



**IUT CLERMONT
AUVERGNE**

Aurillac - Clermont-Ferrand - Le Puy-en-Velay
Montluçon - Moulins - Vichy

Les ponts thermiques

Enjeux en RE2020 et en rénovation

Mercredi 31 mai 2023

Pierre HORMIERE



1

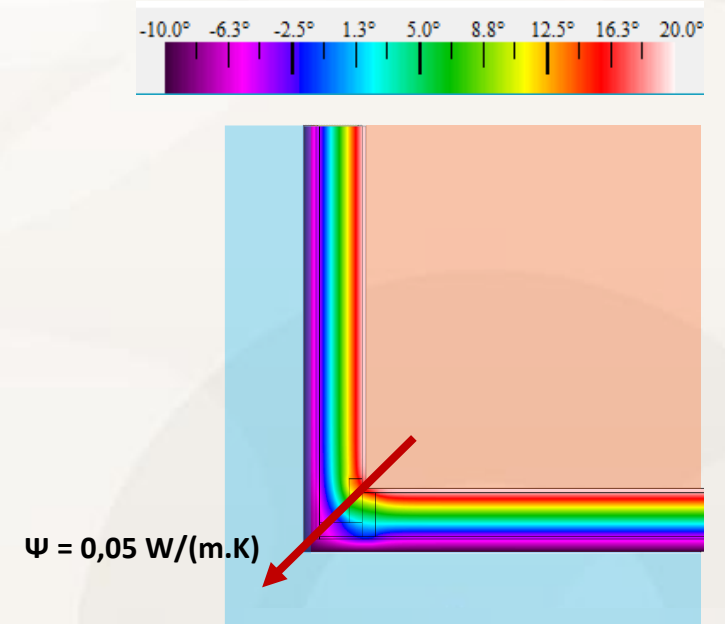
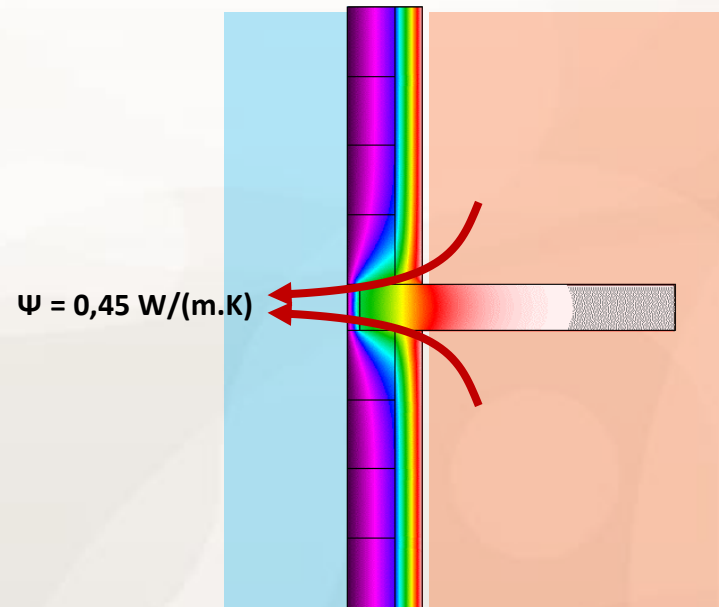
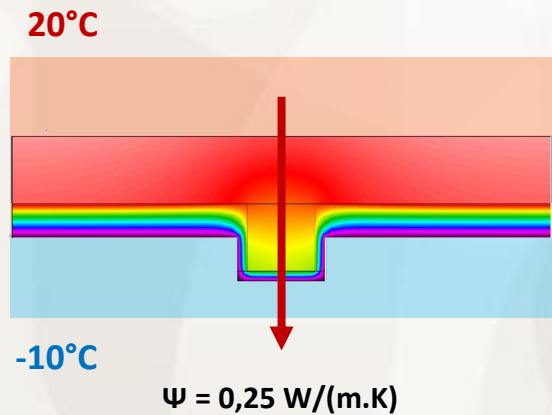
Les ponts thermiques, sujet méconnu

Qu'est-ce qu'un pont thermique ?

■ Définition

- Une zone de l'enveloppe où la résistance thermique est plus faible ;
- Une rupture ou discontinuité dans l'isolation,
- aux jonctions entre paroi ou au sein des parois elles-mêmes ;
- Une zone de l'enveloppe plus froide.

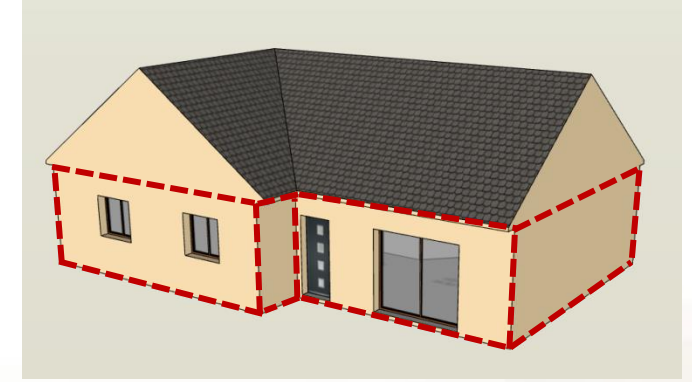
■ 3 exemples :



Les différents types de ponts thermiques

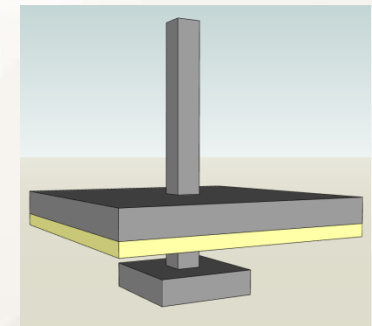
- ● ● ● ●
- **Les ponts thermiques linéaires :**

- A la liaison de deux parois ou lorsque l'isolant est interrompu linéairement
- Coef. de transmission linéique : ψ [W/(m.K)]



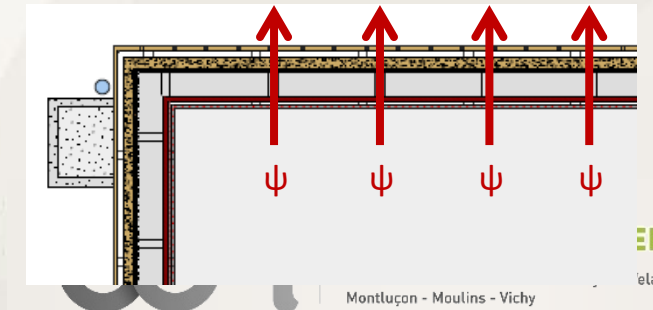
- **Les ponts thermiques ponctuels :**

- Lors de l'interruption ponctuelle de l'isolation
- Coef. de transmission ponctuel : χ [W/K]



- **Les ponts thermiques structurels :**

- Linéaires ou ponctuels (ossature bois, fixations, etc.).
- Ils sont répartis selon une trame
- Ils sont alors pris en compte dans le coef. U_p [W/(m².K)]



Où les trouver ?

- Les repérer :
 - Liaisons horizontales et verticales
 - Menuiseries
 - Ossatures
 - Refend, renfort structurel

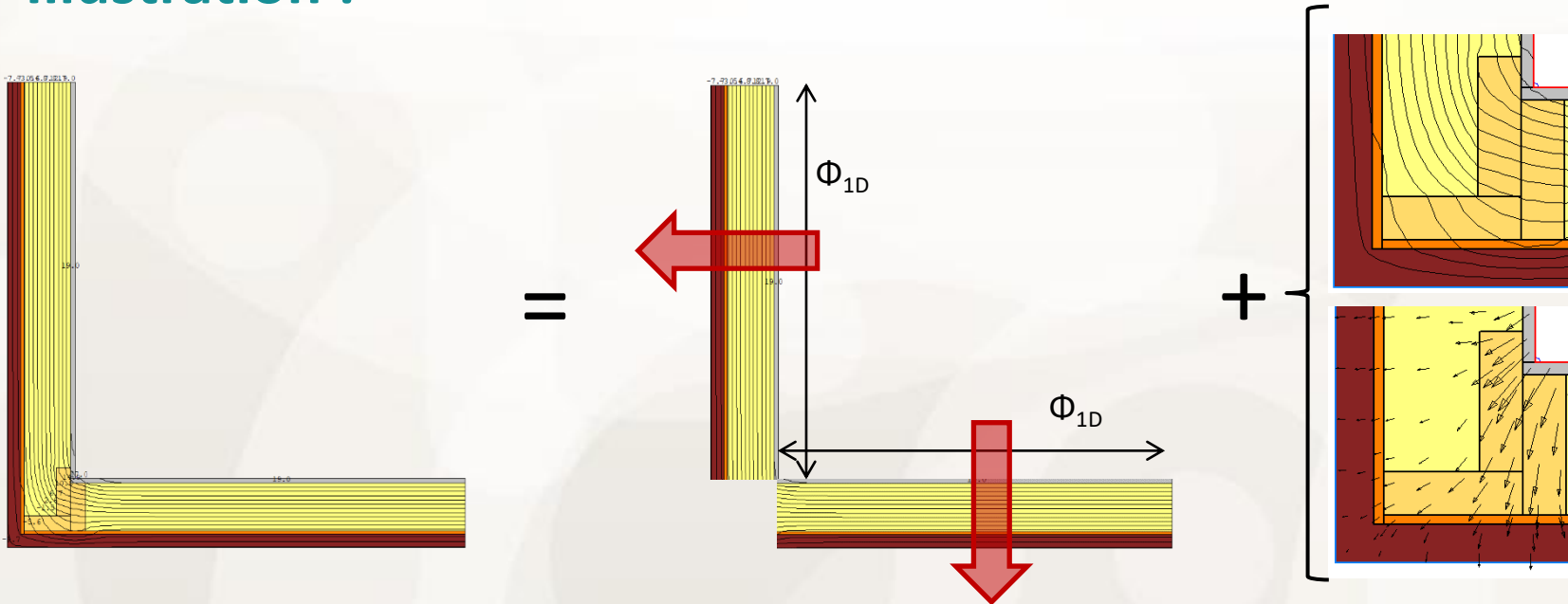


*Maison individuelle (63)
Architecte : F. Ribeiro*

Qu'est-ce qu'un pont thermique ? (bis)

- Une correction mathématique
 - Par rapport à un modèle de calcul monodimensionnel,
 - Dans lequel les isothermes sont parallèles.

■ Illustration :



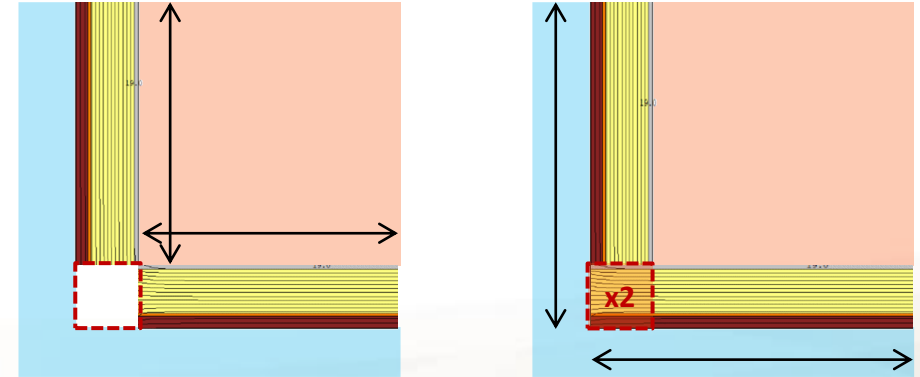
$$\Phi_{1D} = \sum U \times S \times \Delta T \quad [W]$$

$$\Phi_{2D} = \Phi_{1D} + \Psi \times L \times \Delta T$$

Parois... quelle surface considérer ?

Convention(s) de dimension

- Réglementation française → dimensions intérieures : Liaisons négligées.
- Allemagne, Suisse, Belgique → dimensions extérieures : Liaisons comptées deux fois.

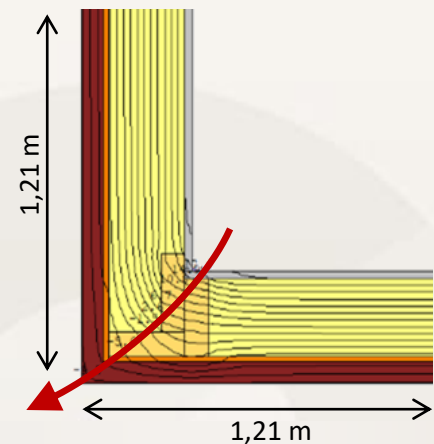
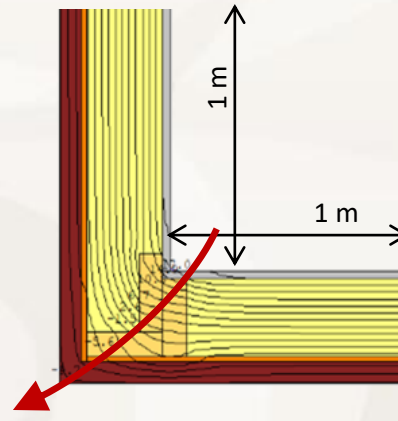
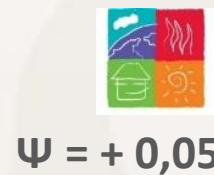


Correction nécessaire pour obtenir le bilan réel

- Selon les dimensions intérieures ou extérieure
- Correction positive ou négative !

Illustration :

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{2D} &= 0,17 \times 2 + 0,05 = 0,39 \\ \Phi_{2D} &= 0,17 \times 2,42 - 0,02 = 0,39 \end{aligned} \right\} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

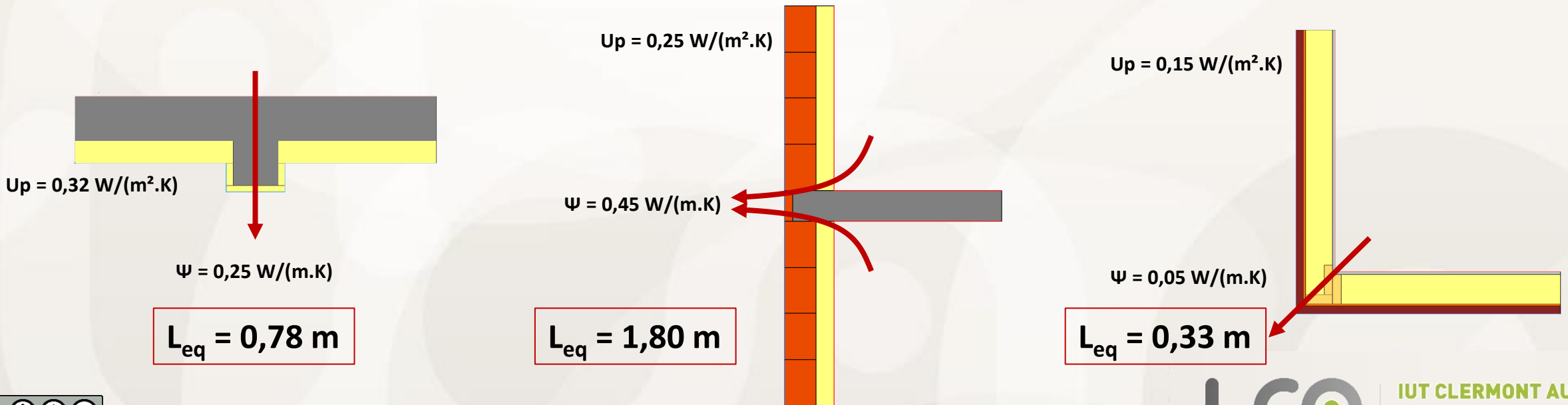


Considérations complémentaires

■ Ponts thermiques négatifs...

- Saisie de l'enveloppe aux dimensions extérieures : majoration des pertes de chaleur
- Saisie des ponts thermiques en APD : le bilan thermique s'améliore !

