

Commission Métallerie Façades Légères du 7 mai 2008

Compagnie des Ingénieurs Experts près la Cour d'Appel de Paris

Ch Viglino, JM Dumont

SOMMAIRE

☞	Introduction et Nota	p3
☞	I : Les règles TH-BAT : bases de calcul de la RT et les textes réglementaires	p4
☞	II : Un peu de théorie :	
	a. Conduction	p5/6
	b. Convection	p6/7
	c. Rayonnement	p7/8
	d. Transmission de chaleur par les parois vitrées	p8
☞	III : Caractéristiques / Calculs thermiques des parois vitrées	
	a. Règles de calcul U_w ou U_{cw}	p9/10
	b. Coefficients U_f de différentes techniques / profilés	p10
	→ profilé mixte bois – PVC	p11
	→ profilé PVC à ouvrant caché	p11
	→ profilé aluminium à capot-serreur	p12
	→ profilé aluminium VEC (MR BP)	p12
	→ profilé aluminium VEP (MR BP) RPT 24	p13
	→ profilé aluminium VEP (MR BP) RPT 30 (triple-vitrage)	p13
	→ profilé aluminium Réspirant (<i>isothermes seulement</i>)	p14
	c. Coefficients U_g/FS de différents vitrages sans store	p15
	avec store	p16
	d. Influence de certains paramètres :	
	p17/18	
	Pourcentage de profilés	
	« Nature » du vitrage isolant (coefficient U_g)	
	e. Analyse du risque de condensations (définition et exemple)	p19
☞	Lexique	p20
☞	Liste des Annexes	p21

INTRODUCTION ET NOTA

NB 1 : l'attention du lecteur est attirée sur le caractère non exhaustif des informations portées dans le présent document.

Ce dernier aborde le vaste sujet de la thermique appliquée à l'enveloppe du bâtiment, et ne peut contenir qu'un certain nombre d'informations.

NB 2 : Les mots en **bleu** sont définis dans le lexique.

Introduction :

La vie quotidienne dans les bâtiments est à l'origine d'**un quart des émissions de gaz à effet de serre** (chauffage, électricité, climatisation, ventilation, éclairage...).

C'est ainsi que les réglementations thermiques évoluent tous les 5 ans, avec comme objectif de renforcer les performances énergétiques des équipements.

L'objectif est d'obtenir une **amélioration de 40% en 2020** (par rapport aux exigences RT2000).

La RT2005, actuellement en vigueur (pour tous les bâtiments dont le PC a été déposé postérieurement au 01/09/06), en quelques points fondamentaux :

- ♦ Imposer un maximum de consommation en kWh/m²/an (énergie primaire).
- ♦ Evaluer les émissions de CO₂.
- ♦ Introduire progressivement les énergies renouvelables (**ECS solaire**, **PAC** avec bon **COP**...)
- ♦ Prise en compte de l'éclairage.
- ♦ Favoriser la conception bioclimatique (prise en compte de l'orientation du bâtiment et l'exposition solaire).
- ♦ Renforcer les exigences sur le confort d'été et mieux prendre en compte l'inertie du bâtiment.

La RT2005, c'est également :

- ♦ La mise en place d'exigences en rénovation et en réhabilitation.

- ♦ L'introduction d'une nouvelle « étiquette énergie » (portant mention de la performance du bâtiment en fonction de la consommation et de la production de gaz à effet de serre) (DPE)

I : Les Règles TH-BAT (base de calcul de la RT) et les textes réglementaires

◆ **Le texte de référence est l'arrêté du 24 Mai 2006**, relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

◆ Les règles TH-BAT :

Elles sont élaborées par le CSTB, avec l'appui du Ministère de l'Équipement, du transport et du Logement, et de l'ADEME.

Elles sont citées dans les règles TH-C et TH-E et ont pour objet principal la détermination de paramètres d'entrées au calcul du coefficient C et de la température intérieure conventionnelle Tic du bâtiment.

Ces règles comportent trois fascicules distincts : les règles

TH-I : détermination de l'inertie thermique du bâtiment

TH-S : calcul du facteur solaire S des composants du bâtiment.

TH-U : détermination des caractéristiques thermiques utiles des parois.

II : Un peu de théorie

a. Conduction :

☞ C'est le **transport d'énergie thermique dans les matières** de particules à particules (collisions élastiques à l'échelle microscopique), dans les solides, liquides et gaz (cependant, dans les liquides et gaz, la part convective est prédominante).

☞ (1^{ère}) **Loi de Fourier (régime stationnaire)** :

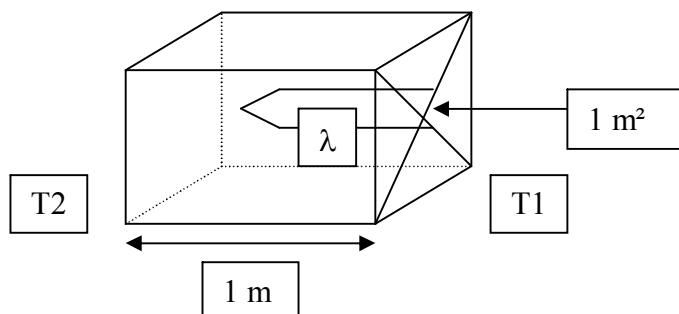
Pour un matériau homogène et **isotrope** d'épaisseur d , dont les surfaces parallèles sont maintenues à des T° constantes T_1 et T_2 , un flux de chaleur s'écoule à travers une surface S dans le sens des T° décroissantes.

