	0,96	1,06	1,15	1,25	1,34	1,44
650	0,54	0,63	0,72	0,81	0,90	0,99	1,07	1,16	1,25	1,34
700	0,50	0,59	0,67	0,75	0,84	0,92	1,01	1,09	1,17	1,26
750	0,47	0,55	0,63	0,71	0,79	0,87	0,95	1,02	1,10	1,18
800	0,45	0,52	0,60	0,67	0,74	0,82	0,89	0,97	1,04	1,12

Résistance thermique  $R$  des murs en béton cellulaire en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

Tableau XXII : Blocs « collés »

Masse volumique nominale ( $\text{kg/m}^3$ )	Épaisseur des blocs, en cm									
	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	32,5	35	37,5
400	0,94	1,10	1,26	1,42	1,57	1,73	1,89	2,05	2,20	2,36
450	0,86	1,01	1,15	1,30	1,44	1,58	1,73	1,87	2,01	2,16
500	0,80	0,93	1,06	1,19	1,33	1,46	1,59	1,72	1,86	1,99
550	0,74	0,86	0,98	1,11	1,23	1,35	1,48	1,60	1,72	1,84
600	0,67	0,80	0,90	1,01	1,12	1,23	1,35	1,46	1,57	1,68
650	0,62	0,72	0,82	0,93	1,03	1,13	1,24	1,34	1,44	1,54
700	0,57	0,67	0,76	0,86	0,95	1,05	1,14	1,24	1,33	1,43
750	0,53	0,62	0,71	0,80	0,89	0,98	1,06	1,15	1,24	1,33
800	0,50	0,58	0,66	0,75	0,83	0,91	0,99	1,08	1,16	1,24

Résistance thermique  $R$  des murs en béton cellulaire en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

### ■ Valeurs pour la RT 2012

Tableau XXIII : Maçonnerie montée à joints minces ou collés

Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur des blocs, en cm									
	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30	36,5	40	50
350	1,28	1,50	1,71	1,93	2,14	2,35	2,57	3,12	3,42	4,28
400	1,14	1,33	1,52	1,71	1,90	2,09	2,28	2,77	3,04	3,80
450	1,02	1,19	1,36	1,54	1,71	1,88	2,05	2,49	2,73	3,41
500	0,90	1,05	1,20	1,35	1,50	1,65	1,80	2,19	2,40	3,01
550	0,81	0,94	1,07	1,21	1,34	1,48	1,61	1,96	2,15	2,69
600	0,73	0,85	0,97	1,09	1,21	1,34	1,46	1,77	1,94	2,43
700	0,65	0,76	0,87	0,98	1,08	1,19	1,30	1,58	1,73	2,17
800	0,59	0,69	0,78	0,88	0,98	1,08	1,17	1,43	1,57	1,96

Résistance thermique  $R$  des murs en béton cellulaire en m<sup>2</sup>.K/W

### 3.2.2 Coefficient de transmission surfacique des murs en béton cellulaire

Les coefficients de transmission thermique donnés dans le tableau suivant sont calculés pour des parois finies comportant :

- un enduit intérieur en plâtre de 1 à 1,5 cm d'épaisseur ;
- un enduit extérieur en mortier bâtard de 1 à 1,5 cm d'épaisseur.

Ceci conduit à calculer le coefficient de transmission thermique par la formule :

$$\frac{1}{U_p} = R + 0,22.$$

### ■ Valeurs pour la RT 2005

Tableau XXIV : Blocs maçonnés

Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur du mur fini enduit deux faces (et épaisseurs des blocs) en cm									
	17,5 (15)	20 (17,5)	22,5 (20)	25 (22,5)	27,5 (25)	30 (27,5)	32,5 (30)	35 (32,5)	37,5 (35)	40 (37,5)
400	1,04	0,92	0,82	0,75	0,68	0,63	0,58	0,54	0,51	0,48
450	1,09	0,97	0,87	0,79	0,72	0,67	0,62	0,58	0,54	0,51
500	1,15	1,02	0,92	0,83	0,76	0,70	0,65	0,61	0,57	0,54
550	1,20	1,07	0,96	0,88	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60	0,57
600	1,27	1,13	1,02	0,93	0,86	0,79	0,73	0,69	0,64	0,61
650	1,34	1,20	1,08	0,99	0,91	0,84	0,78	0,73	0,68	0,64
700	1,40	1,26	1,14	1,04	0,95	0,88	0,82	0,77	0,72	0,68
750	1,46	1,31	1,19	1,09	1,00	0,93	0,87	0,81	0,76	0,72
800	1,52	1,37	1,24	1,14	1,05	0,97	0,91	0,85	0,80	0,75

Coefficient de transmission surfacique des murs en béton cellulaire en m<sup>2</sup>.K/W

Tableau XXV : Blocs « collés »

Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur du mur fini enduit deux faces (et épaisseurs des blocs) en cm									
	17,5 (15)	20 (17,5)	22,5 (20)	25 (22,5)	27,5 (25)	30 (27,5)	32,5 (30)	35 (32,5)	37,5 (35)	40 (37,5)
400	0,87	0,76	0,68	0,62	0,56	0,52	0,48	0,44	0,41	0,39
450	0,93	0,82	0,74	0,66	0,61	0,56	0,52	0,48	0,45	0,42
500	0,99	0,88	0,79	0,71	0,65	0,60	0,56	0,52	0,48	0,45
550	1,06	0,93	0,84	0,76	0,70	0,64	0,59	0,55	0,52	0,49
600	1,13	1,01	0,90	0,82	0,75	0,69	0,64	0,60	0,56	0,53
650	1,21	1,07	0,97	0,88	0,81	0,75	0,69	0,65	0,61	0,57
700	1,28	1,14	1,03	0,94	0,86	0,80	0,74	0,69	0,65	0,61
750	1,35	1,21	1,09	0,99	0,91	0,84	0,79	0,73	0,69	0,65
800	1,42	1,27	1,15	1,05	0,96	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69

Coefficient de transmission surfacique des murs en béton cellulaire en m<sup>2</sup>.K/W

### ■ Valeurs pour la RT 2012

Tableau XXVI : Blocs « collés »

Masse volumique nominale (kg/m <sup>3</sup> )	Épaisseur du mur fini enduit deux faces (et épaisseurs des blocs) en cm									
	17,5 (15)	20 (17,5)	22,5 (20)	25 (22,5)	27,5 (25)	30 (27,5)	32,5 (30)	39 (36,5)	42,5 (40)	52,5 (50)
350	0,67	0,58	0,52	0,47	0,42	0,39	0,36	0,30	0,27	0,22
400	0,74	0,65	0,57	0,52	0,47	0,43	0,40	0,33	0,31	0,25
450	0,81	0,71	0,63	0,57	0,52	0,48	0,44	0,37	0,34	0,28
500	0,89	0,79	0,70	0,64	0,58	0,53	0,50	0,41	0,38	0,31
550	0,97	0,86	0,78	0,70	0,64	0,59	0,55	0,46	0,42	0,34
600	1,05	0,93	0,84	0,76	0,70	0,64	0,60	0,50	0,46	0,38
700	1,15	1,02	0,92	0,83	0,77	0,71	0,66	0,56	0,51	0,42
800	1,23	1,10	1,00	0,91	0,83	0,77	0,72	0,61	0,56	0,46

Coefficient de transmission surfacique des murs en béton cellulaire en m<sup>2</sup>.K/W

### 3.3 Planchers à entrevous béton ou terre cuite (R)

Les résistances thermiques des planchers sont données ci-après.

#### 3.3.1 Planchers à entrevous en terre cuite

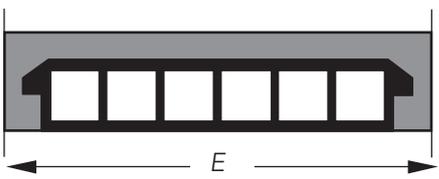
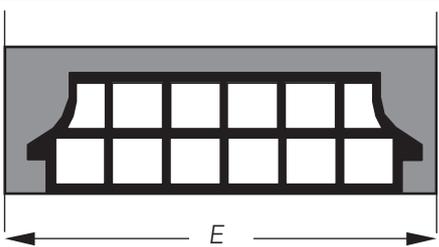
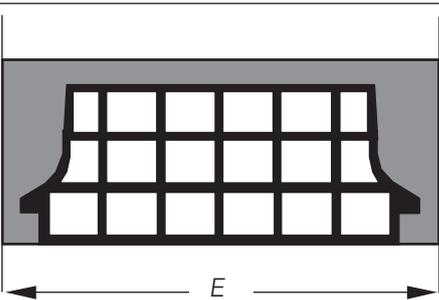
Épaisseur des cloisons : 8 à 10 cm.

Masse volumique du tesson 1 800 à 1 900 kg/m<sup>3</sup>.

Pour les masses volumiques situées en dehors de ces limites, un calcul spécifique doit être effectué selon la méthode donnée au chapitre 2.

##### 3.3.1.1 Planchers sans dalle de compression ou avec une dalle de compression en béton de granulats lourds

Tableau XXVII

Coupe du plancher entre poutrelles	Entraxe des poutrelles <i>E</i> en cm	Hauteur des entrevous en cm				
		8	12	16	20	25
	$50 \leq E \leq 60$ $60 < E \leq 70$	0,16 0,17	0,19 0,20			
	$50 \leq E \leq 60$ $60 < E \leq 70$		0,22 0,24	0,26 0,28	0,29 0,31	0,33 0,35
	$50 \leq E \leq 60$ $60 < E \leq 70$			0,28 0,30	0,31 0,33	0,35 0,37

Résistance thermique *R* du plancher en m<sup>2</sup>.K/W

##### 3.3.1.2 Planchers avec dalle de compression en béton d'argile expansé ou de schiste expansé

Masse volumique du béton d'argile expansé ou de schiste expansé, comprise entre 1 400 et 1 800 kg/m<sup>3</sup>.

Épaisseur de la dalle de compression  $\geq 4$  cm.

La résistance thermique de ces planchers est égale à celle du tableau précédent, majorée de 0,03 m<sup>2</sup>.K/W.

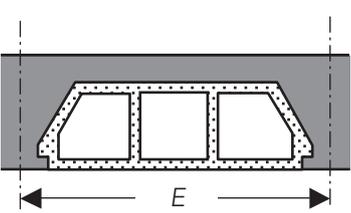
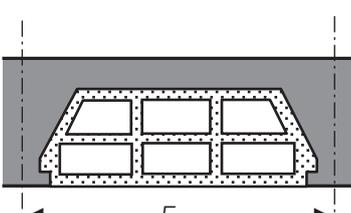
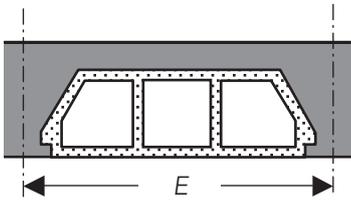
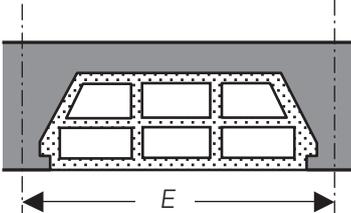
### 3.3.2 Planchers à entrevous en béton

#### 3.3.2.1 Planchers à entrevous en béton de granulats courants conformes à la norme NF EN 15037-2 (pr A1)

Les caractéristiques des entrevous en béton de granulats courants visés ici sont les suivantes :

- épaisseur des cloisons (sauf paroi supérieure) : 15 à 25 mm ;
- masse volumique du béton : 1 800 à 2 200 kg/m<sup>3</sup> ;
- entrevous de forme trapézoïdale ou rectangulaire.

Tableau XXVIII : Résistance thermique  $R$  du plancher en m<sup>2</sup>.K/W

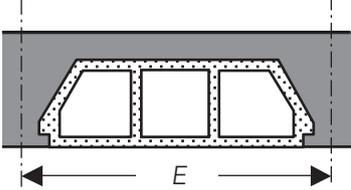
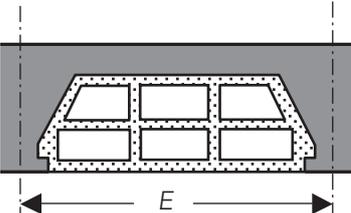
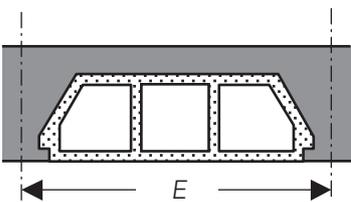
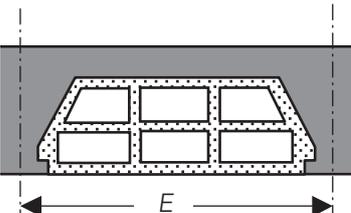
Coupe du plancher entre poutrelles	Entraxe des poutrelles ( $E$ ) en cm	Hauteur des entrevous en cm					
		8	12	16	20	25	30
<b>Planchers sans dalle de compression ou avec dalle de compression en béton de granulats lourds</b>							
	$50 < E \leq 60$	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22
	$60 < E \leq 70$	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23
	$50 < E \leq 60$				0,22	0,26	0,30
	$60 < E \leq 70$				0,23	0,27	0,31
<b>Planchers avec dalle de compression en béton d'argile expansé ou de schiste expansé de masse volumique comprise entre 1 400 et 1 800 kg/m<sup>3</sup>. Son épaisseur est égale à 5 cm</b>							
	$50 < E \leq 60$	0,19	0,21	0,23	0,27	0,28	0,30
	$60 < E \leq 70$	0,20	0,22	0,24	0,26	0,29	0,31
	$50 < E \leq 60$				0,31	0,35	0,38
	$60 < E \leq 70$				0,32	0,36	0,40

### 3.3.2.2 Planchers à entrevous en béton d'argile expansé ou de schiste expansé conformes à la norme NF EN 15037-2

Les caractéristiques des entrevous en béton d'argile expansé ou de schiste expansé, visés ici sont les suivantes :

- épaisseur des cloisons : 15 à 30 mm ;
- masse volumique du béton : 900 à 1 200 kg/m<sup>3</sup> ;
- entrevous de forme trapézoïdale ou rectangulaire.

Tableau XXIX : Résistance thermique  $R$  du plancher en m<sup>2</sup>.K/W

Coupe du plancher entre poutrelles	Entraxe des poutrelles ( $E$ ) en cm	Hauteur des entrevous en cm					
		8	12	16	20	25	30
<b>Planchers sans dalle de compression ou avec dalle de compression en béton de granulats lourds</b>							
	$50 < E \leq 60$	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31
	$60 < E \leq 70$	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
	$50 < E \leq 60$				0,34	0,37	0,40
	$60 < E \leq 70$				0,35	0,38	0,41
<b>Planchers avec dalle de compression en béton d'argile expansé ou de schiste expansé de masse volumique comprise entre 1 400 et 1 800 kg/m<sup>3</sup>. Son épaisseur est égale à 5 cm</b>							
	$50 < E \leq 60$	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
	$60 < E \leq 70$	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40
	$50 < E \leq 60$				0,43	0,46	0,49
	$60 < E \leq 70$				0,45	0,48	0,51

### 3.4 Planchers à entrevous polystyrène (R)

La résistance thermique à prendre en compte pour les planchers à entrevous en PSE, obtenue par calcul selon la norme NF EN ISO 6946, est celle figurant dans les tableaux suivants. Cette résistance thermique correspond uniquement à des planchers vérifiant les caractéristiques dimensionnelles des figures 20 et 21 (cotes en mm) et les spécifications ci-après.

Toutefois, pour les entrevous en PSE bénéficiant d'un certificat CSTBât entrevous en PSE, la résistance thermique des planchers à prendre en compte est celle figurant dans le certificat.

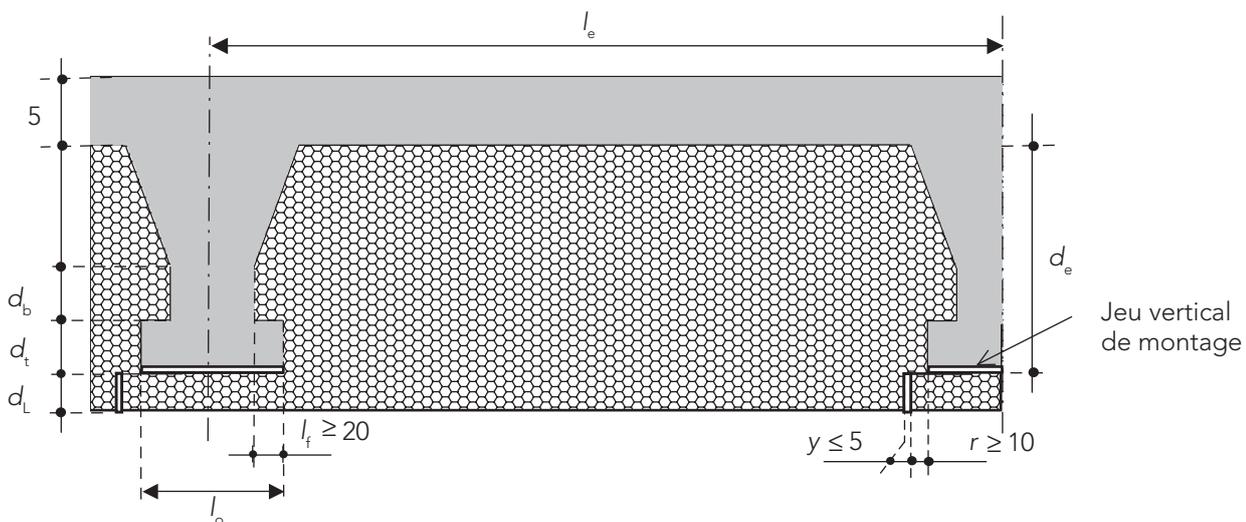


Figure 20 : Entrevous à fond plat

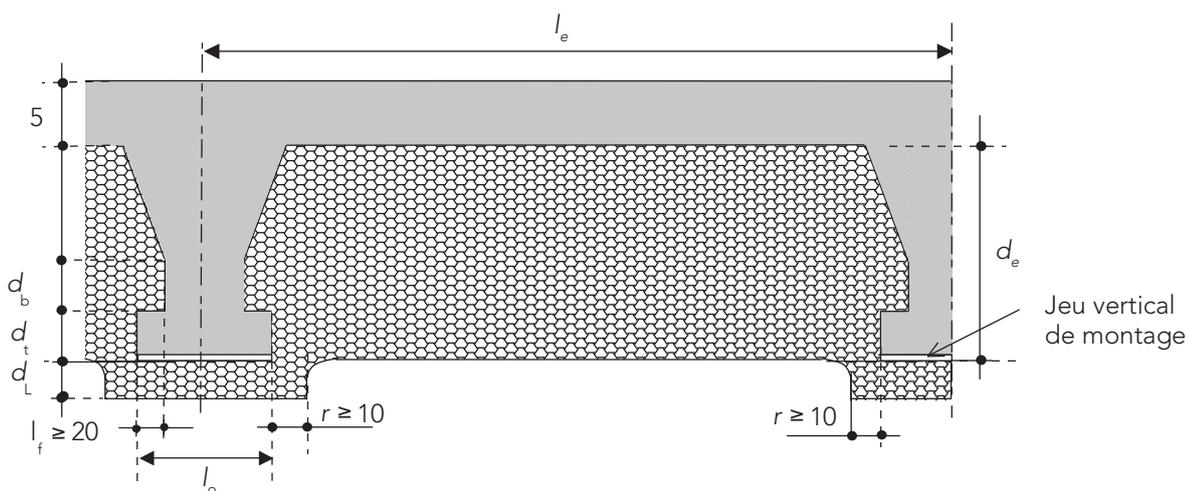


Figure 21 : Entrevous à fond décaissé

Ces montages doivent vérifier les conditions suivantes :

- pour une hauteur de talon de poutrelle  $d_t = 35$  mm, la largeur  $l_o$  du talon vérifie  $95 \leq l_o \leq 125$  mm, (entrevous à languettes : les valeurs par défaut sont valables pour  $35 \leq d_t \leq 40$  mm. Pour les entrevous sans languette, la résistance thermique du plancher correspond à  $35 \leq d_t \leq 45$  mm peut être obtenue par interpolation linéaire) ;
- pour une hauteur de talon  $d_t = 45$  mm, la largeur  $l_o$  du talon vérifie  $125 < l_o \leq 140$  mm.

La résistance thermique des montages de plancher est valable pour les conductivités thermiques utiles des matériaux données dans le fascicule Matériaux des règles Th-U et dans le *paragraphe 1.3.1* du présent fascicule, pour le béton plein et le PSE :

- entrevous découpés :
  - entrevous dérogation couture : la conductivité thermique utile du PSE doit être inférieure ou égale à  $0,043 \text{ W}/(\text{m.K})$  ;
  - entrevous rectangulaires chanfreinés : la conductivité thermique utile du PSE doit être inférieure ou égale à  $0,045 \text{ W}/(\text{m.K})$  ;
- entrevous moulés : la conductivité thermique utile du PSE doit être inférieure ou égale à  $0,039 \text{ MW}/(\text{m.K})$ .

**Pour un jeu vertical supérieur de 5 mm, on retirera aux valeurs de résistance thermique des tableaux la valeur de  $0,35 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .**

La résistance thermique des montages de plancher est donnée en fonction :

- du type d'entrevous :
  - découpé dans des blocs de PSE moulés ;
  - moulé à l'unité ;
- du profil des poutrelles : la résistance thermique est déterminée pour deux types d'entrevous :
  - **entrevous type « dérogation couture »**, conformément au CPT « Planchers », les caractéristiques dimensionnelles des montages de planchers réalisés avec ce type d'entrevous figurent sur la *figure* suivante :

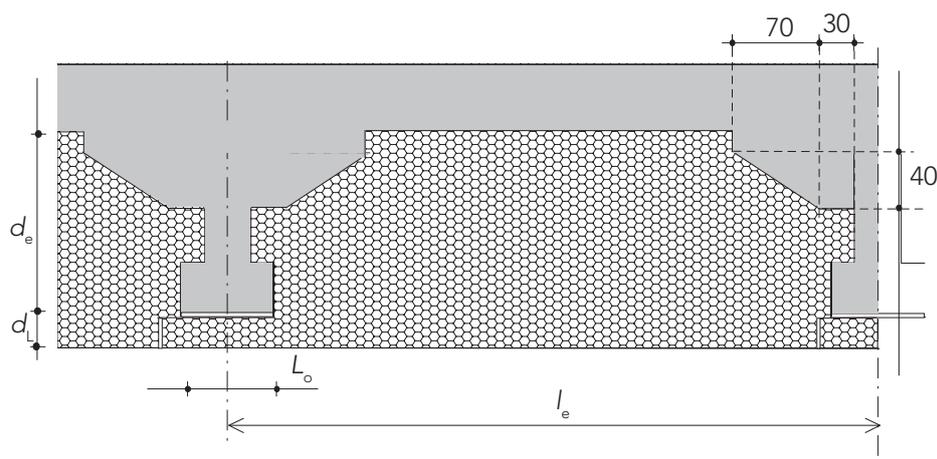


Figure 22

- **entrevous rectangulaires chanfreinés** : la résistance thermique des montages de planchers donnée pour les entrevous rectangulaires chanfreinés est valable pour les entrevous rectangulaires ( $\theta = 0$ ), rectangulaires chanfreinés de  $\theta = 0$  à  $45^\circ$  à l'exception des entrevous dérogation couture :

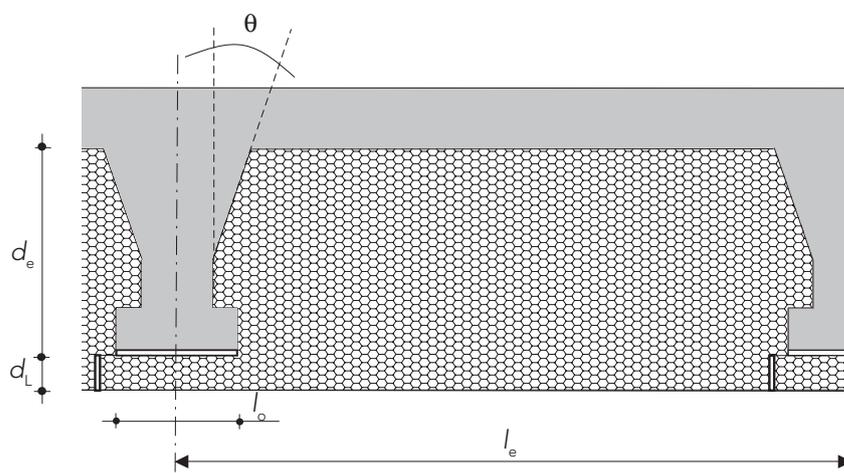


Figure 23

- de l'entraxe des poutrelles  $l_e$  ;
- de la hauteur du corps de l'entrevous  $d_e$  ;
- de l'épaisseur de la languette  $d_L$  ;
- de la largeur  $l_o$  du talon de la poutrelle.

*Nota : pour tous les types d'entrevous, des valeurs de résistance thermique pour des hauteurs d'entrevous intermédiaires et/ou des épaisseurs de languette intermédiaires peuvent être obtenues avec suffisamment d'exactitude par interpolation linéaire.*

### 3.4.1 Entrevous découpés

#### 3.4.1.1 Entrevous sans languette

La résistance thermique de ces montages de plancher est donnée dans les tableaux suivants en fonction du profil des poutrelles.