■ Longueur thermique équivalente :



2

Enjeux en RE2020 et en rénovation

Réglementation thermique

- **Exigences en RE 2020** (Arrêté du 4 août 2021 – Art. 22)

- Ratio de transmission linéique moyen des ponts thermiques :

$$\text{Ratio}_{\psi} = \frac{\sum \psi \cdot L}{S_{\text{Ref}}} \leq 0,33 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{ref}} \cdot \text{K})$$

- Garde-fou pour le pont thermique moyen de plancher intermédiaire :

$$\psi_9 = \frac{\sum \psi \cdot L}{\sum L} \leq 0,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

- Les ponts th. < 0,03 W/(m.K) peuvent être négligés – hors ponts th. Intégrés. (Th Bât § 1.3.4)

- **Recommandation en construction passive**

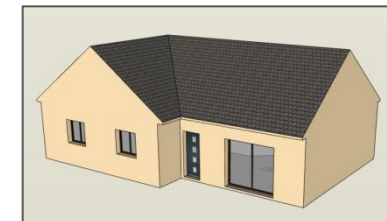
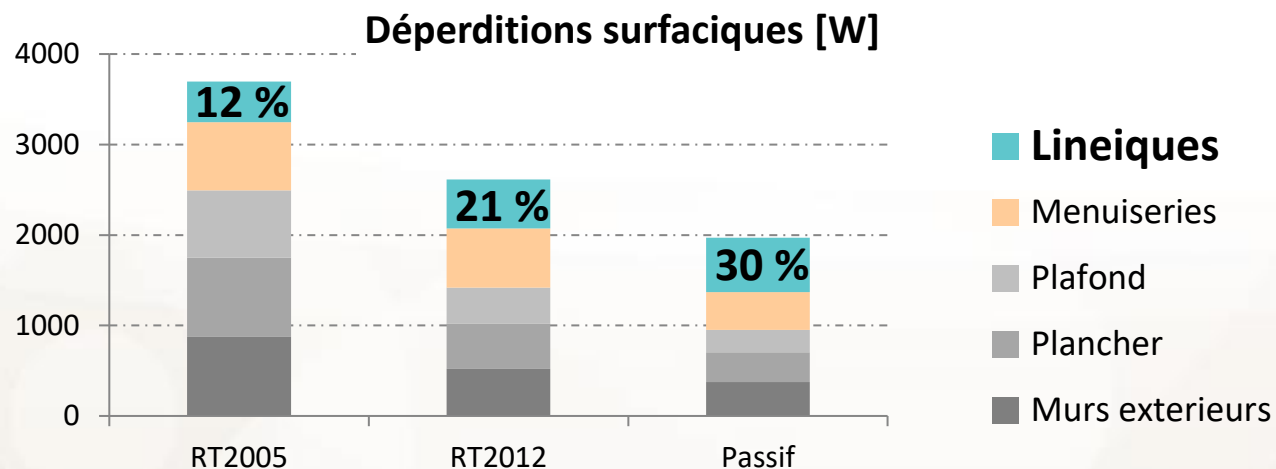
- Les ponts thermiques doivent être négligeables : $\psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- Selon les dimensions extérieures



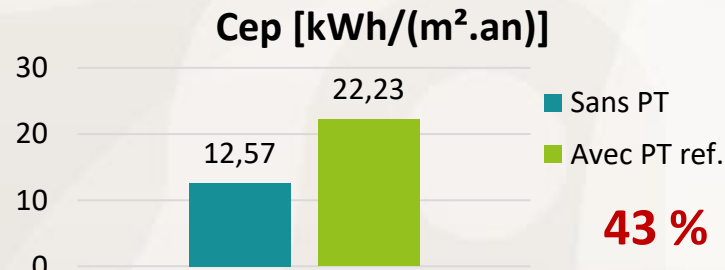
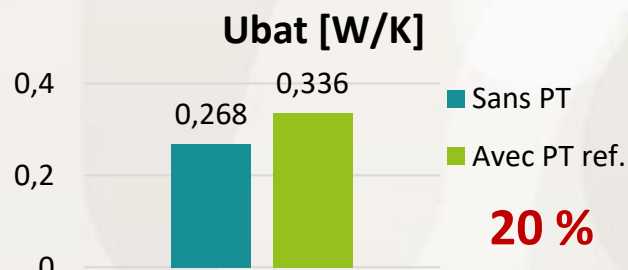
Une importance grandissante

■ Augmentation de leur importance relative

- Avec l'amélioration des performances des parois



- Part des ponts thermiques : étude Nobatek



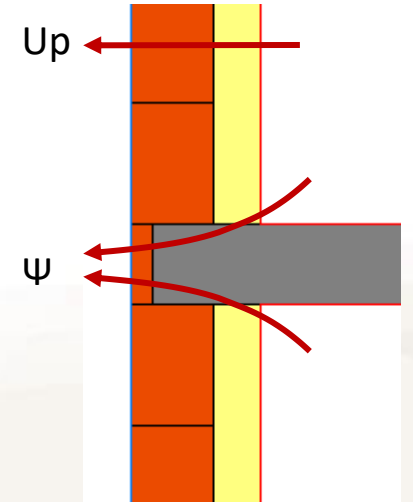
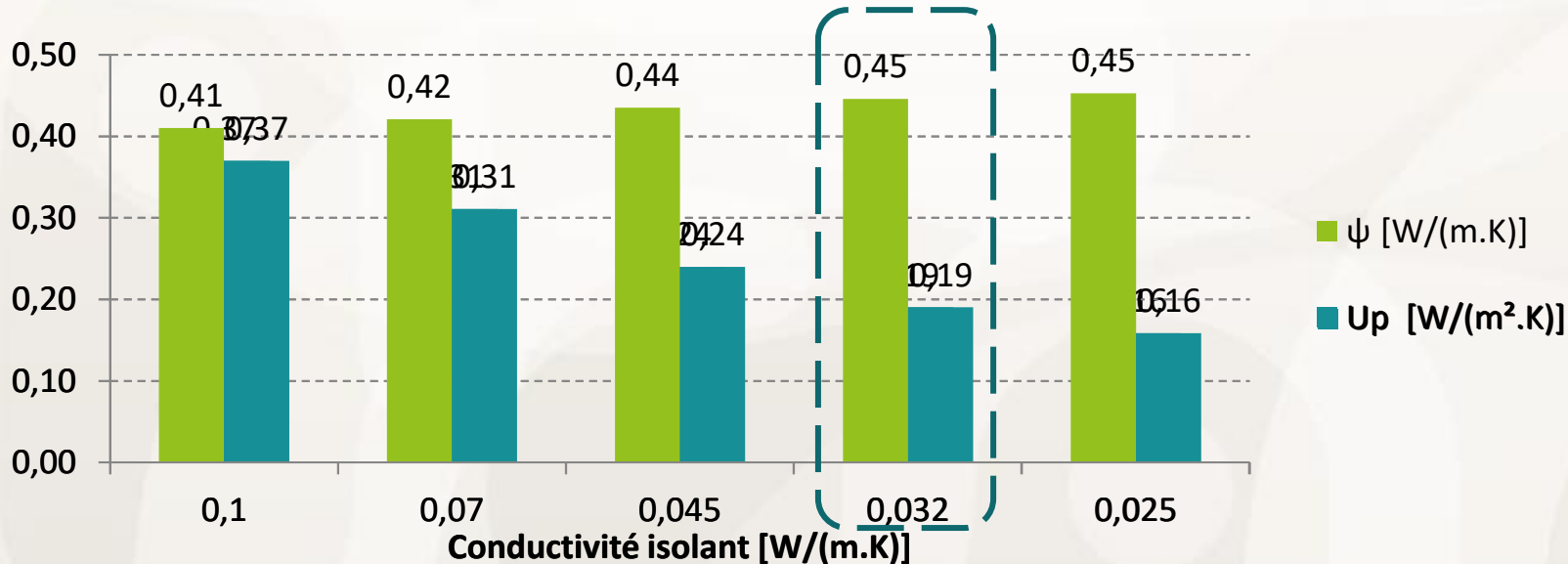
Une importance grandissante

- **Augmentation avec la performance de l'isolant**

- Effet « tunnel »

- **Illustration :**

- Mur brique 20 cm + laine de verre 12 cm

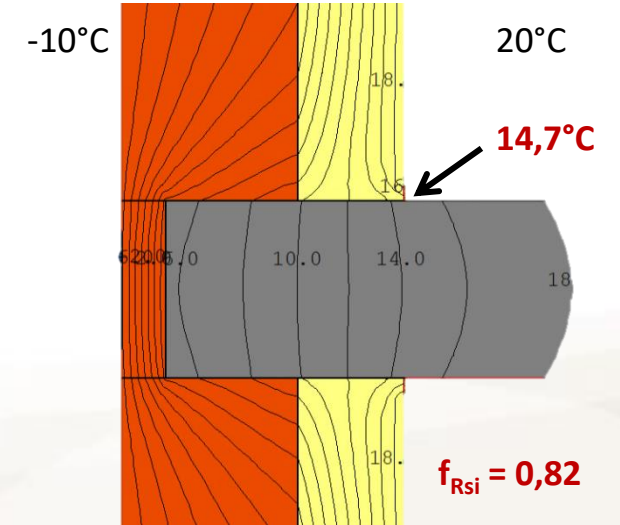


Pour $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m.K})$:
Le pont thermique correspond à 2,3 m de paroi

Pathologies liées aux ponts thermiques

■ Abaissement local de la température

- La température est localement plus faible :
Risque de condensation en surface ou dans les matériaux
- Impact sur le bâti :
Dégâts structurels (corrosion, bois, biosourcés...)
Dégradation des isolants (performance, tassement...)
- Impact sur la santé :
Développement de moisissures, champignons



Problématique conjointe avec migration de vapeur et étanchéité à l'air

■ Expression du risque de condensation :

- Plus f est bas, plus le risque de condensation est élevé
- Recommandation : $f > 0,7$

$$f_{Rsi} = \frac{T_{si} - T_e}{T_i - T_e} \quad [-]$$

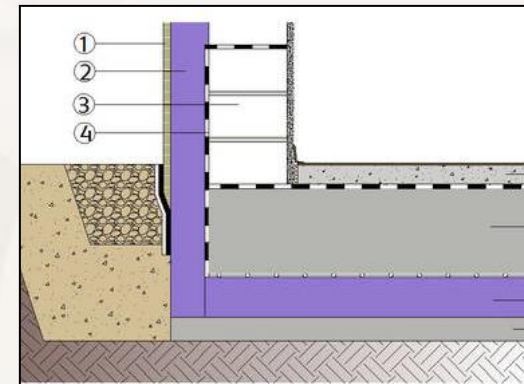
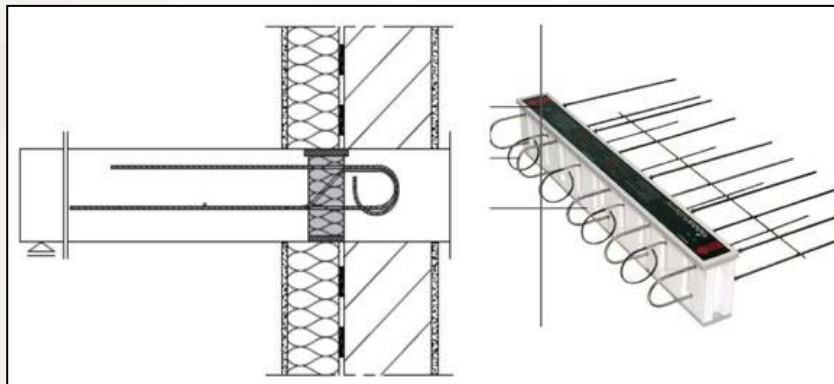
Construire sans ponts thermiques

- ● ● ● ●
■ **Assurer la continuité de l'isolant**

- Privilégier l'isolation par l'extérieur pour traiter les planchers intermédiaires, les refends

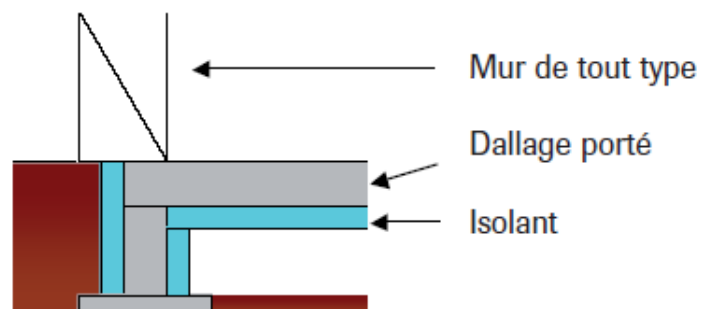
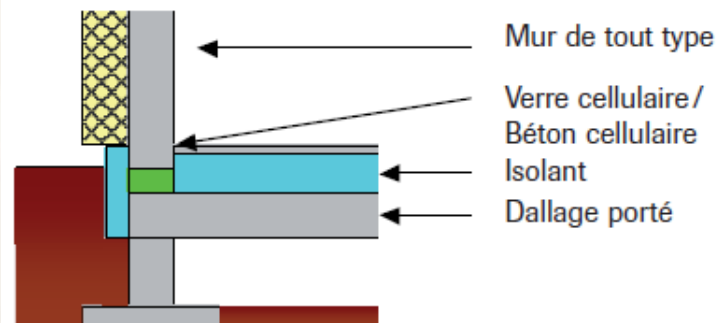
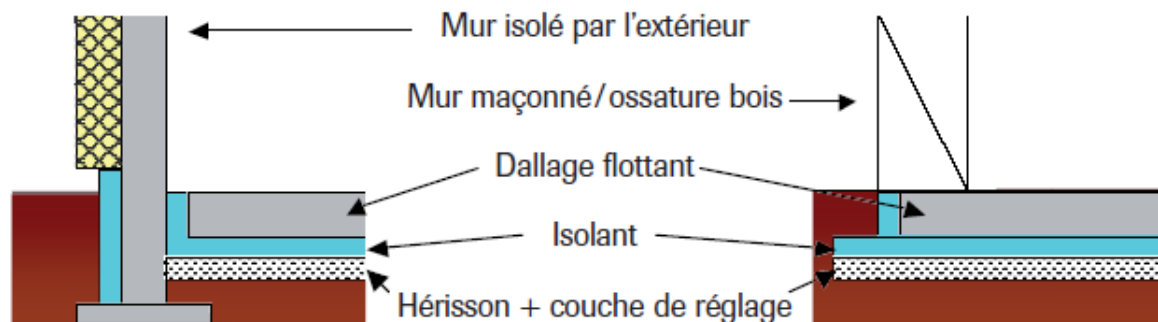
- **Les éléments à concevoir avec attention :**

- Les balcons : autoportants, utilisation de rupteurs de ponts thermiques
- La liaison mur - plancher bas : isolation périmétrique, rupteur pour plancher à entrevous, radier isolé
- Menuiseries : isoler les embrasures (4-6 cm)
- Les acrotères : à isoler en totalité



Construire sans ponts thermiques

■ Détail plancher bas, menuiseries



Construire sans ponts thermiques

- Balcon, acrotère



Limiter les ponts thermiques

- **Intercaler un matériau moins conducteur**

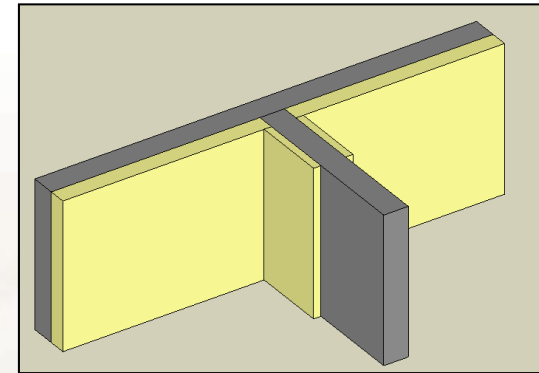
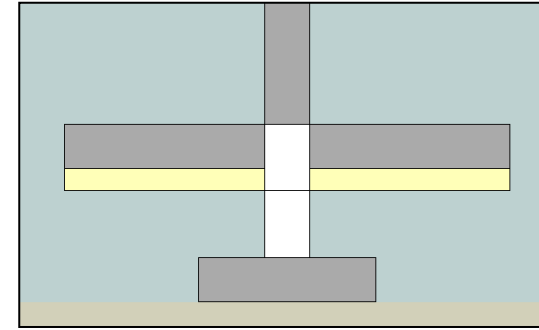
- Exemple : bloc béton cellulaire

- **Allonger le parcours de la chaleur**

- Cas de l'isolation par l'intérieur
- Assurer un retour d'isolant, 60 cm minimum

