

FORMATION BÂTIMENT DURABLE

ENERGIE : PRINCIPES FONDAMENTAUX

PRINTEMPS 2022

Comment isoler un bâtiment?

Conductivité thermique et nœuds constructifs



bruxelles
environnement
leefmilieu
brussel
.brussels 

Julie RENAUX
éCORCE
LOGEMENTS CONSULTANTS



- ▶ Présenter les enjeux liés à l'optimisation d'une enveloppe thermique
- ▶ Rendre compte de l'impact des pertes par transmission de l'enveloppe sur le bilan énergétique global d'un bâtiment
- ▶ Acquérir le vocabulaire technique lié au flux de chaleur à travers les parois
- ▶ Maîtriser les unités et ordres de grandeurs
- ▶ Comprendre ce que sont les nœuds constructifs, pouvoir les détecter et connaître les règles de bonnes pratiques



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ Parois transparentes

NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ Repérage
- ▶ Quel impact?
- ▶ Règles de bonne pratique



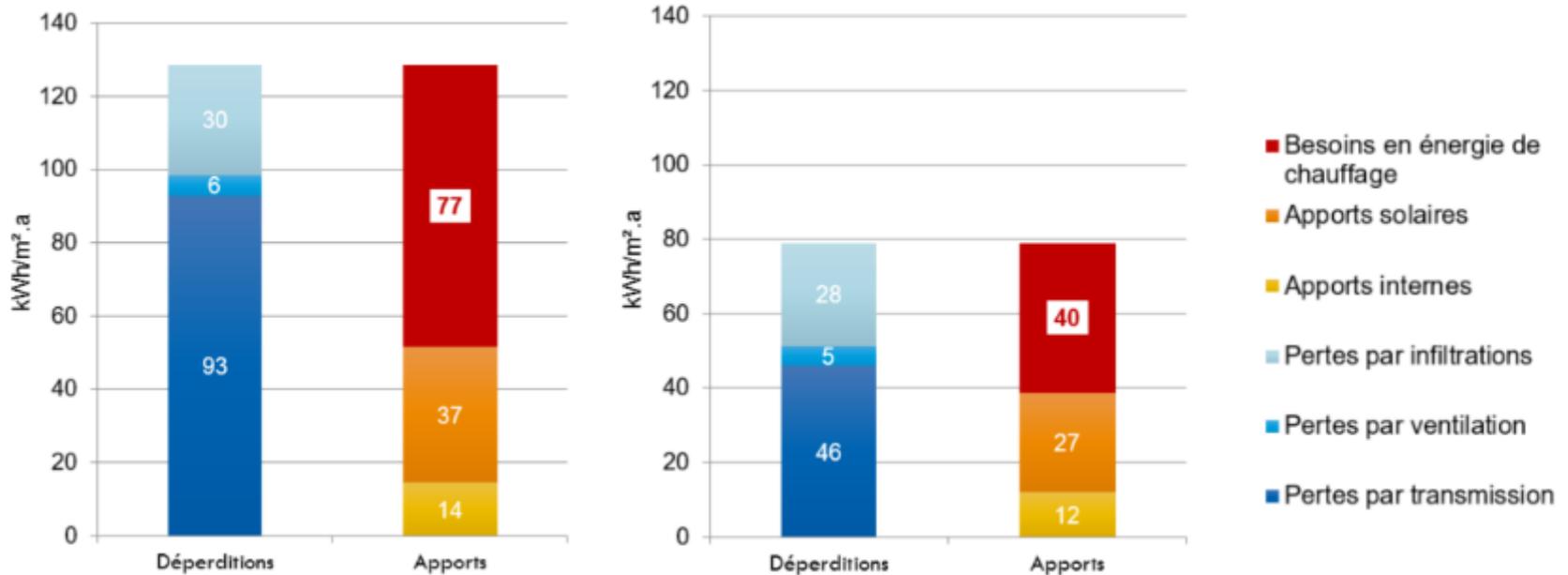
Bilan énergétique

- Besoins nets d'énergie pour le chauffage: *ce qu'il faut apporter comme énergie pour compenser les déperditions au sein du volume protégé, après avoir déduit les apports solaires et internes.* Ces besoins sont compensés par le système de chauffage



Bilan énergétique

- Impact des actions sur l'enveloppe sur la réduction du besoin de chauffage



Bilan du bâtiment « FIL ROUGE »

Cas de base non optimisé

$$U_{\text{moyen, parois opaques}} = 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{moyen, fenêtres/portes}} = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Type de ventilation : système D

Etanchéité (v_{50}) = $12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

Bilan du bâtiment « FIL ROUGE »

Enveloppe isolée

$$U_{\text{moyen, parois opaques}} = 0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$U_{\text{moyen, fenêtres/portes}} = 1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Type de ventilation : système D

Etanchéité (v_{50}) = $12 \text{ m}^3/\text{h.m}^2$

Source / Bron : ecorce



Enjeux

- ▶ Minimiser les pertes par transmission
 - Profiter des contacts « favorables » et améliorer la compacité
 - Améliorer la performance des parois opaques et bonne gestion des ponts thermiques
 - Améliorer la performance des parois transparentes
- ▶ Amélioration du confort (température de parois)
- ▶ Limiter la puissance des équipements de chauffage



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ **Parois opaques**

- ▶ Parois transparentes

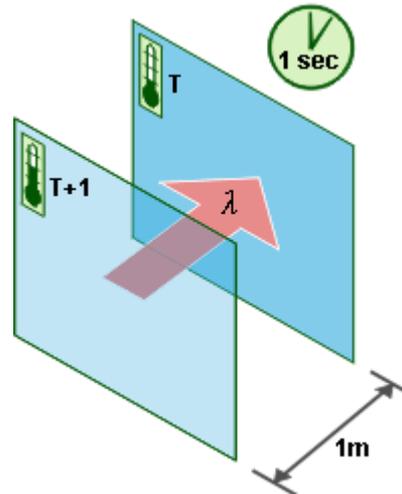
NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ Repérage
- ▶ Quel impact?
- ▶ Règles de bonne pratique



Conductivité thermique d'un matériau – λ (W/mK)

- ▶ Quantité de chaleur qui se propage par conduction thermique dans un matériau
 - à travers 1 m^2 d'un matériau
 - épais d'un 1 m
 - en 1 seconde
 - lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K ($1 \text{ K} = 1 \text{ }^\circ\text{C}$)



Source/ Bron : énergie +





Conductivité thermique d'un matériau – λ (W/mK)

- Quelques valeurs types

	sec	hum.	
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1000 kg/m ³
	0,54	0,75	briques 1000-1600 kg/m ³
	0,90	1,1	briques 1600-2100 kg/m ³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux	45		acier
	203		aluminium
	384		cuivre

**Conductivité
thermique des
matériaux λ
en W/m.K**

Source/ Bron : énergie +



Résistance thermique totale d'un fragment d'enveloppe – R_T (m²K/W)

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_a + R_{se}$$



AMRBC
24/07/08
Chap.6.1.

NBN
13 789

NBN
10 211

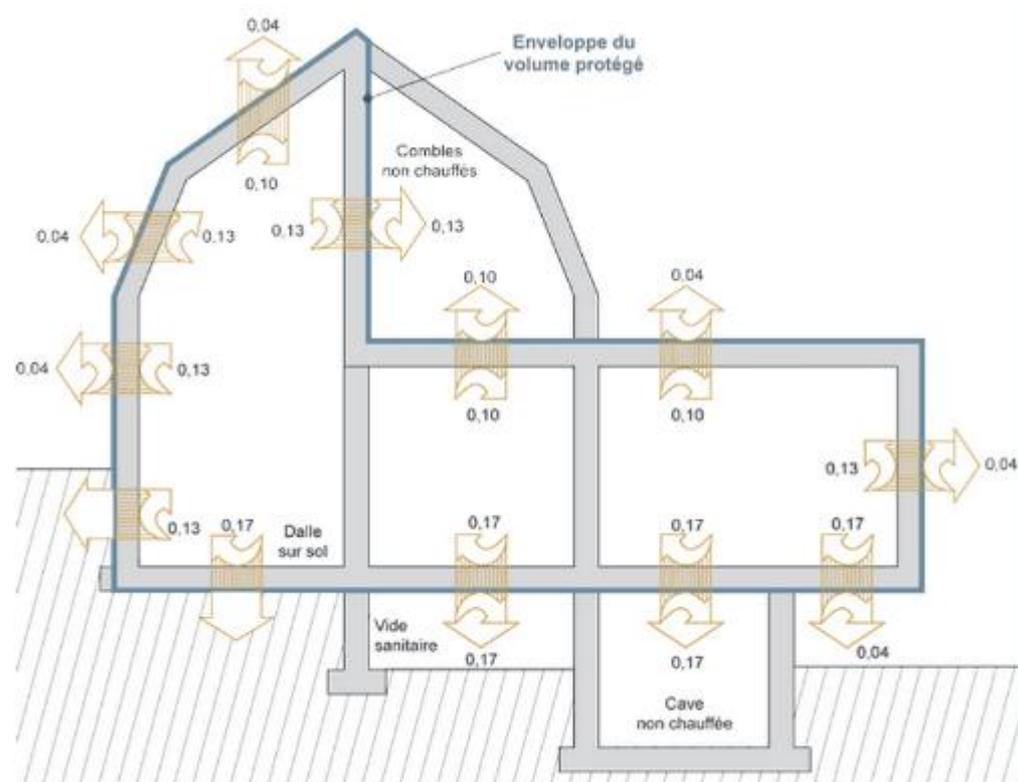
- Somme des résistances thermiques partielles des couches composant la paroi:
 - Echange superficiel avec l'ambiance extérieure
 - Lames d'air
 - Couches de matériaux
 - Echange superficiel avec l'ambiance intérieure



