

Prof. dr. Ir. Ar. Jean-Marie **HAUGLUSTAINE**
Energy & Sustainable Development



Réno2020

Projet de la rue Ferrer 13

Étude de la toiture cintrée

14 | 11 | 2011

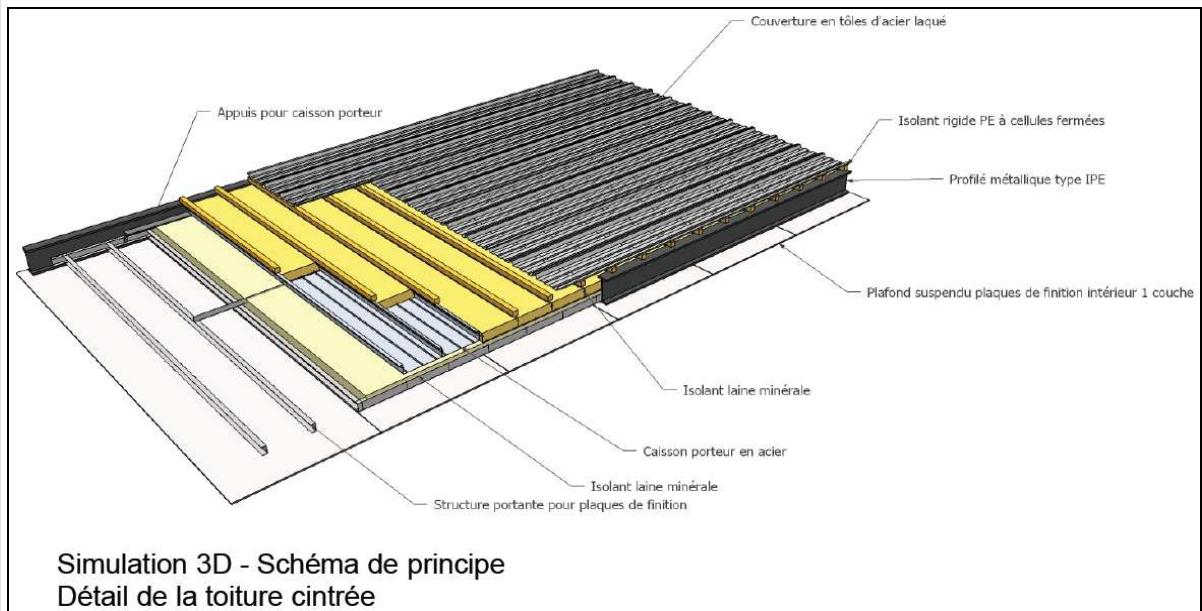
Jean-Marie **HAUGLUSTAINE**

Stéphane **MONFILS**

Sommaire

1.	Étude de la toiture en acier	3
 1.1.	Composition rentrée dans le logiciel	3
 1.2.	Vérification dans Trisco.....	4
 1.2.1.	Modèle	4
 1.2.2.	Résultats graphiques.....	5
 1.2.3.	Résultats numériques	5
2.	Etude des déperditions supplémentaires dues aux poutres cintrées de la toiture, via Trisco	6

1. Étude de la toiture en acier



1.1. Composition rentrée dans le logiciel

La composition qui a été encodée dans le logiciel PEB reprend les spécifications des architectes et de l'ingénieur qui a dimensionné la toiture (voir figure ci-dessus issue des plans de l'ingénieur diffusés avec l'accord des architectes). La toiture repose sur 3 poutres cintrées IPE 240 en acier (qui ne sont pas encodées dans la PEB). Entre ces poutres sont placés des bacs en acier, profonds de 9 cm, remplis d'isolant, et sur lesquels la couverture en tôle d'acier est posée (séparées cependant des bacs par des rupteurs thermiques en polyéthylène extrudé). Sous les bacs, un plenum est disponible pour renforcer l'isolation et placer les techniques éventuelles ; une plaque de plâtre referme le complexe de toiture.