- **Conception**

- Arbitrage entre performances thermiques et structurelles (sismicité, tenue au feu)
- Réalisation d'un carnet de détail au 1/10^e avec principe de mise en œuvre
- Conception conjointe avec l'étanchéité à l'air



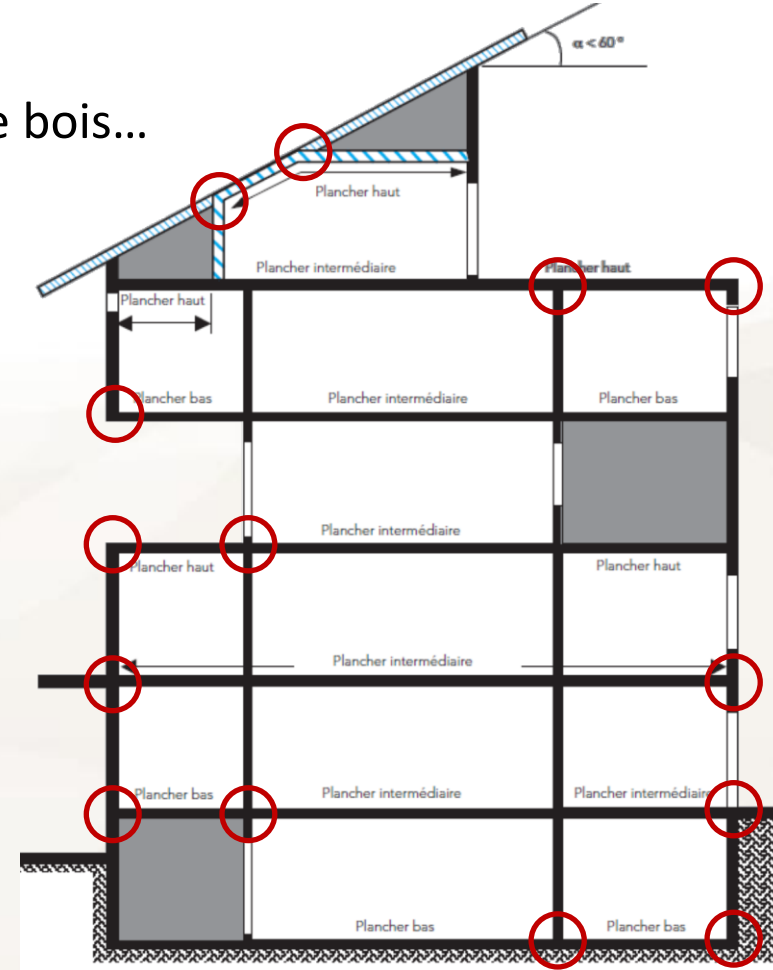
3

Quelles valeurs, quels outils ?

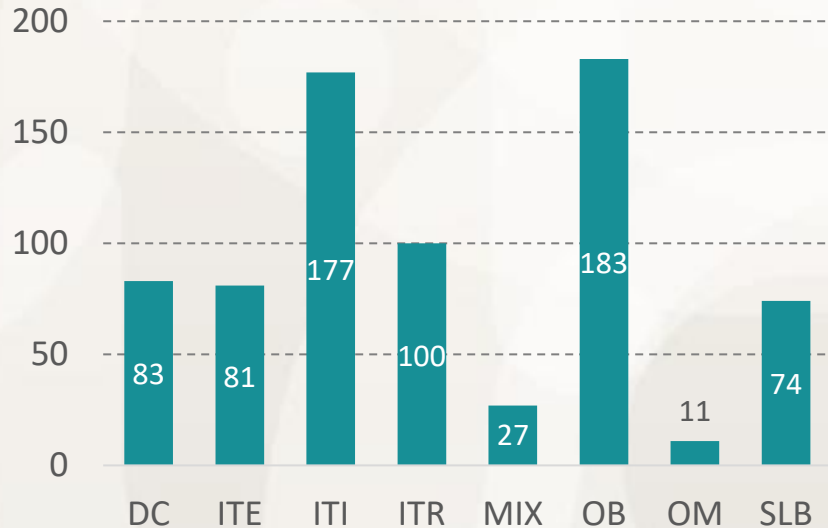
Valeurs réglementaires

■ Règles Th-bât : ponts thermiques

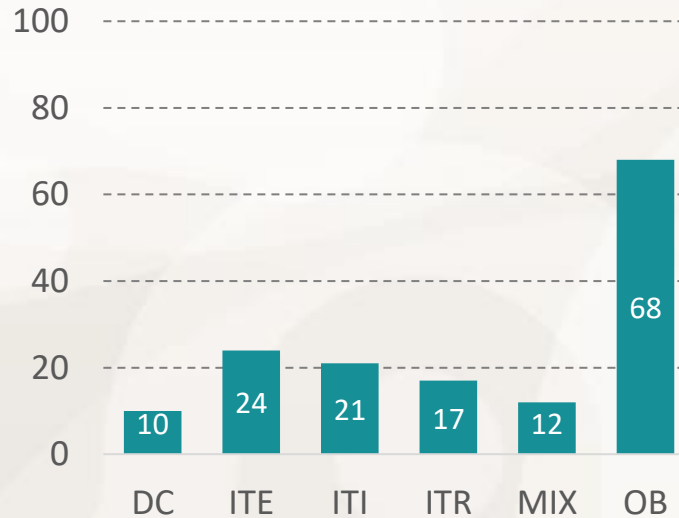
- Isolation par l'intérieur, par l'extérieur, répartie, construction à ossature bois...
- Liaisons avec un plancher bas, plancher intermédiaire, plancher haut
- Parois verticales : angle sortant, rentrant, refend
- Menuiseries : appui, linteau, tableau, seuil



756 ponts thermiques linéiques



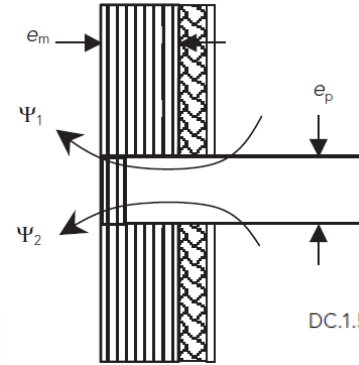
152 PT de menuiseries



Valeurs réglementaires

Exemples

- Plancher intermédiaire
- Retombée de poutre

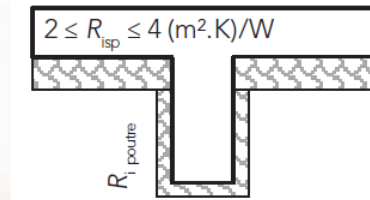


ITI.2.1.19 Plancher en béton plein avec planelle en nez de plancher de résistance thermique R_p

e_m	e_p	$R_p = 0,1 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$			$R_p = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$			$R_p = 0,22 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$		
		15	20	25	15	20	25	15	20	25
$20 \leq e_m \leq 25$		0,54	0,67	0,79	0,50	0,61	0,72	0,48	0,58	0,67
$25 < e_m \leq 30$		0,51	0,63	0,74	0,47	0,58	0,68	0,45	0,55	0,64

$\Psi = 0,58 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

DC.1.5.6 Plancher bas en béton plein isolé en sous-face ou à entrevous isolant ne pénétrant pas dans l'épaisseur de la poutre



e_{po} (en cm)	$1 \leq R_{i \text{ poutre}} < 1,5$			$1,5 \leq R_{i \text{ poutre}} < 2$			$R_{i \text{ poutre}} = R_{isp}$		
	$r_p = 40$	$r_p = 60$	$r_p = 80$	$r_p = 40$	$r_p = 60$	$r_p = 80$	$r_p = 40$	$r_p = 60$	$r_p = 80$
30	0,37	0,42	0,47	0,28	0,34	0,39	0,13	0,19	0,24
60	0,52	0,58	0,64	0,38	0,45	0,50			
80	0,58	0,66	0,73	0,41	0,50	0,55			
100	0,65	0,72	0,78	0,46	0,54	0,61			
$\Delta\Psi$	+0,08			+0,08			+0,08		

$\Psi = 0,37 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Limites d'utilisation

- De nombreux détails mais...
- Isolants avec une faible résistance thermique
- Recherche fastidieuse

Autres sources de données

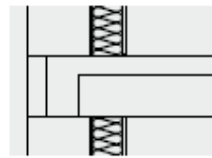
Documentation constructeur

- Exemple : planelle isolée



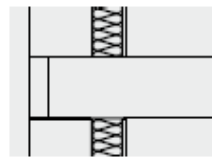
Documentation Porotherm

Planelle isolée • $R_p = 0,5$



Plancher **entrevous**
béton ou terre cuite
épaisseur **16 cm**

0,28
ITI. 2.1.25



Plancher **béton**
épaisseur **20 cm**

0,38
ITI. 2.1.24

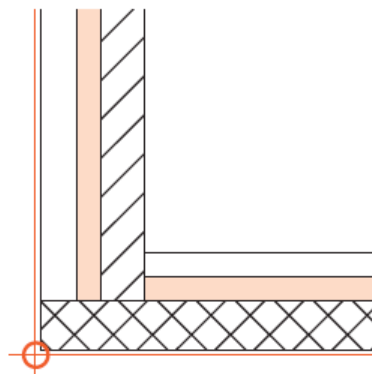
Autres bases de données :

- Règles SIA (Suisse), base de données belge...
- Détails constructifs Fibois, construction paille

/!\ Conventions de dimensions



Porte-à-faux



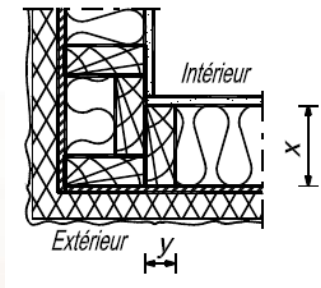
Valeur U façade en $W/(m^2 \cdot K)$	Valeur U sol en $W/(m^2 \cdot K)$		
	0.35	0.40	0.45
0.15	0.02	0.01	0.00
0.20	0.02	0.01	0.00
0.25	0.01	0.01	0.00
0.30	0.00	-0.01	-0.02
0.35	-0.01	-0.02	-0.03
0.40	-0.03	-0.04	-0.05



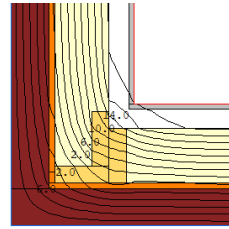
Pourquoi calculer les ponts thermiques ?

- **Parce que les valeurs Th-bât sont obsolètes**

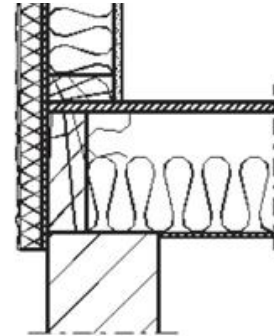
- Exemple : ossature bois; angle sortant, pied de mur



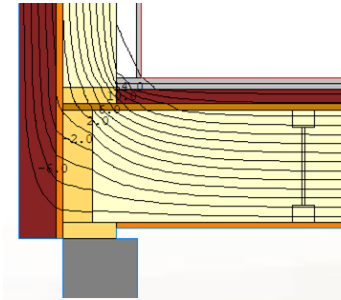
Valeur Th-bât
 $\Psi = 0,12 \text{ W}/(\text{m.K})$



Calcul numérique
 $\Psi = 0,042 \text{ W}/(\text{m.K})$
- 65 %



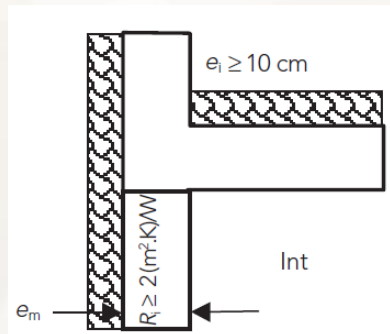
Valeur Th-bât
 $\Psi = 0,56 \text{ W}/(\text{m.K})$



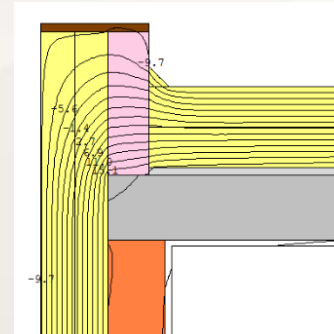
Calcul numérique
 $\Psi = 0,038 \text{ W}/(\text{m.K})$
- 93 %

- **Pour valoriser la conception d'un détail technique**

- Exemple : acrotère isolé



Valeur Th-bât
 $\Psi = 0,74 \text{ W}/(\text{m.K})$

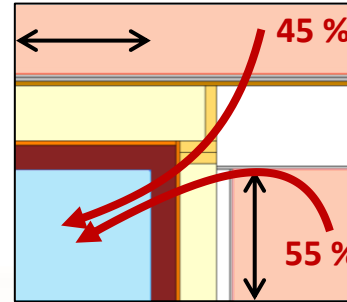
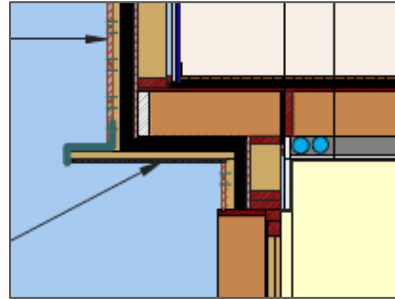


Calcul numérique
 $\Psi = 0,083 \text{ W}/(\text{m.K})$
- 89 %

Pourquoi calculer les ponts thermiques ?

- **Parce que le détail n'existe pas dans les règles Th-bât**

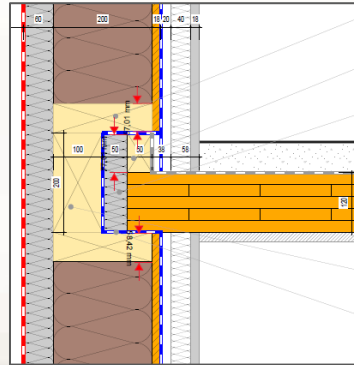
- Exemple 1 :
plancher intermédiaire
donnant sur l'extérieur



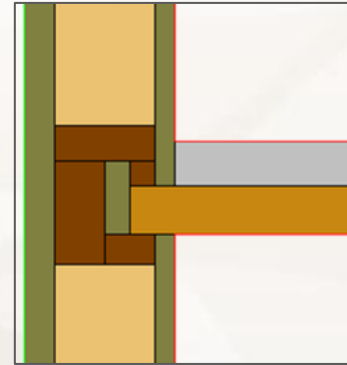
$$\Psi = 0,022 \text{ W}/(\text{m.K})$$



- Exemple 2 :
Plancher CLT dans mur
ossature bois



C. GALAS
BET Eegenie



$$\Psi = 0,053 \text{ W}/(\text{m.K})$$

- **Dans le cadre d'une labellisation**

- Calcul demandé pour le label maison passive



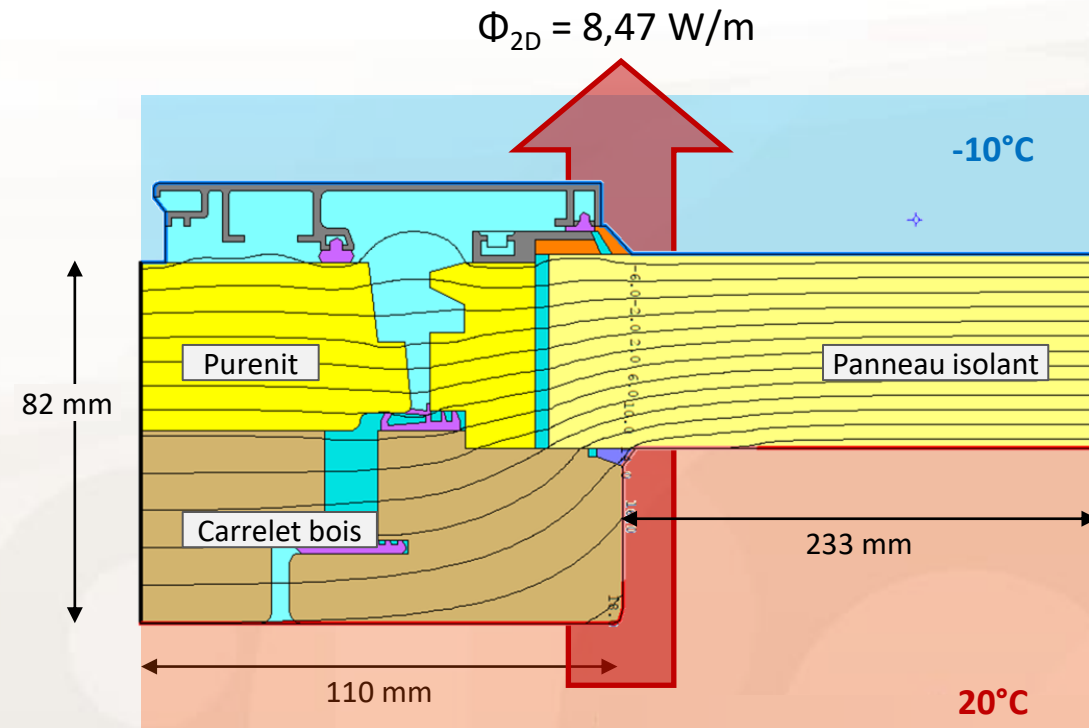
Méthode de calcul

■ Normes

- NF EN 10211 : ponts thermiques linéiques et ponctuels
- Norme NF EN 10077-2 : performance thermique des menuiseries : calcul des grandeurs U_f et Ψ_{espaceur}