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{S}{d} \cdot (T_1 - T_2) \quad [\Phi] = [W]$$

λ est la conductivité thermique [W/(m.K)] :

Cette grandeur se définit comme étant le flux de chaleur qui s'écoule à travers 1 m^2 d'un corps d'épaisseur 1 m lorsque la différence de température ($T_1 - T_2$) entre les 2 surfaces est de 1 K .

Figure 1 : schéma définition de la conductivité thermique



λ caractérise la qualité calorifuge d'un matériau; plus λ est petit, plus le matériau est bon thermiquement.

On parle d'isolant.

Pour les matériaux dont $\lambda < 0.06 \text{ W/(m.K)}$, on peut parler de calorifuges.

λ est proportionnel à la R_{th} [$\text{m}^2.\text{K/W}$]:

$R_{th} = e/\lambda$ pour un élément homogène.

$R_{th} = \Sigma e/\lambda$ pour éléments composés en série.

Exemple : Détermination de la R_{th} d'un panneau sandwich :

Toile Acier Inox 15/10^{ème} + Laine minérale 70 mm + Toile Alu 20/10^{ème} :

$R_{th} = 0.0015 / 50 + 0.070 / 0.04 + 0.002 / 160.$

$R_{th} = 1.75 \text{ m}^2. \text{K} / \text{W}.$

L'Annexe 5 présente les valeurs de λ pour les principaux matériaux rencontrés chez les fenêtriers / façadiers.

b. Convection :

☞ C'est le transport d'énergie thermique lorsqu'il y a présence d'un fluide (liquide ou gaz) autour d'un solide à température différente.

Sur une couche d'air de quelques 10^{ème} de millimètre, il y'a un phénomène de conduction pure entre le solide et le fluide.

Cela implique que les molécules d'air dans cette couche vont avoir une T° qui va s'élever (Si $T_{\text{solide}} > T_{\text{air}}$).

Par conséquent, la masse volumique de cette couche va diminuer (kg/m^3) et la couche d'air est soumise à un mouvement ascendant.

Ce mouvement du fluide (dû aux seules forces d'Archimède) constitue le phénomène de convection naturelle.

☞ **Loi de Newton:**

Notons Φ_{cv} le flux de chaleur évacué par convection [W]:

$$\Phi_{cv} = h_{cv} \cdot \Delta T \cdot S$$

Avec h_{cv} = coefficient d'échange convectif [$W/(m^2 \cdot K)$].

S = Surface "mouillée" en contact avec le fluide.

Il existe aussi la convection forcée : elle se produit si le fluide qui entoure le solide est animé d'une vitesse par un moyen mécanique (ventilateur, ...).

c. Rayonnement :

☞ C'est le transport d'énergie thermique par le biais d'ondes électro-magnétiques entre surfaces séparées ou non par un milieu intermédiaire.

C'est le **seul mode de transfert de chaleur qui peut exister dans le vide.**

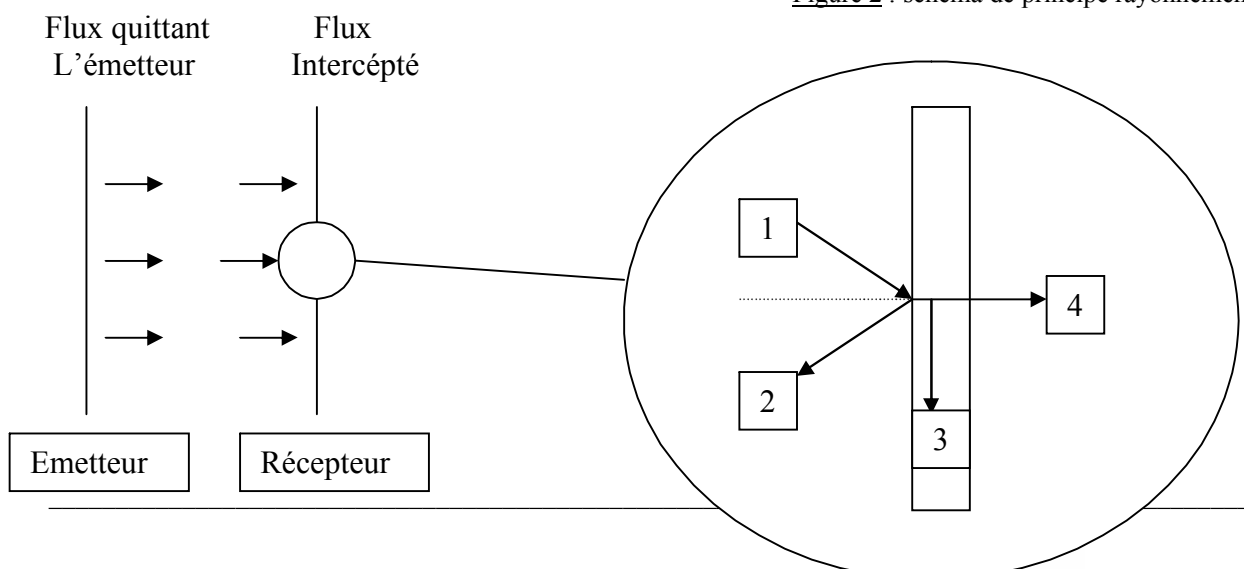
Par définition, tout corps dont la température est supérieure à 0 K (soit $-273,15 \text{ }^\circ\text{C}$) émet un rayonnement électromagnétique (même nature que la lumière).