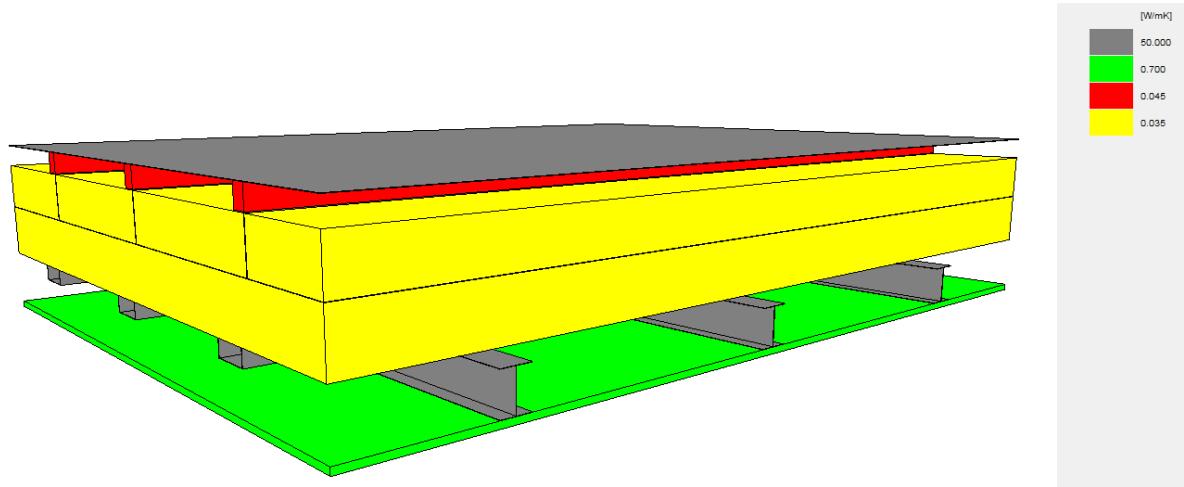
Ainsi, la première composition ne comportait que 9 cm d'isolant placés dans les bacs. Les remarques que nous avons formulées concernant la trop faible épaisseur d'isolant et le non-respect de la réglementation en découlant ont donc été prises en compte, et l'on a rempli une partie du plenum de la toiture de 10 cm d'isolant supplémentaires, ne laissant vides que les espaces nécessaires au passage des techniques en toiture.

Le coefficient de transmission thermique de la toiture (sans tenir compte des ponts thermiques linéaires singuliers que constituent les 3 poutres cintrées IPE 240 en acier) calculé par la PEB est de 0,298 W/m²K pour cette toiture. Pour rappel, la valeur U_{max} imposée dans le cas d'une toiture est justement de 0,3 W/m²K.