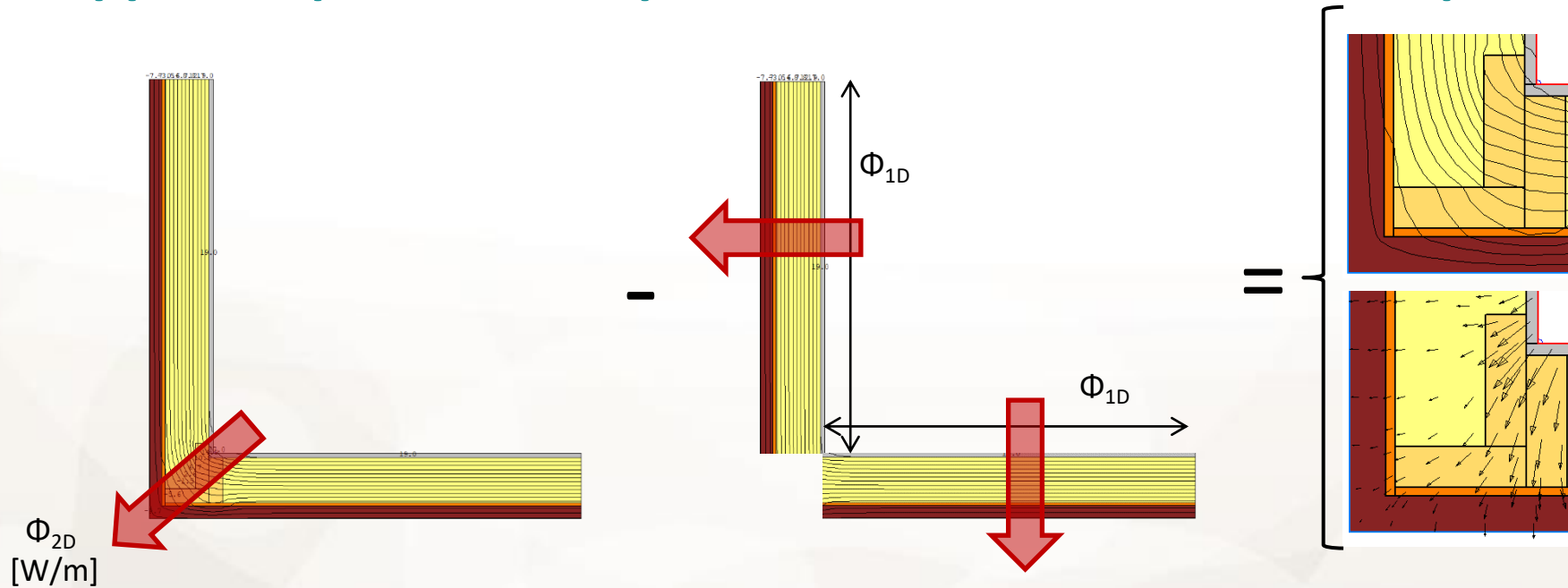
■ Démarche

- Saisie de la géométrie (import DXF)
- Définition des matériaux et lames d'air
- Conditions aux limites : température, résistance superficielle
- Maillage
- Calcul du flux de chaleur
 - Isothermes, lignes de flux



Méthode de calcul

- Rappel : le pont thermique, une correction mathématique



$$\psi = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{\Delta T}$$

- Application :

$$\psi = \frac{11,2}{20 - (-10)} - 0,17 \times 2 = 0,05 \quad [\text{W}/\text{m} \cdot ^\circ\text{C}]$$

Avec $U_p = 0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Les logiciels

■ Gratuits

Logiciel	Éditeur	Fonctionnalités	Coût
Therm	Berkeley LAB	2D – SS*	Gratuit
Conducteö	C. Marcel	2D – SS	Gratuit

■ Logiciels FR

Logiciel	Éditeur	Fonctionnalités	Coût
Ulys	CSTB	2D – SS	730 € HT
Physalis - Therm	BBS Slama	2D – SS	464 € / an ou 1290 €

■ Autres logiciels

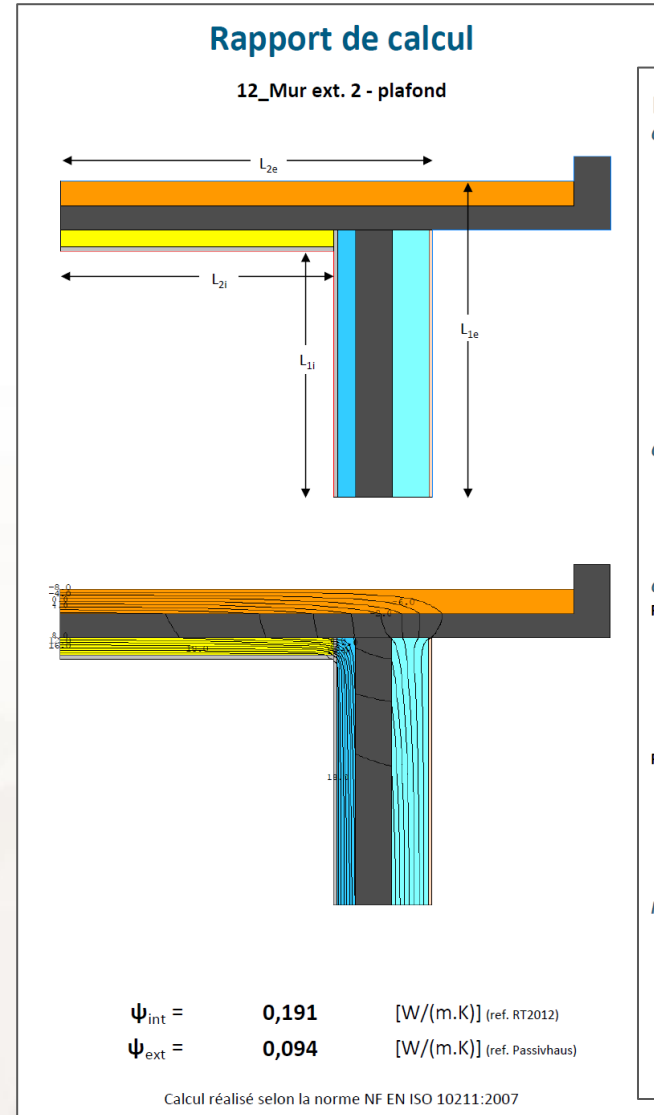
Logiciel	Éditeur	Fonctionnalités	Coût
Flixo Energy	Infomind	2D – SS	340 €
Heat 2, Heat 3	Building Physics	2D, 3D – TR	1900 €
Bisco, Trisco	Physibel	2D, 3D – SS	
Antherm	Antherm	2D, 3D – TR	

SS : Steady-State
TR : TRansient
(régime variable)

Le logiciel Therm

Avantages & inconvénients :

- Gratuit
- Largement diffusé en construction passive
- Géométries complexes possibles
- En anglais
- Pas de mise en forme des résultats
→ post-traitement nécessaire (Excel)
- Permet le calcul aux dimensions intérieures et extérieures



Données d'entrée

Composition du modèle

Matériau	Conductivité thermique [W/(m.K)]	Épaisseur [mm]	Légende
Plaque de plâtre	0,25	18	
Isolant PSE - int.	0,032	100	
Béton armé	2,3	200	
Isolant PSE - ext.	0,031	200	
Enduit	0,7	20	
Plaque de plâtre	0,25	30	
Laine de verre	0,032	100	
Béton armé	2,3	150	
Panneau PU	0,023	150	

Conditions aux limites

Température intérieure [°C]	20	
Température extérieure [°C]	-10	
Résistance thermique superficielle intérieure [m².K/W]	0,13 / 0,10	
Résistance thermique superficielle extérieure [m².K/W]	0,04	

Géométrie du modèle

Paroi 1

Longueur intérieure L_{1i} [mm]	1500
Longueur extérieure L_{1e} [mm]	1930
Épaisseur [mm]	538
Coefficient de transmission $U_{p,1}$ [W/(m².K)]	0,101

Paroi 2

Longueur intérieure L_{2i} [mm]	1500
Longueur extérieure L_{2e} [mm]	2038
Épaisseur [mm]	430
Coefficient de transmission $U_{p,2}$ [W/(m².K)]	0,100

Résultats

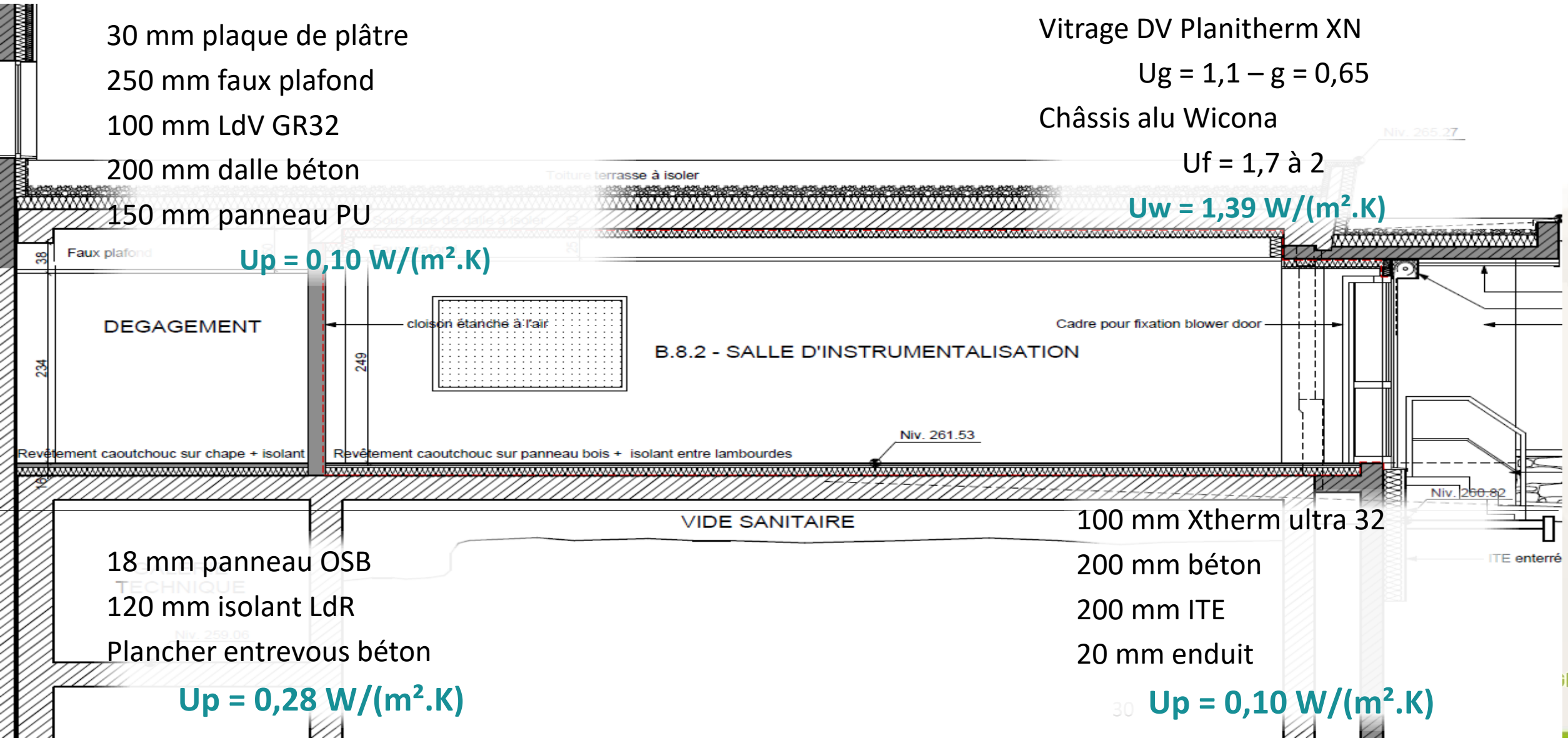
Flux thermique entrant [W/m]	14,7689
Flux thermique sortant [W/m]	14,7688
Ψ_{int} [W/(m.K)]	0,191
Ψ_{ext} [W/(m.K)]	0,094

$$\psi_{int} = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - U_1 \cdot L_{1i} - U_2 \cdot L_{2i} \quad \psi_{ext} = \frac{\Phi_T}{\Delta T} - U_1 \cdot L_{1e} - U_2 \cdot L_{2e}$$

4

Quelques cas pratiques

A2Ex – labellisation bâtiment passif



30 mm plaque de plâtre
 250 mm faux plafond
 100 mm LdV GR32
 200 mm dalle béton
 150 mm panneau PU

$U_p = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

DEGAGEMENT

cloison étanche à l'air

B.8.2 - SALLE D'INSTRUMENTALISATION

Cadre pour fixation blower door

Niv. 261.53

Niv. 265.27

Niv. 260.82

ITE enterré

18 mm panneau OSB
 120 mm isolant LdR
 Plancher entrevous béton

$U_p = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Vitrage DV Planitherm XN
 $U_g = 1,1 - g = 0,65$
 Châssis alu Wicona
 $U_f = 1,7 \text{ à } 2$