Résistance thermique totale d'un fragment d'enveloppe – R_T (m²K/W)

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_a + R_{se}$$

- ▶ R_{si} , R_{se} : résistances thermiques superficielles intérieures et extérieures
- ▶ Fonction de la paroi concernée et du sens du flux thermique



Source/ Bron : Guide PEB RW

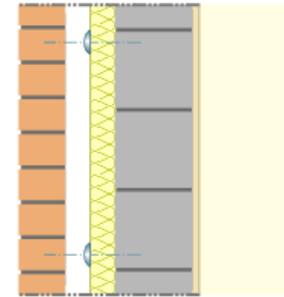


Résistance thermique totale d'un fragment d'enveloppe – R_T (m²K/W)

$$R_T = R_{sj} + R_1 + \dots + R_n + R_a + R_{se}$$

- ▶ $R_{1,2,3,\dots}$: résistance thermique de chacune des couches de la paroi
 - Couche homogène

$$R = d / \lambda \text{ (pour une couche homogène)}$$

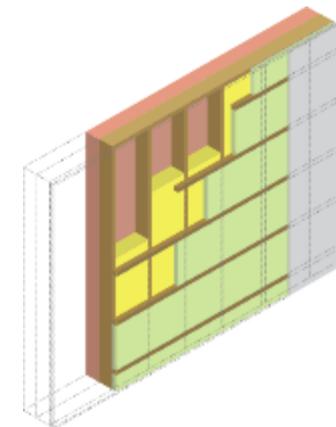


Source/ Bron : énergie +

- Couche non homogène → Calcul d'un λ moyen

$$\lambda_{U,moyen} = [\lambda_{U,mat1} * \%_{mat1}] + [\lambda_{U,mat2} * \%_{mat2}]$$

$$R = d / \lambda_{U,moyen}$$



Source/ Bron : énergie +

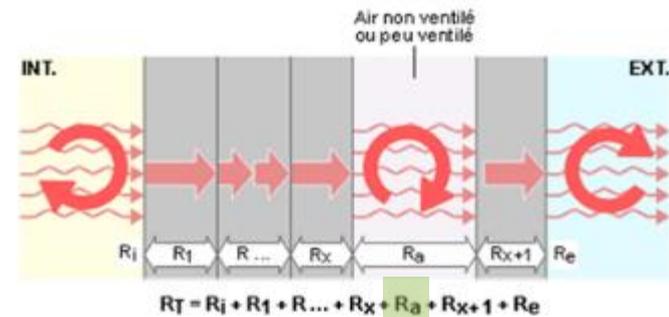


Résistance thermique totale d'un fragment d'enveloppe – R_T ($\text{m}^2\text{K/W}$)

$$R_T = R_{si} + R_1 + \dots + R_n + R_a + R_{se}$$

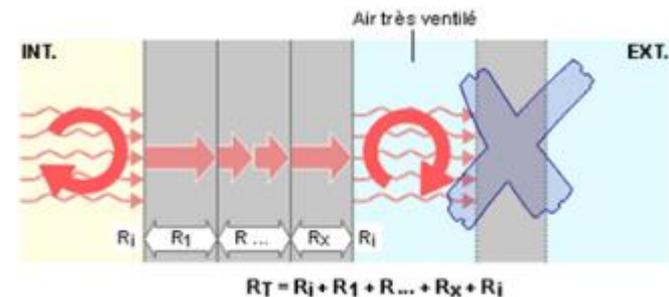
- Résistance thermique d'une éventuelle couche d'air

- Non ventilée
- Peu ventilée



Source/ Bron : énergie +

- Fortement ventilée : négligée, ainsi que toutes les autres couches externes après la lame d'air,

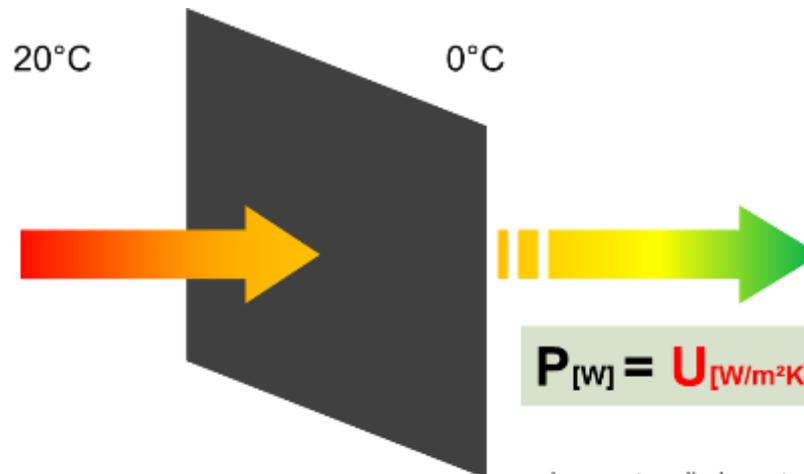


Source/ Bron : énergie +



Coefficient de transmission thermique d'éléments opaques – U (W/m²K)

$$U = 1 / R_T$$



$$P_{[W]} = U_{[W/m^2K]} \times S_{[m^2]} \times \Delta T_{[K]}$$

- Les pertes diminuent si U diminue.
- U [W/m²K] = le coefficient de transmission thermique de la paroi





Exigences PEB en RBC – Valeurs U_{max}

Élément de construction	U_{max} (W/m ² K)
1. PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ, à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent.	
1.1. PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des murs-rideaux (voir 1.4) et des briques en verre (voir 1.5)	$U_{H,max} = 1.5$ (1) $U_{G,max} = 1.1$ (2)
1.2. PAROIS OPAQUES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des murs-rideaux (voir 1.4)	
1.2.1. toitures et plafonds	$U_{max} = 0.24$
1.2.2. murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4.	$U_{max} = 0.24$
1.2.3. murs en contact avec le sol	$U_{max} = 0.24$ (3)
1.2.4. parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave en dehors du volume protégé	$U_{max} = 0.24$
1.2.5. planchers en contact avec l'environnement extérieur ou au-dessus d'un espace adjacent non-chauffé	$U_{max} = 0.24$
1.2.6. autres planchers (planchers sur terre-plein, au-dessus d'un vide sanitaire ou au-dessus d'une cave en dehors du volume protégé, planchers de cave enterrés)	$U_{max} = 0.24$ (3)
1.3. PORTES ET PORTES DE GARAGE (cadre inclus)	$U_{D,max} = 2.0$
1.4. MURS-RIDEAUX (suivant prEN 13947)	$U_{CW,max} = 2.0$ $U_{G,max} = 1.1$ (2)
1.5. PAROIS EN BRIQUES DE VERRE	$U_{max} = 2.0$
1.6. PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES AUTRES QUE VERRE, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des murs-rideaux (voir 1.4)	$U_{max} = 2.0$ (1) $U_{TD,max} = 1.4$
2. PAROIS ENTRE 2 VOLUMES PROTÉGÉS (4) à l'exception des portes et portes de garage	$U_{max} = 1.0$
3. LES PAROIS OPAQUES SUIVANTES À L'INTÉRIEUR DU VOLUME PROTÉGÉ (5) à l'exception des portes et portes de garage:	
3.1. ENTRE UNITÉS 'PEB HABITATION INDIVIDUELLE' ET TOUTES AUTRES UNITÉS PEB	$U_{max} = 1.0$
3.2. ENTRE UNITÉS 'PEB AUTRE' ET TOUTES AUTRES UNITÉS PEB	

Source/ Bron : Annexe XXIII(U/R)





Exercice – Calcul du U (W/m²K)

- ▶ Exercice – Paroi homogène (mur)

Matériau (int → ext)	Epaisseur [m]	λ [W/mK]
Plafonnage	0,01	0,52
Bloc béton	0,14	1,07
Isolant PSE	0,3	0,032
Crépi	0,01	0,52

- ▶ Exercice – Paroi hétérogène (mur)

Matériau (int → ext)	Proportion	Epaisseur [m]	λ [W/mK]
OSB		0,02	0,13
Bois de charpente	15%	0,35	0,18
Ouate de cellulose	85%	0,35	0,04
Pare-pluie fibres de bois		0,02	0,13



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ **Parois transparentes**

NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ Repérage
- ▶ Quel impact?
- ▶ Règles de bonne pratique

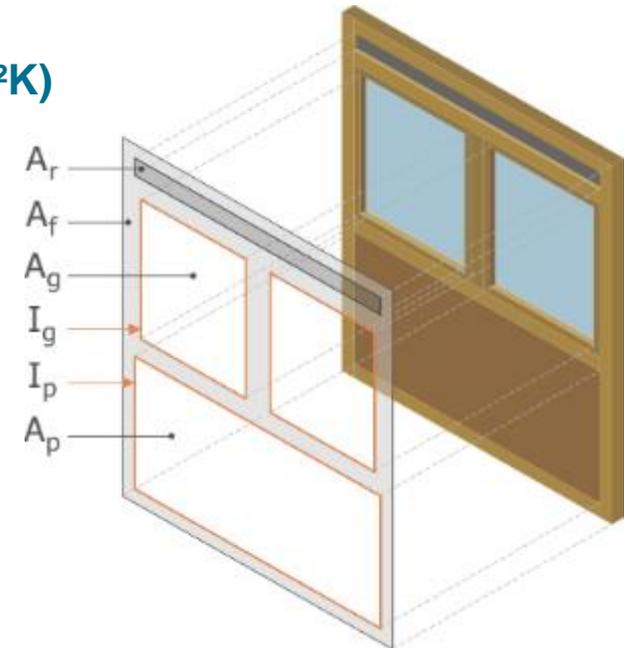


Coefficient de transmission thermique – U_w (W/m²K)