Le rayonnement susceptible de produire des effets thermiques notables dit "rayonnement thermique" est le rayonnement dont la longueur d'onde est comprise entre 0.1 et 100 μm .

Cela correspond aux UV, au Visible et aux IR.

☞ Considérons 2 corps : un émetteur et un récepteur:

Figure 2 : schéma de principe rayonnement



1. Flux incident.
2. Flux réfléchi (ρ).
3. Flux absorbé (α).
4. Flux transmis (τ) (si la surface n'est pas opaque pour les longueurs d'onde du rayonnement reçu).

Loi de conservation de l'énergie $\rho + \alpha + \tau = 1$.

Par définition, un corps noir absorbe tout le rayonnement reçu : $\alpha = 1$.

$\varepsilon = 1$.

$\rho = \tau = 0$.

ε = émissivité : c'est le rapport entre l'énergie (rayonnement) émise par un corps et celle émise par un corps noir (T identique).

d. Transmission de chaleur par les parois vitrées :

Les fenêtres présentent :

une déperdition thermique par transmission mais laissent pénétrer de l'énergie solaire à l'intérieur par l'intermédiaire du vitrage et il est parfois possible que le gain d'énergie solaire soit supérieure à la déperdition par transmission.

Les fenêtres doivent comporter une protection solaire efficace pendant la saison estivale afin d'éviter un réchauffement trop fort à l'intérieur du bâtiment.

Sinon, il existe des vitrages spécifiques pour le confort thermique:

- Verre de protection solaire.
- Verre à ITR.
- Une combinaison des deux.

Les fabricants de vitrages fournissent les différentes grandeurs caractéristiques dites spectrophotométriques qui permettent de déterminer les grandeurs significatives telles que FS, TL et Ug.

Le coefficient Ug représente la déperdition thermique par le verre. (Voir Chapitre III).

TL est la Transmission Lumineuse, compris entre 0 et 1.

Si TL = 0, pas de passage de lumière (opaque).

Si TL = 1, 100% de lumière reçue.

Le FS ou g, dit Facteur Solaire, correspond à la partie énergétique qui entre effectivement dans le bâtiment : τ .

En fait τ se décompose en plusieurs parties : transmission énergétique directe, secondaire... La somme de ces transmissions se note FS ou g.

III : Caractéristiques / Calculs thermiques des parois vitrées

a. Règles de calcul U_w ou U_{cw} [$W/(m^2.K)$] :

1. Définitions :

Le coefficient U, appelé coefficient de transmission thermique, représente la quantité de chaleur traversant, en régime stationnaire, 1 m² de paroi, lorsque la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur est de 1 K.

L'indice w signifie window = fenêtre.

L'indice cw signifie curtain-wall = mur-rideau.

Les coefficients U_w et U_{cw} intègrent les déperditions par les profilés, par le vitrage, par le panneau opaque le cas échéant, et par la jonction entre les profilés et vitrage / profilés et panneau opaque.

2. Les normes et textes définissant les méthodes de calcul :

- les règles TH-U partie 3/5 « parois vitrées » donnent la méthode de calcul générale :

$$U_w = (U_f * A_f + U_g * A_g + \psi_g * l_g) / Stot$$

$$U_{cw} = (U_f * A_f + U_g * A_g + U_p * A_p + \psi_g * l_g + \psi_p * l_p) / Stot$$

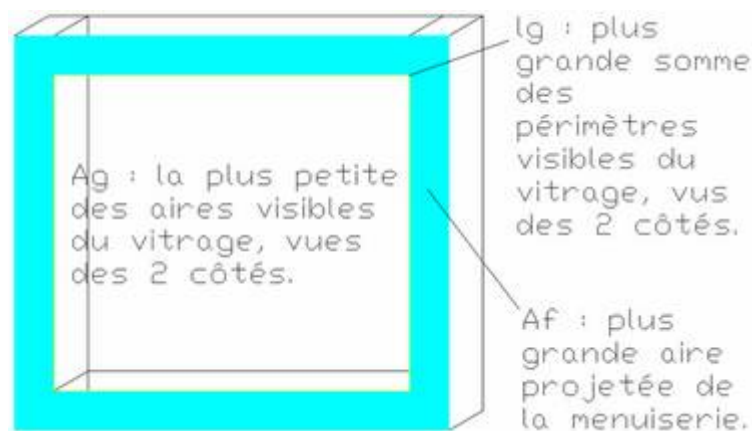


Figure 3 : exemple pour le calcul U_w d'une fenêtre

Il existe également le projet de norme pr-EN-13947 qui détermine les méthodes de calcul du coefficient de transmission thermique.

- la norme NF EN ISO 10077-2 présente les méthodes de calcul numériques des profilés : détermination de U_f .

- La norme NF EN 673 présente la méthode de calcul du coefficient U_g en partie centrale des vitrages isolants.

Le calcul de U_g se fait avec des logiciels (Vitrage Décision, Rubis, Capsol...) à partir de données communiquées données par les fabricants.

b. Coefficients U_f de différentes techniques / profilés [W/(m².K)] :

NB : Les valeurs U_f figurant ci-dessous ont été déterminées avec le logiciel BISCO (Physibel).