$U_w = 1,39 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

VIDE SANITAIRE

100 mm Xtherm ultra 32
 200 mm béton
 200 mm ITE
 20 mm enduit

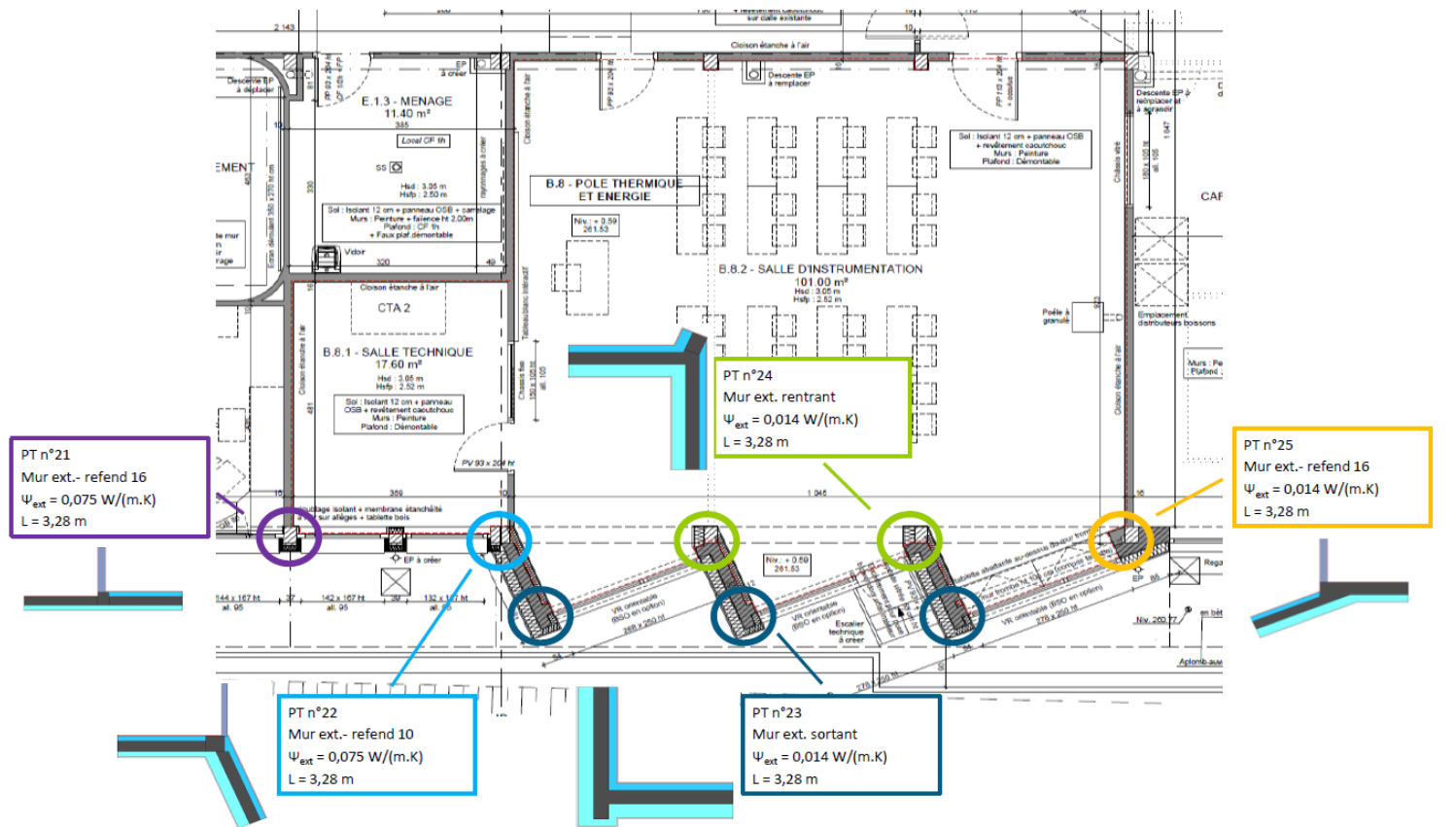
$U_p = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Rapport de calcul

Ponts thermiques horizontaux - plancher

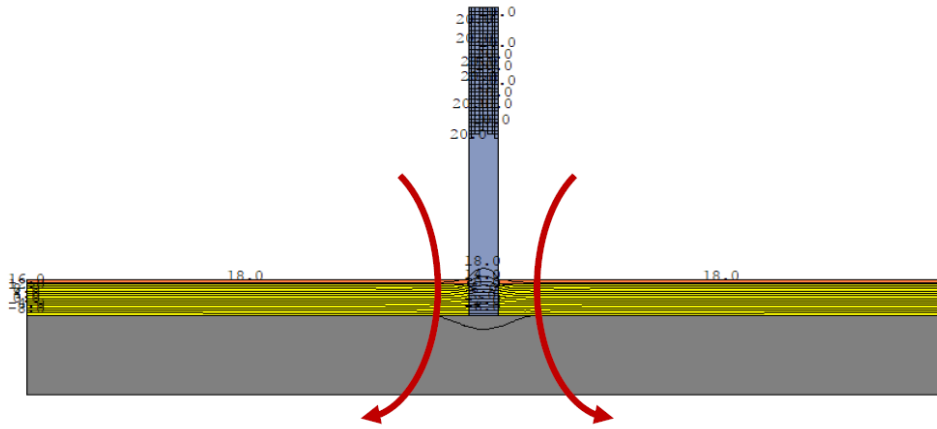
Ponts thermiques horizontaux - toiture

Ponts thermiques verticaux



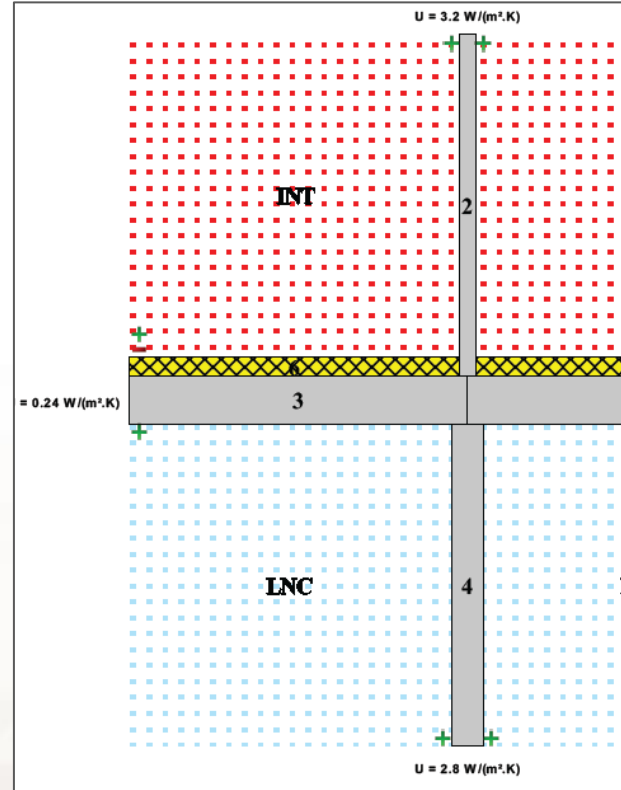
Nom	Ψ_{int} [W/(m.K)]	Ψ_{ext} [W/(m.K)]
1_Mur ext. 1 - plancher	0,109	-0,058
2_Mur ext. 2 - plancher	0,154	-0,015
3_Appui plancher	0,000	0,000
4_Refend 16 - plancher + fondation	0,044	0,025
5_Refend 16 - plancher	0,022	0,004
6_Refend 10 - plancher	0,028	0,016
11_Mur ext. 1 - plafond	0,176	0,068
12_Mur ext. 2 - plafond	0,191	0,094
13_Terrasse - plafond	0,133	0,133
14_Refend 16 - plafond + poutre	0,011	0,007
15_Refend 16 - plafond	0,012	0,006
16_Refend 10 - plafond	0,007	0,002
21_Mur ext.- refend 16	0,034	0,025
22_Mur ext.- refend 10	0,042	0,110
23_Mur ext. Sortant	0,073	-0,036
24_Mur ext. Rentrant	0,062	0,062
25_Mur ext.- refend 16	0,007	0,011

Comparaison Therm - Ulys



- $\psi_{int} = 0,056$ [W/(m.K)] (ref. RT2012)
- $\psi_{int, BEPOS} = 0,028$ [W/(m.K)] (ref. RT2012)
- $\psi_{ext} = 0,032$ [W/(m.K)] (ref. Passivhaus)
- $\psi_{ext, BEPOS} = 0,016$ [W/(m.K)] (ref. Passivhaus)

Matériau	Conductivité thermique [W/(m.K)]	Épaisseur [mm]	Légende
OSB	0,13	18	
Laine de verre	0,032	120	
Plancher entrevous béton	1,4	300	
Cloison 98	0,1	100	



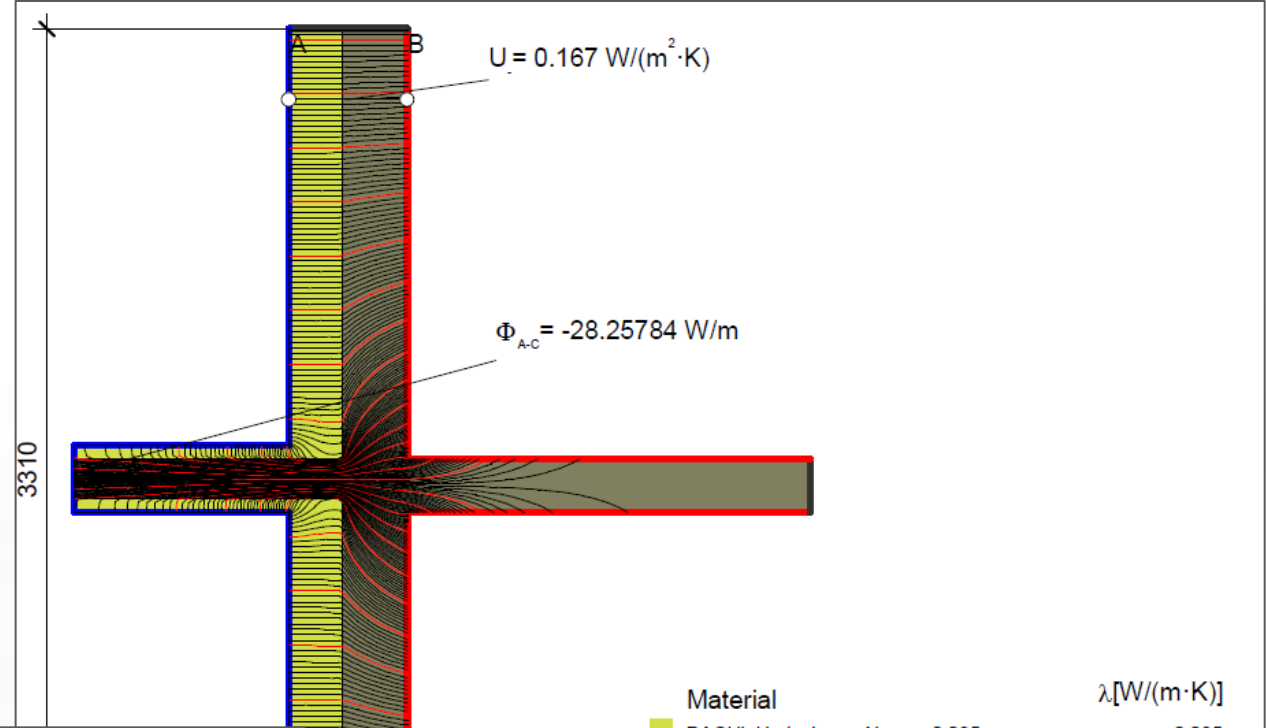
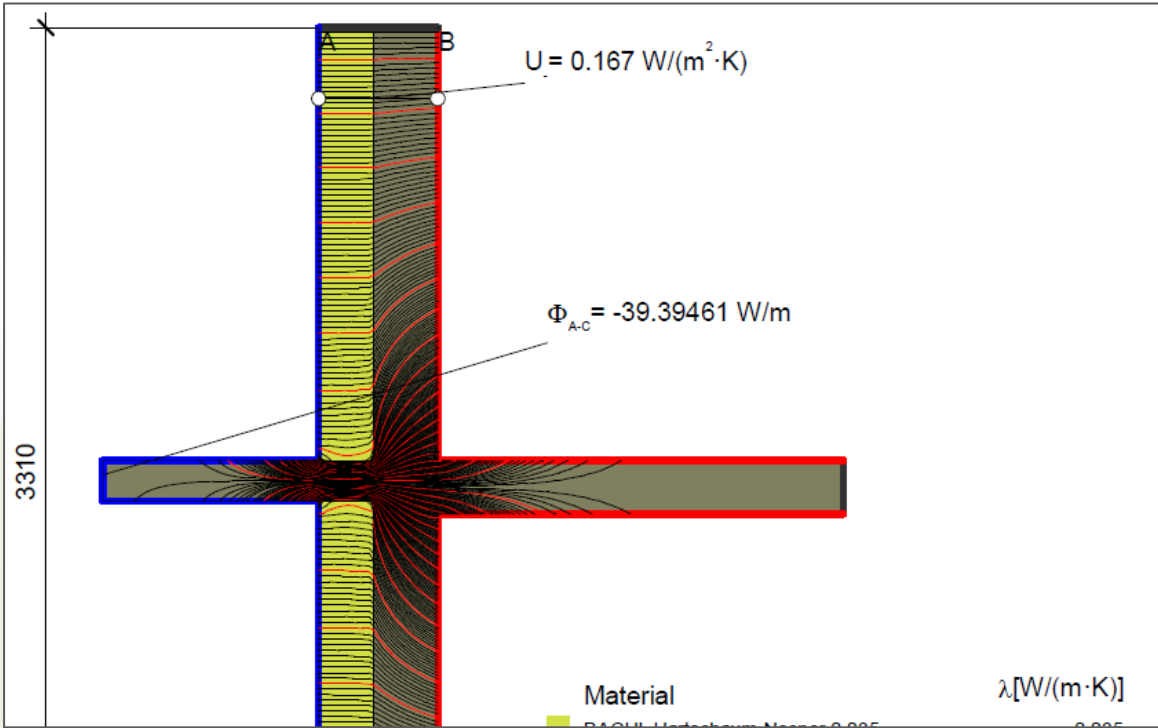
Id	Id	e[m]	L[m]	[W/m².K]	R[m².K/W]	Nom du matériau
1	+	0.3	2.1	2	0.15	Béton par défaut
5		0.12	2.05	0.032	3.8	TP238
2	+	0.1	2.12	2	0.05	Béton par défaut
3	+	0.3	2.1	2	0.15	Béton par défaut
6		0.12	2.05	0.032	3.8	TP238
4	+	0.2	2	2	0.1	Béton par défaut

Formule :
 $\Psi = 0.504$
 $= 29.903/20.000 - (0.236*2.100 + 0.236*2.100)$



$\psi_{ext} = 0,032$ W/(m.K) \longleftrightarrow $\psi_{ext} = 0,504$ W/(m.K)

Optimisation balcon – étude Flixo



$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 = \frac{39.395}{30.000} - 0.167 \cdot 3.310 = 0.760 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Material	λ [W/(m·K)]
BACHL Hartschaum Neopor 0.035	0.035
Concrete, 1% Steel Beton, 1% Stahl 10456	2.300

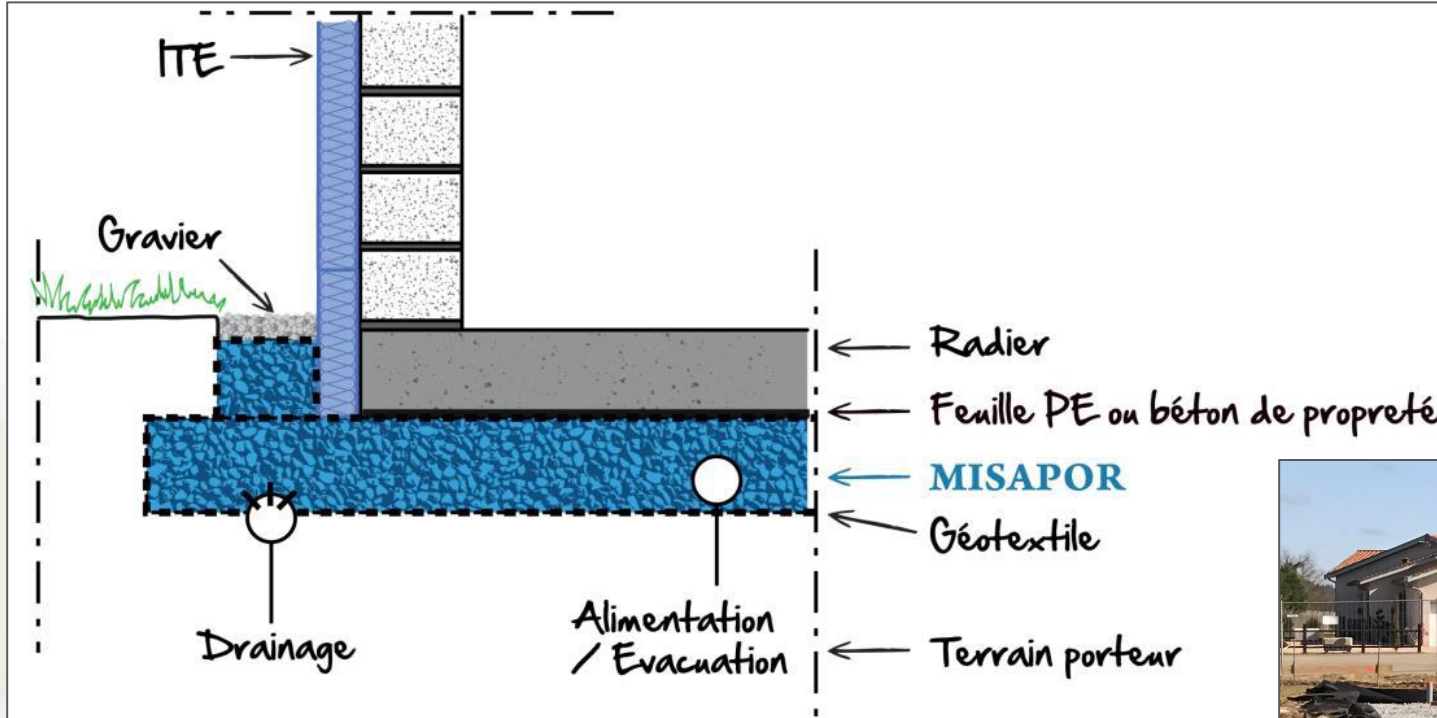
Randbedingung	q [W/m ²]	θ [°C]	R [(m ² ·K)/W]
Adiabatic Adiat	0.000		
Exterior Außen	-10.000		0.040
Innen Standard horizontal	20.000		0.130

$$\psi_{A-C} = \frac{\Phi}{\Delta T} - U_1 \cdot b_1 = \frac{28.258}{30.000} - 0.167 \cdot 3.310 = 0.389 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

