

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses

**Band:** 126 (2000)

**Heft:** 18

**Artikel:** Feuilles isolantes réfléchissant l'infrarouge (FIR) dans la construction

**Autor:** Wakili, K. Ghazi / Frank, Th.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-81519>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 20.10.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

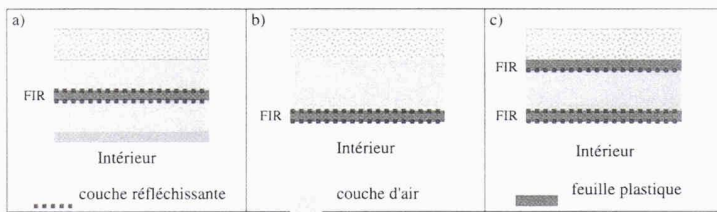
# Feuilles isolantes réfléchissant l'infrarouge (FIR) dans la construction

( MATÉRIAUX )

Depuis quelque temps, une campagne publicitaire pour des feuilles isolantes réfléchissant l'infrarouge (FIR) est menée dans l'espace européen. Certains fournisseurs distribuent des brochures qui contiennent des indications incorrectes ou équivoques sur la conductibilité thermique ou la résistance thermique de tels produits et sur la comparaison avec les isolants thermiques conventionnels. Le présent article a pour but d'éclaircir les caractéristiques thermiques effectives des FIR, à l'aide de tableaux et d'exemples concrets reposant sur l'application de la nouvelle norme SIA 180 (édition 1999) et de la norme EN ISO 6946.

## Structure et caractéristiques physiques

Une construction pourvue de feuilles isolantes réfléchissant l'infrarouge (FIR) se compose de trois parties (fig. 1):



- une ou plusieurs feuilles ou voiles de matière plastique de 3 à 8 mm d'épaisseur (avec inclusion de bulles d'air),
- une couche réfléchissant l'infrarouge sur une ou sur les deux faces de la feuille de matière plastique,
- une couche d'air sur une ou sur les deux faces de la feuille de matière plastique réfléchissant l'infrarouge.

Il ressort de la structure de ces constructions FIR que le transfert de chaleur a lieu essentiellement par rayonnement thermique et par convection dans les couches d'air. Sur les produits d'isolation conventionnels, c'est au contraire la conduction de chaleur qui est déterminante pour ce transfert.

Selon la norme EN ISO 6946, la résistance thermique  $R_g$  d'une couche d'air non ventilée se détermine à l'aide de la relation suivante:

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

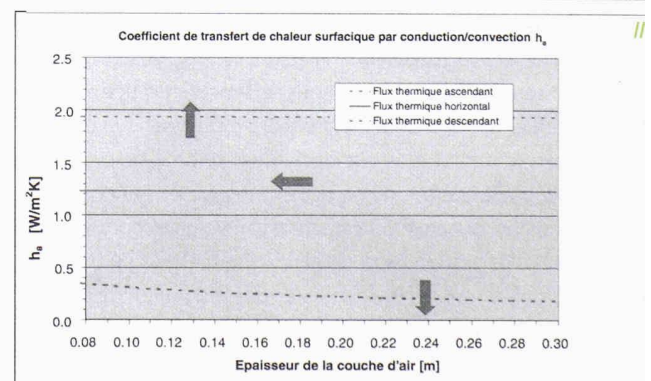
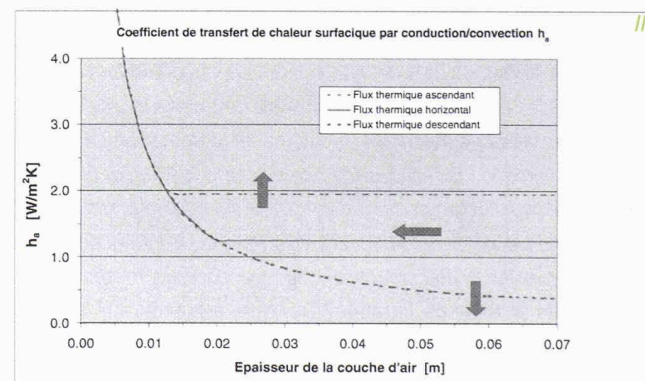
où  $h_a$  et  $h_r$  sont les coefficients d'échange thermique superficiels par conduction/convection et par rayonnement.