##### 3.4.1.1.1 Entrevous type « dérogation couture »

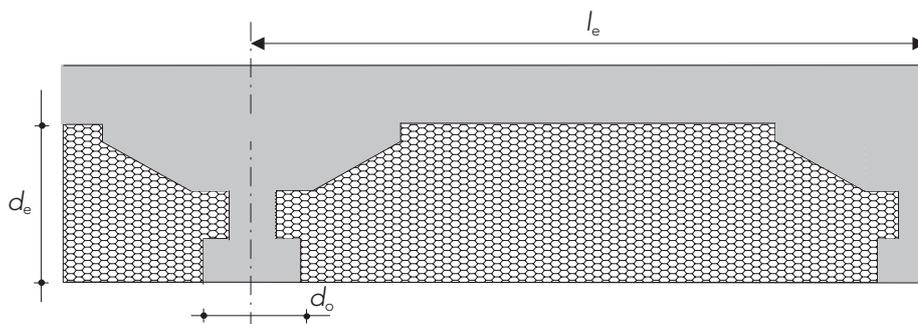


Figure 24

Tableau XXX : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$

Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)		
		$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
120	$95 \leq l_o \leq 125$	0,48	0,52	0,55
	$125 < l_o \leq 140$	0,43	0,47	0,50
150	$95 \leq l_o \leq 125$	0,51	0,55	0,58
	$125 < l_o \leq 140$	0,45	0,50	0,52
170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,52	0,57	0,60
	$125 < l_o \leq 140$	0,47	0,51	0,54
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	0,55	0,61	0,64
	$125 < l_o \leq 140$	0,49	0,54	0,57

## 3.4.1.2 Entrevous rectangulaires chanfreinés

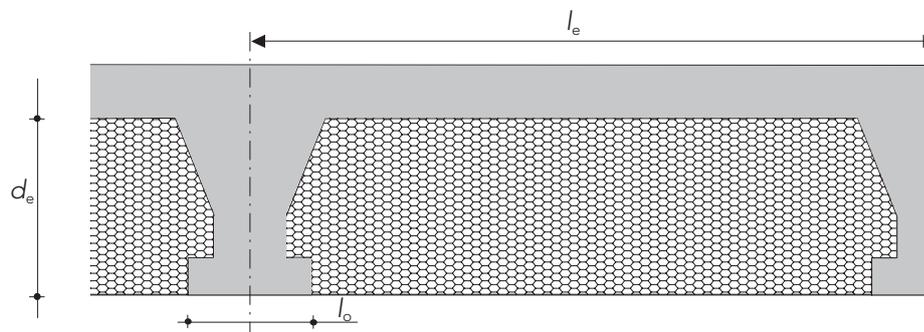


Figure 25

Tableau XXXI : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)		
		$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
120	$95 \leq l_o \leq 125$	0,54	0,58	0,61
	$125 < l_o \leq 140$	0,47	0,51	0,54
150	$95 \leq l_o \leq 125$	0,60	0,65	0,68
	$125 < l_o \leq 140$	0,52	0,57	0,60
170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,63	0,69	0,72
	$125 < l_o \leq 140$	0,55	0,60	0,64
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	0,68	0,74	0,77
	$125 < l_o \leq 140$	0,59	0,65	0,68

## 3.4.1.2 Entrevous à languette

La résistance thermique de ces montages de plancher est donnée dans les tableaux suivants pour les entrevous à fond plat et à fond décaissé.

## 3.4.1.2.1 Entrevous à fond plat

## 3.4.1.2.1.1 Entrevous type « dérogation couture »

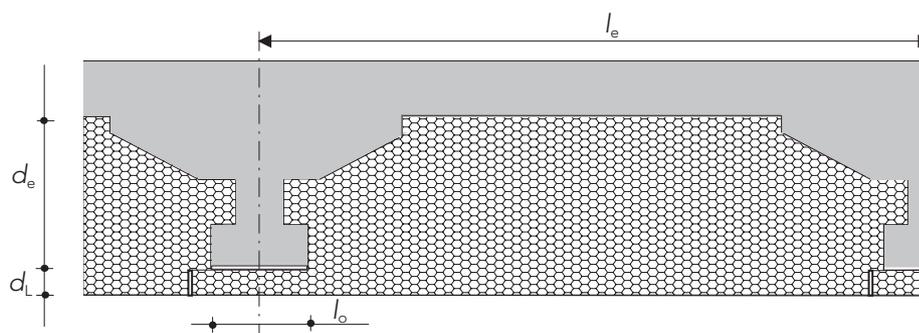


Figure 26

Tableau XXXII : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,84	1,91	1,96
		$125 < l_o \leq 140$	1,75	1,83	1,87
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,91	2,00	2,05
		$125 < l_o \leq 140$	1,81	1,91	1,96
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,94	2,05	2,10
		$125 < l_o \leq 140$	1,85	1,95	2,00
	200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,99	2,10	2,16
		$125 < l_o \leq 140$	1,85	2,00	2,06
40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,09	2,18	2,22
		$125 < l_o \leq 140$	2,01	2,09	2,14
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,17	2,27	2,33
		$125 < l_o \leq 140$	2,08	2,18	2,24
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,21	2,32	2,38
		$125 < l_o \leq 140$	2,11	2,22	2,28
	200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,30	2,38	2,44
		$125 < l_o \leq 140$	2,16	2,27	2,34
50	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,35	2,43	2,48
		$125 < l_o \leq 140$	2,27	2,35	2,40
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,43	2,54	2,60
		$125 < l_o \leq 140$	2,34	2,45	2,51
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,47	2,59	2,65
		$125 < l_o \leq 140$	2,38	2,49	2,55
	200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,68	2,65	2,72
		$125 < l_o \leq 140$	2,42	2,55	2,62
60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,58	2,68	2,72
		$125 < l_o \leq 140$	2,51	2,59	2,65
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,67	2,78	2,84
		$125 < l_o \leq 140$	2,58	2,69	2,90
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,72	2,83	2,90
		$125 < l_o \leq 140$	2,62	2,74	2,80
	200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,76	2,90	2,97
		$125 < l_o \leq 140$	2,66	2,80	2,87

## 3.4.1.2.1.2 Entreeux rectangulaires chanfreinés

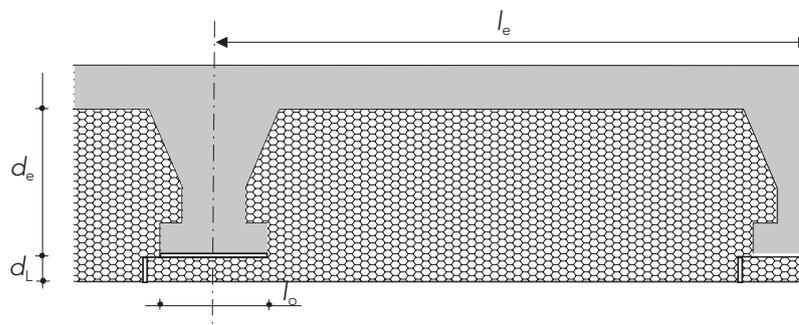


Figure 27

Tableau XXXIII : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entreeux $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,82	1,90	1,94
		$125 < l_o \leq 140$	1,72	1,80	1,84
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,94	2,03	2,08
		$125 < l_o \leq 140$	1,82	1,89	1,93
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,00	2,11	2,16
		$125 < l_o \leq 140$	1,88	1,98	2,04
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,08	2,19	2,26	
	$125 < l_o \leq 140$	1,95	2,06	2,12	
40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,07	2,15	2,19
		$125 < l_o \leq 140$	1,97	2,05	2,09
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,20	2,29	2,34
		$125 < l_o \leq 140$	2,08	2,17	2,21
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,26	2,37	2,43
		$125 < l_o \leq 140$	2,14	2,24	2,30
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,35	2,46	2,53	
	$125 < l_o \leq 140$	2,21	2,33	2,39	
50	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,32	2,40	2,44
		$125 < l_o \leq 140$	2,22	2,30	2,35
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,45	2,55	2,60
		$125 < l_o \leq 140$	2,33	2,43	2,49
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,51	2,62	2,69
		$125 < l_o \leq 140$	2,39	2,50	2,57
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,60	2,73	2,80	
	$125 < l_o \leq 140$	2,47	2,59	2,66	
60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	2,55	2,63	2,67
		$125 < l_o \leq 140$	2,45	2,53	2,58
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	2,69	2,78	2,83
		$125 < l_o \leq 140$	2,57	2,67	2,73
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,75	2,86	2,92
		$125 < l_o \leq 140$	2,63	2,74	2,80
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	2,85	2,97	3,04	
	$125 < l_o \leq 140$	2,71	2,84	2,91	

### 3.4.1.2.2 Entrevous à fond décaissé

Les valeurs de résistance thermique des tableaux suivants sont valables quelle que soit la profondeur de décaissement (restant inférieure à l'épaisseur de la languette).

#### 3.4.1.2.2.1 Entrevous type « dérogation couture »

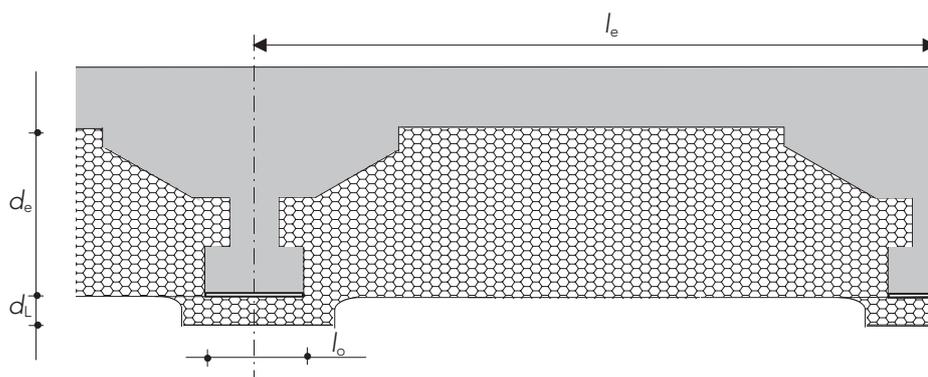


Figure 28

Tableau XXXIV : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30 à 40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,49	1,55	1,59
		$125 < l_o \leq 140$	1,44	1,51	1,54
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,57	1,65	1,69
		$125 < l_o \leq 140$	1,51	1,59	1,64
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,61	1,69	1,74
		$125 < l_o \leq 140$	1,55	1,63	1,69
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,65	1,75	1,80	
	$125 < l_o \leq 140$	1,59	1,68	1,74	
45 à 60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,60	1,66	1,70
		$125 < l_o \leq 140$	1,57	1,63	1,67
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,69	1,77	1,81
		$125 < l_o \leq 140$	1,65	1,73	1,77
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,73	1,82	1,87
		$125 < l_o \leq 140$	1,69	1,78	1,83
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,78	1,88	1,93	
	$125 < l_o \leq 140$	1,73	1,83	1,89	

## 3.4.1.2.2 Entreeux rectangulaires chanfreinés

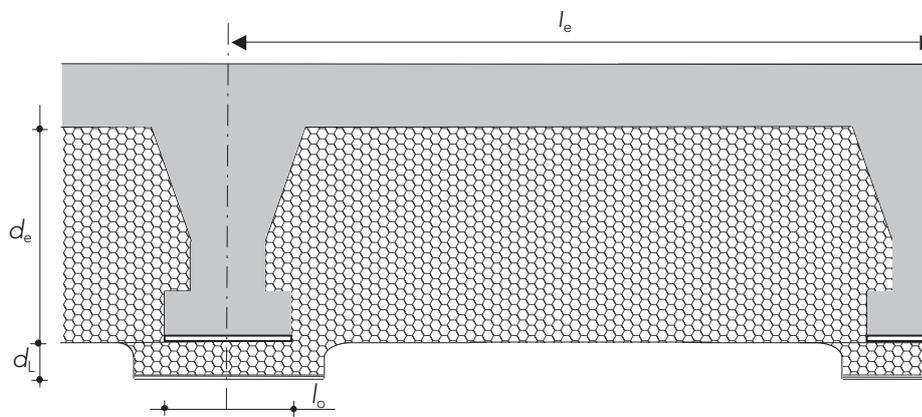


Figure 29

Tableau XXXV : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

Épaisseur de la languette $d_l$ (en mm)	Hauteur des entreeux $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutre $l_o$ (en mm)	Entreaxe des poutres $l_e$ (en mm)		
			$550 \leq l_e < 600$	$600 \leq l_e < 630$	$l_e \geq 630$
30 à 40	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,49	1,55	1,59
		$125 < l_o \leq 140$	1,42	1,48	1,52
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,62	1,69	1,73
		$125 < l_o \leq 140$	1,54	1,61	1,65
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,69	1,77	1,82
		$125 < l_o \leq 140$	1,59	1,68	1,73
200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,77	1,86	1,92	
	$125 < l_o \leq 140$	1,67	1,76	1,82	
45 à 60	120	$95 \leq l_o \leq 125$	1,59	1,65	1,69
		$125 < l_o \leq 140$	1,54	1,60	1,64
	150	$95 \leq l_o \leq 125$	1,73	1,81	1,86
		$125 < l_o \leq 140$	1,67	1,75	1,79
	170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,81	1,89	1,94
		$125 < l_o \leq 140$	1,73	1,82	1,87
	200 et +	$95 \leq l_o \leq 125$	1,90	1,99	2,05
		$125 < l_o \leq 140$	1,81	1,91	1,96

### 3.4.2 Entrevous moulés

La résistance thermique de ces montages de plancher est donnée dans les tableaux suivants en fonction du profil des poutrelles.

On différenciera la résistance thermique des entrevous moulés avec une rangée d'alvéoles dans la hauteur du corps de l'entrevous de ceux disposant de deux rangées d'alvéoles et plus.

Les formes des alvéoles des dessins ci-dessous sont données à titre d'exemple, les valeurs des résistances thermiques des tableaux ci-après sont valables quelle que soit la forme géométrique de la section des alvéoles et si les conditions suivantes sont respectées :

- les alvéoles doivent être disposées de manière à avoir au moins 30 mm de PSE au pourtour de l'entrevous ;
- pour les entrevous présentant deux rangées d'alvéoles ou plus, la distance séparant les parois horizontales doit être au moins égale à 20 mm ;
- pour les entrevous avec languette, la surface des alvéoles ne doit pas descendre dans l'épaisseur de la languette.

#### 3.4.2.1 Entrevous sans languette

##### 3.4.2.1.1 Entrevous « dérogation couture »

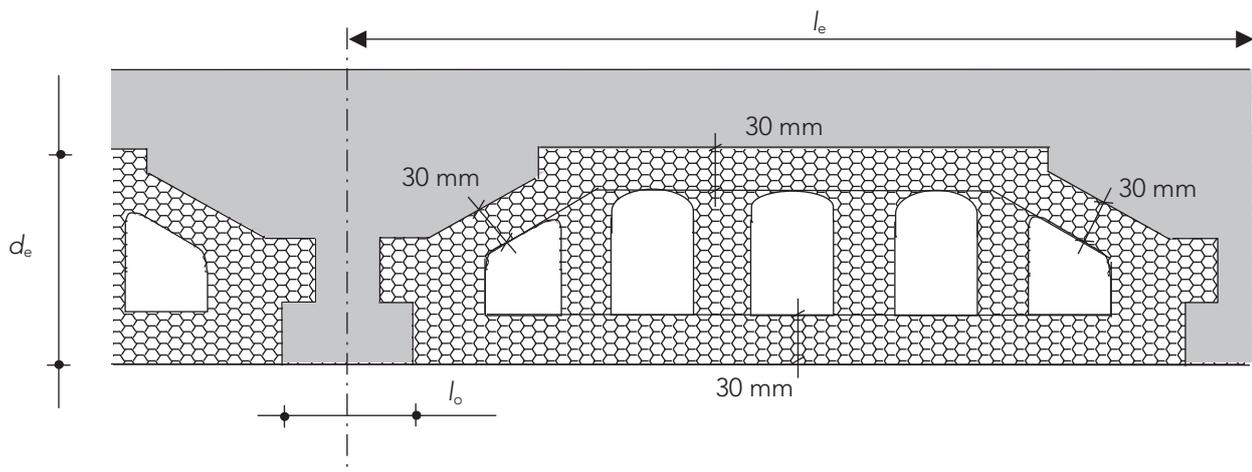


Figure 30 : Une rangée d'alvéoles

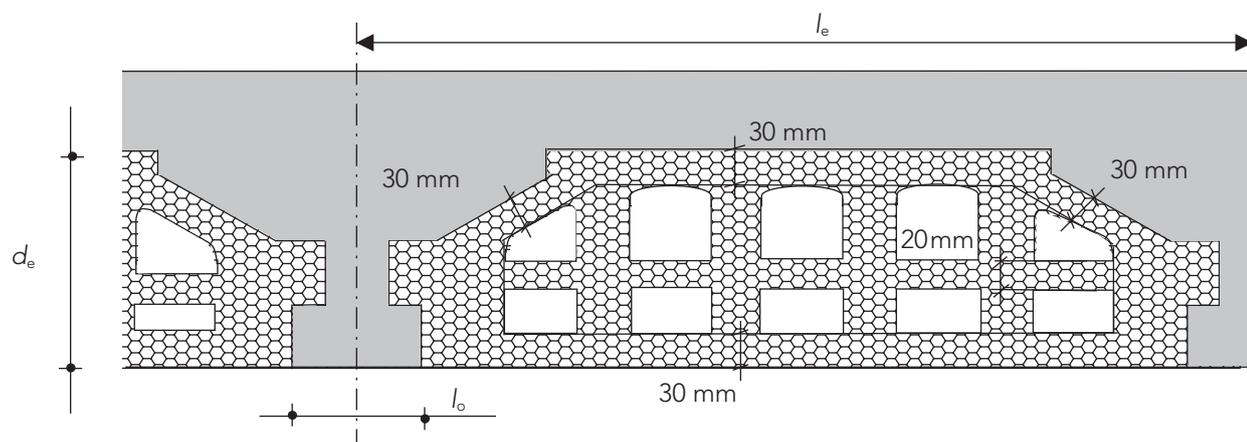


Figure 31 : Deux rangées d'alvéoles et plus

Tableau XXXVI : Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutelles $l_e$ (en mm)					
		$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
		1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,44	0,46	0,48	0,49	0,51	0,50
	$125 < l_o \leq 140$	0,41	0,43	0,45	0,47	0,47	0,49

## 3.4.2.1.2 Entrevous rectangulaires chanfreinés

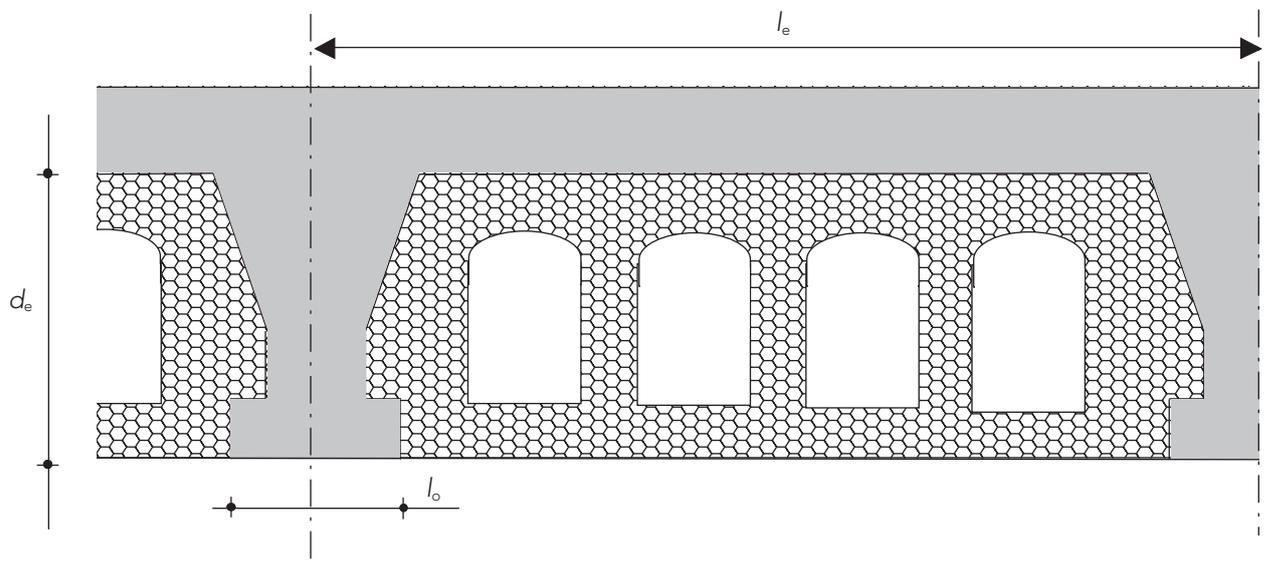


Figure 32 : Une rangée d'alvéoles

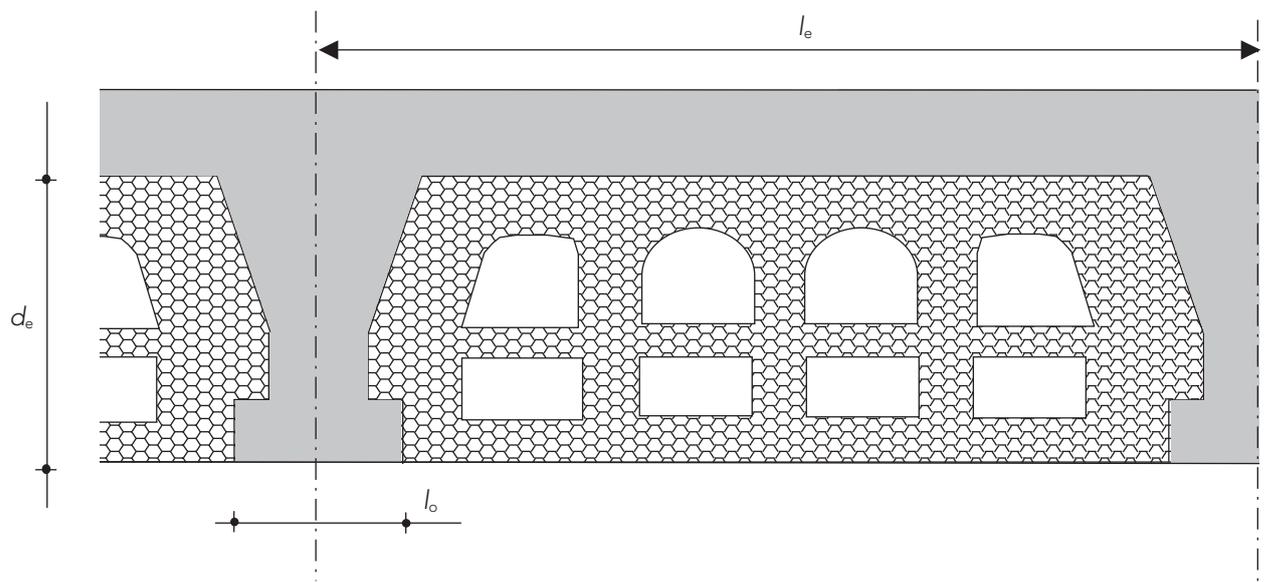


Figure 33 : Deux rangées d'alvéoles

Tableau XXXVII

Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)					
		$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
		1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	0,50	0,53	0,54	0,58	0,56	0,61
	$125 < l_o \leq 140$	0,44	0,46	0,48	0,51	0,50	0,55

### 3.4.2.2 Entrevous à languette

La résistance thermique de ces montages de plancher est donnée dans les tableaux suivants pour les entrevous à fond plat et à fond décaissé.