Nom de référence :		Ferrer13_toiture_acier_111104																																																						
Description :																																																								
U calculé :		0,298 (Valeur U pour extérieur)																																																						
Profil de toit :		Toit plat + forme de pente																																																						
Introduction directe du U :		<input type="radio"/> Oui <input checked="" type="radio"/> Non																																																						
Couches <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Extérieur</th> <th colspan="3">Résistance superficielle int. Rsi = 0,04 [m²K/W]</th> </tr> <tr> <th>#</th> <th>Type de la couche</th> <th>Type de matériau</th> <th>Epaisseur [m]</th> <th>Options</th> <th>R. [m²K/W]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Simple</td> <td>Acier (Métaux) - λU: 50.0</td> <td>7.5E-4</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Composée</td> <td>Polyéthylène extrudé (PEF) (Matériaux isolants) - λU: 0.045 Air non ventilé (Air)</td> <td>0.04</td> <td>(C) (F)</td> <td>0,17</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Composée</td> <td>Acier (Métaux) - λU: 50.0 - λU: 0.035</td> <td>0.09</td> <td>(C) (F)</td> <td>0,115</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Simple</td> <td>Acier (Métaux) - λU: 50.0</td> <td>6.0E-4</td> <td></td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Simple</td> <td>- λU: 0.035</td> <td>0.1</td> <td>(F) (I)</td> <td>2,857</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Composée</td> <td>Acier (Métaux) - λU: 50.0 Air non ventilé (Air)</td> <td>0.105</td> <td>(C)</td> <td>0,075</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Simple</td> <td>Plaques de plâtre entre deux couches de carton (Matériaux hétérogènes)</td> <td>≤ 0.014</td> <td></td> <td>0,05</td> </tr> </tbody> </table>			Extérieur			Résistance superficielle int. Rsi = 0,04 [m²K/W]			#	Type de la couche	Type de matériau	Epaisseur [m]	Options	R. [m²K/W]	1	Simple	Acier (Métaux) - λU: 50.0	7.5E-4		0,00	2	Composée	Polyéthylène extrudé (PEF) (Matériaux isolants) - λU: 0.045 Air non ventilé (Air)	0.04	(C) (F)	0,17	3	Composée	Acier (Métaux) - λU: 50.0 - λU: 0.035	0.09	(C) (F)	0,115	4	Simple	Acier (Métaux) - λU: 50.0	6.0E-4		0,00	5	Simple	- λU: 0.035	0.1	(F) (I)	2,857	6	Composée	Acier (Métaux) - λU: 50.0 Air non ventilé (Air)	0.105	(C)	0,075	7	Simple	Plaques de plâtre entre deux couches de carton (Matériaux hétérogènes)	≤ 0.014		0,05
Extérieur			Résistance superficielle int. Rsi = 0,04 [m²K/W]																																																					
#	Type de la couche	Type de matériau	Epaisseur [m]	Options	R. [m²K/W]																																																			
1	Simple	Acier (Métaux) - λU: 50.0	7.5E-4		0,00																																																			
2	Composée	Polyéthylène extrudé (PEF) (Matériaux isolants) - λU: 0.045 Air non ventilé (Air)	0.04	(C) (F)	0,17																																																			
3	Composée	Acier (Métaux) - λU: 50.0 - λU: 0.035	0.09	(C) (F)	0,115																																																			
4	Simple	Acier (Métaux) - λU: 50.0	6.0E-4		0,00																																																			
5	Simple	- λU: 0.035	0.1	(F) (I)	2,857																																																			
6	Composée	Acier (Métaux) - λU: 50.0 Air non ventilé (Air)	0.105	(C)	0,075																																																			
7	Simple	Plaques de plâtre entre deux couches de carton (Matériaux hétérogènes)	≤ 0.014		0,05																																																			
Intérieur <table border="1"> <tr> <td>Résistance thermique (surface à surface) Rt = 3,27 [m²K/W]</td> </tr> <tr> <td>Résistance superficielle int. Rsi = 0,10 [m²K/W]</td> </tr> <tr> <td>Résistance thermique totale RT = 3,41 [m²K/W]</td> </tr> <tr> <td>Valeur U indicative U = 0,30 [W/m²K]</td> </tr> </table>			Résistance thermique (surface à surface) Rt = 3,27 [m²K/W]	Résistance superficielle int. Rsi = 0,10 [m²K/W]	Résistance thermique totale RT = 3,41 [m²K/W]	Valeur U indicative U = 0,30 [W/m²K]																																																		
Résistance thermique (surface à surface) Rt = 3,27 [m²K/W]																																																								
Résistance superficielle int. Rsi = 0,10 [m²K/W]																																																								
Résistance thermique totale RT = 3,41 [m²K/W]																																																								
Valeur U indicative U = 0,30 [W/m²K]																																																								
<input type="button" value="Couche simple"/> <input type="button" value="Couche composée"/>																																																								