$h_r$  est déterminé par le pouvoir émissif (l'émissivité) de la surface limitante en direction du flux thermique:

$$h_r = \frac{4 \sigma T_m^3}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

La couche réfléchissant l'infrarouge étant caractérisée par un pouvoir émissif  $\varepsilon$  peu élevé, son coefficient  $h_r$  est lui aussi faible.

$h_a$  dépend quant à lui de l'épaisseur de la couche d'air; une relation qui est représentée dans les figures 2 et 3 selon la norme EN ISO 6946:1996.



De ces figures, il ressort que la résistance thermique  $R_g$  d'une couche d'air non ventilée demeure constante à partir d'une certaine épaisseur. En d'autres termes, cela signifie que

la valeur de  $R_g$  d'une couche d'air verticale (flux thermique horizontal) n'augmente plus à partir d'une épaisseur d'environ deux centimètres. Il en va de même pour une couche d'air horizontale avec un flux thermique ascendant (p. ex. toit plat en hiver) à partir d'une épaisseur de 1,3 cm. A l'inverse, sur les isolants conventionnels,  $R$  augmente de manière linéaire avec l'épaisseur.

**Conductivité thermique équivalente  $\lambda_{eq}$  de couches d'air**

La conductivité thermique équivalente  $\lambda_{eq}$  d'une couche d'air est définie par la relation suivante:

$$\lambda_{eq} = d/R_g = d (h_a + h_r)$$

où  $d$  représente l'épaisseur de la couche d'air.

Le **tableau 1** donne, pour les couches d'air horizontales, les valeurs de  $\lambda_{eq}$  à la température moyenne de 10°C (283 K) en fonction des surfaces limitantes, de la direction du flux thermique et de l'épaisseur.

**Résistance thermique superficielle  $R_s$  de surfaces réfléchissantes**

Pour les constructions FIR sur lesquelles une des faces réfléchissantes est tournée directement vers l'espace intérieur (fig. 1, b et c), il faut tenir compte d'une réduction du coefficient d'échange thermique superficiel à l'intérieur. Du fait de la faible valeur de  $\epsilon$ , la part du transfert de chaleur par rayonnement diminue, tandis que la résistance thermique superficielle intérieure  $R_{si}$  augmente. Selon l'annexe A de la norme EN ISO 6946 on a:

$$R_{si} = \frac{1}{h_{ci} + h_r} \quad \text{où la part du rayonnement est donnée par } h_r = 4\sigma \cdot \epsilon \cdot T_m^3$$

- avec  $h_{ci} = 5,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour flux thermique ascendant
- $h_{ci} = 2,5 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour flux thermique horizontal
- $h_{ci} = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$  pour flux thermique descendant.

Le **tableau 2** donne une comparaison avec les résistances thermiques superficielles de surfaces non réfléchissantes (EN ISO 6946 5.2).

**Coefficient de déperditions thermiques  $\Psi$  pour ponts thermiques linéaires**

Tout comme elles le font lorsqu'elles sont associées à des produits d'isolation thermique conventionnels, les lattes et les poutres créent sur une construction FIR des ponts thermiques linéaires, dont le coefficient de déperditions thermiques  $\Psi$  peut être déterminé à l'aide d'un calcul bidimensionnel (prEN ISO 10211-2).

Epaisseur [m]	Conductivité thermique équivalente $\lambda_{eq}$ [W/mK] pour $T_m = 283 \text{ K} = 10^\circ\text{C}$					
0.01	0.067	0.067	0.030	0.030	0.028	0.028
0.02	0.109	0.123	0.035	0.049	0.030	0.044
0.03	0.151	0.185	0.040	0.074	0.033	0.067
0.04	0.194	0.246	0.046	0.098	0.036	0.089
0.05	0.236	0.308	0.051	0.123	0.039	0.111
0.07	0.324	0.431	0.065	0.172	0.048	0.155
0.10	0.460	0.616	0.090	0.246	0.066	0.222

surface non réfléchissante  $\epsilon = 0.9$       surface réfléchissante  $\epsilon = 0.1$   
 direction du flux thermique      couche d'air

$T_m = 293 \text{ K} = 20^\circ\text{C}$		Direction du flux thermique		
Emissivité				
$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K] ( $h_{si} = 1/R_{si}$ )	$\epsilon = 0.1$	<b>0.18</b> (5.56)	<b>0.33</b> (3.03)	<b>0.79</b> (1.27)
	$\epsilon = 0.9$	<b>0.10</b> (10.00)	<b>0.13</b> (7.69)	<b>0.17</b> (5.88)

**Réduction de la résistance thermique**

Comme chacun sait, différents facteurs, tels que le vieillissement et l'absorption d'humidité notamment, provoquent une réduction de la résistance thermique des produits d'isolation thermique conventionnels.