#### 3.4.2.2.1 Entrevous à fond plat

##### 3.4.2.2.1.1 Entrevous type « dérogation couture »

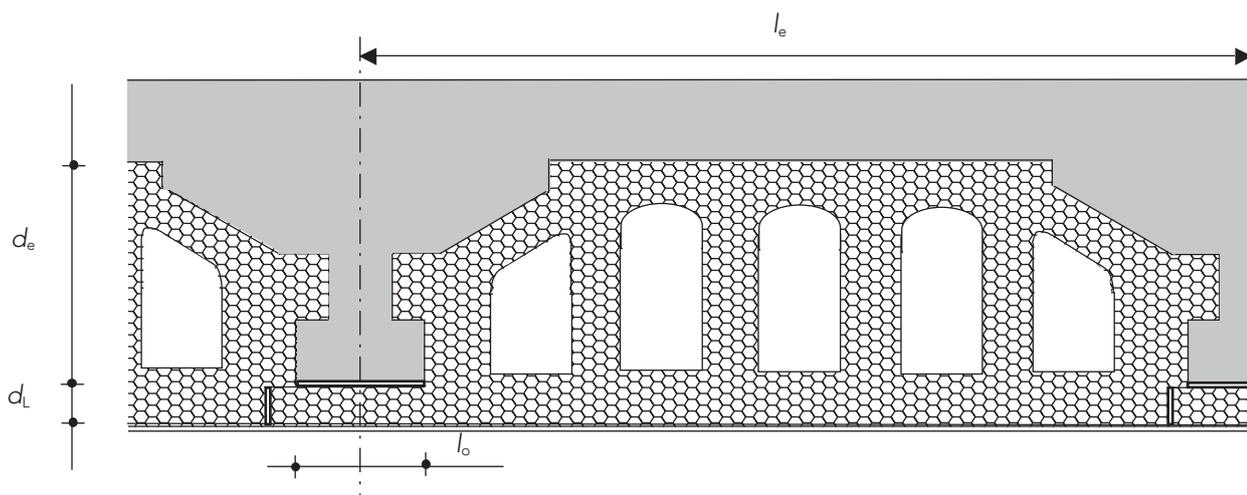


Figure 34 : Une rangée d'alvéoles

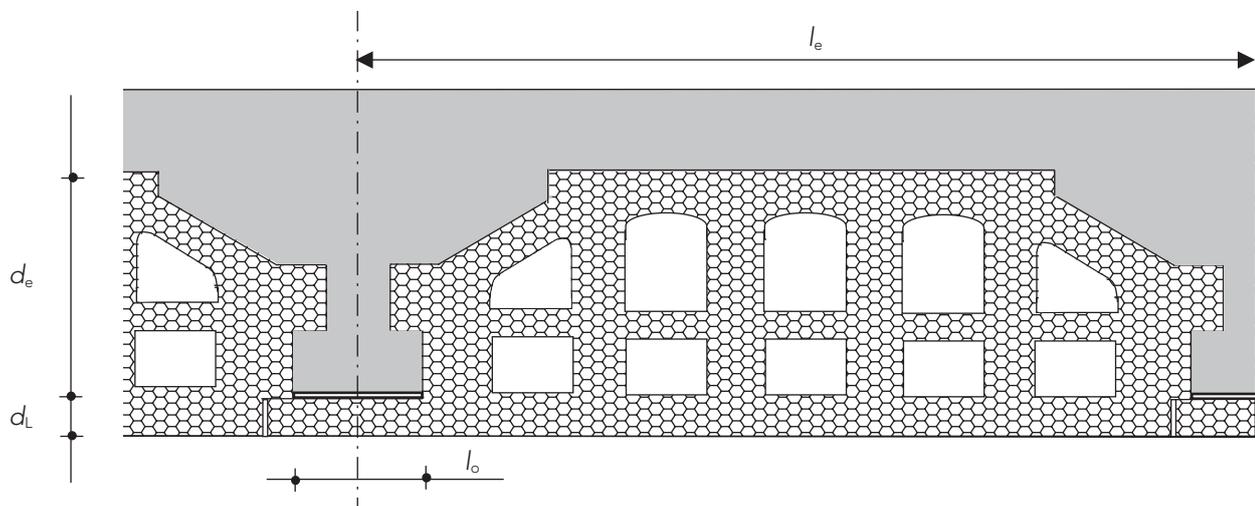


Figure 35 : Deux rangées d'alvéoles et plus

Tableau XXXVIII

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
30	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,42	1,62	1,45	1,68	1,46	1,71
		$125 < l_o \leq 140$	1,40	1,52	1,42	1,56	1,43	1,59
40	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,68	1,88	1,70	1,94	1,72	1,97
		$125 < l_o \leq 140$	1,65	1,78	1,67	1,82	1,69	1,85
50	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,91	2,14	1,95	2,20	1,97	2,23
		$125 < l_o \leq 140$	1,90	2,03	1,92	2,08	1,94	2,10
60	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,15	2,38	2,19	2,44	2,21	2,47
		$125 < l_o \leq 140$	2,14	2,27	2,16	2,32	2,18	2,35

## 3.4.2.1.2 Entreeux rectangulaires chanfreinés

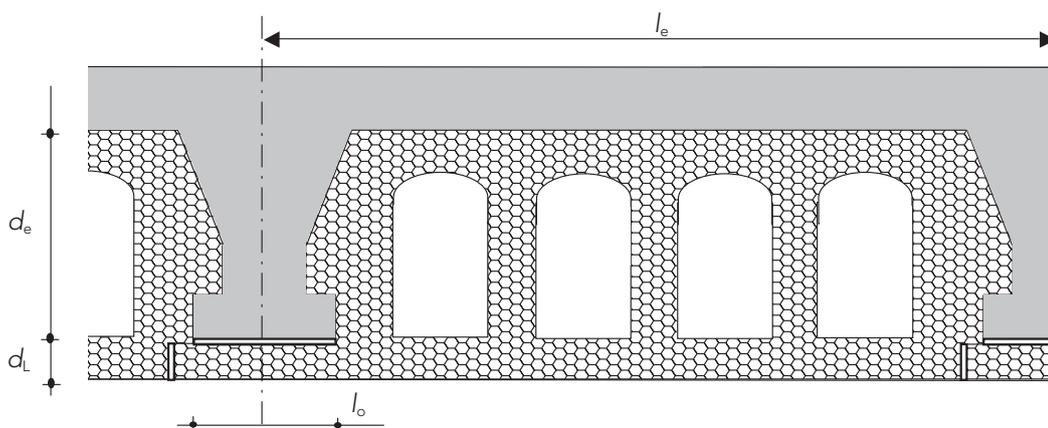


Figure 36 : Une rangée d'alvéoles

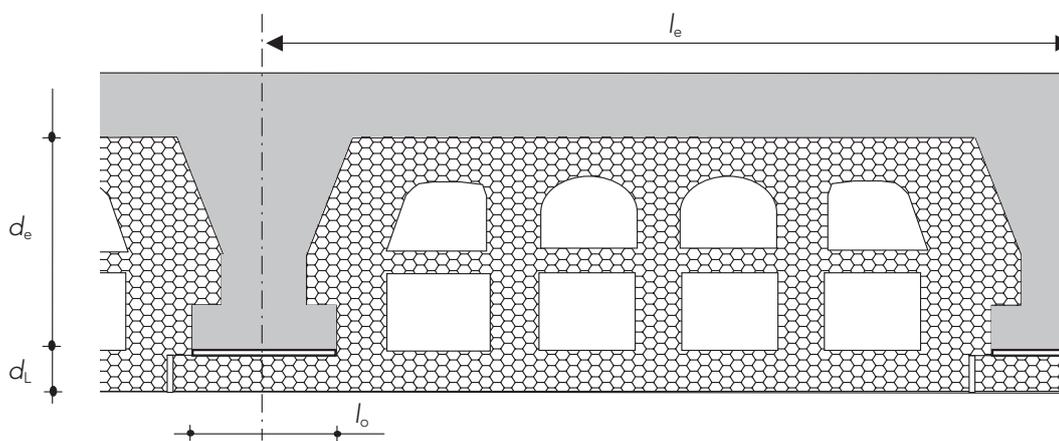


Figure 37 : Deux rangées d'alvéoles et plus

Tableau XXXIX

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
30	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,45	1,69	1,48	1,74	1,49	1,77
		$125 < l_o \leq 140$	1,41	1,60	1,44	1,65	1,46	1,68
40	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,70	1,95	1,73	2,00	1,74	2,03
		$125 < l_o \leq 140$	1,66	1,86	1,69	1,91	1,71	1,94
50	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,95	2,21	1,97	2,26	1,98	2,29
		$125 < l_o \leq 140$	1,91	2,12	1,94	2,17	1,96	2,20
60	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	2,19	2,45	2,22	2,51	2,24	2,54
		$125 < l_o \leq 140$	2,15	2,36	2,19	2,42	2,20	2,45

### 3.4.2.2.2 Entrevous à fond décaissé

Les valeurs des résistances thermiques des tableaux suivants sont valables quelle que soit la profondeur de décaissement (restant inférieure à l'épaisseur de la languette).

#### 3.4.2.2.2.1 Entrevous type « dérogation couture »

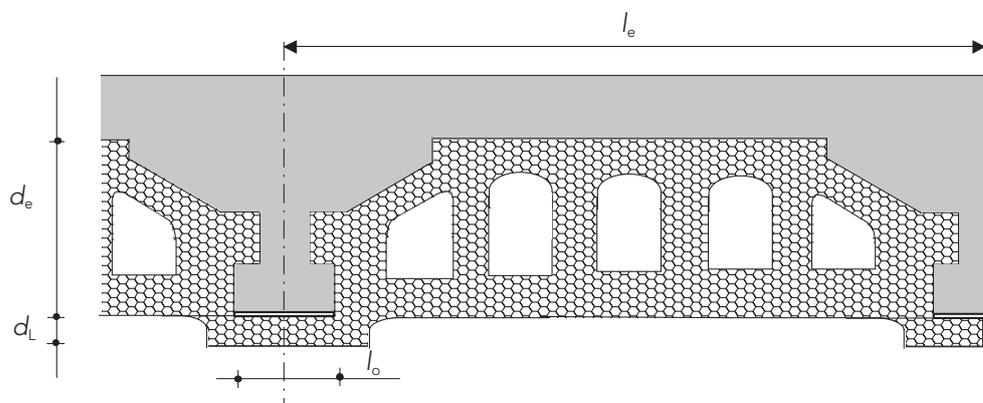


Figure 38 : Une rangée d'alvéoles

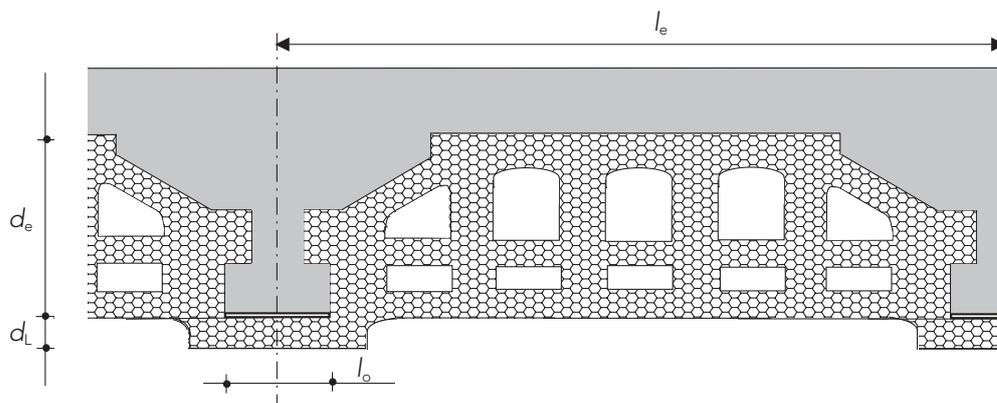


Figure 39 : Deux rangées d'alvéoles et plus

Tableau XL

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
30 à 40	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,30	1,48	1,34	1,53	1,35	1,57
		$125 < l_o \leq 140$	1,28	1,39	1,31	1,44	1,33	1,47
45 à 60	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,38	1,59	1,41	1,64	1,43	1,67
		$125 < l_o \leq 140$	1,38	1,50	1,40	1,55	1,42	1,58

Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$ 

## 3.4.2.2.2 Entrevous rectangulaires chanfreinés

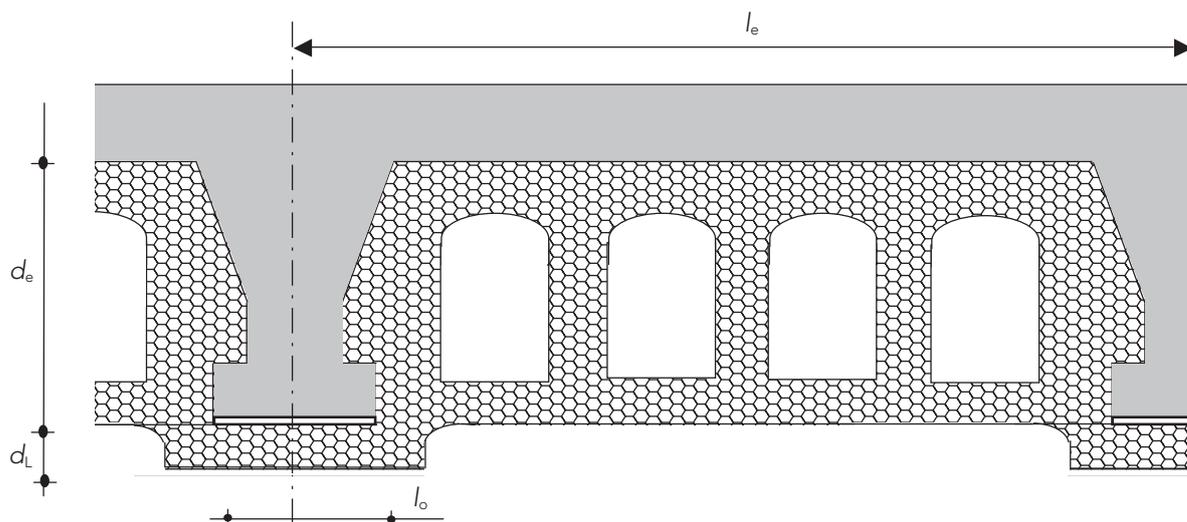


Figure 40 : Une rangée d'alvéoles

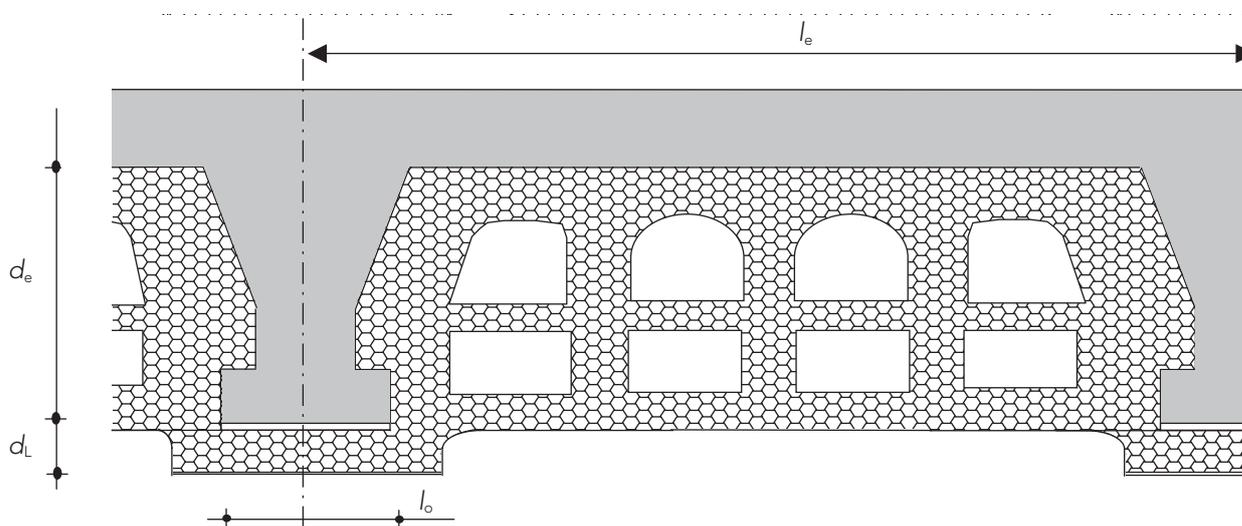


Figure 41 : Deux rangées d'alvéoles

Tableau XLI

Épaisseur de la languette $d_L$ (en mm)	Hauteur des entrevous $d_e$ (en mm)	Largeur du talon de la poutrelle $l_o$ (en mm)	Entraxe des poutrelles $l_e$ (en mm)					
			$550 \leq l_e < 600$		$600 \leq l_e < 630$		$l_e \geq 630$	
			1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus	1 rangée	2 rangées et plus
30 à 40	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,33	1,54	1,36	1,60	1,38	1,63
		$125 < l_o \leq 140$	1,29	1,47	1,33	1,52	1,35	1,55
45 à 60	120 à 170	$95 \leq l_o \leq 125$	1,41	1,65	1,44	1,70	1,46	1,73
		$125 < l_o \leq 140$	1,38	1,59	1,42	1,64	1,44	1,67

Résistance thermique  $R$  du plancher en  $m^2.K/W$

### 3.4.3 Entrevous comportant un revêtement en sous-face

Il s'agit des planchers décrits aux paragraphes 3.4.1 et 3.4.2, à la sous-face desquels est mis en place un revêtement plus ou moins isolant.

La résistance complémentaire apportée par une sous-face, pour les montages de plancher avec des entrevous à fond plat peut être prise en compte en ajoutant le rapport de son épaisseur ( $d_{sf}$ ) à sa conductivité thermique ( $\lambda$ ) si le produit ( $\lambda.d_{sf}$ ) reste inférieur à  $7,5.10^{-3} W/K$ . Dans le cas contraire, le calcul est à effectuer avec la sous-face.

La perte de résistance  $\Delta R$  due à la présence de suspentes ou épingles métalliques au travers des entrevous est fixée forfaitairement à :

- $0,15 m^2.K/W$  pour 6 à 10 par  $m^2$  en  $\varnothing 3$ , lorsque  $R \leq 3,10 m^2.K/W$  ;
- $0,20 m^2.K/W$  pour 6 à 10 par  $m^2$  en  $\varnothing 3$ , lorsque  $3,10 < R < 4,00 m^2.K/W$  ;
- $0,20 m^2.K/W$  pour 6 à 10 par  $m^2$  en  $\varnothing 4$ , lorsque  $R \leq 3,10 m^2.K/W$  ;
- $0,30 m^2.K/W$  pour 6 à 10 par  $m^2$  en  $\varnothing 4$ , lorsque  $3,10 < R < 4,00 m^2.K/W$ .

## 3.5 Dalles alvéolées à base de granulats courants (R)

Conformes à la norme NF EN 1168 (pr A3).

La résistance thermique des dalles alvéolées (une rangée d'alvéoles parallèle à la dalle) à base de granulats courants, est donnée dans le tableau ci-après en fonction de :

- l'épaisseur de la dalle  $E$  en m ;
- le rapport entre l'épaisseur minimale  $e$  des cloisons internes entre deux alvéoles adjacentes et la largeur minimale de l'alvéole, mesurée parallèlement à la dalle.

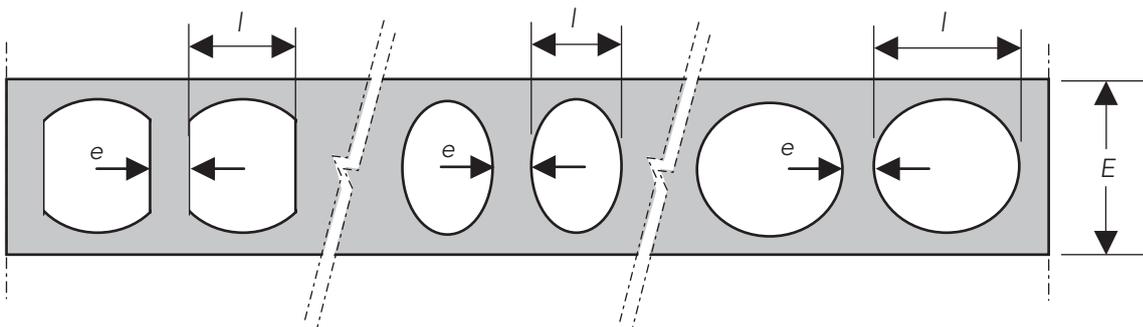


Figure 42

Tableau XLII : Résistance thermique  $R$  de la dalle alvéolée en  $m^2.K/W$ 

$\frac{e}{l}$	Épaisseur ( $E$ ) du plancher en (cm)					
	15	20	25	30	35	40
$\frac{e}{l} \leq 0,3$	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24	0,27
$0,3 < \frac{e}{l} \leq 0,5$	-	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25
$0,5 < \frac{e}{l} < 1,0$	-	-	0,15	0,17	0,19	0,21

Note : des valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire.

### 3.6 Planchers bas sur vide sanitaire ( $U_e$ )

Le calcul du coefficient de transmission surfacique équivalent  $U_e$  a été effectué selon le paragraphe 2.2.3.

#### ■ Variables

Plancher bas	$2,0 \leq R_f \leq 3,0 m^2.K/W$ $3,0 \leq B' \leq 20 m$
Mur du vide sanitaire	$0,3 < U_w < 3,9 W/(m^2.K)$ $0,2 \leq h \leq 1,2 m$

#### ■ Paramètres par défaut

Mur du vide sanitaire	$w < 0,4 m$ $z < 0,5 m$
Ventilation du vide sanitaire	$\varepsilon = 0,002 m^2/m$ $f_w = 0,05$ $v = 4 m/s$
Sol	$\lambda = 2,0 W/(m.K)$

#### ■ Symboles et unités

$B'$	est la dimension caractéristique du plancher définie comme étant sa surface divisée par son demi-périmètre, en m.
$w$	est l'épaisseur totale du mur supérieur, toutes couches comprises en m.
$R_f$	est la résistance thermique globale <sup>(1)</sup> de la partie du plancher située entre l'ambiance intérieure et l'espace non chauffé, en $m^2.K/W$ ( $R_f$ inclut l'effet des ponts thermiques intermédiaires).
$h$	est la hauteur moyenne de la face supérieure du plancher au-dessus du niveau du sol extérieur, en m.
$z$	est la profondeur moyenne du sol du vide sanitaire au-dessous du niveau du sol extérieur, en m.
$U_w$	est le coefficient de transmission thermique du mur du vide sanitaire situé au-dessus du niveau du sol, en $W/(m^2.K)$ .
$\varepsilon$	est l'aire des ouvertures de ventilation divisée par le périmètre du vide sanitaire en $m^2/m$ .
$f_w$	est le facteur de protection contre le vent.
$v$	est la vitesse moyenne du vent à 10 m de hauteur, en m/s.
$\lambda$	est la conductivité thermique du sol non gelé, en $W/(m.K)$ .

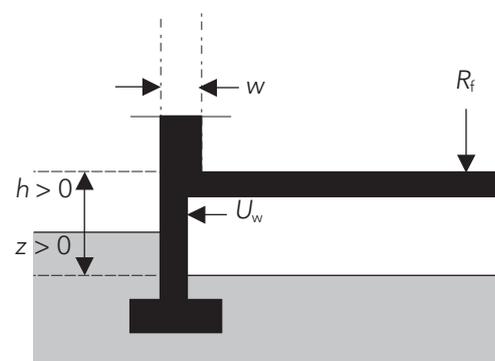


Figure 43

1 La méthode de calcul de  $R_f$  est rappelée au paragraphe 2.2.2.1.

### 3.6.1 Configuration 1

Mur du vide sanitaire :

$$U_w : 0,3 \leq U_w < 0,7 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

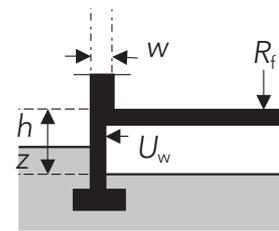


Figure 44

Tableau XLIII : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$

$B'$	$0,0 \leq h < 0,4 \text{ m}$					$0,4 \leq h < 0,8 \text{ m}$					$0,8 \leq h \leq 1,2 \text{ m}$				
	$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$					$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$					$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$				
3	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26
4	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25	0,33	0,31	0,29	0,27	0,25
5	0,31	0,28	0,26	0,25	0,23	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,32	0,30	0,27	0,26	0,24
6	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,31	0,28	0,26	0,25	0,23
7	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23
8	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22
9	0,26	0,24	0,23	0,22	0,21	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,27	0,26	0,24	0,23	0,21
10	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,26	0,24	0,23	0,21	0,20	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21
12	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20
14	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19
16	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18
18	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,20	0,19	0,19	0,18	0,17	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17
20	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,20	0,19	0,18	0,17	0,17

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.6.2 Configuration 2

Mur du vide sanitaire :

$$U_w : 0,7 \leq U_w < 1,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}.$$

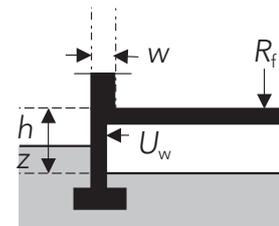


Figure 45

Tableau XLIV : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W/(m}^2\cdot\text{K)}$

$B'$	$0,0 \leq h < 0,4 \text{ m}$					$0,4 \leq h < 0,8 \text{ m}$					$0,8 \leq h \leq 1,2 \text{ m}$				
	$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$					$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$					$R_f(\text{m}^2\cdot\text{K/W})$				
3	0,35	0,32	0,29	0,27	0,26	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27
4	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26
5	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,32	0,30	0,28	0,26	0,25	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25
6	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,32	0,30	0,28	0,26	0,24
7	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24
8	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23
9	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,29	0,27	0,25	0,24	0,23
10	0,26	0,24	0,23	0,22	0,20	0,27	0,25	0,24	0,22	0,21	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22
12	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21
14	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20
16	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,24	0,23	0,21	0,20	0,19
18	0,20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,22	0,20	0,19	0,19	0,18	0,23	0,22	0,20	0,19	0,19
20	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.6.3 Configuration 3

Mur du vide sanitaire :

$$U_w : 1,5 \leq U_w \leq 3,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

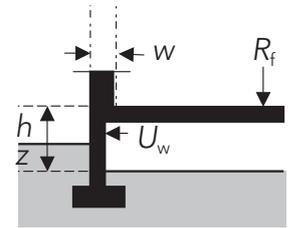


Figure 46

Tableau XLV : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$B'$	$0,0 \leq h < 0,4 \text{ m}$					$0,4 \leq h < 0,8 \text{ m}$					$0,8 \leq h \leq 1,2 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W})$				
3	0,36	0,33	0,31	0,28	0,27	0,38	0,35	0,32	0,29	0,27	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28
4	0,34	0,32	0,29	0,27	0,26	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,38	0,35	0,32	0,30	0,28
5	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25	0,35	0,32	0,30	0,28	0,26	0,37	0,34	0,31	0,29	0,27
6	0,32	0,29	0,27	0,26	0,24	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26
7	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25	0,35	0,32	0,29	0,27	0,26
8	0,29	0,27	0,26	0,24	0,23	0,31	0,29	0,27	0,25	0,24	0,34	0,31	0,29	0,27	0,25
9	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23	0,33	0,30	0,28	0,26	0,25
10	0,27	0,26	0,24	0,23	0,22	0,30	0,28	0,26	0,24	0,23	0,32	0,29	0,27	0,26	0,24
12	0,26	0,24	0,23	0,22	0,20	0,28	0,26	0,25	0,23	0,22	0,30	0,28	0,26	0,25	0,23
14	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,29	0,27	0,25	0,24	0,22
16	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22
18	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,24	0,23	0,22	0,20	0,19	0,26	0,25	0,23	0,22	0,21
20	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,25	0,24	0,23	0,21	0,20

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7 Planchers bas sur terre-plein ( $U_e$ )

Le calcul du coefficient de transmission surfacique équivalent  $U_e$  a été effectué selon le paragraphe 2.2.2.