1.2. Vérification dans Trisco

1.2.1. Modèle

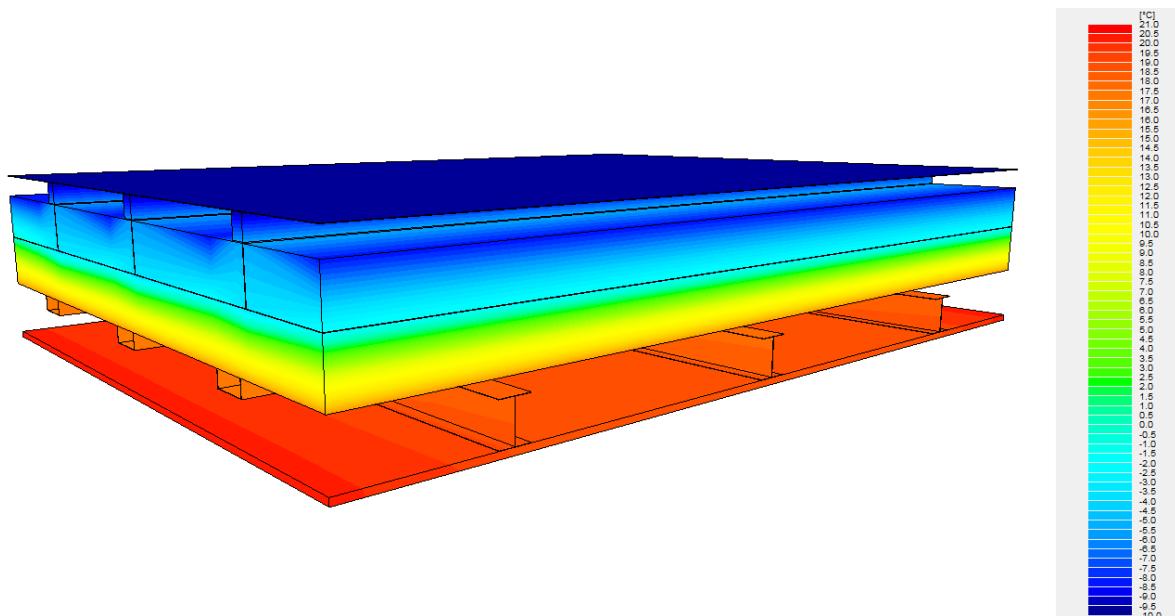


Les dimensions et valeurs lambda sont identiques à celles renseignées dans la composition PEB. Dans le cas présent, nous n'avons pas tenu compte de la poutre centrale. Nous veillerons, pour la comparaison, à faire tourner le logiciel Trisco sur

un deuxième modèle, plus complet, tenant compte de cette structure en acier, pour en déterminer l'effet (il s'agira bien là d'un nœud constructif étant donné que la structure principale n'entre pas dans la composition PEB).

Le modèle que nous présentons offre une surface d'échange de $1,8 * 1,305 = 2,349 \text{ m}^2$ au transfert de chaleur. Une différence de température de 30°C a été imposée entre l'intérieur et l'extérieur.

1.2.2. Résultats graphiques



1.2.3. Résultats numériques

Le flux entre l'intérieur et l'extérieur est de $15,43 \text{ W}$, pour une différence de température de 30°C , et une paroi de $2,349 \text{ m}^2$ de surface. Cela nous donne donc une valeur $\boxed{U = 15,43/(30*2,349) = 0,219 \text{ W/m}^2\text{K}}$, au lieu des $0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ annoncés par le logiciel PEB.