Les normes NF-EN-ISO-10077-1 et 2 ont été respectées. (vitrage remplacé par un panneau isolant de conductivité 0.035 W/(m.K)) pour le calcul de U_f

Les conditions aux limites sont les suivantes :

Températures :

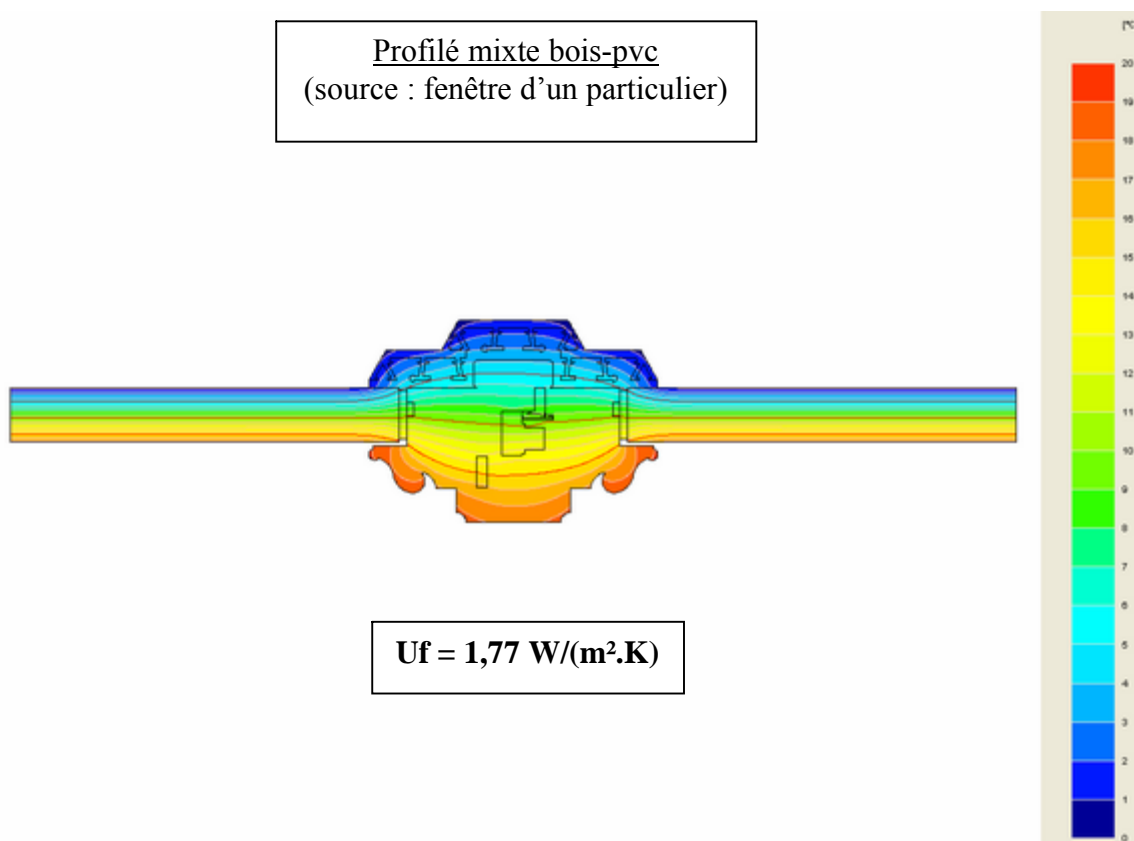
$$T_i = 20^{\circ}\text{C}$$

$$T_e = 0^{\circ}\text{C}$$

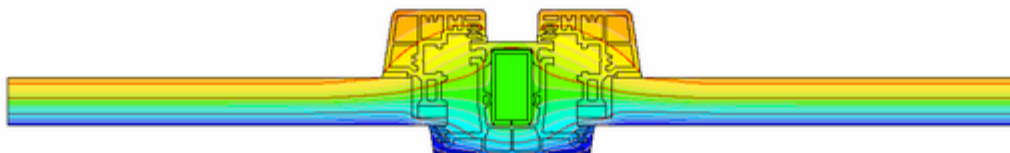
Conditions d'échange à la surface :

$$h_i \text{ (normal)} = 7.7 \text{ W/(m}^2\text{.K)} \text{ et } h_i \text{ (réduit)} = 5 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

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



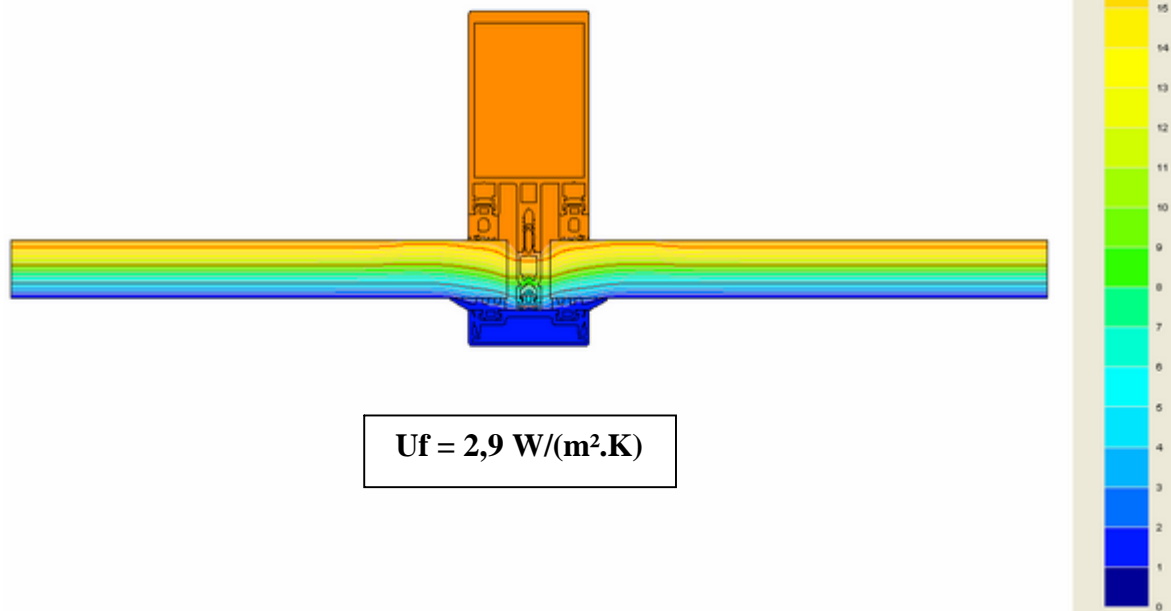
Profilé PVC à ouvrant caché
(source : Gamme SG1 - KBE)