#### Variables

Sol	$1,5 \leq \lambda \leq 3,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Plancher bas	$3,0 \leq B' \leq 20$
– sans isolation périphérique	$1,0 \leq R_f \leq 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
– avec isolation périphérique	$0,0 \leq R_f \leq 2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
	$0,5 \leq D \leq 1,5 \text{ m}$
	$1,0 \leq R_n \leq 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$
	$0,04 \leq d_n \leq 0,1 \text{ m}$

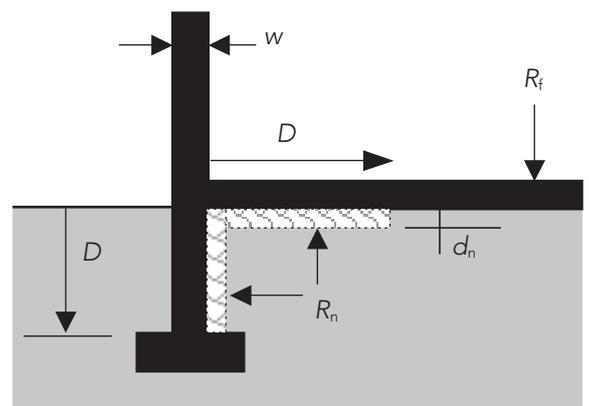


Figure 47

#### Paramètres par défaut

Mur supérieur  $w \leq 0,4 \text{ m}$

#### Symboles et unités

$B'$  est la dimension caractéristique du plancher définie comme étant sa surface divisée par son demi-périmètre, en m.

- $w$  est l'épaisseur totale du mur, toutes couches comprises, en m.
- $R_f$  est la résistance thermique de toute couche continue située au-dessus, au-dessous ou à l'intérieur du plancher ainsi que celle de tout revêtement de sol, en  $m^2.K/W$  ( $R_f$  inclut l'effet des ponts thermiques intermédiaires).
- $D$  est la largeur ou la profondeur de l'isolation périphérique respectivement horizontale ou verticale, en m.
- $R_n$  est la résistance thermique de l'isolation périphérique horizontale ou verticale (ou du mur de soubassement) en  $m^2.K/W$ .
- $d_n$  est l'épaisseur de l'isolation périphérique (ou du mur de soubassement), en m.
- $\lambda$  est la conductivité thermique du sol, en  $W/(m.K)$ .

### 3.7.1 Configuration 1

Sans isolation périphérique :

- sol  $\lambda =$  cf. tableau ci-dessous
- mur  $w \leq 0,4$  m

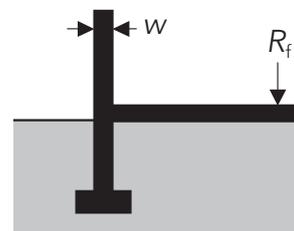


Figure 48

Tableau XLVI : Valeurs de  $U_e$  en  $W/(m^2.K)$

	Argile ou limon ( $\lambda = 1,5$ )					Sable ou gravier ( $\lambda = 2,0$ )					Roche homogène ( $\lambda = 3,5$ )				
	$R_f(m^2.K/W)$					$R_f(m^2.K/W)$					$R_f(m^2.K/W)$				
$B'$	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00
3	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27
4	0,40	0,33	0,28	0,24	0,22	0,45	0,36	0,31	0,26	0,23	0,55	0,43	0,35	0,30	0,26
5	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,52	0,41	0,34	0,29	0,25
6	0,33	0,28	0,24	0,22	0,19	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,49	0,39	0,32	0,28	0,25
7	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,36	0,30	0,26	0,23	0,20	0,47	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23
9	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,42	0,35	0,29	0,25	0,22
10	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,40	0,33	0,28	0,24	0,22
12	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17	0,37	0,31	0,27	0,23	0,21
14	0,20	0,18	0,16	0,15	0,14	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,34	0,29	0,25	0,22	0,20
16	0,18	0,16	0,15	0,14	0,13	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
18	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,21	0,18	0,17	0,15	0,14	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18
20	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11	0,19	0,17	0,16	0,14	0,13	0,28	0,24	0,22	0,19	0,18

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7.2 Configuration 2

Isolation périphérique horizontale

$$R_n : 1,0 < R_n < 2,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_n : 0,04 < d_n < 0,06 \text{ m}$$

Sol argile ou gravier

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.K)}$$

Mur

$$w \leq 0,4 \text{ m}$$

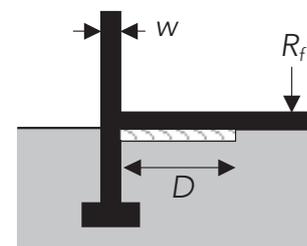


Figure 49

Tableau XLVII : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$B'$	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$				
3	0,87	0,61	0,46	0,37	0,31	0,78	0,56	0,43	0,35	0,30	0,71	0,52	0,41	0,34	0,29
4	0,75	0,54	0,42	0,35	0,29	0,68	0,51	0,40	0,33	0,28	0,63	0,48	0,39	0,32	0,27
5	0,66	0,49	0,39	0,33	0,28	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,56	0,44	0,36	0,31	0,26
6	0,59	0,45	0,37	0,31	0,26	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25
7	0,54	0,41	0,34	0,29	0,25	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24
8	0,49	0,38	0,32	0,28	0,24	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,43	0,35	0,30	0,26	0,23
9	0,45	0,36	0,30	0,26	0,23	0,42	0,34	0,29	0,26	0,23	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22
10	0,42	0,34	0,29	0,25	0,22	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21
12	0,37	0,30	0,26	0,23	0,20	0,35	0,29	0,25	0,22	0,20	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20
14	0,33	0,27	0,24	0,21	0,19	0,31	0,26	0,23	0,20	0,19	0,30	0,26	0,22	0,20	0,18
16	0,30	0,25	0,22	0,19	0,18	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17
18	0,28	0,23	0,20	0,18	0,16	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16
20	0,26	0,21	0,19	0,17	0,16	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7.3 Configuration 3

Isolation périphérique horizontale

$$R_n : 2,0 \leq R_n < 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_n : 0,06 \leq d_n \leq 0,08 \text{ m}$$

Sol argile ou gravier

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.K)}$$

Mur

$$w \leq 0,4 \text{ m}$$

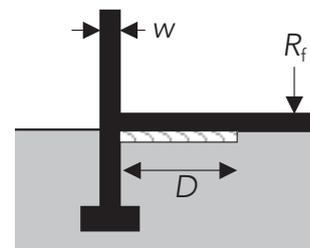


Figure 50

Tableau XLVIII : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$B'$	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$				
3	0,86	0,59	0,45	0,36	0,31	0,74	0,54	0,41	0,34	0,29	0,67	0,49	0,38	0,32	0,27
4	0,74	0,53	0,42	0,34	0,29	0,65	0,49	0,39	0,32	0,28	0,59	0,46	0,37	0,31	0,26
5	0,65	0,48	0,39	0,32	0,27	0,58	0,45	0,37	0,31	0,26	0,53	0,42	0,35	0,29	0,25
6	0,58	0,44	0,36	0,30	0,26	0,52	0,42	0,34	0,29	0,25	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25
7	0,53	0,41	0,34	0,29	0,25	0,48	0,38	0,32	0,28	0,24	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,48	0,38	0,32	0,27	0,24	0,44	0,36	0,30	0,26	0,23	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23
9	0,45	0,36	0,30	0,26	0,23	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,38	0,32	0,28	0,24	0,22
10	0,42	0,33	0,28	0,25	0,22	0,38	0,32	0,27	0,24	0,21	0,36	0,30	0,26	0,23	0,21
12	0,37	0,30	0,26	0,23	0,20	0,34	0,28	0,25	0,22	0,20	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
14	0,33	0,27	0,23	0,21	0,19	0,31	0,26	0,23	0,20	0,18	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18
16	0,30	0,25	0,22	0,19	0,17	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17
18	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,26	0,22	0,19	0,18	0,16	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,24	0,20	0,18	0,17	0,15	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7.4 Configuration 4

Isolation périphérique **verticale**

Sol argile ou gravier  
Mur

$R_n : 1,0 \leq R_n < 1,5 \text{ m}^2.\text{K/W}$   
 $d_n : 0,04 \leq d_n \leq 0,06 \text{ m}$   
 $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$   
 $w \leq 0,4 \text{ m}$

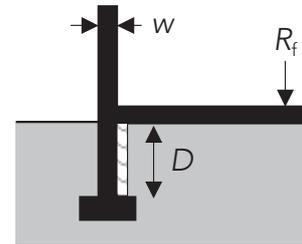


Figure 51

Tableau XLIX : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$

$B'$	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$				
3	0,81	0,58	0,44	0,36	0,31	0,72	0,53	0,41	0,34	0,29	0,66	0,50	0,39	0,32	0,28
4	0,70	0,52	0,41	0,34	0,29	0,63	0,49	0,39	0,32	0,28	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27
5	0,62	0,48	0,38	0,32	0,27	0,57	0,45	0,37	0,31	0,26	0,53	0,43	0,35	0,30	0,26
6	0,56	0,44	0,36	0,30	0,26	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25
7	0,51	0,40	0,34	0,29	0,25	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24
8	0,47	0,37	0,32	0,27	0,24	0,43	0,36	0,30	0,26	0,23	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23
9	0,43	0,35	0,30	0,26	0,23	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22
10	0,40	0,33	0,28	0,25	0,22	0,37	0,31	0,27	0,24	0,21	0,36	0,30	0,26	0,23	0,21
12	0,36	0,29	0,25	0,22	0,20	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19
14	0,32	0,27	0,23	0,21	0,19	0,30	0,26	0,23	0,20	0,18	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18
16	0,29	0,24	0,21	0,19	0,17	0,27	0,24	0,21	0,19	0,17	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17
18	0,27	0,23	0,20	0,18	0,16	0,25	0,22	0,19	0,18	0,16	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16
20	0,25	0,21	0,19	0,17	0,15	0,23	0,20	0,18	0,17	0,15	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7.5 Configuration 5

Isolation périphérique **verticale**

Sol argile ou gravier  
Mur

$R_n : 1,5 \leq R_n \leq 2,0 \text{ m}^2.\text{K/W}$   
 $d_n : 0,04 \leq d_n \leq 0,08 \text{ m}$   
 $\lambda = 2,0 \text{ W}/(\text{m}.\text{K})$   
 $w \leq 0,4 \text{ m}$

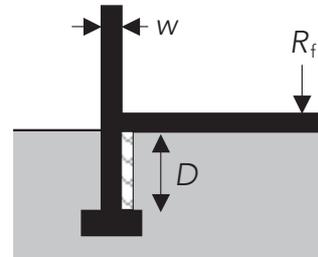


Figure 52

Tableau L : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$

$B'$	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2.\text{K/W})$				
3	0,78	0,56	0,43	0,35	0,30	0,66	0,49	0,39	0,32	0,28	0,60	0,45	0,36	0,30	0,26
4	0,68	0,51	0,40	0,33	0,28	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27	0,55	0,43	0,35	0,29	0,25
5	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27	0,53	0,43	0,35	0,30	0,26	0,50	0,40	0,33	0,28	0,25
6	0,54	0,43	0,35	0,30	0,26	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,45	0,37	0,32	0,27	0,24
7	0,49	0,39	0,33	0,28	0,25	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,42	0,35	0,30	0,26	0,23
8	0,45	0,37	0,31	0,27	0,24	0,41	0,34	0,29	0,26	0,23	0,39	0,33	0,28	0,25	0,22
9	0,42	0,34	0,29	0,26	0,23	0,38	0,32	0,28	0,25	0,22	0,36	0,31	0,27	0,24	0,21
10	0,39	0,32	0,28	0,24	0,22	0,36	0,30	0,26	0,23	0,21	0,34	0,29	0,26	0,23	0,20
12	0,35	0,29	0,25	0,22	0,20	0,32	0,27	0,24	0,21	0,19	0,30	0,26	0,23	0,21	0,19
14	0,31	0,26	0,23	0,21	0,19	0,29	0,25	0,22	0,20	0,18	0,27	0,24	0,21	0,19	0,18
16	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17
18	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,23	0,21	0,19	0,17	0,16
20	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,23	0,20	0,18	0,16	0,15	0,22	0,19	0,17	0,16	0,15

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

### 3.7.6 Configuration 6

Isolation périphérique **verticale**

$$R_n : 2,0 < R_n \leq 3,0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_n : 0,06 \leq d_n \leq 0,08 \text{ m}$$

Sol argile ou gravier

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(m.K)}$$

Mur

$$w \leq 0,4 \text{ m}$$

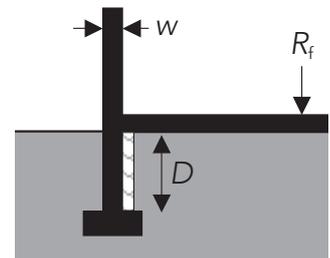


Figure 53

Tableau LI : Valeurs de  $U_e$  en  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

$B'$	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$				
	$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$					$R_f (\text{m}^2 \cdot \text{K/W})$				
3	0,76	0,55	0,42	0,34	0,29	0,63	0,47	0,37	0,31	0,27	0,56	0,42	0,34	0,28	0,25
4	0,66	0,50	0,40	0,33	0,28	0,57	0,44	0,36	0,30	0,26	0,51	0,41	0,33	0,28	0,24
5	0,59	0,46	0,37	0,31	0,27	0,51	0,41	0,34	0,29	0,25	0,47	0,38	0,32	0,27	0,24
6	0,53	0,42	0,35	0,30	0,26	0,47	0,38	0,32	0,28	0,24	0,43	0,36	0,31	0,26	0,23
7	0,48	0,39	0,33	0,28	0,24	0,43	0,36	0,30	0,26	0,23	0,40	0,34	0,29	0,25	0,22
8	0,45	0,36	0,31	0,27	0,23	0,40	0,33	0,29	0,25	0,22	0,37	0,32	0,28	0,24	0,22
9	0,41	0,34	0,29	0,25	0,22	0,37	0,31	0,27	0,24	0,22	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21
10	0,39	0,32	0,27	0,24	0,21	0,35	0,30	0,26	0,23	0,21	0,33	0,28	0,25	0,22	0,20
12	0,34	0,29	0,25	0,22	0,20	0,31	0,27	0,24	0,21	0,19	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19
14	0,31	0,26	0,23	0,20	0,18	0,28	0,24	0,22	0,20	0,18	0,27	0,23	0,21	0,19	0,17
16	0,28	0,24	0,21	0,19	0,17	0,26	0,23	0,20	0,18	0,17	0,24	0,22	0,19	0,18	0,16
18	0,26	0,22	0,20	0,18	0,16	0,24	0,21	0,19	0,17	0,16	0,22	0,20	0,18	0,17	0,15
20	0,24	0,21	0,18	0,17	0,15	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15

Note : les valeurs intermédiaires de  $U_e$  peuvent être obtenues par interpolation linéaire avec suffisamment de précision.

## 3.8 Autres parois

### 3.8.1 Éléments à base de plâtre pour cloisons et contre-murs

#### 3.8.1.1 Carreaux pleins à enduire

Tableau LII

Épaisseur des carreaux en cm	5	7
De mâchefer Masse volumique : 1 000 à 1 400 $\text{kg}/\text{m}^3$	0,11	0,15
De pouzzolane Masse volumique : 1 200 à 1 300 $\text{kg}/\text{m}^3$	0,12	0,17

Résistance thermique  $R$  en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

#### 3.8.1.2 Plaques de plâtre à parements de carton

Tableau LIII

Épaisseur des carreaux en cm	1,0	1,25 et 1,5
Masse volumique : 800 à 900 $\text{kg}/\text{m}^3$	0,04	0,05

Résistance thermique  $R$  en  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$

### 3.8.1.3 Carreaux pleins à parements lisses

Tableau LIV

Épaisseur des carreaux en cm	5	6 <sup>(*)</sup>	7 <sup>(*)</sup>	10 <sup>(*)</sup>
Masse volumique : 900 à 1 000 kg/m <sup>3</sup>	0,14	0,17	0,20	0,29
* Ces carreaux sont conformes à la norme NF P 72-301.				

Résistance thermique  $R$  en m<sup>2</sup>.K/W

### 3.8.1.4 Carreaux et grands éléments alvéolés

Tableau LV

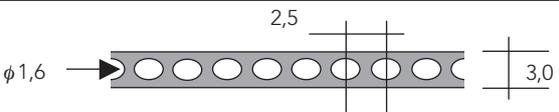
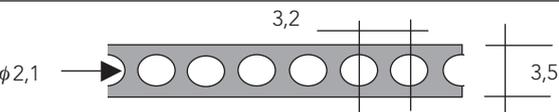
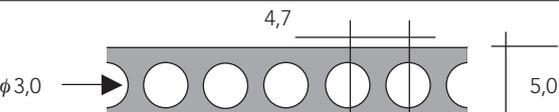
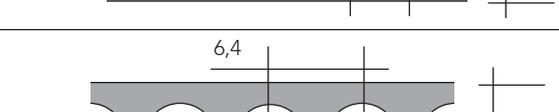
Épaisseur des carreaux en cm	6	7
Masse volumique : 900 à 1 000 kg/m <sup>3</sup>	0,20	0,22
Pourcentage de vides : 20 à 35 % en une rangée d'alvéoles		

Résistance thermique  $R$  en m<sup>2</sup>.K/W

### 3.8.2 Panneaux de particules de bois extrudé

La rangée d'alvéoles est parallèle aux faces du panneau.

Tableau LVI

Coupes des panneaux alvéolés cotes en cm	Épaisseur en cm	$R$
	3	0,16
	3,5	0,18
	5	0,23
	7	0,31

Résistance thermique  $R$  en m<sup>2</sup>.K/W

### 3.8.3 Remplissage d'une lame d'air avec un matériau en vrac

Les procédés de remplissage de lames d'air continues verticales relèvent de la procédure de l'Avis Technique.

### 3.8.4 Étalement sur un plancher haut d'un matériau en vrac

Sont visées ici les utilisations des matériaux en vrac sur les planchers hauts sous combles perdus. Lorsque les matériaux relèvent pour cette utilisation de la procédure de l'Avis Technique, on se reportera à ces Avis et aux « Règles générales de mise en œuvre des procédés et produits d'isolation thermique rapportée sur planchers de greniers et combles perdus faisant l'objet d'un Avis Technique » en ce qui concerne la mise en œuvre et les limites d'emploi.

Les matériaux sont déposés sur les planchers par déversement manuel ou par soufflage à la machine. On donne pour chacune de ces mises en œuvre :

- pour les planchers plats, la résistance thermique  $R$  de la couche déposée ;
- pour les planchers à solives industrialisées, la résistance thermique  $R$  de l'ensemble couche déposée-ossature (à l'exclusion de la sous-face).

Pour les matériaux déversés manuellement, la résistance thermique est exprimée en fonction de l'épaisseur de la couche déposée ; on donne également, à titre indicatif en absence de spécification précise concernant la masse volumique du matériau, la masse ( $m$ ) déposée par  $m^2$  de plancher.

Pour les matériaux déposés par soufflage à la machine, la résistance thermique est exprimée en fonction du poids déposé par  $m^2$  de plancher, surface des solives incluses lorsque le plancher en comporte ; on donne à titre indicatif l'épaisseur  $e$  en cm de la couche déposée, celle-ci ne pouvant pas en règle générale être contrôlée, ce procédé étant le plus souvent utilisé en combles inaccessibles et l'épaisseur n'étant obtenue qu'après stabilisation, la plupart de ces produits se tassant dans le temps.

Le coefficient de transmission thermique  $U_p$  d'un plancher haut isolé avec de la fibre de cellulose en vrac, doit être calculé conformément au *paragraphe 2.2.1.1* du présent fascicule. La résistance thermique de l'isolant doit être calculée pour une épaisseur stabilisée tenant compte d'un tassement donné ci après :

Jusqu'au 31 décembre 2012, la valeur de tassement à prendre en compte s'élève à 20 % quelle que soit la masse volumique (comprise entre 25 et 40  $kg/m^3$ ) et quelle que soit l'épaisseur.

À partir du 1<sup>er</sup> janvier 2013 :

Coefficient de tassement	$E_p \leq 220$ mm	$E_p = 240$ mm	$E_p \geq 260$ mm
$25 < \rho \leq 35$ (ou $\rho$ inconnu)	20 %	28 %	35 %
$35 < \rho < 40$	20 %	25 %	30 %

$\rho$  : masse volumique ( $kg/m^3$ )

$E_p$  : épaisseur d'isolant avant tassement (mm)

Les valeurs de coefficient de tassement peuvent être interpolées entre 220 et 240 mm et entre 240 et 260 mm.

Priment sur les valeurs ci-après les valeurs indiquées dans l'Avis Technique du procédé et les valeurs certifiées « ACERMI », à condition que les caractéristiques en œuvre soient conformes aux spécifications requises dans l'Avis Technique, ou le certificat du produit concerné selon le cas.

### 3.8.4.1 Déversement manuel sur plancher plat

Tableau LVII

Épaisseur moyenne de la couche déposée en cm		5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle : masse volumique en œuvre : 30 à 50 $kg/m^3$		1,1 (2)	1,7 (3)	2,3 (4)	2,8 (5)	3,4 (6)	4,0 (7)	4,5 (8)
Granulats de verre expansé	Granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 $kg/m^3$	0,7 (8)	1,1 (12)	1,4 (16)	1,8 (20)	2,1 (24)	2,5 (28)	2,9 (32)
	Granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 $kg/m^3$	– –	1,1 (10,5)	1,4 (14)	1,8 (17,5)	2,1 (21)	2,5 (24,5)	2,9 (28)
	Granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 $kg/m^3$	– –	0,8 (10)	1,1 (13)	1,4 (16)	1,7 (19,5)	1,9 (23)	2,2 (26)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 $kg/m^3$		0,7 (5,5)	1,1 (8)	1,5 (11)	1,9 (14)	2,2 (16,5)	2,6 (19)	3,0 (22)

Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent la masse moyenne déposée par  $m^2$  de plancher. Elle est exprimée en  $kg/m^2$ .

Résistance thermique  $R$  en  $m^2.K/W$

## 3.8.4.2 Soufflage à la machine sur plancher plat

Tableau LVIII

Masse moyenne déposée en kg par m <sup>2</sup> de plancher		2	3	4	5	6	7	8
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle Laine de laitier ou de roche	Masse volumique en œuvre des deux matériaux : 30 à 50 kg/m <sup>3</sup>	1,1 (6)	1,7 (7,5)	2,3 (10)	2,8 (12,5)	3,4 (15)	4,0 (15,5)	4,5 (20)
		7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5
Granulats de verre expansé	Granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m <sup>3</sup>	0,7 (5)	0,9 (6)	1,1 (8)	1,3 (9)	1,6 (11)	1,8 (13)	2,0 (14)
	Granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m <sup>3</sup>	–	1,0 (7)	1,3 (9)	1,5 (11)	1,8 (12)	2,0 (14)	2,3 (16)
	Granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m <sup>3</sup>	–	0,9 (8)	1,1 (10)	1,3 (12)	1,5 (13)	1,7 (15)	1,9 (17)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m <sup>3</sup>		1,0 (7)	1,4 (9)	1,7 (11)	2,0 (14)	2,4 (16)	2,7 (18)	3,0 (20)

1. L'utilisation de ce matériau est visée par la procédure de l'Avis Technique.  
Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent l'épaisseur, en cm, obtenue après stabilisation, l'épaisseur à l'application étant approximativement égale à 1,25 fois l'épaisseur à la stabilisation pour des épaisseurs stabilisées inférieures ou égales à 20cm.

Résistance thermique  $R$  en m<sup>2</sup>.K/W

## 3.8.4.3 Déversement manuel sur plancher à solives

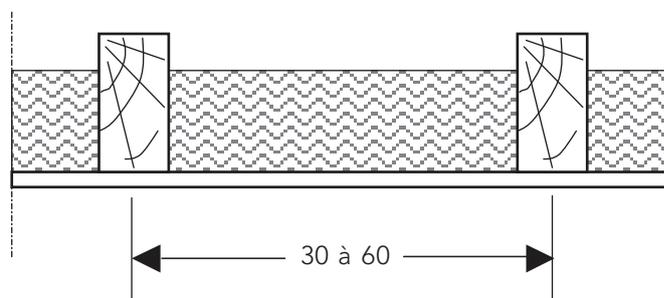


Figure 54

Tableau LIX

Épaisseur moyenne de la couche déposée en cm		5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle : masse volumique en œuvre : 30 à 50 kg/m <sup>3</sup>		1,0 (1,8)	1,4 (2,6)	1,8 (3,4)	2,3 (4,3)	2,7 (5,1)	3,1 (6,0)	3,6 (6,8)
Granulats de verre expansé	Granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m <sup>3</sup>	0,7 (7)	1,0 (10,5)	1,3 (14)	1,6 (17)	1,9 (20,5)	2,2 (24)	2,5 (27,5)
	Granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m <sup>3</sup>	–	1,0 (9)	1,3 (12)	1,6 (15)	1,9 (18)	2,2 (21)	2,5 (24)
	Granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m <sup>3</sup>	–	0,8 (8,5)	1,0 (11)	1,3 (14)	1,6 (16,5)	1,8 (19,5)	2,1 (22,5)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m <sup>3</sup>		0,7 (4,5)	1,0 (7)	1,3 (9,5)	1,6 (11,5)	2,0 (14)	2,3 (16,5)	2,6 (18,5)

Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent la masse moyenne déposée par m<sup>2</sup> de plancher. Elle est exprimée en kg/m<sup>2</sup>.