Sur les constructions FIR, une modification du pouvoir émissif (augmentation de  $\epsilon$ ) peut entraîner une réduction de la résistance thermique. Les causes possibles d'une telle réduction sont l'oxydation de la couche métallique ou le dépôt d'humidité, de poussière ou de salissures sur la surface du revêtement.

**Calcul du coefficient de transmission thermique  $U$**

Selon la norme SIA 180 (1999), les ponts thermiques doivent toujours être pris en compte dans le calcul du coefficient de transmission thermique. Pour ce faire, on peut appliquer l'équation suivante:

$$U = \frac{U_0 \cdot A + \Psi \cdot l}{A}$$





$U_0$  = coefficient de transmission thermique de la zone non perturbée (sans ponts thermiques) [W/m<sup>2</sup>K]

$A$  = surface totale [m<sup>2</sup>]

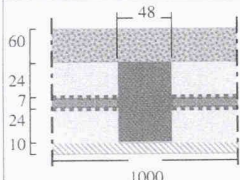
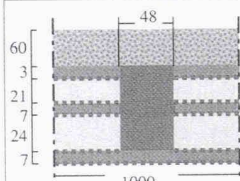
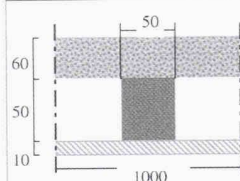
$\Psi$  = coefficient de déperditions thermiques des ponts thermiques linéaires [W/mK]


$l$  = longueur des ponts thermiques linéaires [m]



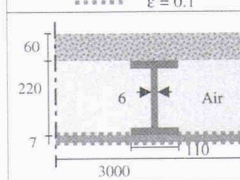
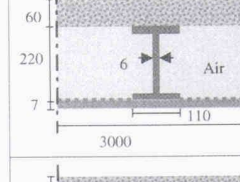
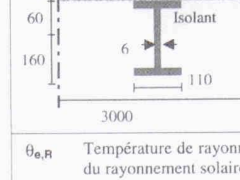
	Matériau	Coefficient $\lambda$ [W/mK]
	Bois	0.14
	Plâtre	0.25
	Acier	50
	Panneaux de fibres de bois liés au ciment	0.12
	Feuille FIR	0.037


4

Toit avec lattes de bois Dimensions en mm ..... $\epsilon = 0.1$	Eté $\theta_{e,R} = 65^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [m <sup>2</sup> K/W]		Hiver $\theta_{e,R} = 5^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [m <sup>2</sup> K/W]	
		$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.042	$\lambda_{eq}$ [W/mK]
	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0.17	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0.10
	$q$ [W/m]	22.35	$q$ [W/m]	9.13
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.48</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.60</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.024</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.020</b>
	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.034 / 0.033	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.047 / 0.054
	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0.79	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.18
	$q$ [W/m]	14.78	$q$ [W/m]	7.39
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.32</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.48</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.013</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.016</b>
	$\lambda$ [W/mK]	0.040	$\lambda$ [W/mK]	0.038
	$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]	0.17	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.10
	$q$ [W/m]	23.66	$q$ [W/m]	7.96
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.50</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.50</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.026</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.030</b>

$\theta_{e,R}$  Température de rayonnement sur la face extérieure du toit. La valeur surélevée tient compte du rayonnement solaire direct en été et en hiver.  
 $U_0$  Coefficient U du toit non perturbé (sans lattes)  
 Direction du flux thermique  
 $\Psi$  Coefficient de déperditions thermiques des ponts thermiques linéaires selon la norme EN ISO 10211-1 Annexe C

5

Toit avec poutrelles en acier Version 1 Dimensions en mm ..... $\epsilon = 0.1$	Eté $\theta_{e,R} = 65^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [W/m <sup>2</sup> K]		Hiver $\theta_{e,R} = 5^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [W/m <sup>2</sup> K]	
		$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.22	$\lambda_{eq}$ [W/mK]
	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.79	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.18
	$q$ [W/m]	55.74	$q$ [W/m]	35.21
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.38</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.77</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.047</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.048</b>
	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.22	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.56
	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.17	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.10
	$q$ [W/m]	75.31	$q$ [W/m]	37.61
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.53</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.82</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.095</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.056</b>
	$\lambda_D$ [W/mK]	0.040	$\lambda_D$ [W/mK]	0.038
	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.17	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.10
	$q$ [W/m]	69.73	$q$ [W/m]	23.34
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.45</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.45</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.193</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.203</b>