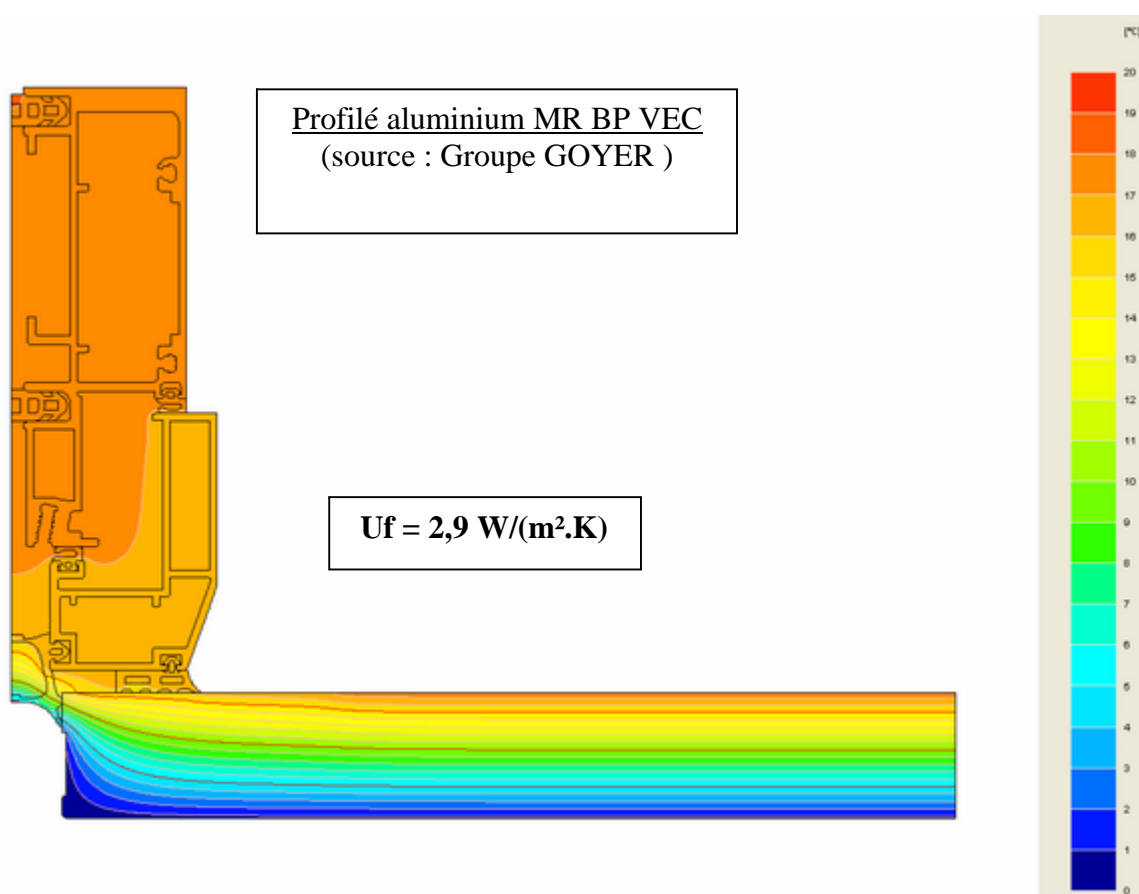


$U_f = 2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

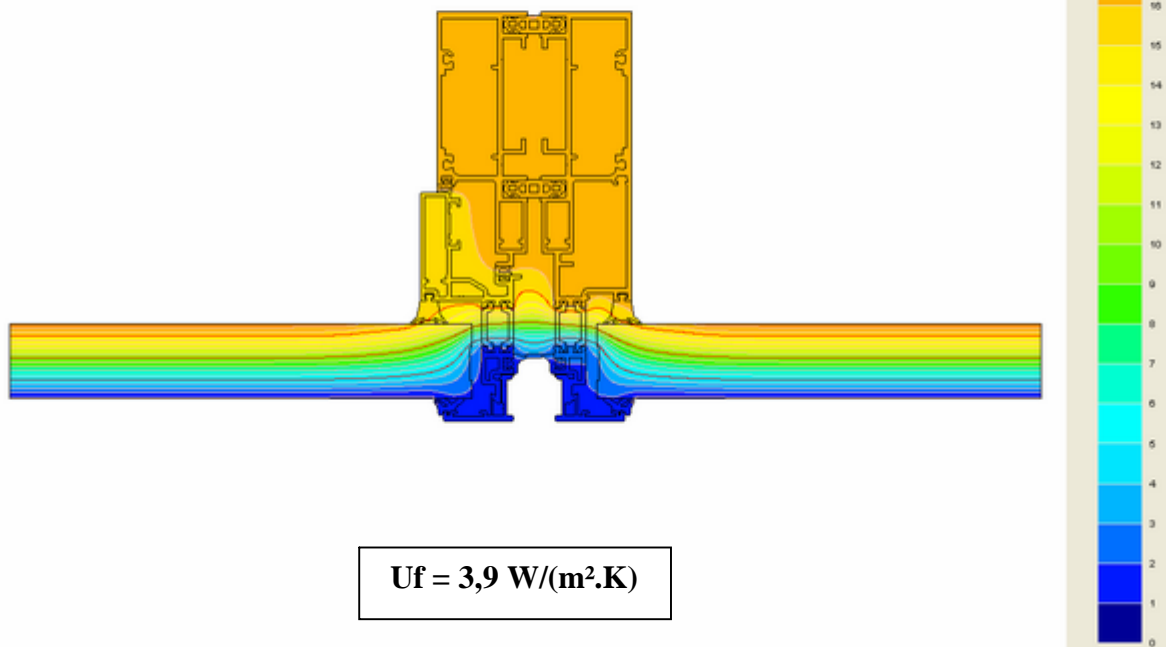