## 3.8.4.4 Soufflage à la machine sur plancher à solives

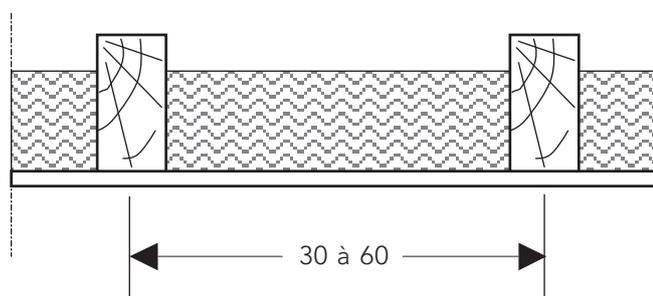


Figure 55

Tableau LX

Masse moyenne déposée en kg par m <sup>2</sup> de plancher		2	3	4	5	6	7	8
Copeaux de mousse de polychlorure de vinyle  Laine de laitier ou de roche	} Masse volumique en œuvre des deux matériaux : 30 à 50 kg/m <sup>3</sup>	1,1 (6)	1,6 (8,5)	2,1 (11,5)	2,6 (14,5)	1,1 (17,5)	3,6 (20)	4,0 (23)
		<b>Masse moyenne déposée en kg par m<sup>2</sup> de plancher, surface des solives incluses</b>						
Granulats de verre expansé	Granulométrie 3/8 : masse volumique en œuvre : 145 à 175 kg/m <sup>3</sup>	0,8 (5,5)	1,0 (7,5)	1,2 (9)	1,4 (11)	1,7 (13)	1,9 (14,5)	2,1 (16,5)
	Granulométrie 8/16 : masse volumique en œuvre : 125 à 155 kg/m <sup>3</sup>	0,8 (6,5)	1,1 (8,5)	1,4 (10,5)	1,6 (12,5)	1,9 (14,5)	2,2 (17)	2,4 (19)
	Granulométrie 16/25 : masse volumique en œuvre : 115 à 145 kg/m <sup>3</sup>	0,7 (7)	0,9 (9)	1,1 (11,5)	1,3 (13,5)	1,5 (16)	1,7 (18)	1,9 (20,5)
Vermiculite : granulométries inférieures à 4 masse volumique en œuvre : 90 à 130 kg/m <sup>3</sup>		1,0 (8)	1,4 (10,5)	1,7 (113,5)	2,0 (16)	2,4 (18,5)	2,7 (21,5)	3,0 (24)

Note : les chiffres indiqués entre parenthèses donnent l'épaisseur en cm obtenue après stabilisation, l'épaisseur à l'application étant approximativement égale à 1,25 fois l'épaisseur à la stabilisation pour des épaisseurs stabilisées inférieures ou égales à 20 cm.

Résistance thermique  $R$  en m<sup>2</sup>.K/W

## 3.8.5 Matériaux projetés

## 3.8.5.1 Laines minérales avec liant synthétique ou hydraulique appliquées suivant les spécifications du DTU 27.1 (NF P 15-201-1 et 2)

Ces matériaux sont projetés avec un liant synthétique ou hydraulique.

Sont visées ici les projections en sous-face de plancher bas sur passage ouvert ou sur locaux ventilés et celles sous bardage rapporté. Selon les emplois et les produits, certains procédés peuvent faire l'objet d'un Avis Technique.

Ces projections présentent en surface un aspect irrégulier. Les résistances thermiques exprimées en m<sup>2</sup>.K/W et indiquées dans le tableau qui suit, sont données en fonction de l'épaisseur moyenne mesurée ( $e_m$ ) avec une pige munie d'un disque de 100 cm<sup>2</sup> (diamètre 11,3 cm) appliquées sans pression. Cette méthode permet de déterminer l'épaisseur correspondant aux aspérités les plus fortes. Les différences de niveau entre les points rapprochés les plus hauts et les plus bas étant de l'ordre de 1 cm, l'épaisseur moyenne réelle ( $e_r$ ) est inférieure de 5 mm à celle mesurée par la méthode du disque.

Tableau LXI : Résistance thermique  $R$  en  $m^2.K/W$ 

Épaisseur moyenne mesurée de la projection $e_m$ (mm)		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Épaisseur moyenne réelle de la projection $e_r$ (mm)		25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125
Laine de laitier ou de roche avec liant hydraulique	Masse volumique en œuvre : 140 à 200 $kg/m^3$	0,55	0,75	1,00	1,20	1,45	1,65	1,85	2,05	2,30	2,50	2,70
	Masse volumique en œuvre : 200 à 300 $kg/m^3$	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	-	-	-	-	-	-
	Masse volumique en œuvre : 300 à 500 $kg/m^3$	0,35	0,50	0,65	0,80	-	-	-	-	-	-	-

### 3.8.5.2 Billes de polystyrène expansé, avec ou sans vermiculite exfoliée, avec liant synthétique ou hydraulique

Ces applications relèvent toutes de la procédure de l'Avis Technique qui précise au cas par cas les résistances thermiques.

### 3.8.5.3 Mousse synthétique (polyuréthane, phénolique, urée-formol, etc.) projetée, injectée ou déposée

L'ensemble de ces procédés relève de la procédure de l'Avis Technique.

Celui-ci précise au cas par cas les résistances thermiques obtenues en fonction des conditions d'application et en œuvre (vieillessement, transferts gazeux, retrait éventuel, taux d'humidité, etc.).

## 3.8.6 Panneaux fibragglo

Panneaux de fibres de bois agglomérées avec un liant hydraulique définis conformément à la norme NF B 56-010.

Les résistances thermiques données ci-dessous correspondent aux fabrications courantes, dont la masse volumique varie avec l'épaisseur des plaques. En cas de non-correspondance entre la masse volumique et l'épaisseur, on calculera la résistance thermique à partir de la conductivité thermique utile donnée au fascicule 2 (Matériaux) et au *paragraphe 1.3.1* du présent fascicule, pour la masse volumique considérée.

Tableau LXII

Masse volumique du béton en $kg/m^3$	450 à 550		350 à 450			250 à 350			
Épaisseur des plaques en cm	1,5	2,0	20,5	3,0	3,5	4,0	5,0	7,5	10,0
Panneaux fibragglo	0,10	0,17	0,21	0,25	0,29	0,40	0,50	0,75	1,00

Résistance thermique  $R$  en  $m^2.K/W$

## 3.8.7 Produits réfléchissants

Le coefficient de transmission thermique utile des parois intégrant un produit réfléchissant dépend des paramètres suivants :

- nature (à bulles, multicouches, etc.) et épaisseur du produit ;
- émissivités des deux faces et effet du vieillissement sur l'émissivité (dépôt de poussière, altération de la surface, etc.) ;
- nombre de lames d'air adjacentes au produit (0, 1 ou 2 lames d'air), leur étanchéité à l'air vis-à-vis de l'ambiance extérieure, la température moyenne de la lame d'air et la différence de température entre les faces en vis-à-vis ;
- sens du flux traversant la paroi (horizontal, vertical ascendant, vertical descendant) ;
- ponts thermiques intégrés générés par les systèmes de fixation du produit (agrafes, solives, etc.).

**Nota :** une attention particulière doit être portée lors de la mise en œuvre du produit pour éviter les risques de pathologies liés notamment à la dégradation de la charpente en bois.

À défaut de valeurs fournies dans les Avis Techniques, le coefficient de transmission surfacique utile  $U_p$  se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \Delta U \text{ (Formule 40) ;}$$

où

$U_c$  est le coefficient de transmission surfacique en partie courante en  $W/(m^2.K)$ , déterminé selon la formule suivante :

$$U_c = 1/(R_r + \sum R_L + R_p) \text{ (Formule 41) ;}$$

où

$R_r$  est la résistance thermique intrinsèque du produit réfléchissant, donnée soit dans un Agrément Technique Européen, soit dans un Avis Technique ou équivalent, ou si un tel Avis ou Agrément n'existe pas, elle est déterminée selon le tableau ci-après (interpolation possible) :

Tableau LXIII : Résistance thermique des produits réfléchissants en  $m^2.K/W$

Type	Épaisseur du produit réfléchissant (mm)				
	0	5	10	20	40
À bulles	0	0,06	0,10	0,20	0,48
Multicouches	0	0,10	0,20	0,40	0,80

$R_L$  est la résistance thermique de la lame d'air  $L$ . À défaut de valeur calculée conformément à ce fascicule,  $R_L$  doit être déterminée selon le tableau ci-dessous (calculs effectués pour  $T_e = 0$ ,  $T_i = 20$  °C). Si l'émissivité utile n'est pas donnée dans un Avis Technique, prendre  $\epsilon = 0,5$  (si lame non ventilée) et  $\epsilon \geq 0,8$  (si lame faiblement ou fortement ventilée).

Tableau LXIV : Résistance thermique d'une lame d'air d'épaisseur minimale  $\geq 2$  cm intégrant une face peu émissive, en  $m^2.K/W$

Lame d'air	Émissivité	Flux horizontal	Flux vertical ascendant	Flux vertical descendant
Non ventilée	0,05	0,53	0,37	0,92
	0,1	0,47	0,34	0,74
	0,2	0,39	0,29	0,54
	0,5	0,34	0,21	0,31
	$\geq 0,8$	0,19	0,17	0,22
Faiblement ventilée	0,05	0,27	0,19	0,46
	0,1	0,24	0,17	0,37
	0,2	0,20	0,15	0,27
	0,5	0,17	0,11	0,16
	$\geq 0,8$	0,10	0,09	0,11
Fortement ventilée	$0 \leq \epsilon \leq 1$	0,0		

Note : interpolation linéaire possible pour des émissivités intermédiaires.

$R_p$  est calculée en ajoutant les résistances thermiques superficielles à la résistance thermique des parements et de l'isolation complémentaire éventuelle ;

$\Delta U$  est la majoration de  $U_c$  due à l'effet des ponts thermiques intégrés, en  $W/(m^2.K)$  :

$$\Delta U = \sum \psi_i / E_i + \sum n_j \chi_j \text{ (Formule 42) ;}$$

où

$\psi_i$  est le coefficient de transmission linéique du pont thermique intégré  $i$ , en  $W/(m.K)$  ;

$\chi_j$  est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré  $j$ , en  $W/K$  ;

$E_i$  est l'entraxe entre ponts thermiques linéaires de type  $i$ , en m ;

$n_j$  est la densité par mètre carré de paroi des ponts thermiques ponctuels.

En cas d'une ossature bois, et en absence de valeurs calculées de  $\psi_i$  et de  $\chi_j$  prendre  $\Delta U = 0,08 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ .

## ■ Exemples

### 1. Calcul d'un rampant intégrant un produit réfléchissant

Rampant de toiture incliné à  $45^\circ$  intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique de 0,05 sur la face intérieure et de 0,4 sur la face extérieure et aménageant deux lames d'air de 3 cm d'épaisseur chacune de part et d'autre du produit. La lame située côté intérieur est considérée comme non ventilée et celle côté extérieur est considérée comme fortement ventilée. La résistance thermique du parement intérieur est de  $0,05 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

$$U_p = U_c + \Delta U ;$$

$$U_c = 1/(R_r + \sum R_l + R_p) ;$$

$$R_r = 0,4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame intérieure}} = 0,37 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame extérieure}} = 0,0 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$\sum R_l = 0,37 + 0,0 = 0,37 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_p = 0,05 + R_{si} + R_{se} = 0,25 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} \quad (R_{se} = R_{si} = 0,1 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}) ;$$

$$U_c = 0,98 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad U_p = 0,98 + 0,08 = 1,1 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}).$$

### 2. Calcul d'un mur intégrant un produit réfléchissant

Un mur en béton intégrant un produit réfléchissant multicouches de 2 cm d'épaisseur ayant une émissivité utile validée par un Avis Technique, de 0,05 sur les deux faces et aménageant deux lames d'air non ventilées de 3 cm d'épaisseur chacune, de part et d'autre du produit (cette configuration nécessite une mise en œuvre soignée). La résistance thermique du mur et du parement intérieur est de  $0,25 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}$ .

$$U_p = U_c + \Delta U ;$$

$$U_c = 1/(R_r + \sum R_l + R_p) ;$$

$$R_r = 0,4 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame intérieure}} = 0,53 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_{\text{lame extérieure}} = 0,53 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$\sum R_l = 0,53 + 0,53 = 1,06 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} ;$$

$$R_p = 0,15 + R_{si} + R_{se} = 0,32 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W} \quad (R_{se} + R_{si} = 0,17 \text{ m}^2.\text{K}/\text{W}) ;$$

$$U_c = 0,562 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}) \quad U_p = 0,562 + 0,08 = 0,64 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K}).$$

### 3.9 Ponts thermiques intégrés courants ( $\psi$ , $\chi$ )

Les ponts thermiques intégrés dégradent l'isolation des parois opaques, et par conséquent doivent être pris en compte pour le calcul du coefficient de transmission surfacique  $U_p$  (cf. formule 15).

Ce chapitre contient des valeurs par défaut des coefficients linéiques ( $\psi$ ) et ponctuels ( $\chi$ ) de ponts thermiques intégrés courants présents dans quelques parois opaques courantes.

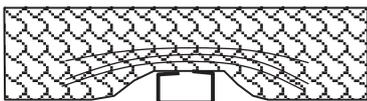
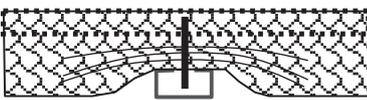
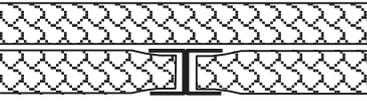
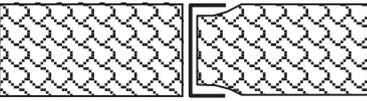
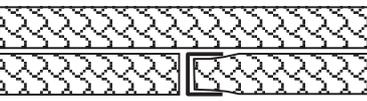
Ces valeurs par défaut sont majorées par rapport aux valeurs qu'on peut obtenir par un calcul précis et ne doivent être utilisées qu'en absence :

- de valeurs données dans les documents d'Avis technique ;
- de valeurs calculées conformément au fascicule 5 (Ponts thermiques).

Les ponts thermiques intégrés non visés par ce chapitre peuvent être déterminés soit d'après les Avis Techniques en vigueur, soit par calcul conformément au fascicule 5 (Ponts thermiques).

#### 3.9.1 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les systèmes de doublage intérieur des murs

Tableau LXV

Pont thermique intégré	Effet sur l'isolation thermique de la paroi	$\psi$ W/(m.K)		$\chi$ W/K	
		$E_i = 10$ cm	$E_i = 20$ cm	$E_i = 10$ cm	$E_i = 20$ cm
 Profilé métallique vertical ou horizontal	 Compression de l'isolant	0,005	0,002	–	
 Tige métallique servant d'appui intermédiaire entre profilés verticaux et horizontaux	 Pénétration de l'isolant	–		0,04	0,03
 Profilé métallique vertical en forme de I	 Interruption de l'unique couche d'isolant	0,14	0,12	–	
 Profilé métallique vertical en forme de I	 Interruption d'une couche d'isolant sur deux	0,05	0,03	–	
 Profilé métallique vertical en forme de U	 Interruption de l'unique couche d'isolant	0,07	0,06	–	
 Profilé métallique vertical en forme de U	 Interruption d'une couche d'isolant sur deux	0,03	0,02	–	

Note 1 :  $E_i$  est l'épaisseur totale d'isolation en cm.  
 Note 2 : interpolations possibles pour des épaisseurs d'isolation intermédiaires.

### 3.9.2 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les systèmes d'isolation par l'extérieur des murs

#### 3.9.2.1 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  d'une paroi intégrant un système d'isolation par l'extérieur à base de bardage ventilé ou d'enduit sur isolant se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \sum_i \frac{\Psi_i}{E_i} + n \cdot \chi_j ;$$

où

$U_c$  est le coefficient de transmission thermique surfacique en partie courante, en  $W/(m^2.K)$  ;

$\Psi_i$  est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique intégré  $i$ , en  $W/(m.K)$  ;

$E_i$  est l'entraxe du pont thermique linéique  $i$ , en m ;

$n$  est le nombre de ponts thermiques ponctuels par  $m^2$  de paroi. Pour les systèmes d'enduit sur isolant, la valeur courante de  $n$  est égale à 10 ;

$\chi_j$  est le coefficient de transmission thermique ponctuel du pont thermique intégré  $j$ , en  $W/K$ .

Les coefficients  $\Psi$  et  $\chi$  doivent être déterminés par simulation numérique conformément à la méthode donnée dans les règles Th-Bât, fascicule 5 (Ponts thermiques). En absence de valeurs calculées numériquement, les valeurs par défaut données ci-après peuvent être utilisées.

#### 3.9.2.2 Valeurs tabulées $\Psi$ et $\chi$

##### 3.9.2.2.1 Systèmes de bardages rapportés sur ossature bois ou métallique

Bardages rapportés sur une ossature secondaire fixée mécaniquement au mur support par des pattes équerres. L'isolant est maintenu sur le mur par des fixations ponctuelles généralement en matière plastique. Cette technique comporte une lame d'air fortement ventilée entre l'isolant et le parement extérieur. Un profilé métallique de fractionnement de la lame d'air peut être mis en place selon l'usage du bâtiment et sa hauteur.

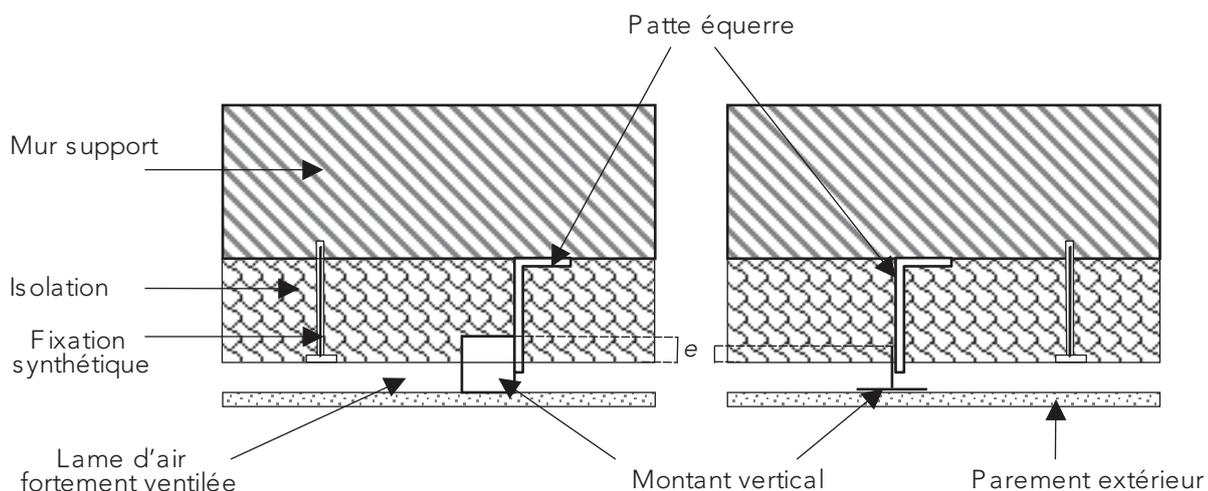


Figure 56 : Principe du bardage rapporté (coupe horizontale)

## 3.9.2.2.1.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéique  $\psi$  (W/(m.K)) et  $\chi$  (W/K) données ci-après sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- mur support : béton, maçonnerie courante ;
- isolants thermiques :  $0,029 \leq \lambda \leq 0,05$  W/(m.K) ;
- bois : feuillus mi-lourd  $\rho \leq 865$  kg/m<sup>3</sup> ou résineux lourd  $\rho \leq 700$  kg/m<sup>3</sup> ;
- patte équerre : acier ou alliage d'aluminium selon le type de montant ;
- montant : chevron (section rectangulaire  $\leq 80 \times 80$  mm) ou en alliage d'aluminium (profilé en T d'épaisseur 2,5 mm) ;
- épaisseur d'isolant traversée par le montant :
  - ossature bois :  $e \leq 60$  mm,
  - ossature métallique :  $e \leq 30$  mm ;
- isolant fixé ponctuellement par des fixations synthétiques (ex. : plastique) sans éléments métalliques.

## 3.9.2.2.1.2 Valeurs par défaut

Tableau LXVI

Épaisseur isolation	Coefficient $\chi$ des pattes équerres en W/K			
	Montant et patte en alliage d'aluminium		Chevron avec patte en acier	
	Section transversale des pattes équerres au niveau de l'isolant			
	100 mm <sup>2</sup>	450 mm <sup>2</sup>	100 mm <sup>2</sup>	450 mm <sup>2</sup>
50 mm	0,093	0,230	0,020	0,053
100 mm	0,083	0,212	0,018	0,050
200 mm	0,057	0,174	0,014	0,045
250 mm	0,049	0,157	0,012	0,041
300 mm	0,043	0,140	0,011	0,038
	Valeurs calculées pour $e = 30$ mm		Valeurs calculées pour $e = 60$ mm	

Interpolations linéaires possibles.

Extrapolations linéaires possibles pour des sections de pattes équerres  $\leq 600$  mm<sup>2</sup> et pour des épaisseurs d'isolant  $\leq 400$  mm.

Tableau LXVII

Toutes épaisseurs d'isolant	Coefficient $\chi$ des chevilles synthétiques en W/K
	0,0

Tableau LXVIII

Épaisseur isolation	Coefficient $\Psi$ des ponts thermiques linéaires (en W/m.K)		
	Montant et patte en aluminium	Chevron avec patte en acier	Profilé métallique de fractionnement
50 mm	0,004	0,015	1,06
100 mm	0,003	0,012	1,00
200 mm	0,002	0,007	0,85
250 mm	0,001	0,005	0,80
300 mm	0,0	0,002	0,75

Interpolations et extrapolations linéaires possibles pour des épaisseurs d'isolant comprises entre 50 et 400 mm.

## 3.9.2.2.1.3 Exemple

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un bardage en bois.

Description de la paroi :

- mur en béton d'épaisseur = 180 mm ;
- chevrons en bois ;
- entraxe horizontal des montants = 600 mm ;
- entraxe vertical des pattes équerres = 1 350 mm ;
- patte équerre en acier, section = 100 mm<sup>2</sup> ;
- première couche d'isolant derrière montants :  $e_1 = 90$  mm,  $\lambda_1 = 0,04$  W/(m.K) ;
- deuxième couche d'isolant entre montants :  $e_2 = 60$  mm,  $\lambda_2 = 0,04$  W/(m.K) ;
- pas de profilé de fractionnement de la lame d'air.

$$U_p = U_c + \sum_i \frac{\Psi_i}{E_i} + n \cdot \chi_j ;$$

- Calcul du coefficient de transmission  $U_p$  :

$$U_c = 1 / (0,26 + (0,15 / 0,04) + (0,18 / 2)) = 0,244 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\Psi \text{ (chevron bois)} = 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$\chi \text{ (patte équerre acier)} = 0,016 \text{ W}/\text{K}$$

$$n = 1 / (0,6 \times 1,35) = 1,2 \text{ patte}/\text{m}^2$$

$$U_p = 0,244 + \frac{0,01}{0,6} + 1,2 \times 0,016 = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

## 3.9.2.2.2 Systèmes d'enduit sur isolant

L'isolant est fixé au mur porteur avant d'être recouvert d'un enduit extérieur. La fixation de l'isolant sur le mur support est réalisée soit par collage direct seul soit par calage associé à des fixations ponctuelles (clou avec cheville synthétique) ou encore par emboîtement sur des profilés synthétiques.

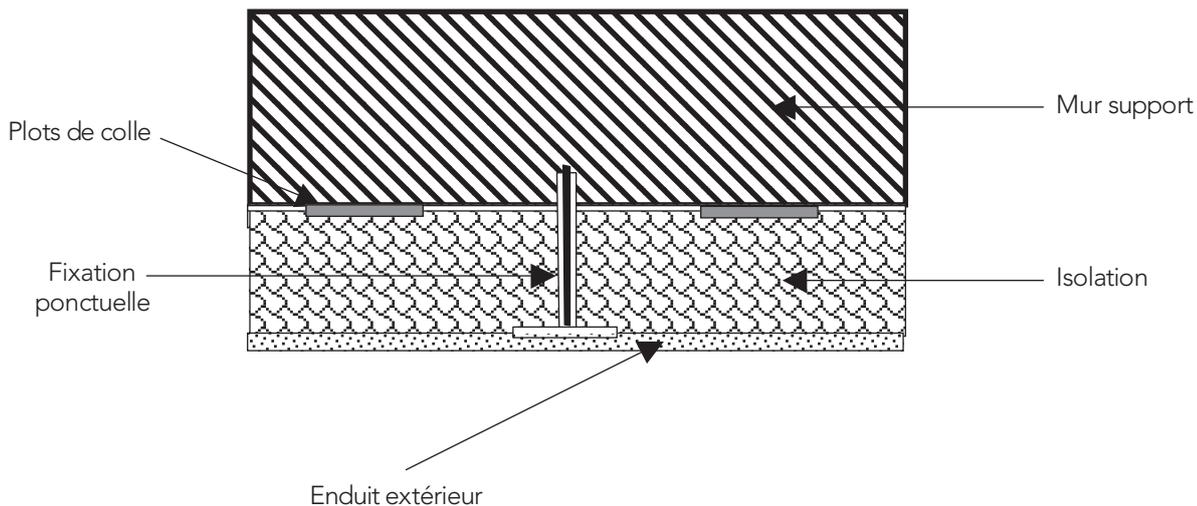


Figure 57 : Enduit sur isolant chevillé

## 3.9.2.2.2.1 Hypothèses

- Mur support : béton, maçonnerie courante ;
- isolants thermiques :  $0,029 \leq \lambda \leq 0,05$  W/(m.K) ;
- isolant chevillé :
  - clou métallique de fixation, diamètre = 4 à 6 mm,
  - clou synthétique, tous diamètres courants ;
- isolant fixé sur rails :
  - rails en matière synthétique.