- ▶ Calculé pour l'ensemble, dépend du

- Vitrage: U_g (glass)
- Châssis: U_f (frame)
- Espaceur: ψ_g
- (Grille de ventilation U_r)
- (Panneaux opaques U_p)

- ▶
$$U_w = (U_f \times A_f + U_g \times A_g + \psi_g \times l) / (A_f + A_g)$$



Source/ Bron : énergie +

- ▶ Fonction de l'épaisseur de verre, de l'épaisseur de la lame, du remplissage du creux (air, argon, krypton, ...), de la présence et de la position d'une couche réfléchissante
- ▶ Valeur U_g certifiée par certificat fabricant suivant NBN EN 673
- ▶ Valeur U_p certifiée par certificat fabricant suivant NBN EN ISO 10077-1, NBN EN ISO 10077-2



Coefficient de transmission thermique – U_w (W/m²K)

- Composante U_f châssis (oscillo-battants), quelques valeurs types

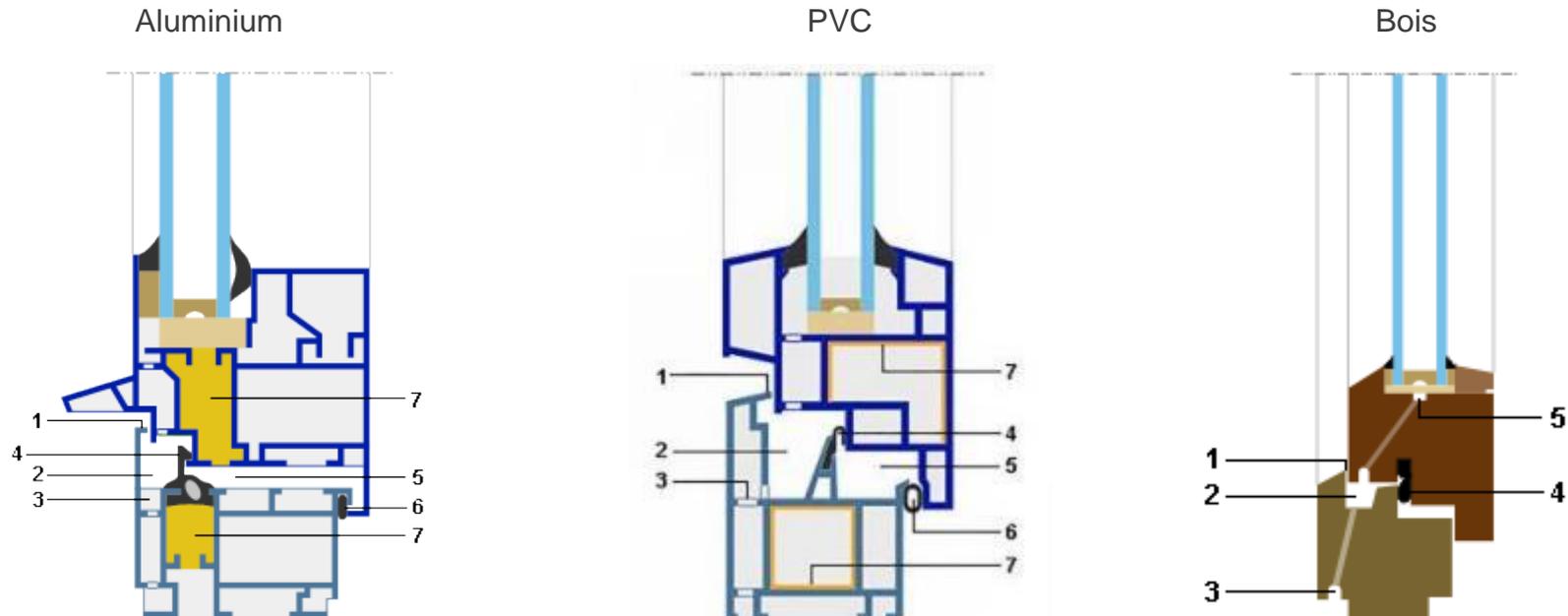


Type de profilé	U_f [W/m ² K]
Profilé aluminium à coupure thermique “standard”	2,00 – 2,60
Profilé aluminium à coupure thermique “performant”	1,10 – 1,80
Profilé aluminium à coupure thermique “haute performance”	0,70 – 0,90
Profilé PVC	0,80 – 2,00
Profilé bois 5 cm	2,00 - 2,36
Profilé bois 8 cm	1,50 – 2,00
Profilé bois + capotage aluminium isolé “haute performance”	0,60 – 1,00



Coefficient de transmission thermique – U_w (W/m²K)

- Coupure thermique



Coupe de principe d'un profilé de châssis

Source/ Bron : énergie +





Coefficient de transmission thermique – U_w (W/m^2K)

- ▶ Composante U_g vitrage, quelques valeurs types

Type de vitrage	U_g [W/m^2K]
Simple vitrage	5,8
Double vitrage "standard"	1 - 1,1
Double vitrage "performant"	0,8 – 0,9
Triple vitrage	0,4 - 0,8
Valeur maximale PEB	1,1



Coefficient de transmission thermique – U_w (W/m²K)

- Composante ψ_g espaceur



Type d'espaceur	ψ_g [W/mK]
Espaceur classique	≈ 0,07
Espaceur thermique	≈ 0,03



Espaceur thermique

Source/ Bron : Swisspacer

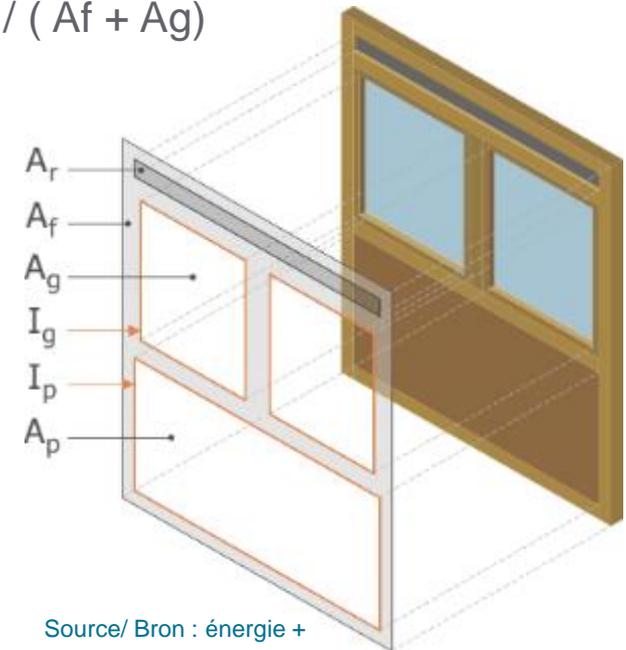
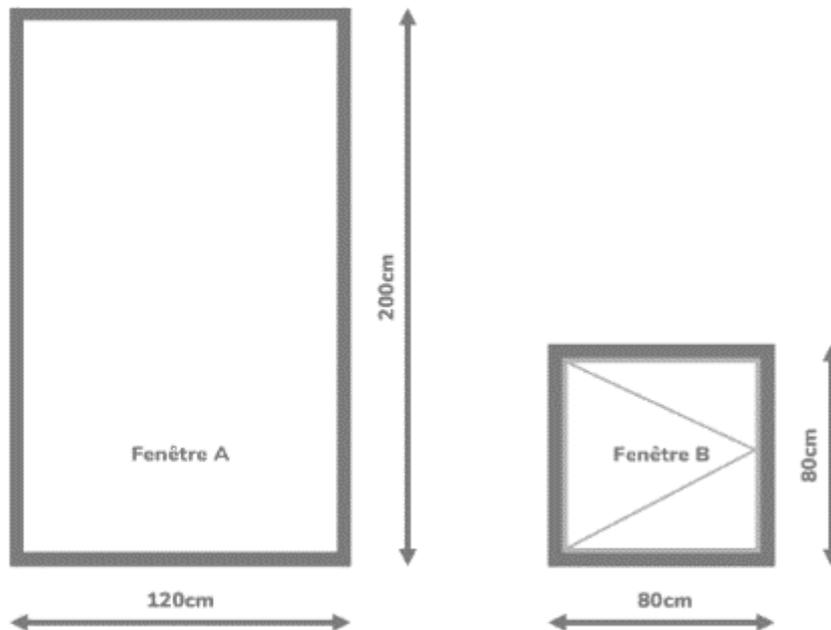




Exercice – Calcul du U_w (W/m^2K)

$$U_w = (U_f \times A_f + U_g \times A_g + \psi_g \times l) / (A_f + A_g)$$

- ▶ Pour les fenêtres A et B
 - Vitrage: $U_g = 1,1 W/m^2K$
 - Châssis $U_f = 2,3 W/m^2K$
 - Intercalaire vitrage $\psi_g = 0,07 W/mK$