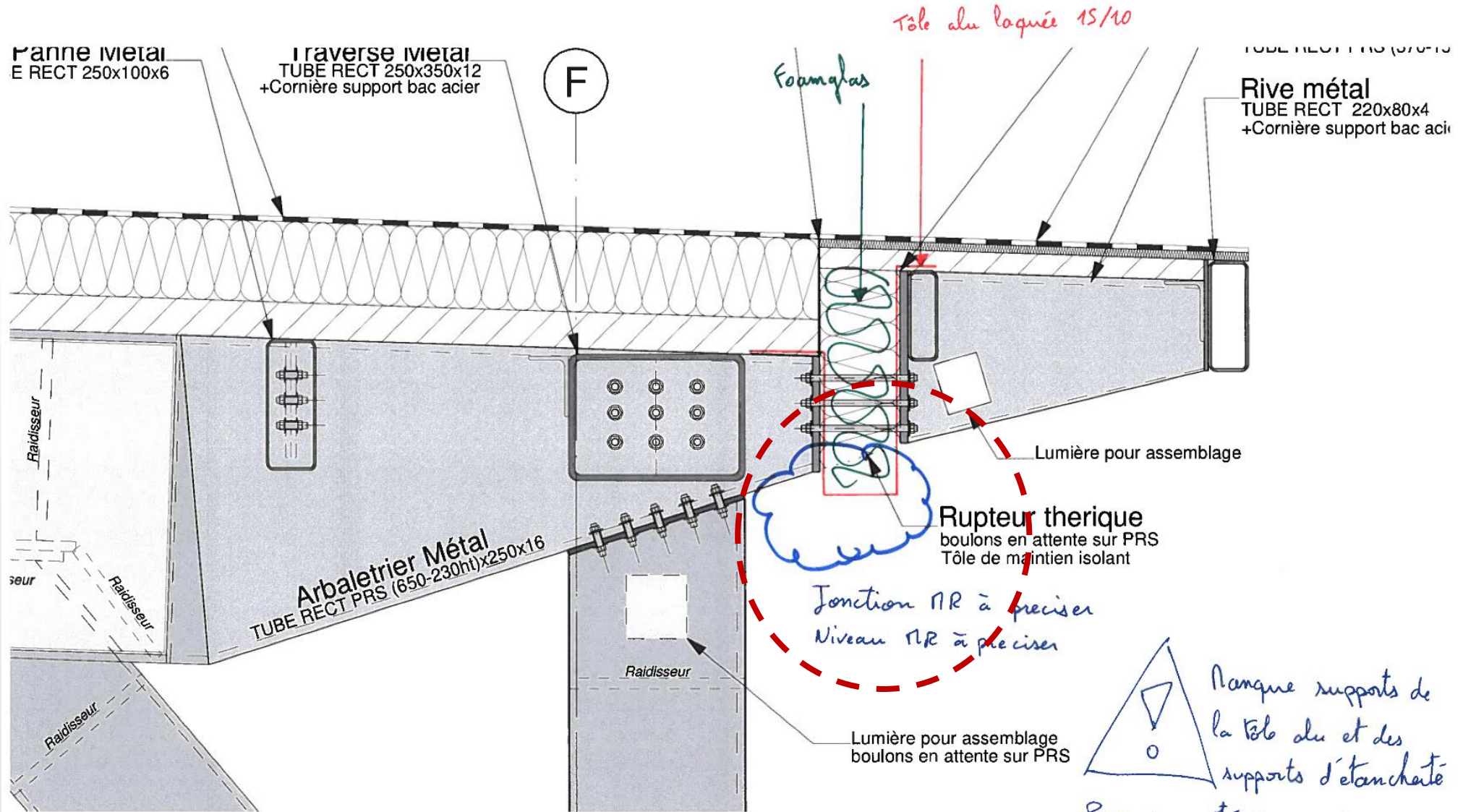
Solution de radier isolé



Solution de radier isolé



Centre aquatique – détail constructif



16/02/2020

P. Hormière

Définition de la géométrie et des matériaux

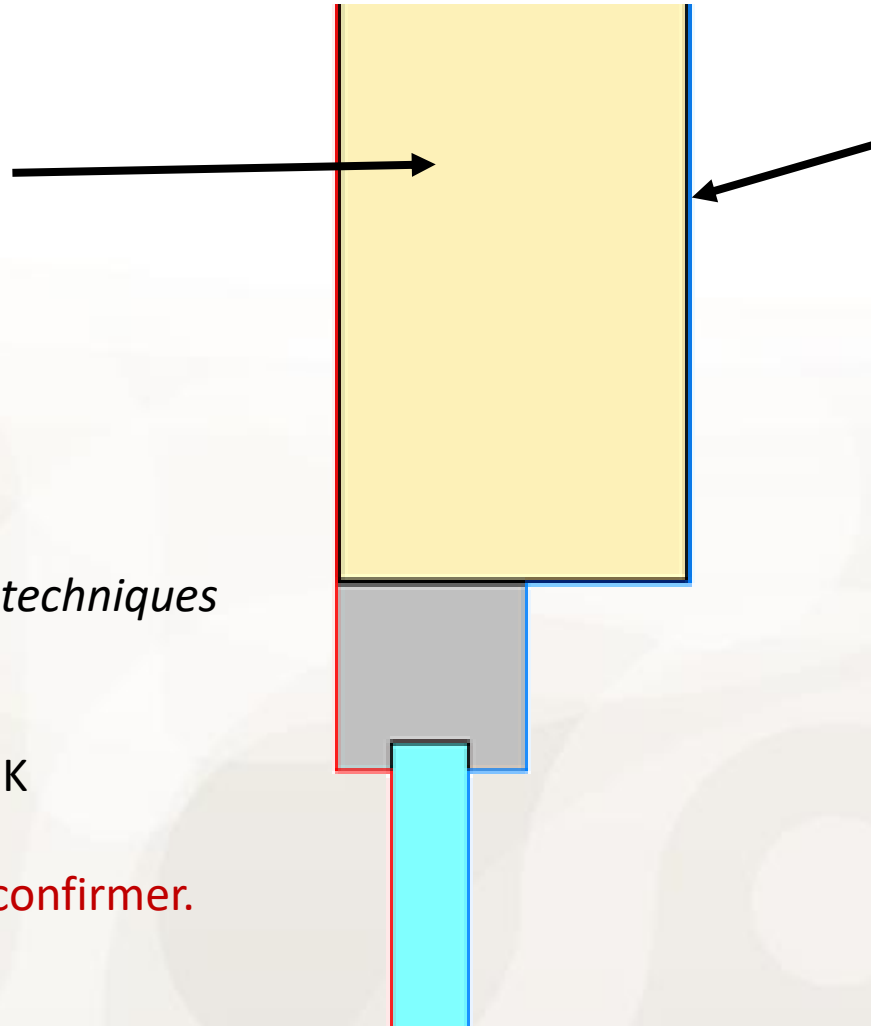
Verre cellulaire

Doc. Foamglass
Ref HLB 1600
 $\lambda = 0,048 \text{ W/m.K}$
Dim 147 x 450

Châssis aluminium

D'après divers avis techniques
 $U_f = 3 \text{ W/m}^2.\text{K}$
Dim 80 x 80 mm
→ $\lambda_{eq} = 0,49 \text{ W/m.K}$

Caractéristiques à confirmer.



Tôle alu laquée 15/10

Règles Th-U 2/5 : matériaux, p. 31
 $\lambda = 160 \text{ W/m.K}$
Ep 1,5 mm

Vitrage feuilleté

D'après étude Calumen – Saint Gobain Glass
6/16/46.2
 $U_g = 1 \text{ W/m}^2.\text{K}$
Ep 32 mm
→ $\lambda_{eq} = 0,039 \text{ W/m.K}$

Conditions au limites, modélisation du flux de chaleur

Conditions intérieures

$$T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\text{si}} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

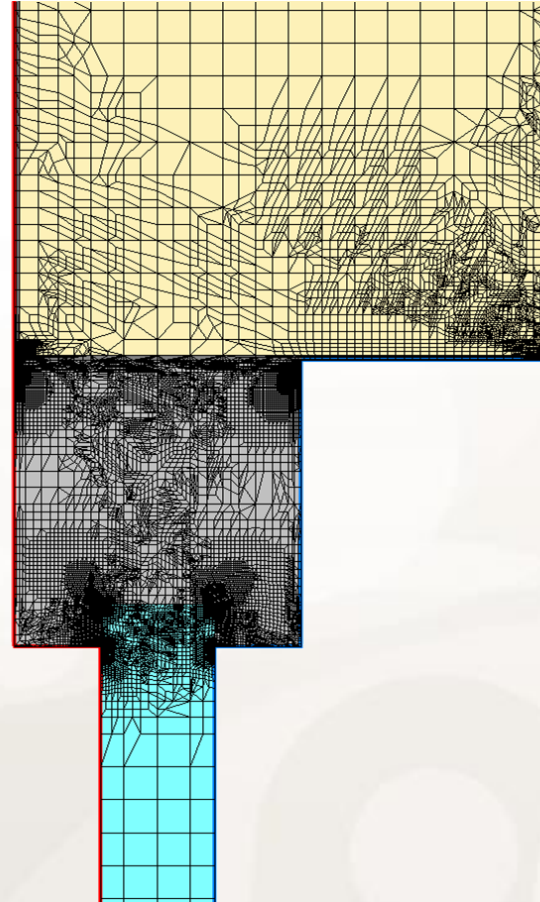
Modélisation du flux de chaleur

Calcul aux éléments finis

Selon norme NF EN ISO 10211

Logiciel Therm 7.6

→ Génération du maillage



Conditions extérieures

$$T_{\text{ext}} = -10^{\circ}\text{C}$$

$$R_{\text{se}} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$$

Résultat

Flux de chaleur échangé :

44,86 W/m



1 - Pont thermique de liaison

Le profilé aluminium, bien que de faible épaisseur, est très fortement conducteur (*3300 fois plus que l'isolant*).

Il génère un pont thermique entre l'intérieur et l'extérieur.

$$\Psi = 0,64 \text{ W/(m.K)}$$

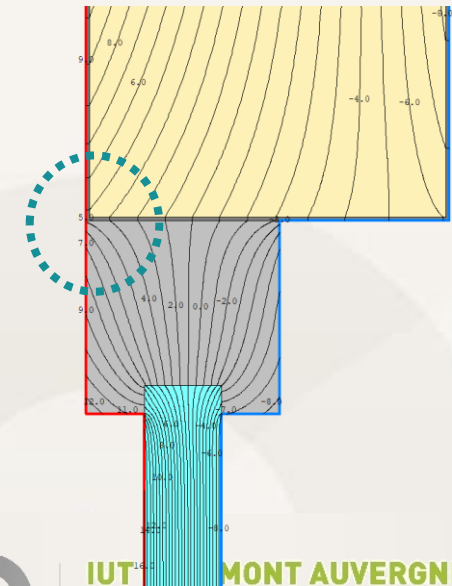
Cette perte de chaleur correspond à :

- 2,1 m de paroi opaque supplémentaire,
- ou 0,5 m de menuiserie supplémentaire.

2 - Température de surface

La température intérieure est de **5,8°C** au niveau du profilé – frsi = 0,53.

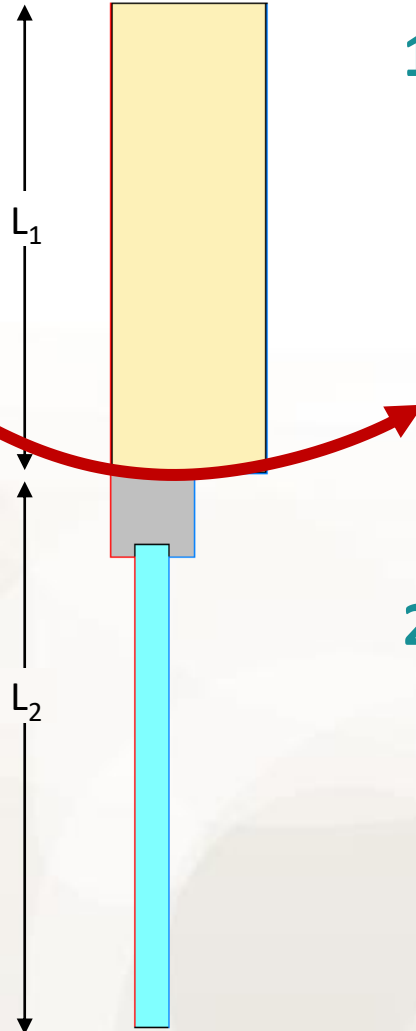
Dans les conditions d'usage (piscine : 28°C, 60% HR – Text de base -7°C) la température de surface est de **11°C**. A titre de comparaison, la température de rosée est de **19,5°C**.



Paroi opaque

$$U_p = 0,309 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$L_1 = 450 \text{ mm}$$



Menuiserie

$$U_{w_{eq}} = 1,346 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$L_2 = 530 \text{ mm}$$

Optimisation



Proposition technique envisagée

Mise en place d'une cale en plastique rigide de 40 mm entre l'intérieur et l'extérieur, entre deux équerres de profilé aluminium.

Par exemple : Polyamide + fibre de verre

→ $\lambda = 0,30 \text{ W/m.K}$

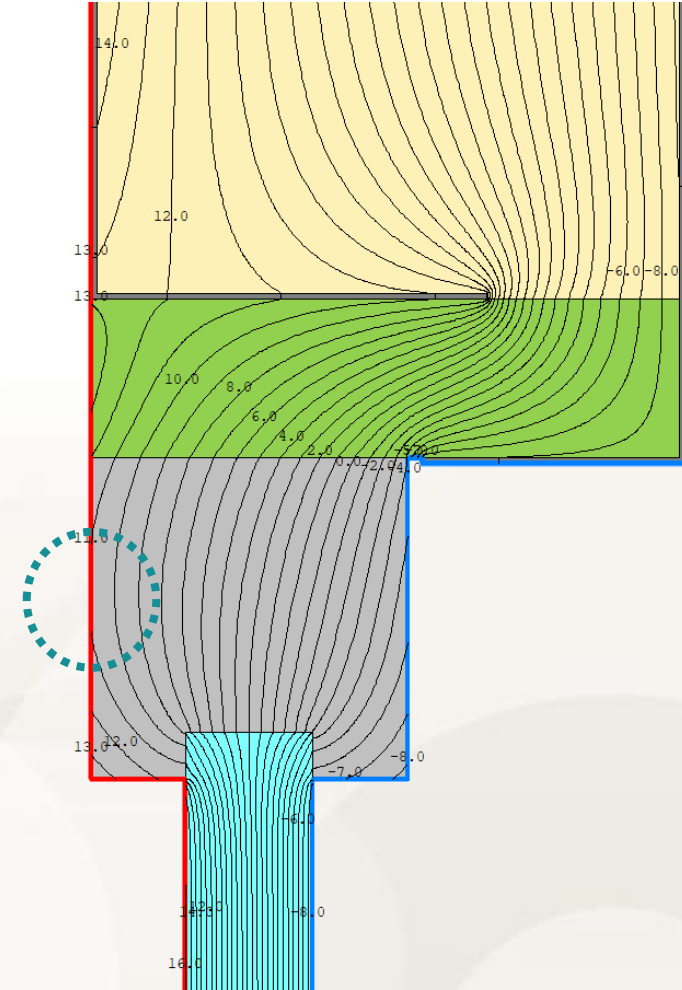
!/ \ A valider par un calcul structurel

Résultats

$\Psi = 0,29 \text{ W/(m.K)}$

Soit une diminution de 55 % du ponts thermique.