## 3.9.2.2.2.2 Valeurs par défaut

Tableau LXIX

Épaisseur isolation	Coefficient $\chi$ en W/K				Coefficient $\Psi$ en W/(m.K)
	Isolant chevillé		Clou synthétique	Plots de colle	Isolant chevillé, collé ou fixé mécaniquement sur des rails synthétiques
Clou en acier galvanisé	Clou en acier inox				
50 mm	0,004	0,002	0	0	0
100 mm	0,003	0,002			
200 mm	0,003	0,001			
250 mm	0,003	0,001			
300 mm	0,003	0,001			

Interpolations et extrapolations possibles pour des épaisseurs d'isolant comprises entre 50 et 400 mm.

## 3.9.2.2.2.3 Exemple

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un système d'enduit sur isolant chevillé.

Description de la paroi :

- mur en béton d'épaisseur = 180 mm ;
- clous en acier galvanisé ;
- densité des clous/m<sup>2</sup> = 10 ;
- diamètre des clous = 5 mm ;
- isolant :  $e = 150$  mm,  $\lambda = 0,04$  W/(m.K).

Calcul du coefficient de transmission  $U_p$  :

$$U_p = U_c + \sum_i \frac{\Psi_i}{E_i} + n \cdot \chi ;$$

$$U_c = 1 / (0,17 + (0,15 / 0,04) + (0,18 / 2)) = 0,249 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\chi = 0,003 \text{ W}/\text{K}$$

$$\Psi_i = 0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

$$n = 10$$

$$U_p = 0,249 + 10 \times 0,003 = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

## 3.9.3 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les parois légères à ossature bois

## 3.9.3.1 Hypothèses

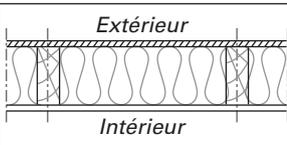
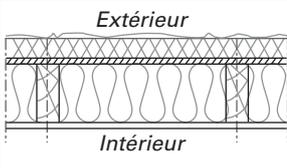
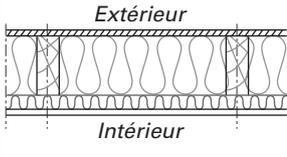
Ce paragraphe présente les valeurs par défaut des coefficients  $\psi$ ,  $\chi$  et  $\Delta U$  donnant l'impact des ponts thermiques intégrés présents au niveau des murs extérieurs, planchers hauts et bas, et rampants à ossatures bois. Des interpolations peuvent être effectuées pour des valeurs ne figurant pas dans les tableaux.

Pour les configurations qui suivent, on appelle « isolation complémentaire » toute couche d'isolant continue et donc non interrompue par les éléments de structure en bois, placée côté extérieur ou intérieur de la paroi.

3.9.3.2 Les murs extérieurs

3.9.3.2.1 Ossatures

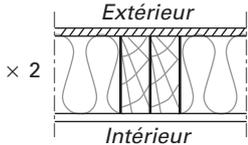
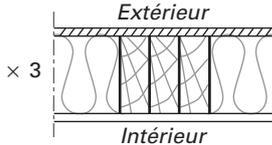
Tableau LXX

		$\psi$ (W/(m.K))		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))			
		Montant 36 mm	Montant 50 mm	Entraxe 400 mm		Entraxe 600 mm	
				Montant 36 mm	Montant 50 mm	Montant 36 mm	Montant 50 mm
	Isolation entre montants	0,03	0,04	0,08	0,10	0,05	0,07
	Isolation entre montants + isolation complémentaire <sup>(*)</sup>	0,02	0,02	0,05	0,05	0,03	0,03
							

\* Résistance minimale de l'isolation complémentaire extérieure ou intérieure = 0,75 m<sup>2</sup>.K/W

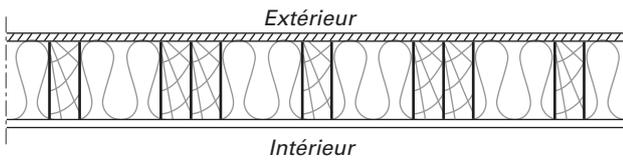
3.9.3.2.2 Poteaux

Tableau LXXI : Poteaux reconstitués

	 × 2	 × 3	$\psi$ (W/(m.K))			
			Montant 36 mm		Montant 50 mm	
			× 2	× 3	× 2	× 3
Isolation entre montants	0,06	0,08	0,08	0,12		
Isolation entre montants + isolation complémentaire <sup>(*)</sup>	0,03	0,04	0,04	0,05		

Note : ajouter + 25 % dans le cas où le poteau reconstitué est en contact avec un poteau métallique intérieur.  
\* Résistance minimale de l'isolation complémentaire extérieure ou intérieure = 0,75 m<sup>2</sup>.K/W.

Tableau LXXII : Panneaux préfabriqués avec au plus un poteau reconstitué (× 2) sur deux ossatures

		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))			
		Entraxe 400 mm		Entraxe 600 mm	
		Montant 36 mm	Montant 50 mm	Montant 36 mm	Montant 50 mm
Isolation entre montants	0,11	0,15	0,08	0,10	
Isolation entre montants + isolation complémentaire <sup>(*)</sup>	0,06	0,08	0,04	0,05	

\* Résistance minimale de l'isolation complémentaire extérieure ou intérieure = 0,75 m<sup>2</sup>.K/W.

Tableau LXXIII : Poteaux massifs

Les coefficients $\psi$ donnés prennent également en compte l'impact thermique des montants en bois de chaque côté du poteau massif	Résistance thermique isolant entre montants ( $m^2.K/W$ )	$\psi$ (W/(m.K))			
		Poteau non traversant		Poteau traversant	
		<b>Section 100 x 150</b>	<b>Section 200 x 300</b>	<b>Section 100 x 150</b>	<b>Section 200 x 300</b>
Isolation entre montants	2,5	0,18	0,25	0,18	0,23
	4	0,13	0,19	0,14	0,18
Isolation entre montants + isolation complémentaire extérieure (*)	2,5	0,09	0,13	0,13	0,18
	4	0,08	0,12	0,11	0,16
Isolation entre montants + isolation complémentaire intérieure (*)	2,5	0,13	0,19	0,13	0,18
	4	0,10	0,16	0,10	0,16

\* Résistance minimale de l'isolation complémentaire = 0,75  $m^2.K/W$ .

Tableau LXXIV : Poteaux béton isolés avec  $R \geq 1 m^2.K/W$

Les coefficients $\psi$ donnés prennent également en compte l'impact thermique des montants en bois de chaque côté du poteau massif.	$\psi$ (W/(m.K))	
	<b>Section 200 x 200</b>	<b>Section 300 x 300</b>
Isolation entre montants, seule ou avec isolation complémentaire intérieure (*)	0,32	0,47
Isolation entre montants + isolation complémentaire extérieure (*)	0,22	0,37

\* Résistance minimum de l'isolation complémentaire = 0,75  $m^2.K/W$ .

3.9.3.3 Les planchers hauts et bas

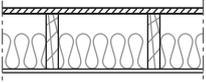
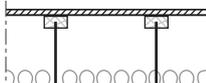
3.9.3.3.1 Les planchers hauts

Tableau LXXV

		$\psi$ (W/(m.K))		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))			
		Résistance isolant complémentaire ( $m^2.K/W$ )		Entraxe 400 mm		Entraxe 600 mm	
Solives massives ou entrails	Solives en I (âme OSB 10 mm)	0	$\geq 1,5$	Résistance isolant complémentaire ( $m^2.K/W$ )		Résistance isolant complémentaire ( $m^2.K/W$ )	
		0	$\geq 1,5$	0	$\geq 1,5$	0	$\geq 1,5$
<b>Largeur solives 36 mm</b>		0,03	0,01	0,08	0,03	0,05	0,02
<b>Largeur solives 50 mm</b>		0,04	0,01	0,10	0,03	0,07	0,02
<b>Largeur solives 75 mm</b>		0,05	0,02	0,13	0,05	0,08	0,03

## 3.9.3.3.2 Les planchers bas

Tableau LXXVI

			$\psi$ (W/(m.K))		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))			
			Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)		Entraxe 400 mm		Entraxe 600 mm	
			3,5	5	3,5	5	3,5	5
<b>Solives massives de 50 mm ou solives en I de 45 mm</b>			0,03	0,02	0,08	0,05	0,05	0,03
<b>Solives massives de 75 mm ou solives en I de 70 mm</b>			0,04	0,03	0,10	0,08	0,07	0,05

## 3.9.3.4 Les rampants de toitures

## 3.9.3.4.1 Charpentes traditionnelles

## 3.9.3.4.1.1 Isolation en une couche entre les pannes

Valeurs  $\Delta U$  calculées pour entraxe rail de 600 mm, et densité de suspentes = 3/m<sup>2</sup>.

Si paramètres différents, faire calcul détaillé à partir des valeurs  $\psi$  et  $\chi$

Tableau LXXVII : Épaisseur totale d'isolation entre pannes : 140 mm

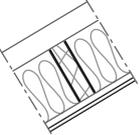
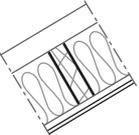
	$\psi_{\text{panne}}$ W/(m.K)	$\psi_{\text{rail}}$ W/(m.K)	$\chi_{\text{suspente}}$ W/K	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))		
				Entraxe panne (mm)		
				1 000	1 500	2 000
<b>Section panne 75 × 250</b>	0,05	0,002	0,007	0,07	0,06	0,05
<b>Section panne 100 × 250</b>	0,06			0,08	0,06	0,05
<b>Section panne 150 × 250</b>	0,08			0,10	0,08	0,06

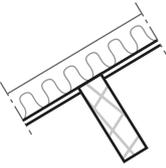
Tableau LXXVIII : Épaisseur totale d'isolation entre pannes : 280 mm

	$\psi_{\text{panne}}$ W/(m.K)	$\psi_{\text{rail}}$ W/(m.K)	$\chi_{\text{suspente}}$ W/K	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))		
				Entraxe panne (mm)		
				1 000	1 500	2 000
<b>Section panne 75 × 250</b>	0,027	-	0,005	0,04	0,03	0,03
<b>Section panne 100 × 250</b>	0,036			0,05	0,04	0,03
<b>Section panne 150 × 250</b>	0,053			0,07	0,05	0,04

Interpolations possibles pour des épaisseurs d'isolation intermédiaires

## 3.9.3.4.1.2 Isolation en une couche entre chevrons

Tableau LXXIX : Isolation en une couche entre chevrons

	$\psi_{\text{chevron}}$ W/(m.K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))	
		Entraxe chevron (mm)	
		450	600
	0,06	0,13	0,10

## 3.9.3.4.1.3 Isolation en deux couches

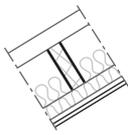
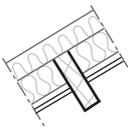
Valeurs  $\Delta U$  calculées pour entraxe rail de 600 mm, entraxe chevron de 600 mm et densité de suspentes = 3/m<sup>2</sup>.

Si paramètres différents, faire calcul détaillé à partir des valeurs  $\psi$  et  $\chi$ .

Épaisseur totale d'isolation entre chevrons ou sous panne : 50 mm.

Épaisseur totale d'isolation entre pannes : 140 mm.

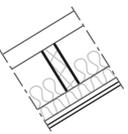
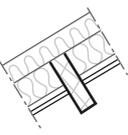
Tableau LXXX

			$\psi$ (W/(m.K))			$\chi$ (W/K)		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))		
			Panne	Rail	Chevron	Suspente	Croisement panne chevron	Entraxe panne (mm)		
								1 000	1 500	2 000
	Isolation entre les pannes et sous les pannes	Section panne 75 x 250	0,021	0,001	-	0,005	-	0,05	0,05	0,04
		Section panne 100 x 250	0,026					0,06	0,05	0,05
		Section panne 150 x 250	0,036					0,07	0,06	0,05
	Isolation entre les pannes et entre les chevrons	Section panne 75 x 250	0,021	0,010	-	-	0,002	0,06	0,05	0,05
		Section panne 100 x 250	0,026				0,002	0,06	0,05	0,05
		Section panne 150 x 250	0,036				0,003	0,07	0,06	0,05

Épaisseur totale d'isolation entre chevrons ou sous panne : 60 mm.

Épaisseur totale d'isolation entre pannes : 280 mm.

Tableau LXXXI

			$\psi$ (W/(m.K))			$\chi$ (W/K)		$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))		
			Panne	Rail	Chevron	Suspente	Croisement panne chevron	Entraxe panne (mm)		
								1 000	1 500	2 000
	Isolation entre les pannes et sous les pannes	Section panne 75 x 250	0,016	-	-	0,005	-	0,03	0,03	0,02
		Section panne 100 x 250	0,020					0,04	0,03	0,03
		Section panne 150 x 250	0,029					0,04	0,03	0,03
	Isolation entre les pannes et entre les chevrons	Section panne 75 x 250	0,016	0,005	0,003	-	-	0,03	0,03	0,03
		Section panne 100 x 250	0,020				0,001	0,04	0,03	0,03
		Section panne 150 x 250	0,029				0,001	0,05	0,04	0,03

Interpolations possibles pour des épaisseurs d'isolation intermédiaires.

## 3.9.3.4.1.4 Illustration

Calcul du coefficient  $U_p$  pour une toiture à ossature bois, en charpente traditionnelle, avec isolation en deux couches entre les pannes et entre les chevrons.

Description de la paroi :

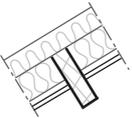
- entraxe panne  $E_{panne} = 1\,500\text{ mm}$  ;
- entraxe rail  $E_{rail} = 600\text{ mm}$  ;
- entraxe chevron  $E_{chevron} = 600\text{ mm}$  ;
- densité de suspente  $n_{suspente} = 3/\text{m}^2$  ;
- couche d'isolant entre les pannes :  $e_1 = 140\text{ mm}$ ,  $\lambda_1 = 0,04\text{ W/(m.K)}$  ;
- couche d'isolant entre les chevrons :  $e_2 = 50\text{ mm}$ ,  $\lambda_2 = 0,04\text{ W/(m.K)}$  ;
- parement intérieur plâtre :  $e_p = 12,5\text{ mm}$ ,  $\lambda_p = 0,25\text{ W/(m.K)}$ .
- section des pannes :  $100 \times 250\text{ mm}$

Calcul du coefficient de transmission en partie courante :

$$U_c = \frac{1}{R_{si} + \frac{e_p}{\lambda_p} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + R_{se}} = 0,20\text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

## 3.9.3.4.1.5 Méthode détaillée

Lecture des valeurs tabulées correspondant à la configuration (cf. tableau LXXX) :

	$\psi$ (W/(m.K))		$\chi$ (W/K)		
	Panne	Rail	Chevron	Suspente	Croisement panne chevron
	0,026	0,001	0,010	0,005	0,002

Calcul des linéaires de ponts thermiques pour une surface de paroi  $A = 1\text{ m}^2$  :

- pour les pannes :  $L_{panne} = A/E_{panne} = 0,67\text{ m}$  ;
- pour les rails :  $L_{rail} = A/E_{rail} = 1,67\text{ m}$  ;
- pour les chevrons :  $L_{chevron} = A/E_{chevron} = 1,67\text{ m}$ .

Calcul du nombre de croisements panne/chevron pour une surface de paroi  $A = 1\text{ m}^2$  :

$$n_{panne/chevron} = A/(E_{panne} \times E_{chevron}) = 1,11.$$

Calcul de  $U_p$  par la formule (15) :

$$U_p = U_c + \frac{\psi_{panne} L_{panne} + \psi_{rail} L_{rail} + \psi_{chevron} L_{chevron} + \chi_{suspente} n_{suspente} + \chi_{panne/chevron} n_{panne/chevron}}{A};$$

$$U_p = 0,25\text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

## 3.9.3.4.1.6 Méthode simplifiée

Lecture de la valeur de  $\Delta U$  (cf. tableau LXXX) :

$$\Delta U = 0,05\text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

Calcul de  $U_p$  par la formule (15') :

$$U_p = U_c + \Delta U;$$

$$U_p = 0,25\text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

### 3.9.3.4.2 Fermettes

Valeurs  $\Delta U$  calculées pour entraxe fermette de 600 mm, entraxe rail de 600 mm, et densité de suspentes = 3/m<sup>2</sup>.

Si paramètres différents, faire calcul détaillé à partir des valeurs  $\psi$  et  $\chi$ .

Tableau LXXXII : Épaisseur totale d'isolation entre fermettes : 140 mm

 Isolant en une couche	$\psi_{\text{fermette}}$ W/(m.K)	$\psi_{\text{rail}}$ W/(m.K)	$\chi_{\text{suspente}}$ W/K	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))
		0,020	0,001	0,005

Tableau LXXXIII : Épaisseur totale d'isolation entre fermettes : 280 mm

 Isolant en une couche	$\psi_{\text{fermette}}$ W/(m.K)	$\psi_{\text{rail}}$ W/(m.K)	$\chi_{\text{suspente}}$ W/K	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))
		0,015	–	0,003

Interpolations possibles pour des épaisseurs d'isolation intermédiaires.

### 3.9.3.4.3 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les rampants isolés à l'aide de caissons chevrons

**Nota** : cette technique est non traditionnelle. Par conséquent, ce paragraphe ne traite que de l'aspect thermique du procédé et ne préjuge en rien de son aptitude à l'emploi qui relève d'une procédure d'évaluation technique (Atec, DTA, ATeX, etc.).

#### 3.9.3.4.3.1 Domaine d'application

La présente méthode s'applique aux rampants isolés par des caissons chevrons constitués comme décrit ci-après.

## 3.9.3.4.3.2 Description succincte

Un caisson chevronné est un procédé industrialisé destiné à l'isolation thermique des rampants en neuf ou rénovation. L'isolation est posée entre chevrons. Le procédé comporte un parement intérieur en bois ou en plaque de plâtre. Certains systèmes comportent également des renforts transversaux entre chevrons (lattes, tiges) noyés dans l'épaisseur de l'isolant. Les caissons sont directement fixés aux pannes par attaches ponctuelles métalliques. La jonction entre caissons est traitée par un isolant. La lame d'air située entre les tuiles et l'isolant est ventilée sur l'extérieur.

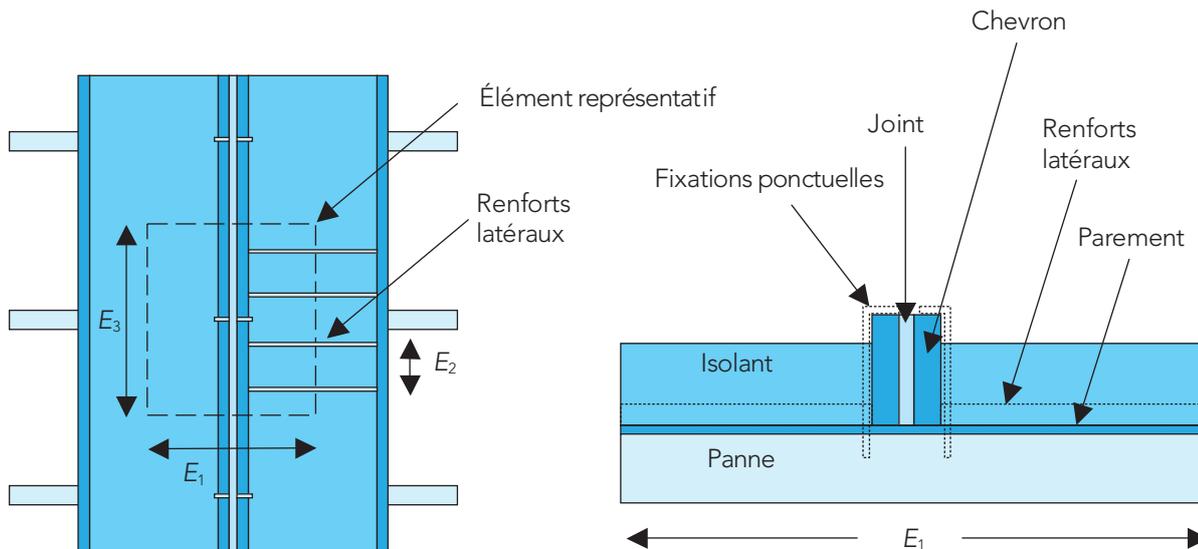


Figure 58 : Schéma représentatif d'un caisson chevronné avec fixation aux pannes par crampons en L

## 3.9.3.4.3.3 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  d'un rampant comportant un caisson chevronné se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_1}{E_1} + \frac{\Psi_2}{E_2} + \frac{\Psi_3}{E_1} + n \times \chi ;$$

où

$\Psi_1$  est le coefficient de transmission linéique dû à la jonction entre deux caissons, en W/(m.K) ;

$\Psi_2$  est le coefficient de transmission linéique dû aux renforts latéraux éventuels, en W/(m.K) ;

$\Psi_3$  est le coefficient de transmission linéique dû à un chevron intermédiaire éventuel, en W/(m.K) ;

$\chi$  est le coefficient de transmission ponctuel dû à une fixation métallique, en W/K ;

$n$  est le nombre de fixations ponctuelles par  $m^2$  de paroi ;

$E_1$  est l'entraxe des caissons mis en œuvre (avec joint), en m ;

$E_2$  est l'entraxe des renforts latéraux éventuels, en m ;

$U_c$  est le coefficient de transmission thermique en partie courante du rampant, en W/( $m^2.K$ ) :

$$U_c = \frac{1}{0,2 + R_p + R_i} ;$$

où

$R_p$  est la résistance thermique du parement en  $m^2.K/W$  ;

$R_i$  est la résistance thermique de l'isolant.

Les coefficients  $\Psi$  et  $\chi$  doivent être déterminés par simulation numérique conformément à la méthode donnée dans les règles Th-Bât, fascicule 5 (Ponts thermiques). En l'absence de valeurs calculées numériquement, les valeurs par défaut données ci-après peuvent être utilisées.

3.9.3.4.3.4 Valeurs tabulées  $\psi$  et  $\chi$ 3.9.3.4.3.4.1 *Systèmes de fixation par crampons métalliques en « L » ou par tire-fond*

Crampons métalliques traversant l'isolant à proximité du chevron avant encastrement dans l'ossature porteuse.

Tire-fond ou vis auto-taraudeuse traversant le chevron avant encastrement dans l'ossature porteuse.

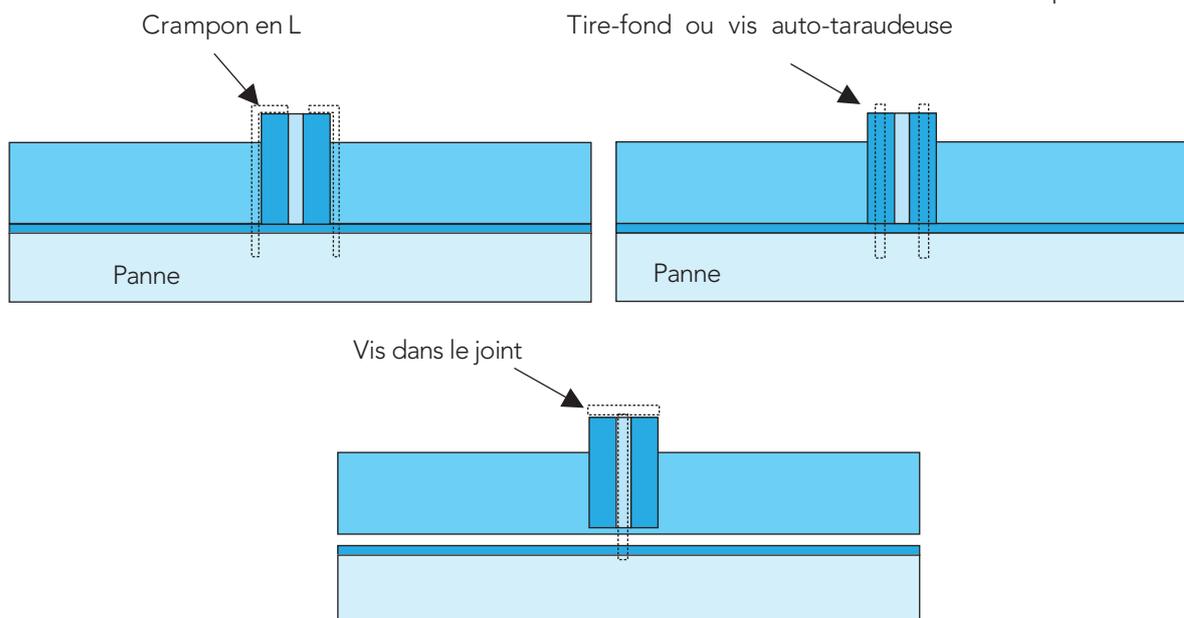


Figure 59 : Fixation des caissons sur les pannes par des crampons métalliques, tire-fond ou vis dans le joint

## 3.9.3.4.3.4.1.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition ponctuels  $\chi$  (W/K) données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- crampons métalliques, vis :
  - section carrée de 5 mm de côté ou diamètre  $\leq 6,3$  mm ;
  - acier galvanisé ou acier inoxydable ;
- tire-fond, vis auto-taraudeuse ou vis dans le joint :
  - diamètre 8 mm ;
  - acier ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur d'isolant : 80 à 250 mm ;
- fixations sur charpente bois ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux OSB.