Source/ Bron : énergie +

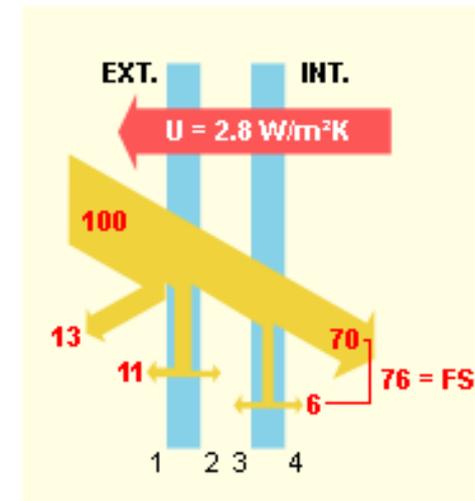


Autres propriétés du vitrage

- ▶ Gain solaire/surchauffe
 - Facteur solaire (F_s ou g): fraction de l'énergie solaire incidente qui passe au travers du vitrage
 - S'exprime en pourcents (%)



Type de vitrage	g
Simple vitrage	0,85
Double vitrage	0,50 - 0,70
Double vitrage contrôle solaire	0,20 - 0,30
Triple vitrage	0,40 - 0,60
Triple vitrage contrôle solaire	0,20 - 0,40

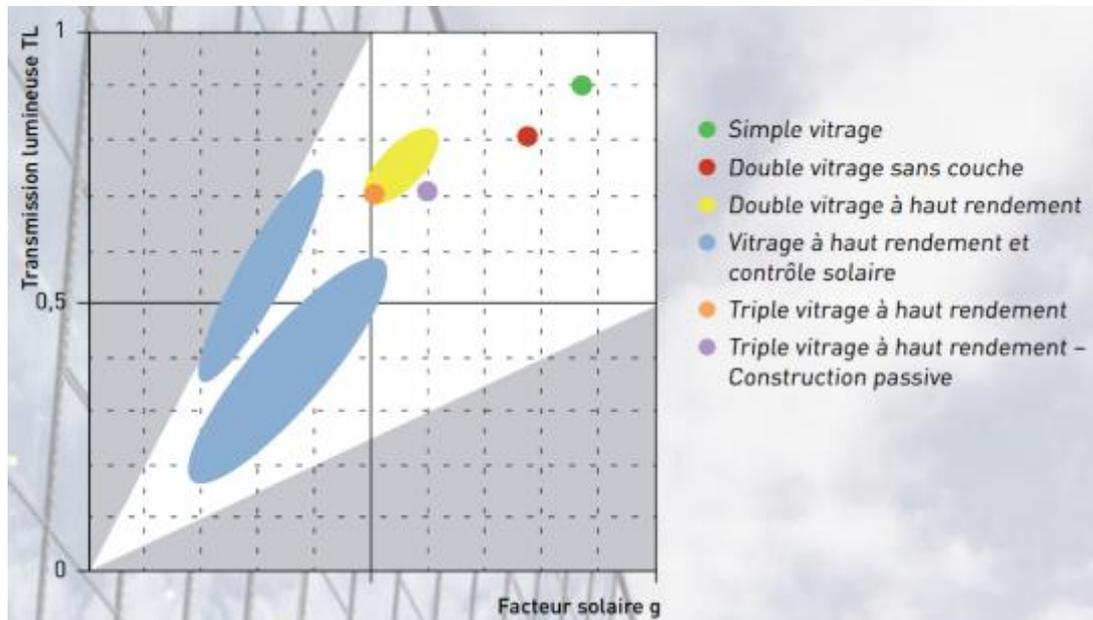


Source/ Bron : énergie +



Autres propriétés du vitrage

- ▶ Confort visuel
 - Transmission lumineuse (T_L): part du flux lumineux qui traverse un vitrage dans le spectre visible.
 - S'exprime en pourcents (%)



Source/ Bron : vgi-fiv



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ Parois transparentes

NŒUDS CONSTRUCTIFS

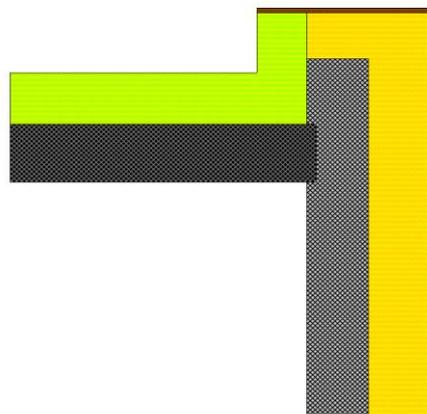
- ▶ **Définition et typologies**
- ▶ Repérage
- ▶ Quel impact?
- ▶ Règles de bonne pratique



Nœud constructif → au sens thermique

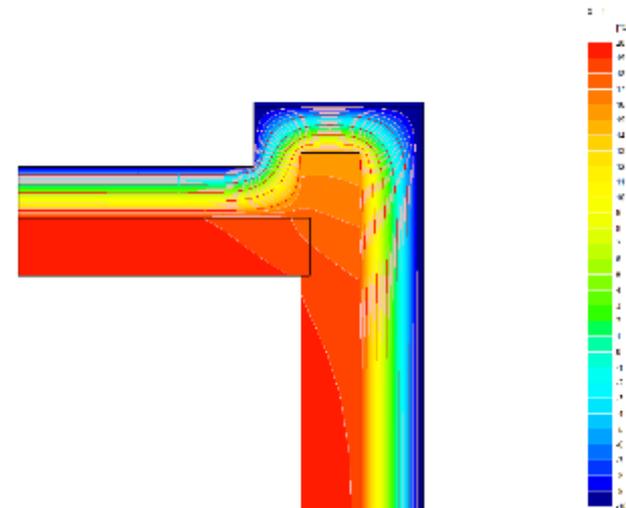


- ▶ Zones de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique diffère de façon sensible de celle du reste de l'enveloppe du bâtiment (NBN EN ISO 10211)
- ▶ Zones de l'enveloppe du bâtiment où le transfert de chaleur se produit en 2 ou 3 dimensions



Coupe - matériaux

λ [W/mK]	
2.200	Crépi
1.700	Béton
1.700	Bloc béton
0.130	Bois
0.032	EPS
0.023	PUR



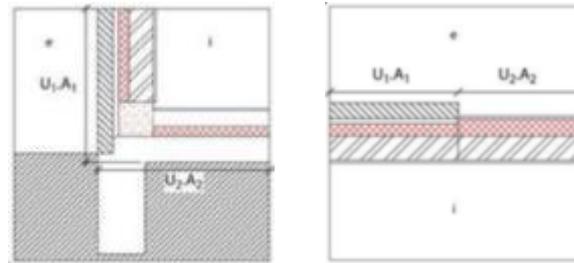
Coupe – flux thermiques

Source/ Bron : écorce



Nœud constructif structurel

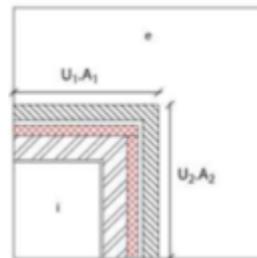
- ▶ Discontinuité des couches de matériaux par des matériaux ayant un coefficient de conduction thermique différent
- ▶ Modification de l'épaisseur des couches de matériaux



Source / Bron : Prise en compte des nœuds constructifs – Module I, IBGE BIM

Nœud constructif géométrique

- ▶ Une différence entre les dimensions intérieures et extérieures, comme au droit des angles



Source / Bron : Prise en compte des nœuds constructifs – Module I, IBGE BIM

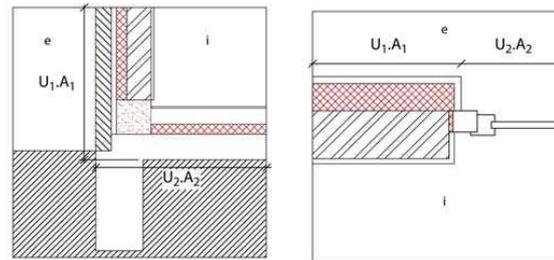
Combinaison entre nœuds constructifs structurels et géométriques



Nœud constructif linéaire

- Coefficient de transmission thermique linéaire – Ψ_e (W/mK)

$$\Psi_e = (\Phi_{2D} - \Phi_{1D}) / (T_i - T_e)$$

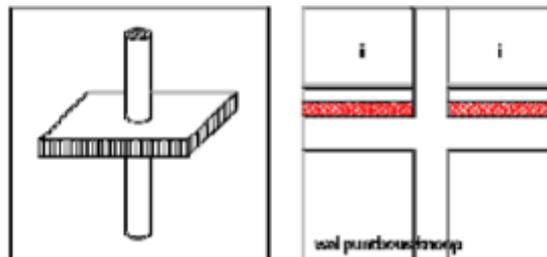


Source / Bron : Prise en compte des nœuds constructifs – Module I, IBGE BIM

Nœud constructif ponctuel

- Coefficient de transmission thermique ponctuel – X_e (W/K)

$$X_e = (\Phi_{3D} - \Phi_{2D}) / (T_i - T_e)$$



Source / Bron : Prise en compte des nœuds constructifs – Module I, IBGE BIM



DÉFINITION ET TYPOLOGIES

Nœud constructif → au sens thermique... Mais pas que !