$\theta_{e,R}$  Température de rayonnement sur la face extérieure du toit. La valeur surélevée tient compte du rayonnement solaire direct en été et en hiver.  
 $U_0$  Coefficient U du toit non perturbé (sans les poutrelles)  
 Direction du flux thermique  
 $\Psi$  Coefficient de déperditions thermiques des ponts thermiques linéaires selon la norme EN ISO 10211-1m Annexe C

### Exemple 1: toit avec construction FIR à deux couches d'air

Dans ce premier exemple, deux versions d'une construction FIR sont comparées à une isolation réalisée avec un matériau conventionnel (épaisseur = 50 mm) pour les conditions estivales et hivernales. L'écart entre les lattes est d'un mètre dans tous les cas, mais leur section est de 24 x 48 mm pour les constructions FIR et de 50 x 50 mm dans l'exemple conventionnel. Ces sections ont été choisies conformément aux dimensions utilisées dans la pratique. Le **tableau 3** indique la conductibilité thermique de divers matériaux.

On remarquera (**tableau 4**) que les deux constructions FIR présentent un coefficient  $U_0$  beaucoup plus bas en été qu'en hiver. Cela est dû à l'inversion du sens du flux thermique et à son influence sur le transport de chaleur par convection dans les couches d'air. Il en résulte, d'une part, une modification de la conductivité thermique équivalente  $\lambda_{eq}$  et, d'autre part, de la résistance thermique superficielle  $R_{si}$  sur le plafond (contre l'espace intérieur). Sur la toiture isolée à l'aide d'un matériau conventionnel, l'inversion du sens du flux thermique n'entraîne qu'une modification de la résistance thermique superficielle  $R_{si}$  sur le plafond, car le transport de chaleur dans le matériau isolant est déterminé par la conduction thermique, qui est elle-même indépendante de la direction du flux thermique.

### Exemple 2: toit avec construction FIR à une seule couche

Les **tableaux 5 et 6** reproduisent les résultats de calculs bidimensionnels pour deux versions de constructions FIR dans des conditions estivales et hivernales. Les résultats obtenus sur une réalisation semblable, mais dotée d'un isolant conventionnel (épaisseur 60 mm) sont également donnés à titre de comparaison. L'écartement entre les poutrelles d'acier est de 3 m.

Dans le premier cas (**tableau 5**), un plafond supporté par des poutrelles en acier est recouvert d'une feuille réfléchissante posée au-dessous des poutrelles métalliques. La couche d'air présente une épaisseur de 200 mm. Afin de mettre en évidence l'influence de la couche réfléchissante sur  $\lambda_{eq}$  et  $R_{si}$ , le calcul a été effectué pour une feuille avec un revêtement réfléchissant sur une face et pour une autre dotée d'un tel revêtement sur les deux faces. Comme on l'a déjà constaté dans l'exemple 1, les constructions FIR accusent une nette différence, imputable à l'inversion du sens du flux thermique, entre l'été et l'hiver.

Dans le second cas (**tableau 6**), les poutrelles en acier sont enveloppées d'une feuille réfléchissante et la couche d'air ainsi



créée entre la feuille et le plafond est plus mince (25 mm). Pour fixer la feuille, deux lattes de bois de section carrée sont fixées des deux côtés de chacune des poutrelles métalliques. L'influence de la couche réfléchissante sur  $\lambda_{eq}$  et  $R_{si}$  a de nouveau été déterminée pour une feuille avec un revêtement réfléchissant sur une face et pour une autre dont les deux faces sont dotées d'un tel revêtement.

**En conclusion**

Pour la détermination de la résistance thermique  $R$  de constructions équipées de feuilles réfléchissant l'infrarouge, le nombre et l'épaisseur des couches d'air jouent un rôle tout aussi important que le pouvoir émissif  $\epsilon$  des surfaces réfléchissant l'infrarouge. Il faut en effet tenir compte du fait que la résistance thermique d'une couche d'air demeure constante à partir d'une certaine épaisseur (env. 2 cm pour les couches d'air horizontales et env. 1,3 cm pour les couches d'air verticales avec un flux thermique ascendant) et ne varie donc plus avec l'augmentation de leur épaisseur. L'épaisseur de la feuille elle-même ne joue qu'un rôle secondaire.