## 3.9.3.4.3.4.1.2 Valeurs par défaut

Tableau LXXXIV

Épaisseur d'isolant (mm)	$\chi$ en W/K				
	Crampon métallique en L				Tire-fond, vis auto-taraudeuse ou vis dans le joint
	Avec remontée d'isolant le long des chevrons		Sans remontée d'isolant le long des chevrons		
Acier	Acier inoxydable	Acier	Acier inoxydable	Acier	
80	0,004	0,002	0,005	0,003	0,005
150			0,004	0,002	
200	0,003	0,001			0,004
250					

Interpolations linéaires possibles.

## 3.9.3.4.3.4.2 Renforts latéraux par lattes en bois ou tiges métalliques

## 3.9.3.4.3.4.2.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéiques  $\psi$  (W/K), données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- lattes en bois : section rectangle  $\leq 22 \times 32$  mm<sup>2</sup> en résineux léger de masse volumique nominale  $\leq 500$  kg/m<sup>3</sup> ( $\lambda_{\text{bois}} = 0,13$  W/(m.K)) ;
- tiges métalliques : acier galvanisé, diamètre  $\leq 8$  mm ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur d'isolant : 80 à 250 mm ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux OSB.

## 3.9.3.4.3.4.2.2 Valeurs par défaut

Tableau LXXXV

Épaisseur d'isolant (mm)	$\psi$ en W/(m.K)	
	Lattes bois	Tiges métalliques
80	0,004	0,000
150	0,001	
200		
250	0,000	

Interpolations linéaires possibles.

## 3.9.3.4.3.4.3 Chevron unique (cas des caissons à 3 ou 4 chevrons)

## 3.9.3.4.3.4.3.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéiques  $\psi$  (W/K), données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- chevrons en bois : largeur de 25 mm en résineux mi-lourd de masse volumique nominale  $500 < \rho_n \leq 600$  kg/m<sup>3</sup> ( $\lambda_{\text{bois}} = 0,15$  W/(m.K)) ;
- hauteur entre l'isolant et la partie supérieure du chevron :  $\geq 20$  mm ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur d'isolant : 80 à 250 mm ;
- remontée d'isolant le long du chevron d'épaisseur 10 mm ;
- parement intérieur : tout type (plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux OSB).

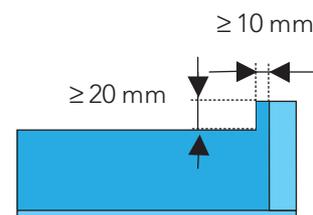


Figure 60

## 3.9.3.4.3.4.3.2 Valeurs par défaut

Tableau LXXXVI

Épaisseur d'isolant (mm)	$\psi$ en W/(m.K)					
	Avec remontée d'isolant le long des chevrons			Sans remontée d'isolant le long des chevrons		
	$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))			$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))		
	0,023	0,035	0,045	0,023	0,035	0,045
80	0,025	0,022	0,019	0,028	0,025	0,022
150	0,016	0,015	0,013	0,018	0,016	0,014
200	0,013	0,012	0,010	0,014	0,012	0,011
250	0,011	0,010	0,009	0,011	0,010	0,009

Interpolations linéaires possibles.

## 3.9.3.4.3.4.4 Jonction entre deux caissons

## 3.9.3.4.3.4.4.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéiques  $\psi$  (W/K), données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- chevrons en bois : largeur inférieure ou égale à 27 mm en résineux mi-lourd de masse volumique nominale  $500 < \rho_n \leq 600 \text{ kg/m}^3$  ( $\lambda_{\text{bois}} = 0,15 \text{ W/(m.K)}$ ) ;
- hauteur entre l'isolant et la partie supérieure du chevron :  $\geq 20 \text{ mm}$  ;
- joint entre caissons : épaisseur de 10 à 25 mm ;
- conductivité thermique du joint : 0,035 à 0,050 W/(m.K) ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045 \text{ W/(m.K)}$  ;
- épaisseur d'isolant : 80 à 250 mm ;
- remontée d'isolant le long du chevron d'épaisseur 10 mm ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux OSB.

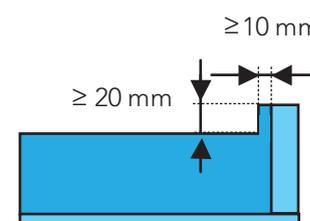


Figure 61

## 3.9.3.4.3.4.4.2 Valeurs par défaut

Tableau LXXXVII

Épaisseur d'isolant (mm)	$\psi$ en W/(m.K)					
	Avec remontée d'isolant le long des chevrons					
	$E_{\text{joint}} = 10 \text{ mm}$			$E_{\text{joint}} = 25 \text{ mm}$		
	$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))			$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))		
	0,023	0,035	0,045	0,023	0,035	0,045
80	0,053	0,044	0,037	0,055	0,045	0,037
150	0,035	0,031	0,027	0,037	0,032	0,027
200	0,029	0,025	0,022	0,030	0,026	0,022
250	0,024	0,021	0,018	0,025	0,022	0,019

Tableau LXXXVIII

Épaisseur d'isolant (mm)	$\psi$ en W/(m.K)					
	Sans remontée d'isolant le long des chevrons					
	$E_{\text{joint}} = 10 \text{ mm}$			$E_{\text{joint}} = 25 \text{ mm}$		
	$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))			$\lambda_{\text{isolant}}$ (W/(m.K))		
	0,023	0,035	0,045	0,023	0,035	0,045
80	0,058	0,049	0,042	0,060	0,050	0,042
150	0,037	0,032	0,028	0,039	0,033	0,028
200	0,030	0,026	0,023	0,031	0,027	0,023
250	0,025	0,022	0,019	0,026	0,022	0,019

Interpolations linéaires possibles.

### ■ Exemple

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un caisson chevonné à trois chevrons.

Description du caisson :

- épaisseur d'isolant thermique = 200 mm ;
- conductivité thermique de l'isolant 0,035 W/(m.K) ;
- chevrons en bois de largeur 27 mm ;
- joint entre chevrons de 25 mm d'épaisseur ;
- fixation des caissons sur pannes bois avec crampons L en acier galvanisé ;
- pas de renforts latéraux ;
- pas de remontée d'isolant le long des chevrons ;
- entraxe des panneaux de 0,8 m ;
- entraxe des pannes de 1 m ;
- parement intérieur BA10.

Calcul du coefficient de transmission  $U_p$  :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_1}{E_1} + \frac{\Psi_2}{E_2} + n \times \chi + \frac{\Psi_3}{E_1} ;$$

$$U_c = 1 / (0,20 + (0,2 / 0,035) + (0,0095 / 0,25)) = 0,168 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) ;$$

$$\chi \text{ (crampon L acier)} = 0,004 \text{ W}/\text{K} ;$$

$$\Psi_1 \text{ (jonction entre caissons)} = 0,027 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) ;$$

$$\Psi_2 \text{ (renforts latéraux)} = 0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) ;$$

$$\Psi_3 \text{ (chevron unique)} = 0,012 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}) ;$$

$$n = \frac{3}{0,8 \times 1} = 3,75 ;$$

$$U_p = 0,168 + \frac{0,027}{0,8} + \frac{0,012}{0,8} + 3,75 \times 0,004 = 0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

#### 3.9.3.4.4 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les rampants isolés à l'aide de Sarking

**Nota :** Cette technique est non traditionnelle. Par conséquent, ce paragraphe ne traite que de l'aspect thermique du procédé et ne préjuge en rien de son aptitude à l'emploi qui relève d'une procédure d'évaluation technique (Atec, DTA, ATex, etc.).

##### 3.9.3.4.4.1 Domaine d'application

La présente méthode s'applique aux rampants isolés par un procédé de sarking constitué comme décrit ci-après.

Système d'isolation sur charpente bois traditionnelles du type pannes et chevrons et qui comporte la mise en œuvre successive des éléments suivants :

- un parement intérieur ;
- un film pare-vapeur selon les règles d'emploi ;
- une ou deux couches d'isolant ;
- un écran de sous-toiture ou étanchéité complémentaire selon les règles d'emploi ;
- un contre-lattage support de couverture fixé aux chevrons par des fixations ponctuelles métalliques (tire-fond, vis, pointes torsadées ou pointes cannelées) traversant l'isolant et le parement intérieur.

## 3.9.3.4.4.2 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  d'un rampant isolé à l'aide d'un procédé de Sarking comme décrit précédemment, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + n \times \chi ;$$

où

$\chi$  est le coefficient de transmission ponctuel dû à une fixation ponctuelle métallique, en W/K ;

$n$  est le nombre de fixations ponctuelles par  $m^2$  de paroi ;

$U_c$  est le coefficient de transmission thermique en partie courante du rampant, en  $W/(m^2.K)$  :

$$U_c = \frac{1}{0,2 + R_p + \sum_i R_i} ;$$

où

$R_p$  résistance thermique du parement en  $m^2.K/W$  ;

$R_i$  résistance thermique de l'isolant de la couche  $i$ , en  $m^2.K/W$ .

Les coefficients  $\chi$  doivent être déterminés par simulation numérique conformément à la méthode donnée dans les règles Th-Bât, fascicule 5 (Ponts thermiques). En l'absence de valeurs calculées numériquement, les valeurs par défaut ci-après peuvent être utilisées.

3.9.3.4.4.3 Valeurs tabulées  $\chi$  concernant les fixations ponctuelles

Les contrelattes sont fixées aux chevrons par des fixations ponctuelles métalliques traversant une contrelatte, l'isolant et le parement intérieur.

## 3.9.3.4.4.3.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition ponctuels  $\chi$  (W/K), données ci-après, sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- tire-fond, vis, pointes en acier :
  - diamètre de tête = 20 mm ;
  - diamètre de fil de 5 à 8 mm ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur d'isolation : 40 à 250 mm ;
- fixations sur charpente bois ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux de contreplaqué, panneaux OSB.

## 3.9.3.4.4.3.2 Valeurs par défaut

Tableau LXXXIX

Épaisseur totale d'isolation (mm)	$\chi$ en W/K			
	Diamètre des fixations			
	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm
40	0,006	0,007	0,008	0,009
100	0,005	0,005	0,006	0,007
150	0,004	0,005	0,006	0,007
200	0,003	0,004	0,005	0,006
250	0,003	0,004	0,004	0,005

Interpolations linéaires possibles.

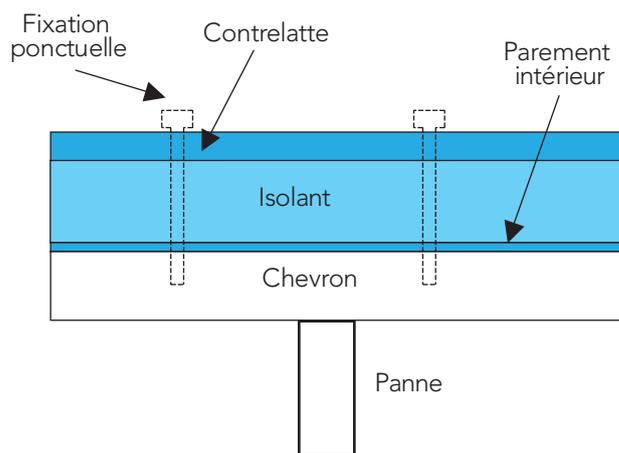


Figure 62 : Fixation du procédé de Sarking

### ■ Exemple

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un rampant isolé à l'aide d'un Sarking.

Description de la paroi :

- épaisseur d'isolant thermique = 200 mm ;
- conductivité thermique de l'isolant 0,035 W/(m.K) ;
- fixation par pointes de diamètre 6 mm ;
- entraxe des chevrons de 0,6 m ;
- entraxe des fixations dans le sens des chevrons de 0,31 m ;
- parement intérieur en panneaux de particules de 12 mm.

Calcul du coefficient de transmission  $U_p$  :

$$U_p = U_c + n \times \chi ;$$

$$U_c = 1 / (0,20 + (0,2 / 0,035) + (0,012 / 0,18)) = 0,167 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) ;$$

$$\chi \text{ (Tire-fond)} = 0,004 \text{ W}/\text{K} ;$$

$$n = \frac{1}{0,6 \times 0,31} = 5,38 \text{ fixations par m}^2 \text{ de paroi.}$$

$$U_p = 0,167 + 5,38 \times 0,004 = 0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) ;$$

#### 3.9.3.4.5 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les rampants isolés à l'aide de panneaux sandwichs de couverture

**Nota :** cette technique est non traditionnelle. Par conséquent, ce paragraphe ne traite que de l'aspect thermique du procédé et ne préjuge en rien de son aptitude à l'emploi qui relève d'une procédure d'évaluation technique (Atec, DTA, ATex, etc.).

##### 3.9.3.4.5.1 Domaine d'application

La présente méthode s'applique aux rampants isolés par un procédé de panneaux sandwichs bois constitué comme décrit ci-après : panneaux sandwichs bois manufacturés fixés sur les pannes et constitués par l'assemblage d'un parement extérieur avec lattes, d'un parement intérieur et d'un ou plusieurs isolants thermiques pris en sandwich entre les parements.

Dans certains cas, les panneaux sandwichs peuvent ne pas comporter de parement extérieur entre les lattes et l'isolant ou ne pas comporter de lattes.

##### 3.9.3.4.5.2 Méthode générale

Le coefficient de transmission thermique surfacique  $U_p$  d'un rampant isolé à l'aide d'un procédé de panneaux sandwichs bois comme décrit précédemment, se calcule d'après la formule suivante :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_1}{E_1} + n \times \chi ;$$

où

$\chi$  coefficient de transmission ponctuel dû à une fixation ponctuelle métallique, en W/K ;

$n$  nombre de fixations ponctuelles par  $\text{m}^2$  de paroi ;

$\Psi_1$  coefficient de transmission linéique dû à la languette de fixation éventuelle entre deux panneaux, en W/(m.K) ;

$E_1$  entraxe des panneaux mis en œuvre, en m ;

$U_c$  coefficient de transmission thermique en partie courante du rampant, en W/( $\text{m}^2 \cdot \text{K}$ ) :

$$U_c = \frac{1}{0,2 + R_{pi} + R_{pe} + \sum_i R_i} ;$$

où

$R_{pi}$  résistance thermique du parement côté intérieur, en  $m^2.K/W$ ,

$R_{pe}$  résistance thermique du parement côté extérieur, en  $m^2.K/W$ ,

$R_i$  résistance thermique de l'isolant de la couche  $i$ , en  $m^2.K/W$ ,

Les coefficients  $\psi_1$  et  $\chi$  doivent être déterminés par simulation numérique conformément à la méthode donnée dans les règles Th-Bât, fascicule 5 (Ponts thermiques). En absence de valeurs calculées numériquement, les valeurs par défaut données ci-après peuvent être utilisées.

### 3.9.3.4.5.3 Valeurs tabulées $\psi_1$ à la jonction entre deux panneaux

#### 3.9.3.4.5.3.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition linéiques  $\psi_1$  (W/(m.K)) données ci-après sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- languettes de fixation en PVC ou en panneau de particules (12 mm × 40 mm) ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur totale d'isolation : 40 à 250 mm ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux de contreplaqué, panneau OSB.

#### 3.9.3.4.5.3.2 Valeurs par défaut

Tableau XC

Épaisseur totale d'isolation (mm)	$\psi_1$ en W/(m.K)
40	0,007
100	0,001
150	0,001
200 à 250	0,000

Interpolations linéaires possibles.

### 3.9.3.4.5.4 Valeurs tabulées $\chi$ concernant les systèmes de fixation par tire-fond, vis ou pointes

#### 3.9.3.4.5.4.1 Hypothèses

Les valeurs par défaut des coefficients de déperdition ponctuels  $\chi$  (W/K) données ci-après sont valables dans le cadre des hypothèses suivantes :

- tire-fond, vis, pointes en acier :
  - diamètre de tête = 20 mm ;
  - diamètre de fil de 5 à 8 mm ;
  - rondelle acier de diamètre 40 mm ;
- isolants thermiques :  $0,023 \leq \lambda \leq 0,045$  W/(m.K) ;
- épaisseur totale d'isolation : 40 à 250 mm ;
- fixations sur charpente bois ;
- parement intérieur : plaque de plâtre, lambris, panneaux de particules, panneaux de contreplaqué, panneau OSB.

## 3.9.3.4.5.4.2 Valeurs par défaut

Tableau XCI

Épaisseur totale d'isolation (mm)	$\chi$ en W/K			
	Diamètre des fixations			
	5 mm	6 mm	7 mm	8 mm
40	0,006	0,007	0,009	0,010
100	0,005	0,006	0,007	0,008
150	0,004	0,005	0,006	0,007
200	0,003	0,004	0,005	0,006
250	0,003	0,004	0,005	0,006

Interpolations linéaires possibles.

### Exemple

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un rampant isolé à l'aide d'un panneau sandwich bois.

Description de la paroi :

- épaisseur d'isolant thermique = 150 mm ;
- conductivité thermique de l'isolant 0,035 W/(m.K) ;
- entraxe des panneaux mis en œuvre égal à 0,6 m ;
- parement intérieur en plaque de plâtre d'épaisseur 12,5 mm et de conductivité thermique 0,25 W/(m.K) ;
- parement extérieur en panneau de particules de 10 mm d'épaisseur de conductivité thermique 0,15 W/(m.K) ;
- fixation par pointes torsadées de diamètre 6 mm ;
- trois fixations par m<sup>2</sup>.

Calcul du coefficient de transmission  $U_p$  :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_1}{E_1} + n \times \chi ;$$

$$U_c = 1 / (0,20 + (0,0125 / 0,25) + (0,010 / 0,15) + (0,150 / 0,035)) = 0,217 \text{ W/(m}^2\text{.K)} ;$$

$$\Psi_1 \text{ (languette)} = 0,001 \text{ W/(m.K)} ;$$

$$\chi \text{ (Tire-fond)} = 0,005 \text{ W/K} ;$$

$$n = 3 \text{ fixations par m}^2 \text{ } U_p \text{ de paroi.}$$

$$U_p = 0,217 + \frac{0,001}{0,06} + 3 \times 0,005 = 0,23 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

### 3.9.4 Ponts thermiques intégrés courants présents dans les parois acier

Le coefficient global  $U_p$  de la paroi se calcule en fonction du coefficient surfacique en partie courante (hors ponts thermiques intégrés)  $U_c$  et des coefficients linéiques et ponctuels  $\psi$  et  $\chi$  des ponts thermiques intégrés, selon la formule (15) dans laquelle :

$\psi_i$  est le coefficient linéique du pont thermique intégré  $i$ , en W/(m.K) ;

$L_i$  est le linéaire du pont thermique  $i$ , en m ;

$\chi_j$  est le coefficient ponctuel du pont thermique intégré  $j$ , en W/K ;

$A$  est la surface totale de la paroi, en m<sup>2</sup>.

On peut aussi réécrire cette relation sous la forme :

$$U_p = U_c + \Delta U \text{ (Formule 15')} ;$$

avec,

$$\Delta U = \frac{\sum_i \psi_i L_i + \sum_j \chi_j}{A} \quad (\text{Formule 15''}).$$

Le calcul du coefficient de transmission global d'une paroi peut se calculer au choix par utilisation de la formule (15) et des valeurs tabulées des coefficients  $\psi$  (W/(m.K)) et  $\chi$  (W/K) donnés ci après, ou, à défaut d'informations précises sur les paramètres géométriques de la paroi, de façon simplifiée, par l'utilisation de la formule (15') et des valeurs  $\Delta U$  également données dans les valeurs tabulées.

Il est à noter que l'utilisation de la méthode simplifiée appliquée aux cas courants donne des résultats au mieux équivalents à ceux obtenus par la méthode détaillée.

### 3.9.4.1 Parois verticales

Bardages acier double peau constitués, côté intérieur, de plateaux acier horizontaux fixés sur leur structure (acier, béton ou bois) et côté extérieur, de profilés acier nervurés. Une ou deux couches d'isolant sont placées entre les peaux, avec ou sans écarteurs, avec ou sans lame d'air derrière la peau extérieure. La structure est située à l'intérieur de l'enveloppe du bâtiment.

Les valeurs tabulées par défaut données ci-après des coefficients de déperdition linéique  $\psi$  (W/(m.K)) et  $\chi$  (W/K) tiennent compte des hypothèses suivantes, à moduler au cas par cas précisé dans chacun des paragraphes :

- isolants thermiques :
  - conductivité thermique de 0,032 à 0,05 W/(m.K) ;
  - résistance thermique de 1 à 5 m<sup>2</sup>.K/W ;
  - pincement éventuel, selon technologie, entre les lèvres de plateaux et les profilés de bardages ou les écarteurs forfaitairement pris égal à 5 mm ;
  - isolant rainuré selon la technologie ;
- plateaux horizontaux du côté intérieur :
  - largeur  $L_p$  comprise entre 400 et 600 mm ;
  - profondeur  $p$  comprise entre 70 et 100 mm ;
  - épaisseur de tôle  $e_p = 0,75$  mm (valeur courante) ou 1 mm ;
- profilés de bardage :
  - profondeur des nervures : 0 à 50 mm ;
  - épaisseur des tôles : 0,63 à 1 mm ;
  - entraxe des nervures  $E_n$  : 100 à 350 mm ;
- écarteurs :
  - profils en acier en « Zed » ou en « Omega », d'épaisseur  $\geq 1,5$  mm ;
  - largeur : 70 à 80 mm ;
  - hauteur comprise entre 40 et 80 mm avec une valeur courante de 60 mm ;
  - entraxe  $E_c$  de 1 à 2 m ;
- vis de fixation :
  - diamètre : 4 à 6,5 mm ;
  - densité courante de 2,5 vis/m<sup>2</sup>.

**Nota** : en cas d'isolant pincé par le profilé de bardage sur les lèvres des plateaux, le calcul de  $U_c$  pour deux couches d'isolants et une peau extérieure à nervures saillantes doit s'effectuer en fonction d'une épaisseur totale d'isolants égale à la profondeur des plateaux + 5 mm.

### 3.9.4.1.1 Isolation monocouche insérée dans les plateaux (bardage en pose avec nervures verticales, selon règles bardages)

Isolant remplissant totalement les plateaux.

Tableau XCII

Largeur du plateau $L_p$ (mm)	$\Psi_{\text{levres plateaux}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{croisement}}^{(1)}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))
			$E_{\text{nervure}} \geq 180 \text{ mm}^{(2)}$
500	0,29	0,014	0,74
450			0,82
400			0,92

1. Croisement correspond au pont thermique présent aux croisements entre les lèvres des plateaux et les nervures.  
2. Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,92 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ .

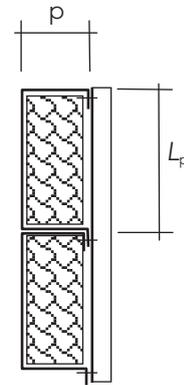


Figure 63

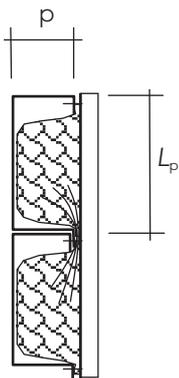
### 3.9.4.1.2 Isolation pincée entre le plateau et le profil extérieur (bardage en pose avec nervures verticales sans écarteur)

Deux configurations d'isolant :

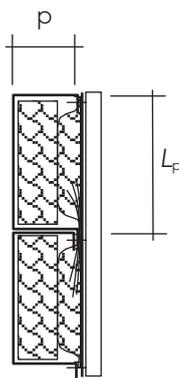
- isolant en monocouche filante devant plateaux ;
- isolant en 2 couches (une insérée dans plateaux et l'autre filante devant plateaux).

Deux configurations de tôle nervurée :

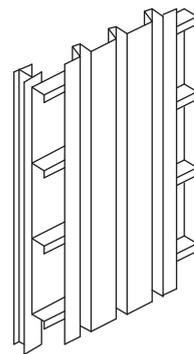
- tôle extérieure avec nervures en creux ;
- tôle extérieure avec nervures saillantes.



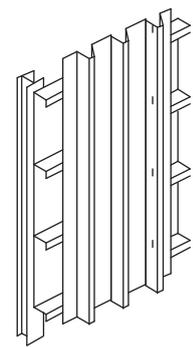
Isolant monocouche



Isolant en 2 couches



Nervures en creux



Nervures saillantes

Figure 64

Tableau XCIII : Nervures saillantes selon règles bardages

Profondeur du plateau $p$ (mm)	Largeur du plateau $L_p$ (mm)	$\Psi_{\text{levres plateaux}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $d \leq 4 \text{ vis/m}^2$ (1)
70	400	0,16	0,01	0,44
	450			0,40
	500			0,36
90	400	0,17		0,47
	450			0,42
	500			0,38

Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ !

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,47 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

Tableau XCIV : Nervures en creux selon règles bardages

Profondeur du plateau $p$ (mm)	Largeur du plateau $L_p$ (mm)	$\Psi_{\text{levres plateaux}}$ (W/(m.K))	$\Psi_{\text{nervure}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{plat-nerv}}^{(1)}$ (W/K)	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $d \leq 4 \text{ vis/m}^2$ $E_{\text{nervure}} \geq 180 \text{ mm}$ (2)
70	400	0,07	0,02	0,02	0,01	0,60
	450					0,55
	500					0,51
90	400	0,08	0,01			0,58
	450					0,52
	500					0,48

$\chi_{\text{plat-ecart}}$  correspond au pont thermique présent aux croisements entre les lèvres des plateaux et les nervures.  
Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,60 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

### 3.9.4.1.3 Isolation en deux couches avec écarteur (vertical ou biais)

Bardage en pose avec nervures horizontales ou verticales.

Une couche d'isolant insérée dans les plateaux et l'autre filante devant les plateaux et pincée derrière l'écarteur.

Profilés de bardage : nervures en creux ou saillantes, entraxe écarteur 1,5 m, épaisseur tôle de 0,63 à 1 mm.

Densité de vis = 2,5/m<sup>2</sup>.

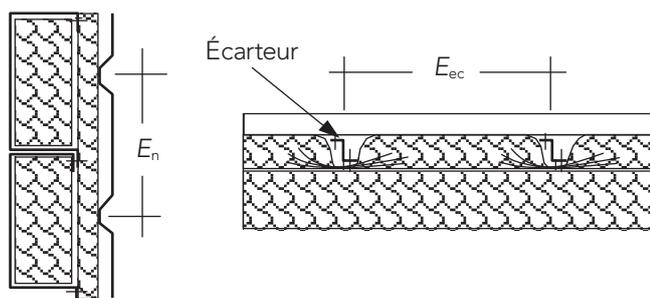


Figure 65

Tableau XCV

Profondeur du plateau $p$ (mm)	Largeur du plateau $L_p$ (mm)	$\psi_{\text{lèvrès plateaux}}$ (W/(m.K))	$\psi_{\text{écarteur}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{plat-écart}}^{(1)}$ (W/K)	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $E_{\text{écarteur}} \geq 1,5 \text{ m}^{(2)}$
70	400	0,036	0,026	0,018	0,023	0,20
	450					0,18
	500					0,17
90	400	0,042	0,018		0,022	0,20
	450					0,19
	500					0,18

$\chi_{\text{plat-écart}}$  correspond au pont thermique présent aux croisements entre les lèvres des plateaux et les écarteurs.

Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

Si l'isolant extérieur n'est pas pincé par l'écarteur,  $\Delta U$  doit être majoré de 0,01 W/(m<sup>2</sup>.K).

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,20 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

#### 3.9.4.1.4 Isolation en une couche rainurée avec fixations ponctuelles

**Nota** : cette technique est non traditionnelle. Par conséquent, ce paragraphe ne traite que de l'aspect thermique du procédé et ne préjuge en rien de son aptitude à l'emploi qui relève d'une procédure d'évaluation technique (Atec, DTA, ATex, etc.).

Bardage en pose avec nervures horizontales ou verticales.

Une seule couche d'isolant rainurée insérée dans les plateaux avec au moins 40 mm passant devant les lèvres de plateaux.

Les ossatures secondaires (lisses Z ou  $\Omega$ ) sont fixées aux lèvres de plateaux par des fixations ponctuelles spéciales sans écrasement de l'isolant.

Profilés de bardage : nervures en creux ou saillantes, entraxe ossature secondaire 1 ou 2 m, 1 ou 2 fixations ponctuelles par croisement lèvres de plateaux-ossature secondaire, épaisseur tôle de 0,63 à 1 mm.

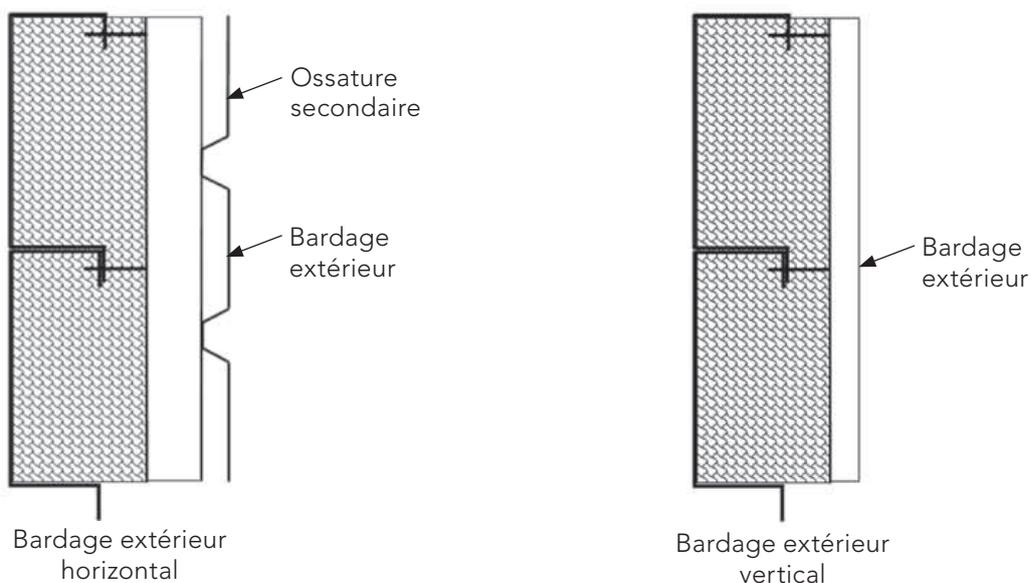


Figure 66

Tableau XCVI

				$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))				
				Entraxe de l'ossature secondaire (m)				
				1		2		
				$n^{(*)}$				
Épaisseur totale d'isolant (mm)	Profondeur du plateau $p$ (mm)	$\Psi_{\text{lèvres plateaux}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	Largeur du plateau $L_p$ (mm)	1	2	1	2
110	70	0,036	0,013	400	0,12	0,16	0,11	0,12
				450	0,11	0,14	0,09	0,11
				500	0,10	0,12	0,09	0,10
				600	0,08	0,10	0,07	0,08
130	70	0,025	0,010	400	0,09	0,11	0,08	0,09
				450	0,08	0,10	0,07	0,08
				500	0,07	0,09	0,06	0,07
				600	0,06	0,08	0,05	0,06
	90	0,043	0,012	400	0,14	0,17	0,12	0,14
				450	0,12	0,15	0,11	0,12
				500	0,11	0,13	0,10	0,11
				600	0,09	0,11	0,08	0,09
150	90	0,029	0,010	400	0,10	0,12	0,09	0,10
				450	0,09	0,11	0,08	0,09
				500	0,08	0,10	0,07	0,08
				600	0,07	0,08	0,06	0,07

Nombre de fixations ponctuelles à chaque croisement entre l'ossature secondaire et une lèvre de plateaux.

### 3.9.4.1.5 Isolation en deux couches – une couche rainurée et une couche entre ossatures secondaires avec fixations ponctuelles

**Nota** : cette technique est non traditionnelle. Par conséquent, ce paragraphe ne traite que de l'aspect thermique du procédé et ne préjuge en rien de son aptitude à l'emploi qui relève d'une procédure d'évaluation technique (Atec, DTA, ATex, etc.).

Bardage en pose avec nervures horizontales ou verticales

Deux couches d'isolant – une couche rainurée insérée dans les plateaux avec au moins 40 mm passant devant les lèvres de plateaux et une seconde couche de 50 mm d'épaisseur pincée entre ossatures secondaires.

Les ossatures secondaires (lisses Z ou  $\Omega$ ) sont fixées aux lèvres de plateaux par des fixations ponctuelles spéciales sans écrasement de la première couche d'isolant.

Profilés de bardage : nervures en creux ou saillantes, entraxe ossature secondaire 1 ou 2 m, 1 ou 2 fixations ponctuelles par croisement lèvres de plateaux-ossature secondaire, épaisseur tôle de 0,63 à 1 mm.

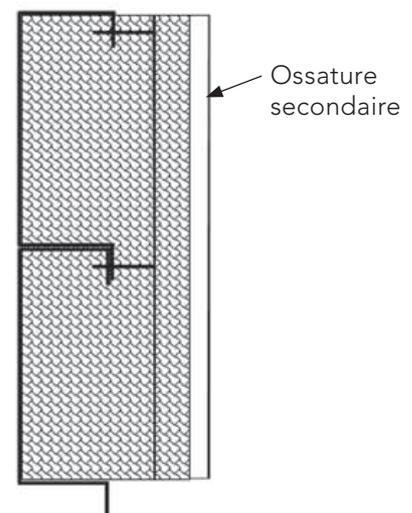


Figure 67

Tableau XCVII

							$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))			
							Entraxe de l'ossature secondaire (m)			
							1		2	
							$n^{(**)}$			
Épaisseur totale d'isolant (mm)	Profondeur du plateau $p$ (mm)	$\Psi_{\text{ievres plateaux}}$ (W/(m.K))	$\Psi_{\text{ossature secondaire}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	$\Psi_{\text{croisement}}^{(*)}$ (W/(m.K))	Largeur du plateau $L_p$ (mm)	1		2	
							1	2	1	2
160	70	0,014	0,017	0,015	0,003	400	0,09	0,12	0,06	0,08
						450	0,08	0,10	0,06	0,07
						500	0,08	0,10	0,05	0,06
						600	0,07	0,08	0,05	0,05
180	70	0,011	0,013	0,012	0,002	400	0,07	0,09	0,05	0,06
						450	0,06	0,08	0,05	0,06
						500	0,06	0,08	0,04	0,05
						600	0,05	0,07	0,04	0,04
	90	0,017	0,013	0,016	0,004	400	0,10	0,12	0,07	0,08
						450	0,09	0,11	0,07	0,08
						500	0,08	0,10	0,06	0,07
						600	0,07	0,08	0,05	0,06
200	90	0,014	0,011	0,011	0,002	400	0,08	0,10	0,06	0,07
						450	0,07	0,09	0,05	0,06
						500	0,06	0,08	0,05	0,06
						600	0,05	0,07	0,04	0,05

Pont thermique ponctuel lié au croisement entre une lèvre de plateau et une ossature secondaire.  
 Nombre de fixations ponctuelles à chaque croisement entre l'ossature secondaire et une lèvre de plateaux.

## 3.9.4.1.6 Illustration

Calcul du coefficient  $U_p$  pour un bardage acier à nervures horizontales, constitué de plateaux horizontaux, et isolés en deux couches, avec présence d'écarteurs verticaux.

Description de la paroi :

- largeur du plateau  $L_p = 450$  mm ;
- profondeur du plateau  $p = 70$  mm ;
- densité de vis :  $d = 2,5$  vis/m<sup>2</sup> ;
- entraxe écarteur  $E_{\text{écarteur}} = 2$  m ;
- première couche d'isolant  $e_1 = 70$  mm (insérée dans les plateaux) ;
- deuxième couche d'isolant  $e_2 = 60$  mm (filant devant les plateaux) ;
- conductivité des isolants  $\lambda = 0,04$  W/(m.K) ;
- $R_{\text{si}} + R_{\text{se}} = 0,17$  m<sup>2</sup>.K/W.

Calcul du coefficient de transmission en partie courante :

$$U_c = \frac{1}{R_{\text{se}} + \frac{e_1}{\lambda} + \frac{e_2}{\lambda} + R_{\text{si}}} = 0,29 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

## 3.9.4.1.6.1 Méthode détaillée

Lecture des valeurs tabulées correspondant à la configuration (cf. tableau XCV) :

$\Psi_{\text{levres plateaux}} \text{ (W/(m.K))}$	$\Psi_{\text{ecarteur}} \text{ (W/(m.K))}$	$\chi_{\text{plat-ecart}} \text{ (W/K)}$	$\chi_{\text{vis}} \text{ (W/K)}$
0,036	0,026	0,018	0,023

Calcul des linéaires de ponts thermiques pour une surface de paroi  $A = 1 \text{ m}^2$  :

- pour les lèvres de plateaux :  $L_{\text{levres plateaux}} = A/L_p = 2,22 \text{ m}$  ;
- pour les écarteurs :  $L_{\text{ecarteur}} = A/E_{\text{ecarteur}} = 0,5 \text{ m}$ .

Calcul du nombre de croisements lèvres de plateaux–écarteurs pour une surface de paroi  $A = 1 \text{ m}^2$  :

$$n_{\text{plat-ecart}} = A / (E_{\text{ecarteur}} \times L_p) = 1,11.$$

Calcul de  $U_p$  par la formule (15) :

$$U_p = U_c + \frac{\Psi_{\text{levres plateaux}} L_{\text{levres plateaux}} + \Psi_{\text{ecarteur}} L_{\text{ecarteur}} + \chi_{\text{plat-ecart}} n_{\text{plat-ecart}}}{A} + \chi_{\text{vis}} d ;$$

$$U_p = 0,46 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

## 3.9.4.1.6.2 Méthode simplifiée

Lecture de la valeur de  $\Delta U$  :  $\Delta U = 0,18 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ .

Calcul de  $U_p$  par la formule (15') :

$$U_p = U_c + \Delta U ;$$

$$U_p = 0,47 \text{ W/(m}^2\text{K)}.$$

## 3.9.4.2 Toitures, couvertures et plafonds

Toiture à base de bac acier conforme au DTU 40.35, au DTU 43.3 ou aux règles professionnelles.

Les valeurs tabulées par défaut données ci-après des coefficients de déperdition linéique  $\Psi$  (W/(m.K)) et  $\chi$  (W/K) tiennent compte des hypothèses suivantes, à moduler au cas par cas précisé dans chacun des paragraphes :

- isolants thermiques :
  - conductivité thermique de 0,037 à 0,042 W/(m.K) ;
  - résistance thermique de 1 à 4  $\text{m}^2\text{.K/W}$  ;
  - pincement éventuel de l'isolant par les pannes, fausse pannes, ou entretoises (épaisseur de l'isolant pincé donnée au cas par cas) ;
- profilés :
  - couverture extérieure et profilé éventuel intérieur en tôle nervurée d'épaisseur 0,63 à 1 mm ;
  - nervures de profondeur  $p$  comprises entre 40 et 70 mm. Entraxe des nervures  $E_n$  : 100 à 350 mm ;
- panne :
  - profils en I, épaisseur de l'âme courante 4 mm minimum ;
  - largeur des ailes  $l_p$  de 60 à 100 mm ;
  - entraxe  $E_p$  de 1,3 à 3 m ;
- fausse panne :
  - profils en « Oméga » ou en « Zed », d'épaisseur  $\geq 1,5 \text{ mm}$  ;
- entretoise ou étrier :
  - pièce en tôle d'acier en « Oméga » ou en « Zed » ;
  - largeur minimale 60 mm, hauteur comprise entre 40 et 70 mm avec une valeur courante de 70 mm ;
- vis de fixation :
  - diamètre 4 à 6,5 mm, et selon technologie.

3.9.4.2.1 Feutre tendu et grillage

Une seule couche d'isolant pincée entre la panne et la peau extérieure en tôle d'acier nervurée. Présence ou non d'un grillage en dessous de l'isolant. Ce procédé fait l'objet de la procédure d'avis technique.

Pincement de l'isolant au niveau de la panne = 10 mm.

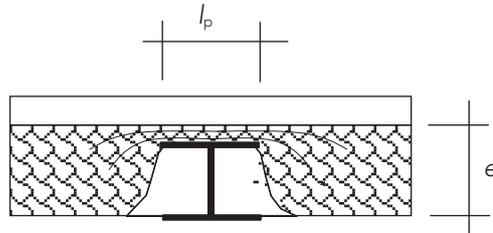


Figure 68

Tableau XCVIII

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe panne (m)	ψ <sub>panne</sub> (W/(m.K))	χ <sub>vis</sub> (W/K)	ΔU (W/(m <sup>2</sup> .K)) d ≤ 4 vis/m <sup>2</sup> (1)
2	1,3	0,26	0,027	0,31
	1,6			0,27
	2,2			0,23
3	1,3	0,29		0,33
	1,6			0,29
	2,2			0,24

Si les conditions imposées pour le calcul de ΔU ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les ψ et χ.

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre : ΔU = 0,33 W/(m<sup>2</sup>.K).

3.9.4.2.2 Plafond simple couche d'isolant

Une couche d'isolant rigide interrompue par la panne. Maintien de l'isolant par un support constitué d'un profilé acier en T.

Tableau XCIX : Configuration de toiture : présence d'une peau extérieure en tôle d'acier nervurée

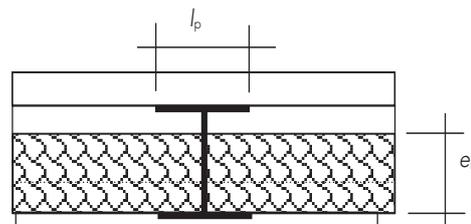


Figure 69

Entraxe panne (m)	ψ <sub>panne</sub> (W/(m.K))	ψ <sub>support</sub> (W/(m.K))	ΔU (W/(m <sup>2</sup> .K)) E <sub>support</sub> ≥ 1,2 mm (1)
1,325	0,42	0,012	0,32
2			0,22
2,25			0,20

1. Si les conditions imposées pour le calcul de ΔU ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les ψ et χ.

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre : ΔU = 0,32 W/(m<sup>2</sup>.K).

Tableau C : Configuration de plafond suspendu : pas de peau extérieure

Entraxe panne (m)	$\Psi_{\text{panne}}$ (W/(m.K))	$\Psi_{\text{support}}$ (W/(m.K))	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $E_{\text{support}} \geq 1,2 \text{ m}^{(1)}$
1,325	0,33	0,012	0,26
2			0,18
2,25			0,16

1. Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$  s'impose.

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,26 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

### 3.9.4.2.3 Toiture double couche d'isolant

Deux couches d'isolant : une interrompue par la panne avec ossature secondaire de support de l'isolant en T et l'autre pincée entre la panne et la peau extérieure.

Pincement de l'isolant au niveau de la panne = 10 mm.

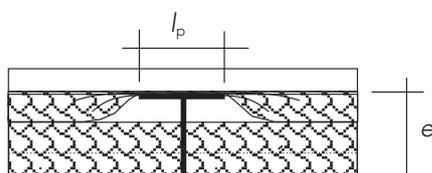


Figure 70

Tableau CI

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe panne (m)	$\Psi_{\text{panne}}$ (W/(m.K))	$\Psi_{\text{support}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{vis}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $d \leq 4 \text{ vis/m}^2$ $E_{\text{support}} \geq 1,2 \text{ m}^{(1)}$
3,25	1,325	0,13	0,005	0,014	0,16
	2				0,13
	2,25				0,12
3,75	1,325	0,11	0,004		0,14
	2				0,11
	2,25				0,11

1. Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,16 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ .

### 3.9.4.2.4 Toiture avec isolant support d'étanchéité sur bac acier selon DTU 43.3

Isolant posé sur tôle d'acier nervurée. Revêtement d'étanchéité mis en œuvre sur l'isolant. Ce procédé fait l'objet de la procédure de document technique d'application.

Fixations métalliques de diamètre 4,8 mm ou 6,3 mm.

Conductivité de l'isolant pour ce procédé particulier de 0,022 à 0,042 W/(m.K).

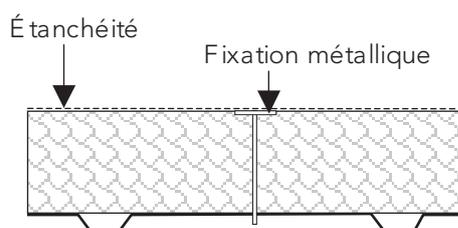


Figure 71

Tableau CII

Diamètre des vis (mm)	Densité de fixation $d$ (/m <sup>2</sup> )	$\chi_{vis}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K))
4,8	5	0,006	0,03
	6		0,04
	8		0,05
	10		0,06
	12		0,07
6,3	5	0,008	0,04
	6		0,05
	8		0,06
	10		0,08
	12		0,10

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,10$  W/(m<sup>2</sup>.K).

### 3.9.4.2.5 Couverture double peau à trame parallèle selon DTU 40.35

3.9.4.2.5.1 Fausse panne directement posée sur bac acier

Première couche isolante interrompue par la fausse panne.

Deuxième couche isolante déroulée sur la fausse panne.

Pincement de l'isolant au niveau de la fausse panne = 5 mm.

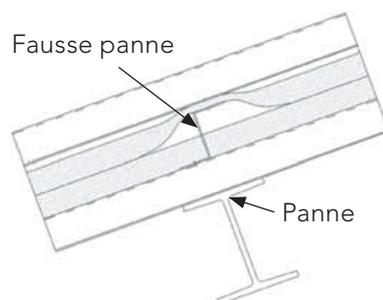


Figure 72

Tableau CIII

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	ψ <sub>fausse panne</sub> (W/(m.K))	ψ <sub>nerature</sub> (W/(m.K))	χ <sub>vis</sub> (W/K)	ΔU (W/(m <sup>2</sup> .K)) d ≤ 4 vis/m <sup>2</sup> E <sub>neratures</sub> ≥ 0,25 m <sup>(1)</sup>
2,5	2,5	0,18	0,028	0,009	0,22
	3				0,21
3	2,5	0,19	0,019	0,008	0,18
	3				0,17

Si les conditions imposées pour le calcul de ΔU ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les ψ et χ.

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre : ΔU = 0,22 W/(m<sup>2</sup>.K).

3.9.4.2.5.2 Fausse panne posée sur entretoise, cas 1

Une seule couche isolante déroulée sur le bac acier et pincée sous l'entretoise.

Pincement de l'isolant au niveau de la fausse panne = 5 mm.

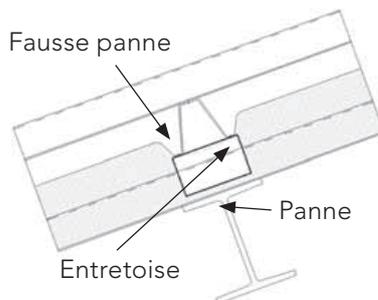


Figure 73

Tableau CIV

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	Espacement entretoise (m)	ψ <sub>fausse panne</sub> (W/(m.K))	ψ <sub>nerature</sub> (W/(m.K))	χ <sub>entretoise</sub> (W/K)	ΔU (W/(m <sup>2</sup> .K)) E <sub>neratures</sub> ≥ 0,25 mm <sup>(1)</sup>
2,5	2,5	1	0,062	0,024	0,11	0,17
		1,5				0,15
	3	1				0,15
		1,5				0,14
3	2,5	1	0,078	0,016		0,14
		1,5				0,13
	3	1				0,13
		1,5				0,12

Si les conditions imposées pour le calcul de ΔU ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les ψ et χ.

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre : ΔU = 0,17 W/(m<sup>2</sup>.K).

3.9.4.2.5.3 Fausse panne posée sur entretoise, cas 2

Une seule couche isolante déroulée sur le bac acier et interrompue par l'entretoise. Réduction d'épaisseur de l'isolant au droit de la fausse panne.

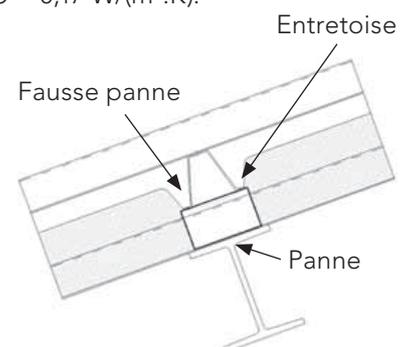


Figure 74

Tableau CV

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	Espacement entretoise (m)	$\psi_{\text{fausse panne}}$ (W/(m.K))	$\psi_{\text{nervure}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{entretoise}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $E_{\text{nervures}} \geq 0,25 \text{ m}^{(1)}$
2,5	2,5	1	0,082	0,024	0,19	0,21
		1,5				0,18
	3	1				0,19
		1,5				0,17
3	2,5	1	0,097	0,016		0,18
		1,5				0,16
	3	1				0,16
		1,5				0,14

Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,21 \text{ W/(m}^2.\text{K)}$ .

#### 3.9.4.2.5.4 Fausse panne posée sur entretoise, cas 3

Une seule couche isolante déroulée sur le bac acier et pincée entre la fausse panne et la peau extérieure.

Pincement de l'isolant au niveau de la fausse panne = 5 mm.

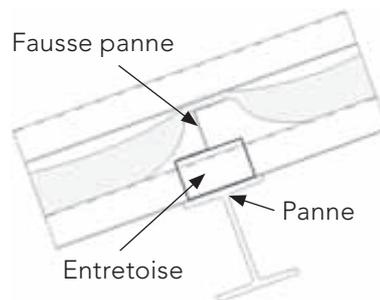


Figure 75

Tableau CVI

Résistance isolant (m <sup>2</sup> .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	Espacement entretoise (m)	$\psi_{\text{fausse panne}}$ (W/(m.K))	$\psi_{\text{nervure}}$ (W/(m.K))	$\chi_{\text{entretoise}}$ (W/K)	$\Delta U$ (W/(m <sup>2</sup> .K)) $E_{\text{nervures}} \geq 0,25 \text{ m}^{(1)}$
2,5	2,5	1	0,38	0,025	0,036	0,27
		1,5				0,26
	3	1				0,24
		1,5				0,24
3	2,5	1	0,37	0,017		0,23
		1,5				0,23
	3	1				0,20
		1,5				0,20

Si les conditions imposées pour le calcul de  $\Delta U$  ne sont pas remplies, faire un calcul détaillé avec les  $\psi$  et  $\chi$ .

En l'absence de données suffisantes pour utiliser le tableau, prendre :  $\Delta U = 0,27 \text{ W/(m}^2.\text{K)}$ .