Un nœud constructif doit aussi être étudié du point de vue de ...

- ▶ Étanchéité à l'air
- ▶ Humidité
- ▶ ...

Nœud constructif >< Pont thermique



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ Parois transparentes

NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ **Repérage**
- ▶ Quel impact?
- ▶ Règles de bonne pratique

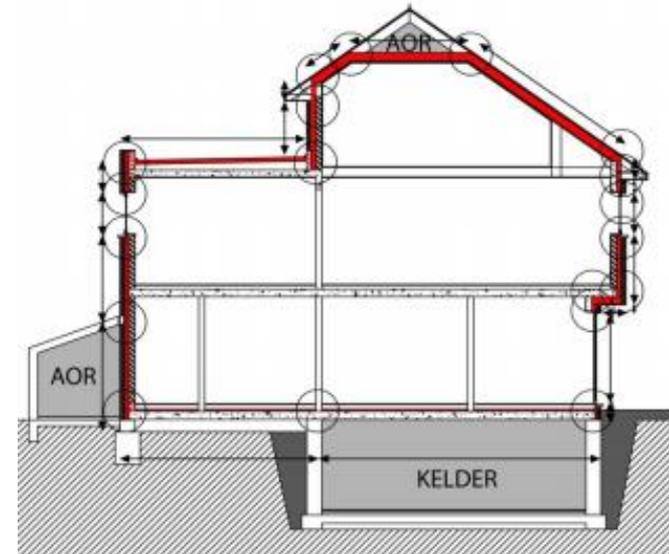


Comment les repérer?

- ▶ Là où deux parois de la surface de déperdition se rejoignent
- ▶ Là où une paroi de la surface de déperdition rencontre une paroi à la limite d'une parcelle adjacente
- ▶ Là où, dans une même paroi de la surface de déperdition, la couche isolante est interrompue
- ▶ Là où la couche isolante d'une paroi est interrompue ponctuellement



Source / Bron : CSTC



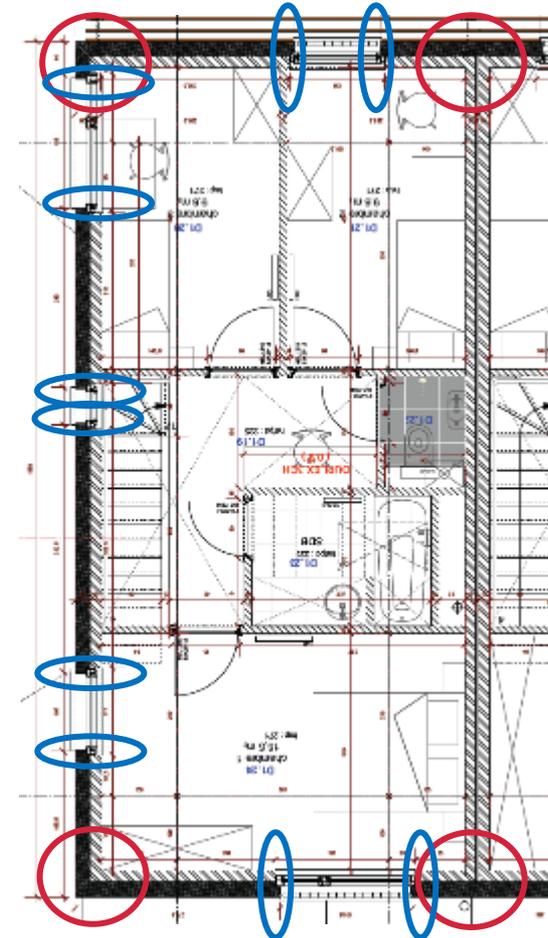
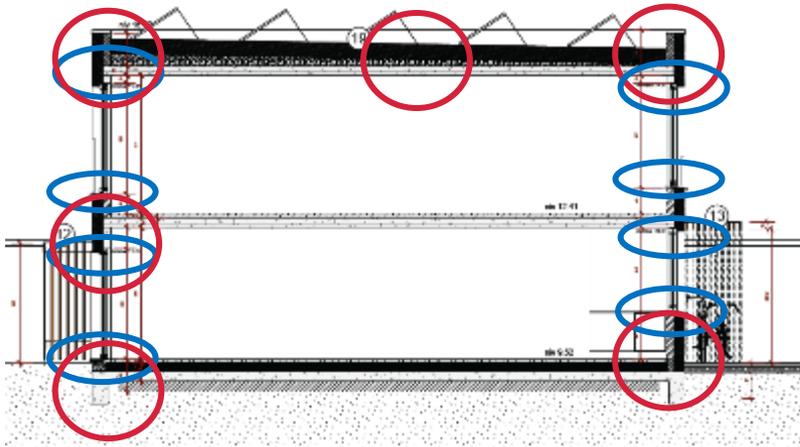
Source / Bron : Prise en compte des nœuds constructifs – Module I, IBGE BIM





Exercice

- ▶ Où?
- ▶ De quel type?
 - Structurel/géométrique
 - Ponctuel/linéaire



Source / Bron : ATLANTE



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ Parois transparentes

NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ Repérage
- ▶ **Quel impact?**
- ▶ Règles de bonne pratique



Deux impacts principaux

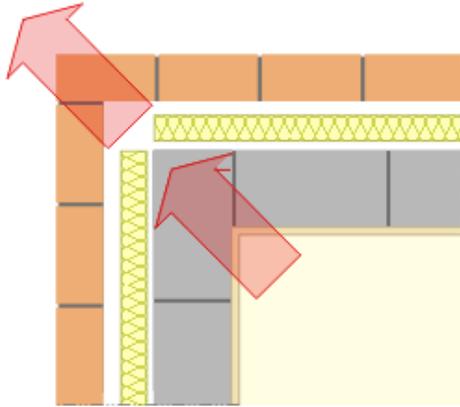
- ▶ Pathologique
 - Condensation de surface et formation de moisissures

- ▶ Thermique
 - Impact sur le bilan
 - Bâtiment passif (hors menuiserie extérieure): 5 à 8% des pertes par transmission si les nœuds constructifs sont bien gérés au niveau conception et mise en œuvre.
 - Bâtiment PEB : +0 à +10 points K



Impact pathologique

- ▶ Condensation de surface et formation de moisissures



Source/Bron : énergie +

NB: Les nœuds constructifs ne sont pas la seule cause d'humidité et de moisissures dans un bâtiment (infiltrations d'eau, humidité ascensionnelle, problème de diffusion de vapeur d'eau, etc) !



Facteur de température – τ (-)

- ▶ Le facteur de température (τ) en un point d'un détail constructif ou d'un pont thermique est la différence entre la température intérieure de surface (t_{surf_i}) en ce point et la température extérieure (t_e) lorsque la différence de température entre l'ambiance intérieure (t_i) et l'ambiance extérieure (t_e) du local est égale à 1 K

$$\tau = \frac{t_{surf_i} - t_e}{t_i - t_e}$$

- ▶ Si $T < 0,7$: risque de condensation et/ou d'apparition de moisissures (cfr NIT 153 CSTC)
- ▶ Si $t_e = -10^\circ\text{C}$ et $t_i = 20^\circ\text{C}$, t_{surf_i} doit être $\geq 12^\circ\text{C}$ pour que le facteur de température τ soit supérieur 0,7



Facteur de température – τ (-)

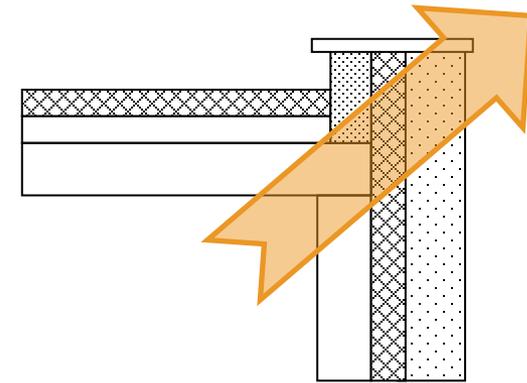
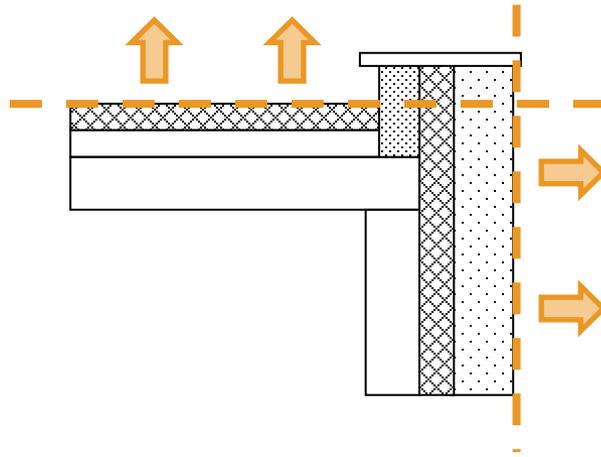
- ▶ Évalué de manière statique → Limite de la méthode
 - L'humidité relative
 - Le comportement du matériau à l'égard de l'eau
 - Le taux de ventilation hygiénique dans le local
 - Le temps

- ▶ Simulation dynamique pour évaluer l'ampleur du facteur de risque pathologique



Impact thermique

- Facteur de transmission thermique (Ψ , χ)