Il faut ensuite prêter attention à la disposition géométrique de la construction FIR, en précisant si la valeur  $R$  se rapporte à une paroi (avec couches d'air verticales) ou à un toit (avec couches d'air horizontales). Dans ce dernier cas, il faut aussi faire la distinction entre l'hiver et l'été (flux thermique descendant ou ascendant).

S'y ajoute enfin un troisième paramètre, qui est le coefficient de déperditions thermiques des ponts thermiques linéaires  $\Psi$ . Ce dernier est introduit pour tenir compte du flux thermique supplémentaire provoqué par les fixations de la construction (p. ex. lattage).

Une déclaration correcte du produit doit donc mentionner toutes ces grandeurs déterminantes et une comparaison thermique avec des isolants conventionnels n'est admissible que sur la base d'une telle déclaration complète.

En guise de résumé, le **tableau 7** donne les coefficients  $U$  des diverses constructions FIR examinées, calculés sur la base de la surface totale du toit et de la longueur totale  $l$  des ponts thermiques linéaires, soit la longueur déterminante pour établir le coefficient de déperditions thermiques de ces ponts.

Toit avec poutrelles en acier Version 2 Dimensions en mm ***** $\epsilon = 0.1$	Eté $\theta_{e,R} = 65^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [W/m <sup>2</sup> K]		Hiver $\theta_{e,R} = 5^\circ\text{C}$ $\theta_i = 20^\circ\text{C}$ $R_{se} = 0.04$ [W/m <sup>2</sup> K]	
	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]
	0.043	0.79	0.062	0.18
	$q$ [W/m]	69.28	$q$ [W/m]	35.97
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.48</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.76</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.114</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.115</b>
	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.17	$\lambda_{eq}$ [W/mK]	0.10
	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.17	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.10
	$q$ [W/m]	96.74	$q$ [W/m]	38.22
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.67</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.81</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.135</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.115</b>
	$\lambda_D$ [W/mK]	0.040	$\lambda_D$ [W/mK]	0.038
	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.17	$R_{si}$ [W/m <sup>2</sup> K]	0.10
	$q$ [W/m]	69.73	$q$ [W/m]	23.34
	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.45</b>	$U_0$ [W/m <sup>2</sup> K]	<b>0.45</b>
	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.193</b>	$\Psi$ [W/mK]	<b>0.203</b>

$\theta_{e,R}$  Température de rayonnement sur la face extérieure du toit. La valeur surélevée tient compte d'un rayonnement solaire direct de 600 W/m<sup>2</sup> en été et de 300 W/m<sup>2</sup> en hiver.

$U_0$  Coefficient U du toit non perturbé (sans poutrelles).

Direction du flux thermique.

$\Psi$  Coefficient de déperditions des ponts thermiques linéaires selon EN ISO10211-1 Annexe C.

Construction	Eté	Hiver
	$U_0 = 0.48$ W/m <sup>2</sup> K $A = 15$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.024$ W/mK $\ell = 18$ m <b><math>U = 0.51</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	$U_0 = 0.60$ W/m <sup>2</sup> K $A = 15$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.020$ W/mK $\ell = 18$ m <b><math>U = 0.62</math> W/m<sup>2</sup>K</b>
	$U_0 = 0.50$ W/m <sup>2</sup> K $A = 15$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.026$ W/mK $\ell = 18$ m <b><math>U = 0.53</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	$U_0 = 0.50$ W/m <sup>2</sup> K $A = 15$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.030$ W/mK $\ell = 18$ m <b><math>U = 0.54</math> W/m<sup>2</sup>K</b>
	$U_0 = 0.38$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.047$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.40</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	$U_0 = 0.77$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.048$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.79</math> W/m<sup>2</sup>K</b>
	$U_0 = 0.48$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.114$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.53</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	$U_0 = 0.76$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.115$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.81</math> W/m<sup>2</sup>K</b>
	$U_0 = 0.45$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.193$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.53</math> W/m<sup>2</sup>K</b>	$U_0 = 0.45$ W/m <sup>2</sup> K $A = 120$ m <sup>2</sup> $\psi = 0.203$ W/mK $\ell = 50$ m <b><math>U = 0.53</math> W/m<sup>2</sup>K</b>