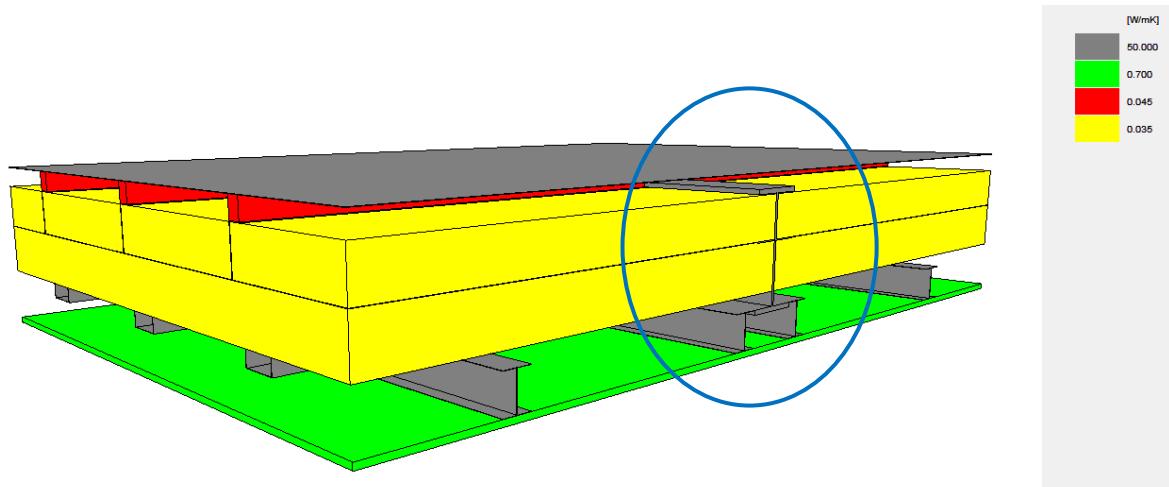
Clr.	Type	Nom	ta [°C]	Fl.entr. [W]	Fl.sort. [W]
2	BC_SIMPL	EXTERIEUR		0.00	15.43
6	BC_SIMPL	INTERIEUR		15.43	0.00
13	BC_FRE_S	fx-plaf 2	17.95	15.46	15.46
19	BC_FRE_S	air sous toitur	-8.22	3.07	3.07
27	BC_FRE_S	air sous toitur	-8.32	5.23	5.23
51	BC_FRE_S	air sous toitur	-8.36	5.14	5.14
59	BC_FRE_S	air sous toitur	-8.80	2.63	2.63

La température minimale atteinte dans le plenum, pour ce ΔT de 30°C entre l'intérieur et l'extérieur, est de $16,52^\circ\text{C}$, ce qui semble confirmer l'absence de condensation superficielle dans le plenum. Cependant, sachant que de l'isolant a été rajouté sous les bacs en acier (qui jouent un rôle de pare-vapeur dans la composition), une étude supplémentaire de la toiture avec Glasta a permis de confirmer le risque potentiel de condensation dans le complexe de toiture, et la nécessité de placer un pare-vapeur, côté intérieur.

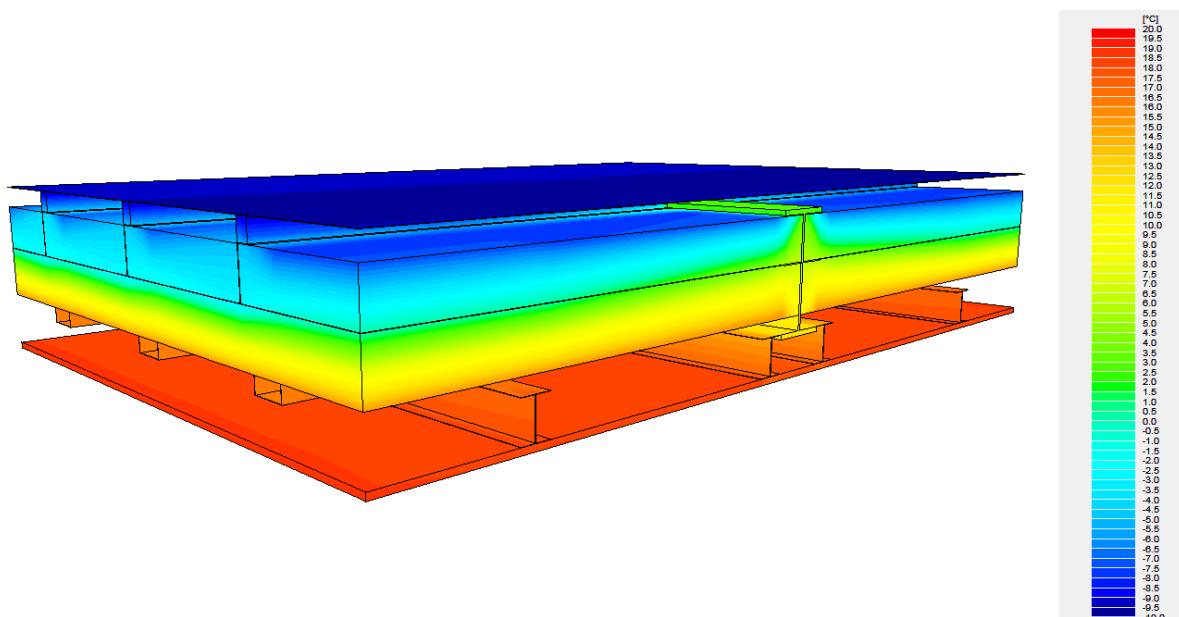
2. Etude des déperditions supplémentaires dues aux poutres cintrées de la toiture, via Trisco