Déperditions thermiques
parois (1D)

$$\sum A_i b_i U_i$$

$$= H_{t, \text{ construction}}$$



Déperditions thermiques
nœuds constructifs (2D ou 3D)

$$\sum l_k b_k \Psi_{e,k} + \sum b_l \chi_{e,l}$$

$$= H_{t, \text{ junction}}$$



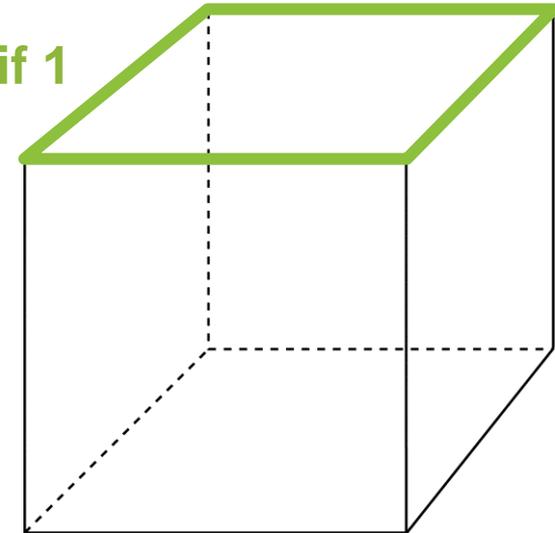


Exemple

- ▶ Soit un bâtiment cubique de 10 x 10 x 10 m dont les parois possèdent les propriétés suivantes:

- $U_{\text{toit}} = 0,123 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $U_{\text{mur}} = 0,101 \text{ W/m}^2\text{K}$

Nœud Constructif 1



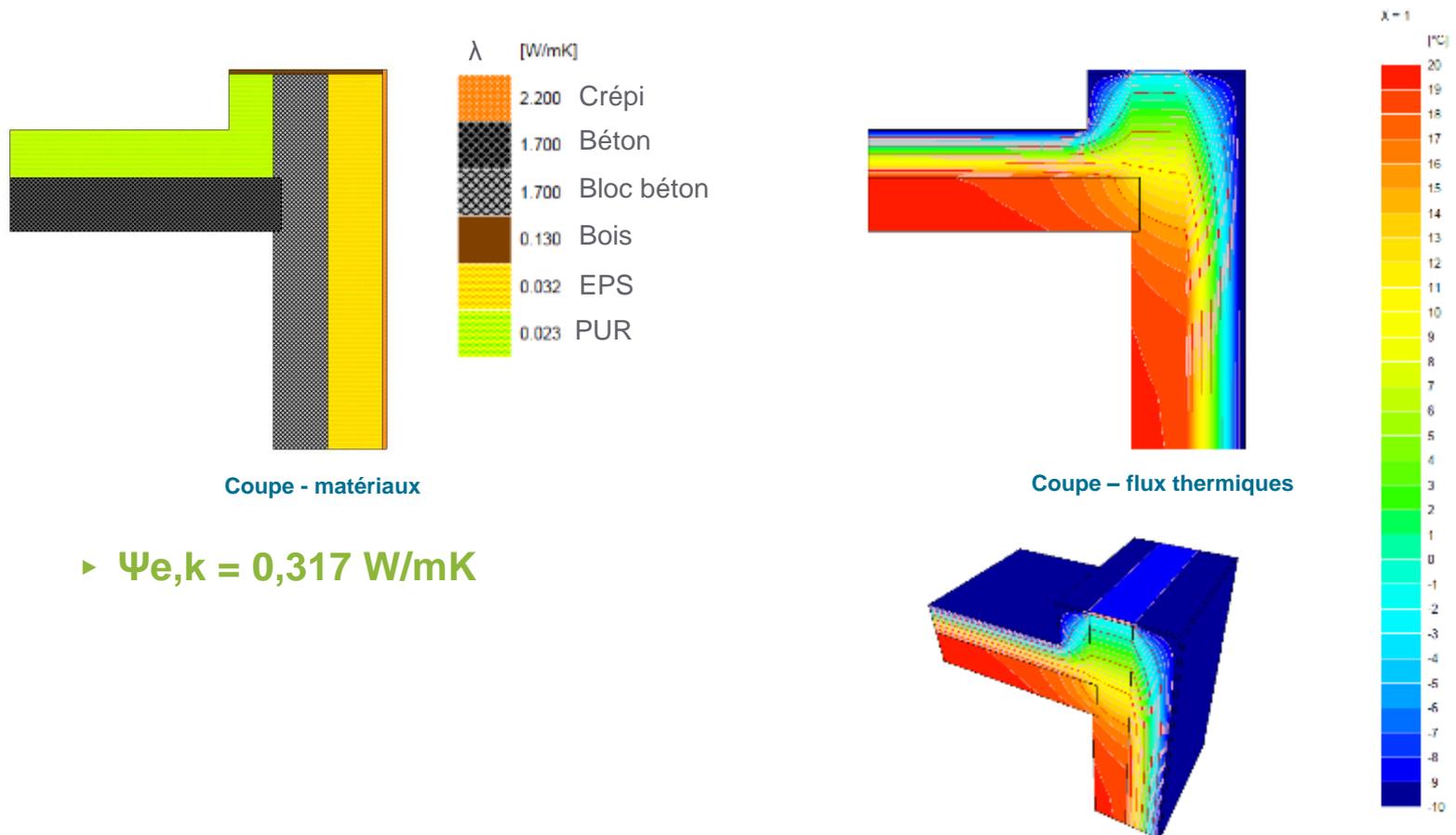
- ▶ Pertes par transmission via la toiture
→ $100\text{m}^2 \times 1 \times 0,123 \text{ W/m}^2\text{K} = 12,3 \text{ W/K}$
- ▶ Pertes par transmission via les murs
→ $400\text{m}^2 \times 1 \times 0,101 \text{ W/m}^2\text{K} = 40,4 \text{ W/K}$





Exemple

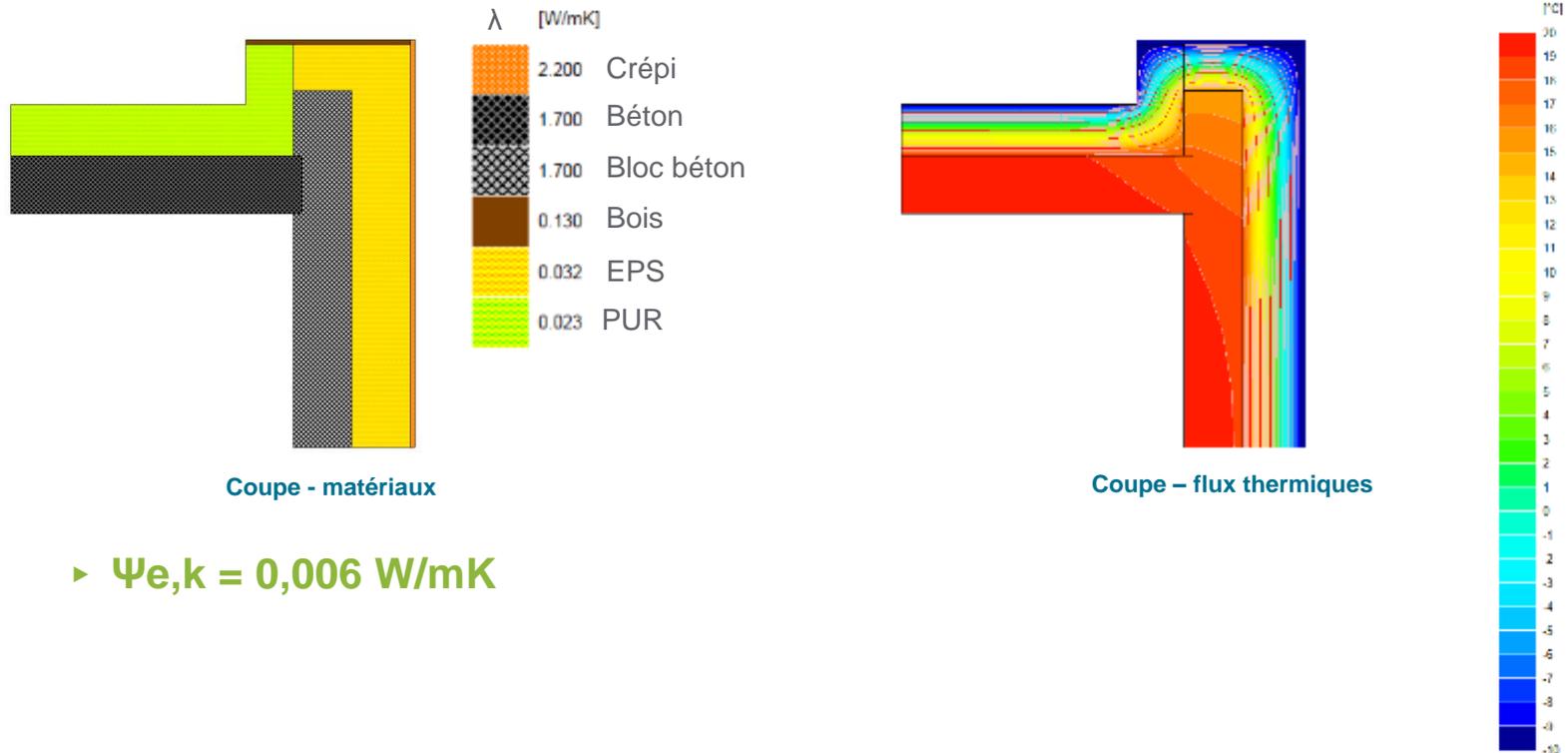
- Gestion du NC1 (acrotère) – Version de départ