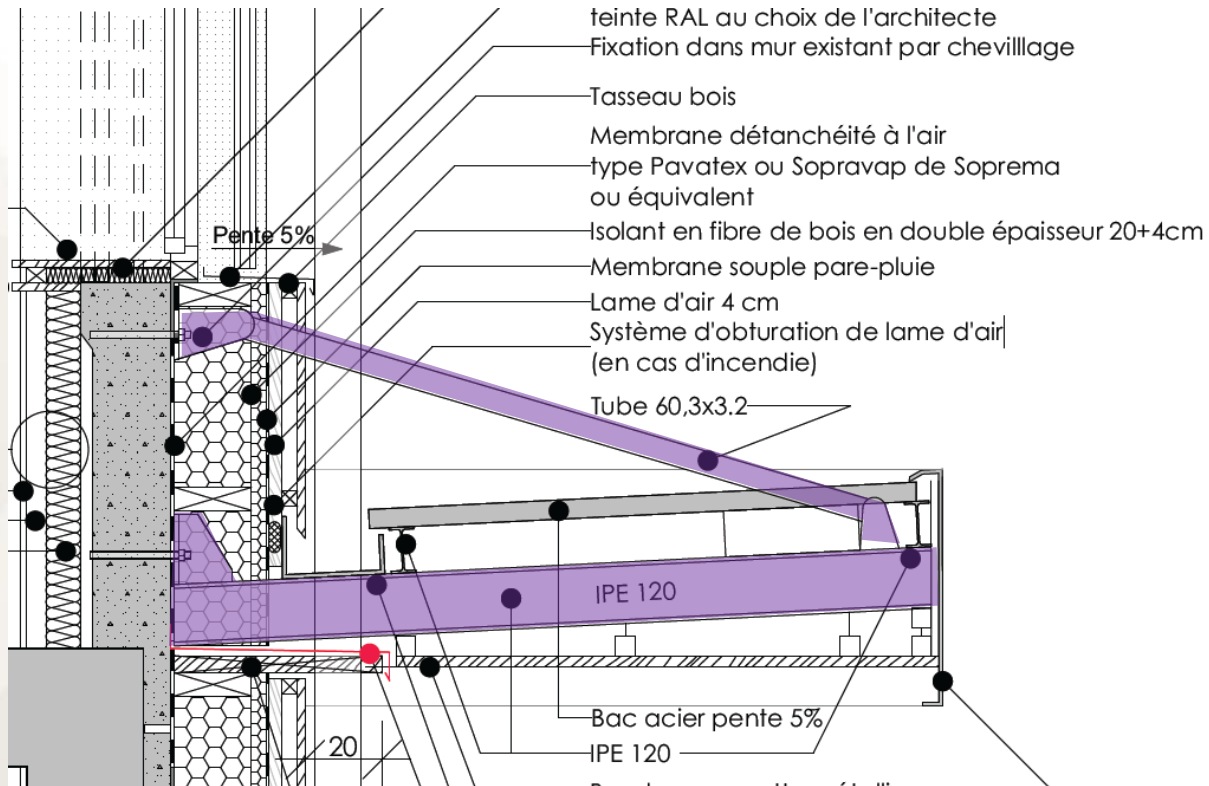
Dans les conditions d'usage (piscine : 28°C, 60% HR – Text de base -7°C) la température de surface est de 17,5°C au niveau du châssis.



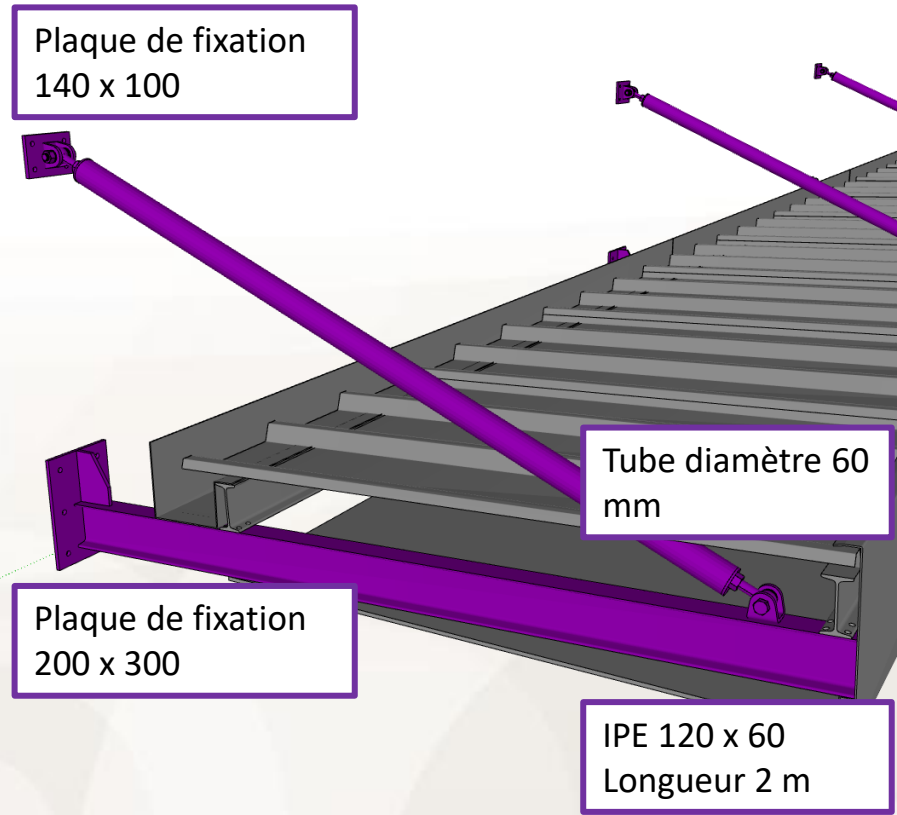
Accroche auvent – Pont thermique ponctuel



Détail de principe



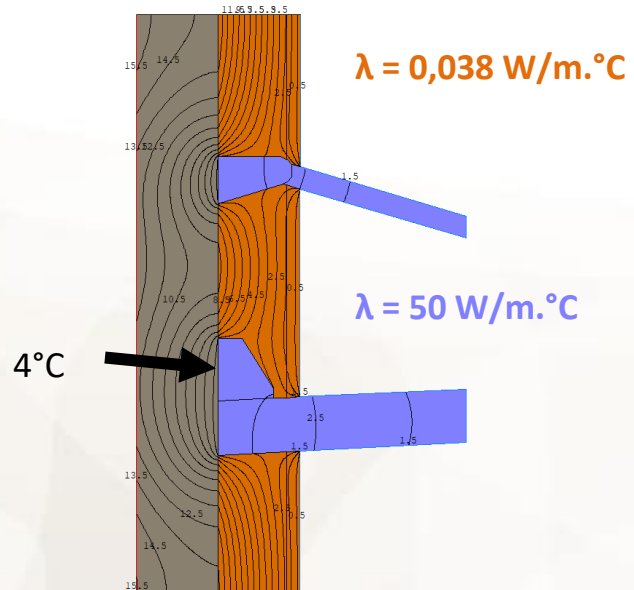
Modèle 3D



Accroche auvent – Pont thermique ponctuel

Estimation du pont thermique

Approche 2D – logiciel THERM



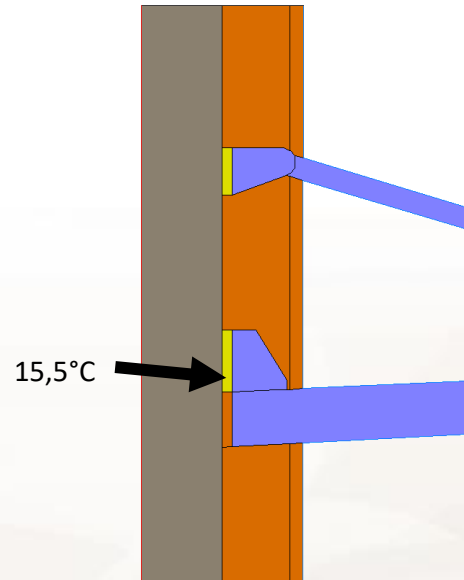
$$\chi = 0,75 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Perte équivalente à
4,9m² de paroi

Surface de contact 0,075 m²

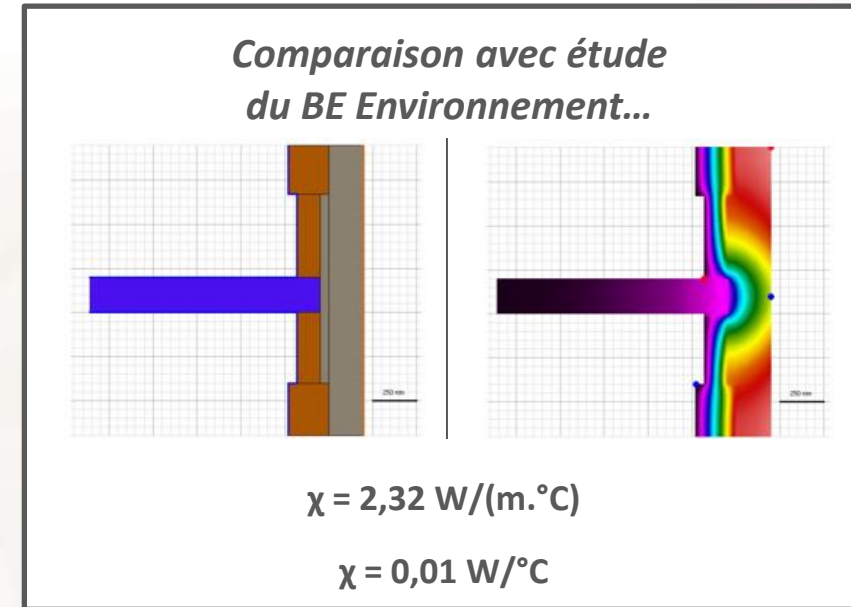
Proposition

- Mise en place d'un **intercalaire thermique**
- Ep. 30 mm Purenit ($\lambda = 0,09 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$)



$$\chi = 0,17 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

PT divisé par 4,5



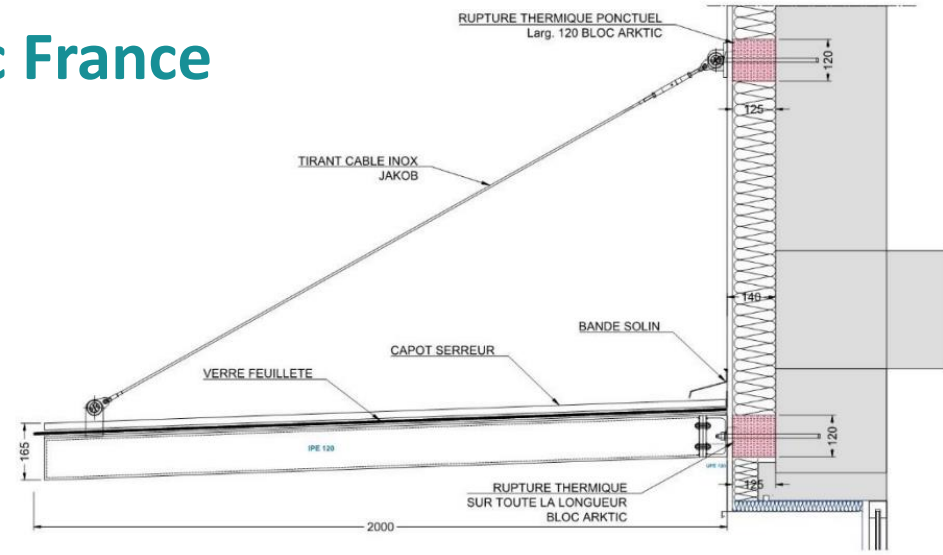
$$\chi = 2,32 \text{ W/(m.}^\circ\text{C)}$$

$$\chi = 0,01 \text{ W/}^\circ\text{C}$$

Accroche auvent – Pont thermique ponctuel

Exemple fourni par le distributeur Arktic France

- Intercalaire Purenit Ep. 120 mm
- Validé par bureau de contrôle



Documents disponibles

- Extraits justification mécanique Eurocode 1
- Avis technique Européen
- Fiche technique Purenit
- Déclaration de performance

I – Modélisation :
En accord avec le document « Schéma Auvent » (voir annexe 1), l'auvent a été modélisé sous le logiciel de CAO Inventor que nous utilisons au sein du Bureau d'Etudes. Dans la construction, cet auvent sera fixé sur un rupteur 1800mmx150mmx120mm au niveau de la poutre dimensionnée 150mmx120mmx120mm au niveau des plots ont été modélisés grâce aux informations fournies par Rope Systems » (voir annexe 2).

II – Calculs et dimensionnement
Dans cette partie de notre étude, nous allons utiliser la norme Eurocode 1 concernant les différentes actions sur les structures. Dans le cas de l'auvent, nous allons nous intéresser à la charge de vent sur la structure ainsi qu'à la charge de neige sur l'auvent.

II.1 – Actions du vent
Afin de simuler l'action du vent sur l'auvent, nous utilisons la norme allemande DIN EN 1991-1-4/NF EN 1991-1-4/NF EN 1991-1-4/NF pour le dimensionnement d'un auvent. Ces normes permettent de déterminer les actions de la neige exercées sur l'auvent dans le cadre de son dimensionnement. Ces valeurs ne fonctionnent que pour des auvents accolés à une paroi et un angle d'inclinaison inférieur à 10°.

La force exercée par le vent agissant sur l'auvent est donnée par l'équation suivante :

$$F_{pe} = C_{pe} q_{ref}$$

Avec :

- C_{pe} : coefficient structural du bâtiment
- $C_{pe,ref}$: coefficient de pression de référence
- $q_{ref}(z_{ref})$: pression dynamique de référence
- A_{ref} : aire de référence

II.2 – Charges de neige
Afin de simuler les différentes charges de neige sur l'auvent, nous utilisons la norme NF EN 1991-1-3 ainsi que son annexe NF EN 1991-1-3/A et son amendement NF EN 1991-1-3/A/A1/NF EN 1991-1-3/A/A1/NF EN 1991-1-3/A/A1/NF pour le dimensionnement d'un auvent. Ces normes permettent de déterminer les actions de la neige exercées sur l'auvent dans le cadre de son dimensionnement. Ces valeurs ne fonctionnent que pour des auvents situés à une altitude inférieure à 2000m.

Ces normes permettent de déterminer quelle sera la charge de neige que l'on vient appliquer sur l'auvent dans le cadre de notre modélisation. La vérification de la structure s'effectue dans deux situations de projets distinctes :

- Un cas de charge de neige durable et transitoire : $s_{ed} = s_i + C_{pe} + C_{pe}$
- Un cas de charge de neige accidentelle : $s_{ed} = s_i + C_{pe} + C_{pe}$

Avec :

- s_i : coefficient de forme
- C_{pe} : coefficient d'exposition, ici $C_{pe} = 1$ car l'auvent n'est pas à l'abri des 4 côtés.
- C_{pe} : coefficient thermique, ici $C_{pe} = 1$ car il s'agit d'un bâtiment isolé.
- s_k : valeur caractéristique de la charge de neige
- s_{ed} : valeur de la charge accidentelle

A l'aide de la carte ci-dessous, on remarque que le département de l'Eassonne se situe dans la région A1 et du fait que la ville de Gif-sur-Yvette se situe à une altitude inférieure à 200m :

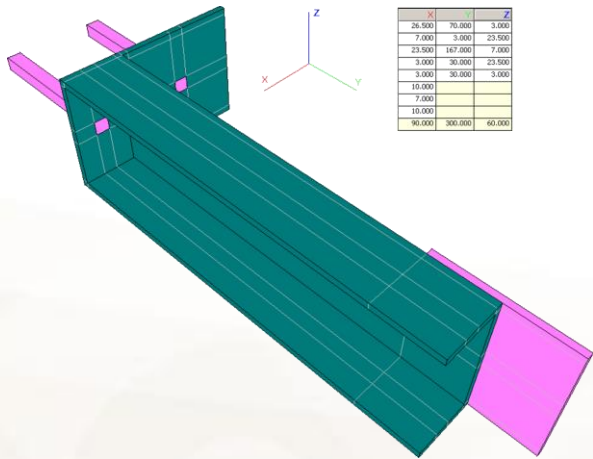
- $s_k = 0,45 \text{ kN/m}^2$
- $s_{ed} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

Figure 7. Cartographie de charge de la France métropolitaine concernant les charges de neige.