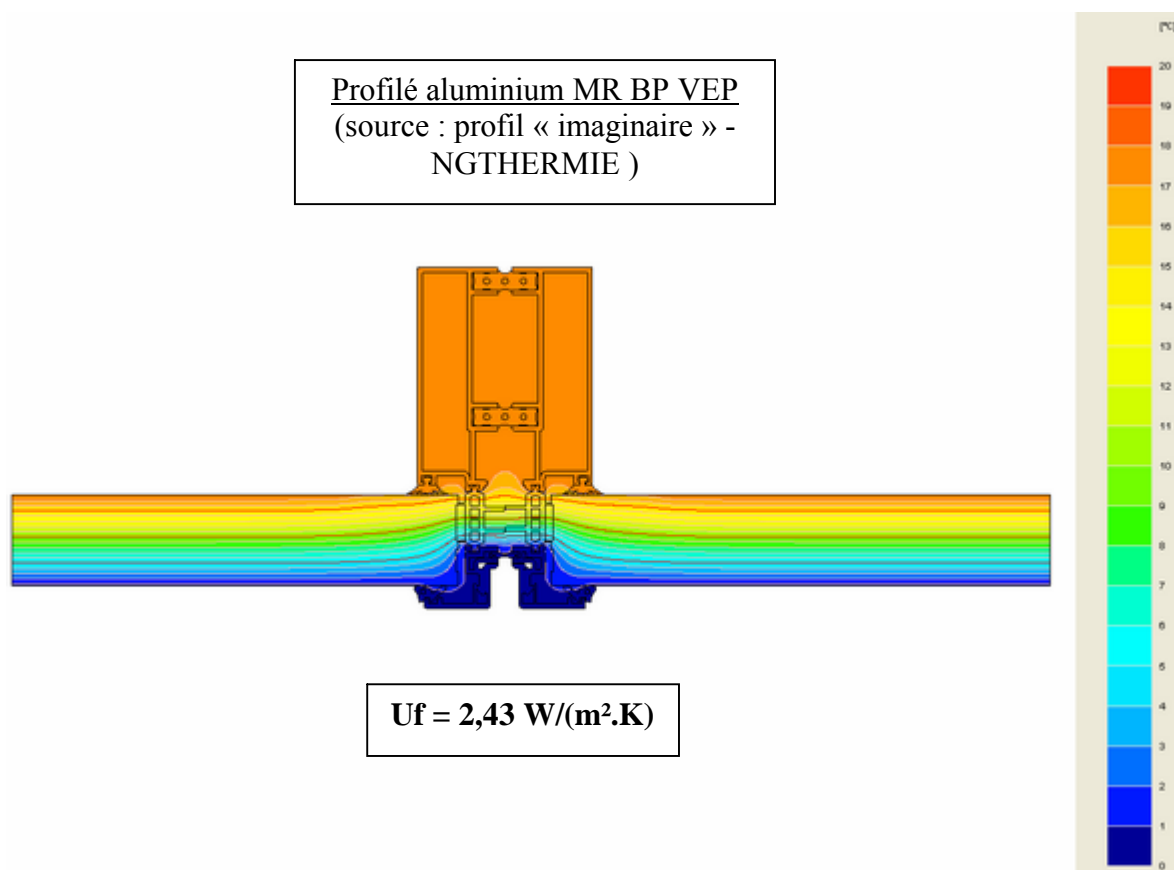
Profilé aluminium MR Grille
(source : FW50 capot-serreur
Schüco)