Exemple

- Gestion du NC1 (acrotère) – Version améliorée (continuité de l'isolant)



- $\Psi_{e,k} = 0,006 \text{ W/mK}$





Exemple

- ▶ Soit un bâtiment cubique de 10 x 10 x 10 m dont les parois possèdent les propriétés suivantes
 - $U_{\text{toit}} = 0,123 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - $U_{\text{mur}} = 0,101 \text{ W/m}^2\text{K}$
 - ▶ Pertes par transmission via la toiture
→ $100\text{m}^2 \times 1 \times 0,123 \text{ W/m}^2\text{K} = \mathbf{12,3 \text{ W/K}}$
 - ▶ Pertes par transmission via les murs
→ $400\text{m}^2 \times 1 \times 0,101 \text{ W/m}^2\text{K} = \mathbf{40,4 \text{ W/K}}$
- Total pertes par transmission:
52,7 W/K
- ▶ Impact du NC1 – version de départ
→ $40\text{m} \times 1 \times 0,317 \text{ W/mK} = \mathbf{12,7 \text{ W/K}}$
soit **24%** des pertes par transmission via parois
 - ▶ Impact du NC1 – version améliorée
→ $40\text{m} \times 1 \times 0,006 \text{ W/mK} = \mathbf{0,24 \text{ W/K}}$
soit **0,5%** des pertes par transmission via parois



INTRODUCTION

PAROIS

- ▶ Parois opaques
- ▶ Parois transparentes

NŒUDS CONSTRUCTIFS

- ▶ Définition et typologies
- ▶ Repérage
- ▶ Quel impact?
- ▶ **Règles de bonne pratique**





Nœud PEB conforme

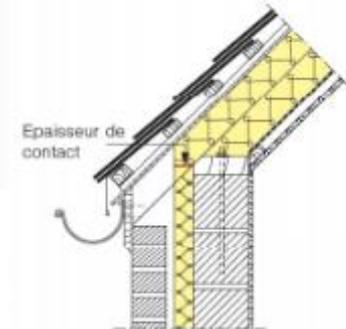
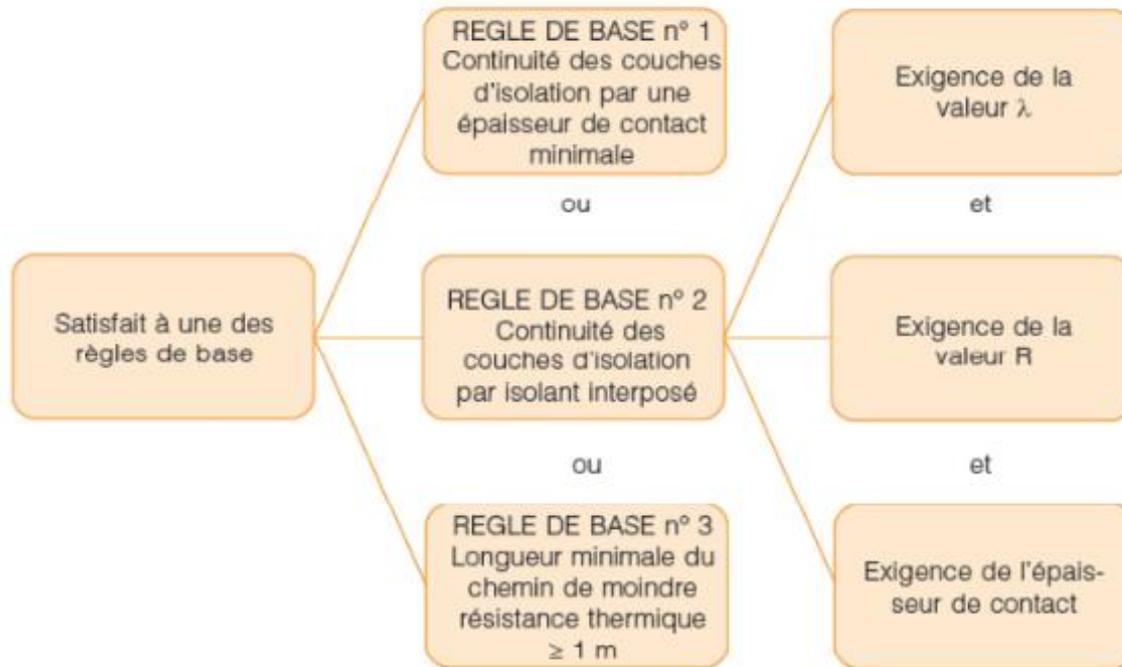


Fig. 1 Epaisseur de contact minimale.

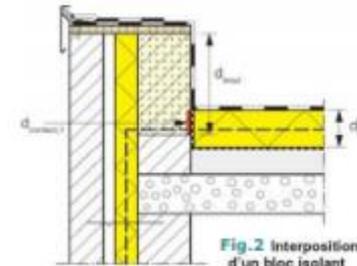


Fig. 2 Interposition d'un bloc isolant

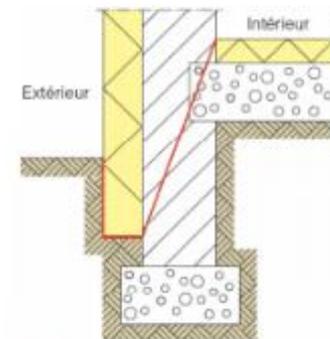


Fig. 3 Schéma de principe du chemin de moindre résistance thermique.

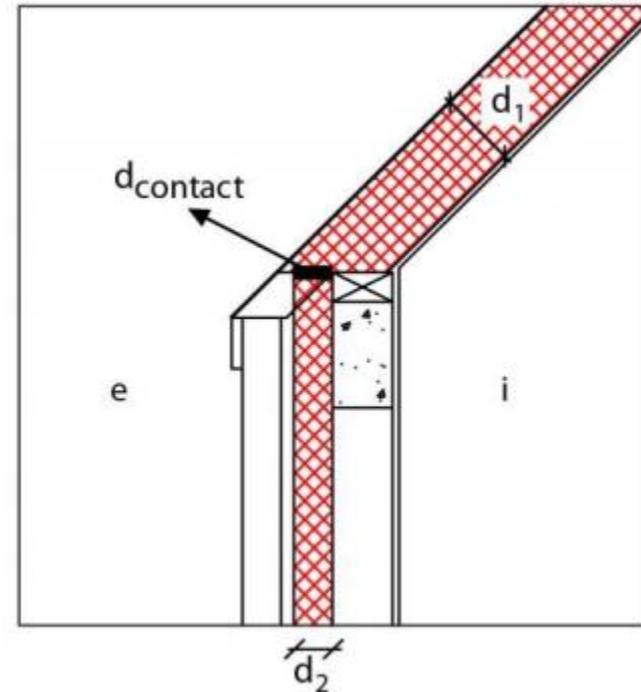
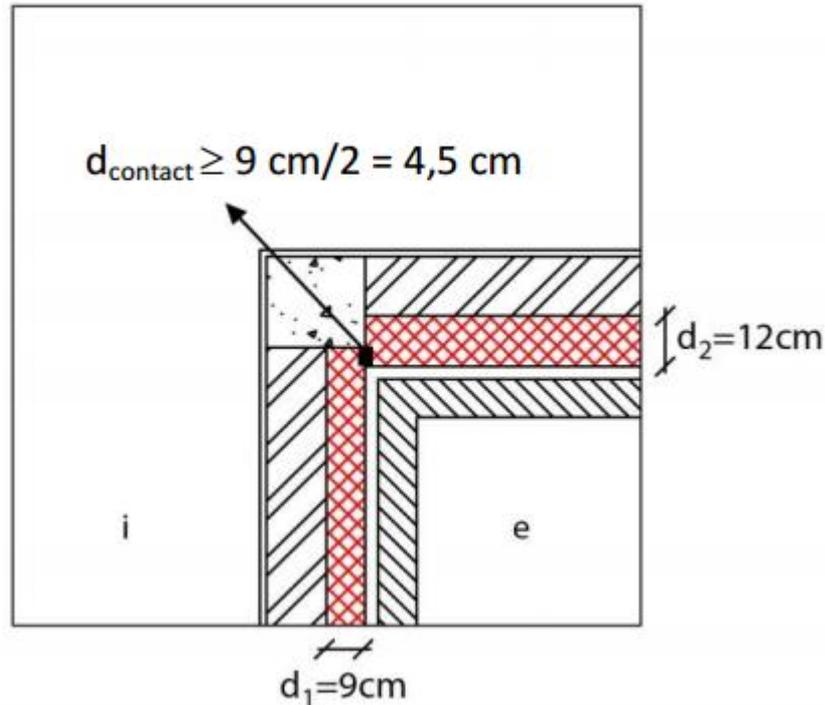
Source / Bron : CSTC