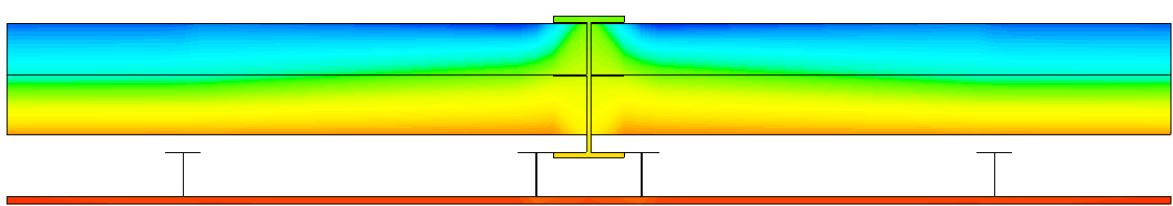
La réglementation ne considère pas les structures comme des nœuds constructifs... en tous cas pas celles dont l'influence est déjà comptabilisée dans la résistance thermique surfacique R [$\text{m}^2\text{K/W}$] des « couches composées », selon leur dénomination dans la méthode de calcul PEB et reprise telle quelle dans le logiciel.

La toiture en acier que avons analysée repose principalement sur 3 grandes poutres (IPE 240) en acier, cintrées, qui n'apparaissent pas dans ces couches composées (nous n'avons tenu compte que des autres éléments en acier). C'est pourquoi nous allons analyser, dans Trisco, leur influence.



Les résultats graphiques nous montrent, comme on pouvait s'y attendre, l'influence d'une structure métallique sur le transfert de chaleur :





Les résultats numériques sont les suivants :

Clr.	Type	Nom	ta [°C]	Fl.entr. [W]	Fl.sort. [W]
2	BC_SIMPL	EXTERIEUR		0.00	32.24
5	BC_FRE_S	air plenum sous	15.34	3.30	3.30
6	BC_SIMPL	INTERIEUR		32.24	0.00
13	BC_FRE_S	fx-plaf 2	16.40	12.74	12.74
19	BC_FRE_S	air sous toitur	-6.85	6.00	6.00
21	BC_FRE_S	fx-plaf 3	16.40	12.74	12.74
27	BC_FRE_S	air sous toitur	-6.98	10.48	10.48
51	BC_FRE_S	air sous toitur	-7.15	9.82	9.82
59	BC_FRE_S	air sous toitur	-7.88	7.19	7.19

Ils indiquent un flux sortant vers l'extérieur de 32,24 W, pour un ΔT de 30°C et une surface d'échange de $1,98 \text{ m} * 1,305 \text{ m} = 2,5839 \text{ m}^2$.

Nos simulations ont annoncé une valeur U de la toiture (sans compter les poutres structurelles) de 0,219 W/m²K, qui permet donc dans le cas présent de laisser passer un flux de $0,219 \text{ [W/m}^2\text{K]} * 2,5839 \text{ [m}^2\text{]} * 30 \text{ [°C]} = 16,98 \text{ W}$. Le flux des 15,26 W restants correspondrait au flux supplémentaire imputable à la poutre métallique (de 1,305 m de longueur), soit $15,26 / 1,305 / 30 = 0,39 \text{ W/mK}$.

Ce genre de nœud linéaire n'entrant dans aucune « catégorie » de $\Psi_{e,\lim}$, la valeur maximale admise est de 0 W/mK : les poutres sont donc un nœud « non PEB-conforme ».