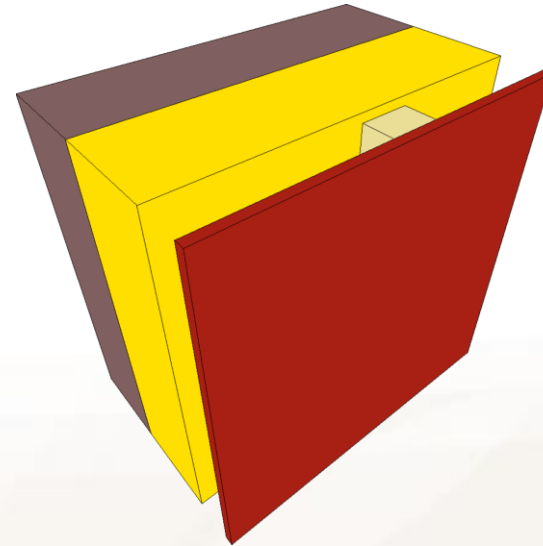
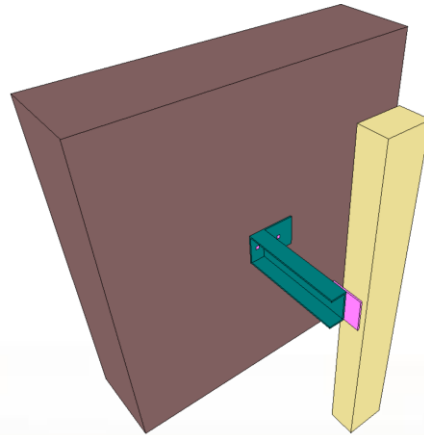


Impact accroche bardage

■ Géométrie

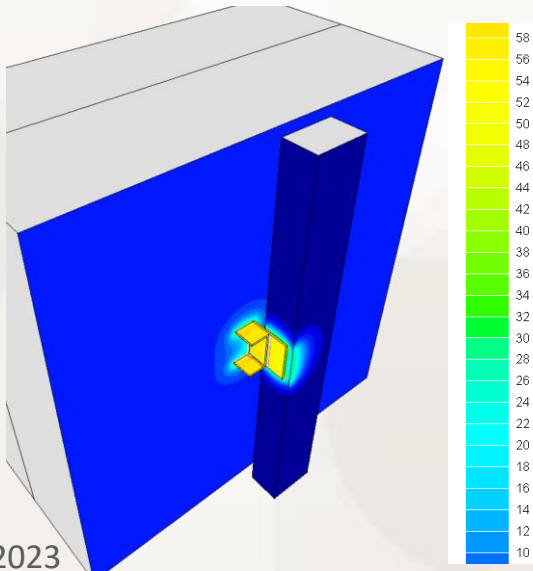


x	y	z
28.500	70.000	3.000
7.000	3.000	23.500
23.500	107.000	7.000
3.000	30.000	23.500
3.000	30.000	3.000
10.000		
7.000		
10.000		
90.000	300.000	60.000



■ Résultats :

Densité de flux
[W/m²]



$$\chi = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{\Delta T}$$

$$\psi = \frac{2,33 - 0,21 \times (0,6 \times 0,6) \times 20}{(20 - 0)}$$

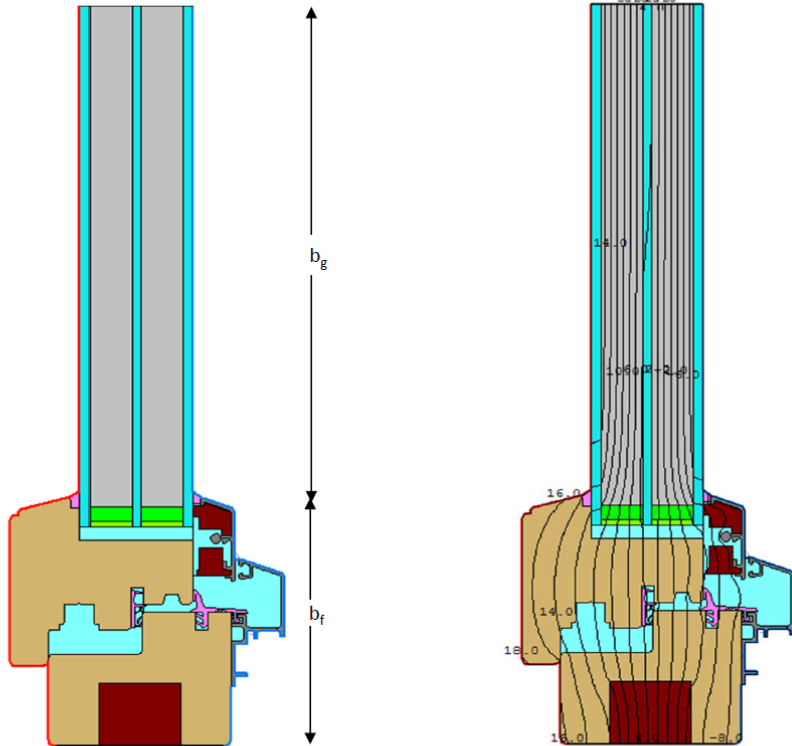
$$\psi = 0,042 \text{ W/K}$$

Up = 0,21 W/(m².K)
dans la partie courante

Up = 0,32 W/(m².K)
avec fixation

Seuil de menuiserie

Menuiserie Optiwin Appui



Coefficient de transmission thermique de l'encadrement :

$$U_f = 1,08 \quad [W/(m^2.K)]$$

Coefficient de transmission thermique linéique de jonction avec le vitrage :

$$\psi_g = 0,028 \quad [W/(m.K)]$$

Calcul réalisé selon la norme NF EN ISO 10077-2:2012

Données d'entrée

Composition du modèle

Matériau	Conductivité thermique [W/(m.K)]	Épaisseur [mm]	Légende
Bois	0,13	103 x 119	
Liège	0,045	-	
Aluminium	160	-	
Verre	1	-	
Gaz de remplissage Argon 90 %	0,029	-	
Cavités d'air	Selon dimensions		
Joint E.P.D.M.	0,25	-	
Intercalaire, 1	0,4	3 x 18	
Intercalaire, 2	0,18	6,5 x 18	
Panneau de remplissage isolant	0,035	48	

Conditions aux limites

Température intérieure [°C]	20	
Température extérieure [°C]	-10	
Résistance thermique superficielle intérieure [m².K/W]	0,13	
Résistance thermique superficielle intérieure augmentée [m².K/W]	0,2	
Résistance thermique superficielle extérieure [m².K/W]	0,04	

Détermination de U_f

Coefficient de transmission thermique de l'encadrement

Largeur projetée de l'encadrement, b_f [mm]	119
Largeur visible du panneau isolant b_p [mm]	236
Flux thermique entrant [W/m]	8,4363
Flux thermique sortant [W/m]	8,4363
Coefficient de couplage thermique L_{2D} [W/(m.K)]	0,281
Coef. de transmission thermique du panneau U_p [W/(m².K)]	0,649
Coef. de transmission thermique de l'encadrement U_f [W/(m².K)]	1,077

Valeurs issues du certificat PHI : 1,03

$$U_f = \frac{L_{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f}$$

Détermination de ψ_g

Coefficient de transmission thermique linéique de jonction avec le vitrage

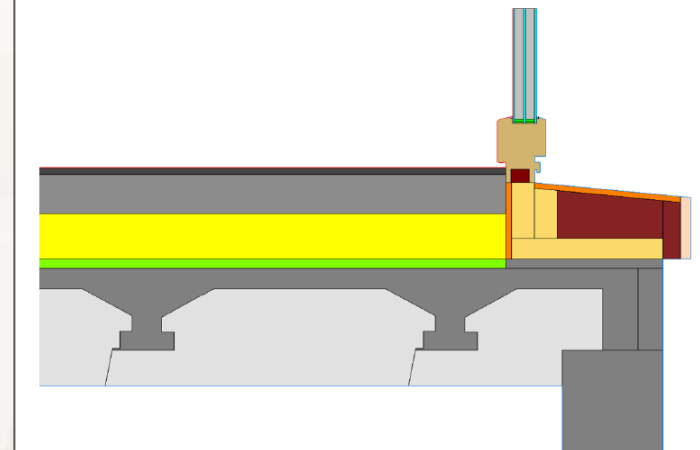
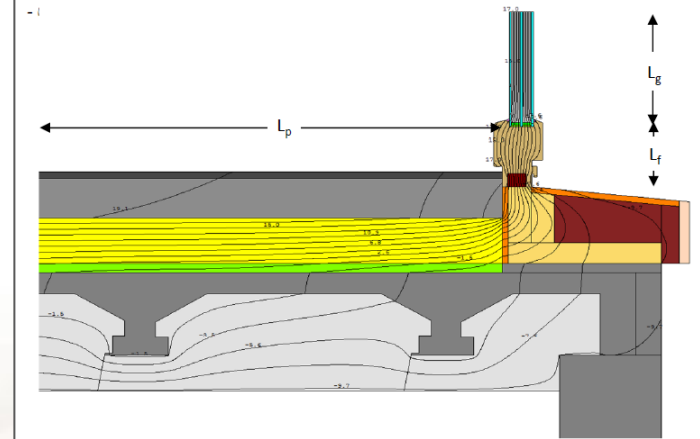
Largeur projetée de l'encadrement, b_f [mm]	119
Largeur visible du vitrage b_g [mm]	236
Flux thermique entrant [W/m]	9,6425
Flux thermique sortant [W/m]	9,6425
Coefficient de couplage thermique L_{2D} [W/(m.K)]	0,321
Coef. de transmission thermique du vitrage U_g [W/(m².K)]	0,700
Coef. de transmission thermique linéique ψ_g [W/(m.K)]	0,028

Valeurs issues du certificat PHI : 0,028

$$\psi_g = L_{2D} - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g$$

k_Seuil de porte-fenêtre

La valeur du pont thermique additionnel de seuil est déterminée à partir :
- du détail "c_Pied de mur" avec $\Psi_{int} = 0,057 \text{ W}/(\text{m}^2.K)$



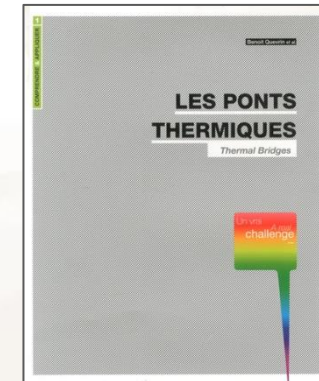
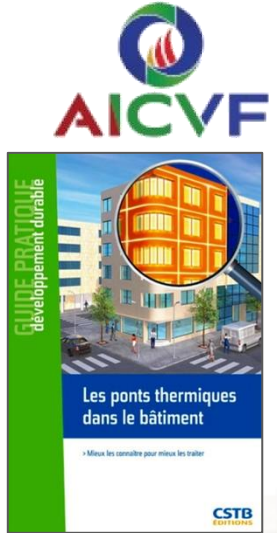
$$\psi_{\text{liaison, int}} = 0,162 \quad [W/(m.K)]$$

$$\Delta\psi = 0,105 \quad [W/(m.K)]$$

Calcul réalisé selon la norme NF EN ISO 10211:2007

Bibliographie

- **Les ponts thermiques dans le bâtiment**
Mieux les connaître pour mieux les traiter
Salem FARKH – CSTB Editions – 2009
- **Les ponts thermiques - Un vrai challenge**
B. QUEVRIN – PMP Publications – 2012
- **Ponts thermiques et structures**
Les limites de la construction sans ponts thermiques
Cahier technique n°35 – Institut Maison Passive – 2012
- **Les ponts thermiques dans les bâtiments performants**
Fiche d'information technique de la MAF – Enertech – 2012





Merci pour votre attention

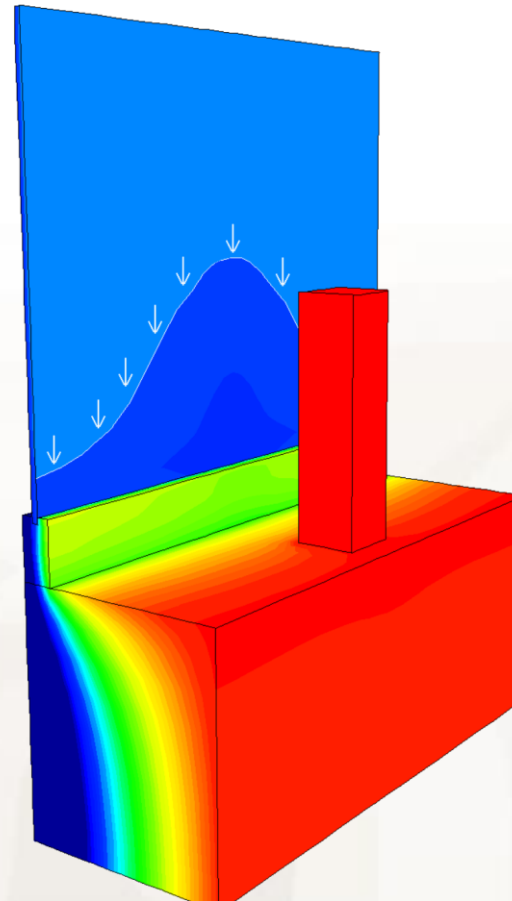
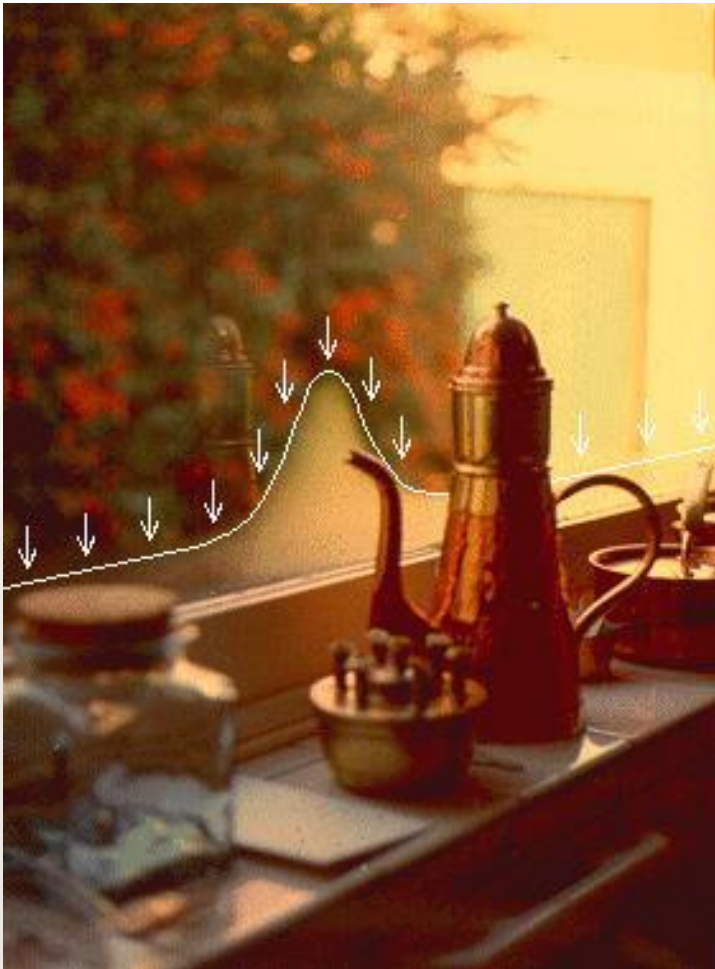
Vos questions ?

Pierre.hormiere@uca.fr

Bonus



- • • • •
▪ Quels sont les phénomènes thermiques en jeu ?



“Because of the low infrared emissivity of copper, the coffee pot functions as an infrared mirror.”

This causes lower surface temperatures on the glazing, which is visualised by the condensation pattern.”