Nœud PEB conforme

- ▶ Règle de base n°1 : surface de contact

$$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} * \min(d_1, d_2)$$



Source / Bron : CSTC



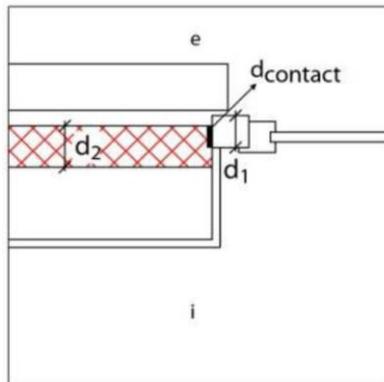
RÈGLES DE BONNE PRATIQUE

Nœud PEB conforme

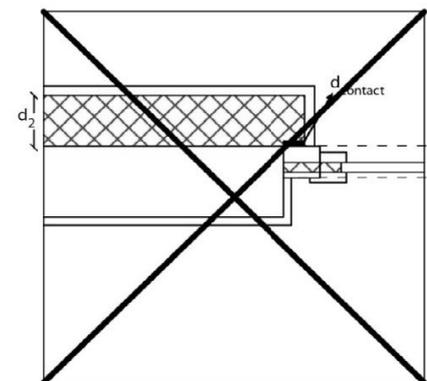
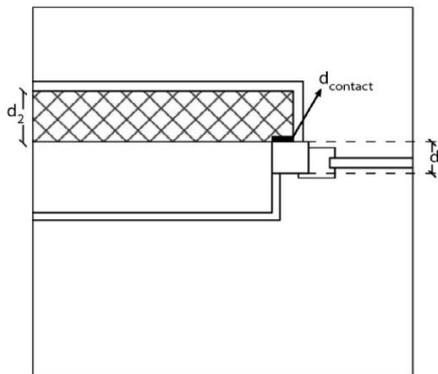
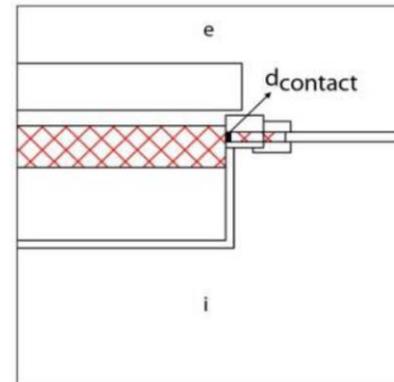
- Règle de base n°1 : surface de contact

$$d_{\text{contact}} \geq \frac{1}{2} * \min(d_1, d_2)$$

Contact complet avec coupure thermique



OU



Nœud PEB conforme

AGW
15/05/2014
Ann_B2

- Règle de base n°2 : élément interposé > 3 obligations

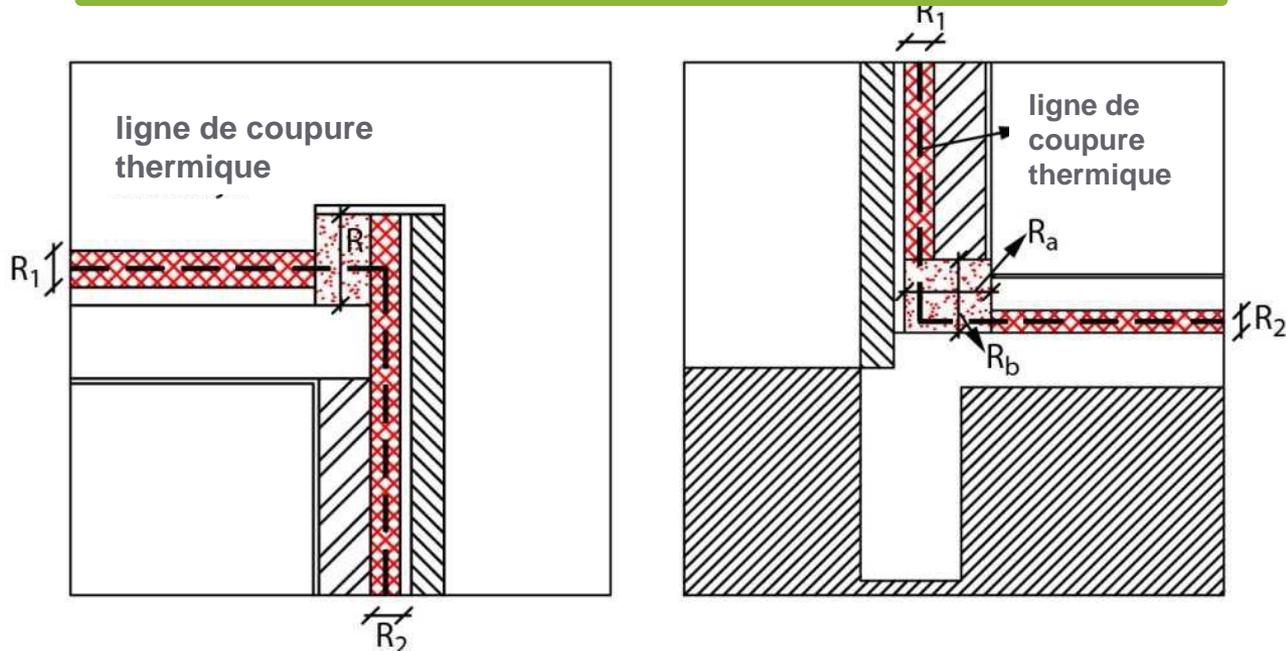
$$\lambda \leq 0.2W/mK$$

$$R \geq \min (R_1/2, R_2/2, 2^*)$$

* Valeur de 1.5 pour le cas des fenêtres !

$$d_{\text{contact},i} \geq \frac{1}{2} * \min(d_{\text{insulating part}}, d_x)$$

Document
Explicatif NC
31/12/2009



Nœud PEB conforme

- ▶ Règle de base n°2 : élément interposé > Quelques exemples de dispositifs

Bloc d'assise béton cellulaire/verre cellulaire



Source / Bron : Xella



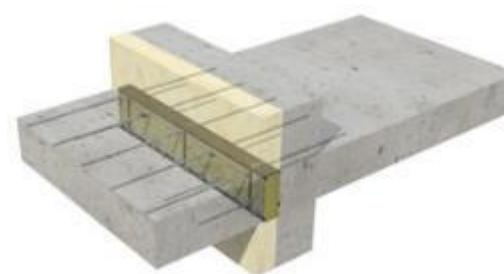
Source / Bron : Foamglass

Appui colonne



Source / Bron : Plaka Group

Rupteur thermique dalle/balcon



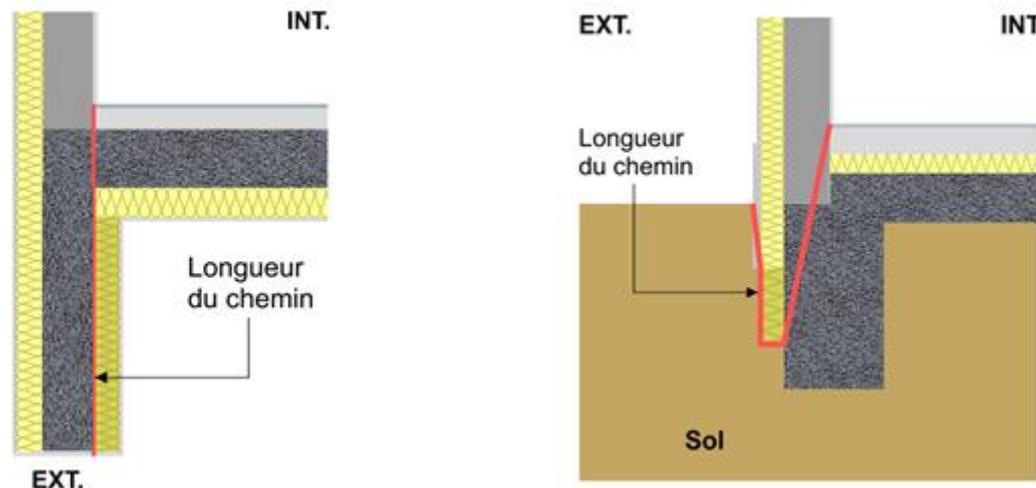
Source / Bron : Plaka Group



Nœud PEB conforme

- ▶ Règle de base n°3 : chemin de moindre résistance > 1m
 - Chemin de moindre résistance = plus court trajet entre intérieur et extérieur, sans traverser une couche isolante.
 - En cas d'isolation ajoutée: $R_{\text{isolant}} \geq R_{\text{min}} (R_1/2, R_2/2, 2^*)$

* Valeur de 1.5 pour le cas des fenêtres !



Source / Bron : Energie +





- ▶ La performance thermique de l'enveloppe joue un rôle important dans la consommation énergétique du bâtiment.
- ▶ Pour des éléments constitutifs identiques, la performance thermique d'une fenêtre varie fortement selon ses dimensions et la proportion châssis/vitrage.
- ▶ Une attention particulière doit être portée sur la conception et la mise en œuvre des nœuds constructifs pour limiter leur impact sur les pertes par transmission.





Guide bâtiment durable

www.guidebatimentdurable.brussels

- ▶ [Dossier | Diminuer les pertes par transmission](#)
- ▶ [Gérer les nœuds constructifs](#)



Sites internet

- ▶ Service ponts thermiques (PMP)
<http://www.ponts-thermiques.be>
Catalogue des nœuds constructifs rencontrés fréquemment
- ▶ Energie +
[Les ponts thermiques](#)
[La propagation de la chaleur à travers une paroi](#)



Formations

- ▶ Diagnostic pour la rénovation
- ▶ Rénovation partielle et par phase



Julie RENAUX

Ingénieur projet
écorce sa

☎ + 32 4 226 91 60

✉ info@ecorce.be



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