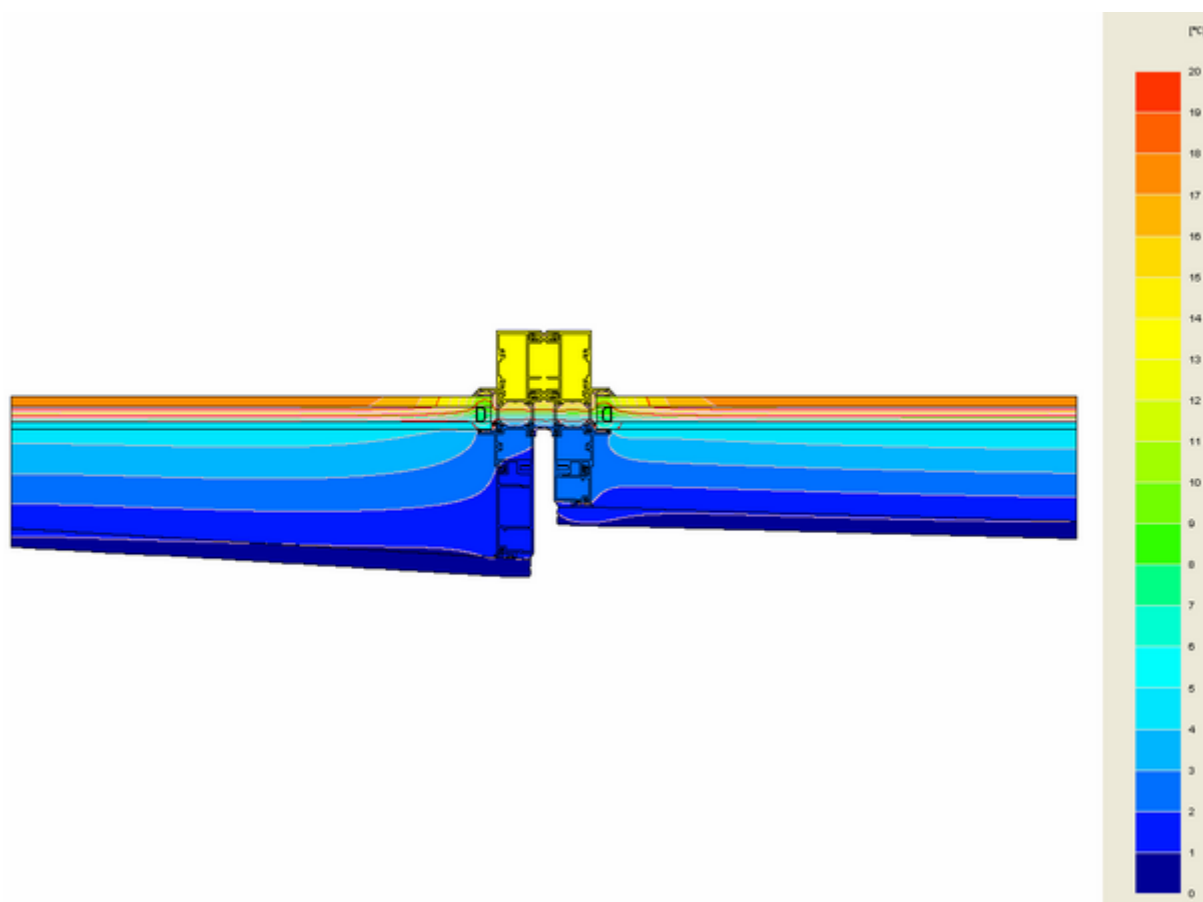


Profilé aluminium MR BP VEP
(source : Groupe GOYER)





Profilé aluminium MR BP VEC Respirant Ecailles
(source : profil création – Groupe Goyer
Chantier siège Caisse d'Epargne Lille)



c. Coefficients U_g et FS pour différentes compositions de vitrages, avec ou sans store :

NB : Les calculs ont été réalisés avec le « WallType Edit » du logiciel CAPSOL (Physibel).

➤ *cas sans store :*

Commission Métallerie Façades Légères du 7 mai 2008
Compagnie des Ingénieurs Experts près la Cour d'Appel de Paris

WallTypeEdit - triple vitrage 1 couche en f4.cwt																		
File Edit Edit Layer View Window Help																		
double vitrage couche en f2.cwt																		
side1 => side2																		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	τ_s [-]	α_{1r} [-]	α_{1s} [-]	α_{2r} [-]	α_{2s} [-]	α_{2s} [-]		
1	6 à couche basse émissivité	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
2	Argon 85 % 16 mm	GAS	■	0.016	0.017	0.728	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	4 planibel clair	HORMAL	■	0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
d _{tot} =0.026 m, R _{tot} =0.738 m ² K/W with [h1=25.0 W/m ² K, h2=7.7 W/m ² K] U=1.10 W/m ² K, g=0.32																		
triple vitrage 1 couche en f2.cwt																		
side1 => side2																		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	τ_s [-]	α_{1r} [-]	α_{1s} [-]	α_{2r} [-]	α_{2s} [-]	α_{2s} [-]		
1	6 à couche basse émissivité	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
2	Argon 85 % 10 mm	GAS	■	0.01	0.017	0.525	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 clair	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
4	Argon 85 % 16 mm	GAS	■	0.016	0.017	0.204	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	4 planibel clair	HORMAL	■	0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
d _{tot} =0.042 m, R _{tot} =0.745 m ² K/W with [h1=25.0 W/m ² K, h2=7.7 W/m ² K] U=1.09 W/m ² K, g=0.30																		
triple vitrage 1 couche en f4.cwt																		
side1 => side2																		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	τ_s [-]	α_{1r} [-]	α_{1s} [-]	α_{2r} [-]	α_{2s} [-]	α_{2s} [-]		
1	6 clair	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
2	Argon 85 % 10 mm	GAS	■	0.01	0.017	0.184	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 à couche basse émissivité	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
4	Argon 85 % 16 mm	GAS	■	0.016	0.017	0.728	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	4 planibel clair	HORMAL	■	0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
d _{tot} =0.042 m, R _{tot} =0.928 m ² K/W with [h1=25.0 W/m ² K, h2=7.7 W/m ² K] U=0.91 W/m ² K, g=0.33																		
triple vitrage 2 couches f2 et f4.cwt																		
side1 => side2																		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	τ_s [-]	α_{1r} [-]	α_{1s} [-]	α_{2r} [-]	α_{2s} [-]	α_{2s} [-]		
1	6 à couche basse émissivité	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
2	Argon 85 % 10 mm	GAS	■	0.01	0.017	0.525	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 à couche basse émissivité	HORMAL	■	0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.62	0.84	0.22	0.16	0.05	0.25	0.13	
4	Argon 85 % 16 mm	GAS	■	0.016	0.017	0.702	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	4 planibel clair	HORMAL	■	0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
d _{tot} =0.042 m, R _{tot} =1.243 m ² K/W with [h1=25.0 W/m ² K, h2=7.7 W/m ² K] U=0.71 W/m ² K, g=0.24																		

- ① double-vitrage à couche en face 2 ($\epsilon = 0.04$) ; $U_g = 1.10 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ et FS (ou g) = 0.32.
 ② triple-vitrage à couche en face 2 ($\epsilon = 0.04$) ; $U_g = 1.09 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ et FS (ou g) = 0.30.
 ③ triple-vitrage à couche en face 4 ($\epsilon = 0.04$) ; $U_g = 0.91 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ et FS (ou g) = 0.33.
 ④ triple-vitrage à couche en face 2 et 4 ($\epsilon = 0.04$ en face 2 et 0.05 en face 4) ; $U_g = 0.71 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$ et FS (ou g) = 0.24.

► cas avec store :

WallTypeEdit - triple vitrage 1 couche en f2 avec store int.cwt

File Edit Edit Layer View Window Help

triple vitrage 1 couche en f2 avec store int.cwt ①

side1 => side2													side 1			side 2		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	r _s [-]	a1 _{ir} [-]	p1 _s [-]	a1 _s [-]	a2 _{ir} [-]	p2 _s [-]	a2 _s [-]	
1	6 à couche basse émissivité	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
2	Argon 85 % 10 mm	GAS	⋈	0.01	0.017	0.525	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 clair	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
4	Argon 85 % 16 mm	GAS	⋈	0.016	0.017	0.204	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	4 planibel clair	NORMAL		0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
6	lame d'air entre verre et store	GAS	⋈	0.02	0.025	0.098	1.2	1004	5	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
7	store screen standard	NORMAL		0.001	160.000	0.000	2700	880	-	-	0.1	0.90	0.40	0.50	0.90	0.40	0.50	

dtot=0.063 m, Rtot=0.843 m²K/W with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=0.99 W/m²K, g=0.22

triple vitrage 1 couche en f2 avec store dans triple vitrage.cwt ②

side1 => side2													side 1			side 2		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	r _s [-]	a1 _{ir} [-]	p1 _s [-]	a1 _s [-]	a2 _{ir} [-]	p2 _s [-]	a2 _s [-]	
1	6 à couche basse émissivité	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
2	Argon 85 % 10 mm	GAS	⋈	0.01	0.017	0.525	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 clair	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
4	Argon 85 % 8 mm	GAS	⋈	0.008	0.017	0.164	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	store screen standard	NORMAL		0.001	160.000	0.000	2700	880	-	-	0.1	0.90	0.40	0.50	0.90	0.40	0.50	
6	Argon 85% 8 mm	GAS	⋈	0.008	0.017	0.164	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
7	4 planibel clair	NORMAL		0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.00	0.00	0.15	

dtot=0.043 m, Rtot=0.870 m²K/W with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=0.96 W/m²K, g=0.19

triple vitrage 1 couche en f2 avec store ext.cwt ③

side1 => side2													side 1			side 2		
No.	Name	Type	Pat	d [m]	λ [W/mK]	R [m ² K/W]	ρ [kg/m ³]	c [J/kgK]	Nu [-]	h _{rb} [W/m ² K]	r _s [-]	a1 _{ir} [-]	p1 _s [-]	a1 _s [-]	a2 _{ir} [-]	p2 _s [-]	a2 _s [-]	
1	store screen standard	NORMAL		0.001	160.000	0.000	2700	880	-	-	0.1	0.90	0.40	0.50	0.90	0.40	0.50	
2	lame d'air entre verre et store	GAS	⋈	0.02	0.025	0.098	1.2	1004	5	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
3	6 à couche basse émissivité	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.32	0.84	0.33	0.35	0.04	0.45	0.23	
4	Argon 85 % 10 mm	GAS	⋈	0.01	0.017	0.525	1.7	519	1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
5	6 clair	NORMAL		0.006	1.000	0.006	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.84	0.08	0.07	
6	Argon 85 % 16 mm	GAS	⋈	0.016	0.017	0.204	1.7	519	1.1	5.15	-	-	-	-	-	-	-	
7	4 planibel clair	NORMAL		0.004	1.000	0.004	2470	750	-	-	0.85	0.84	0.08	0.07	0.00	0.00	0.15	

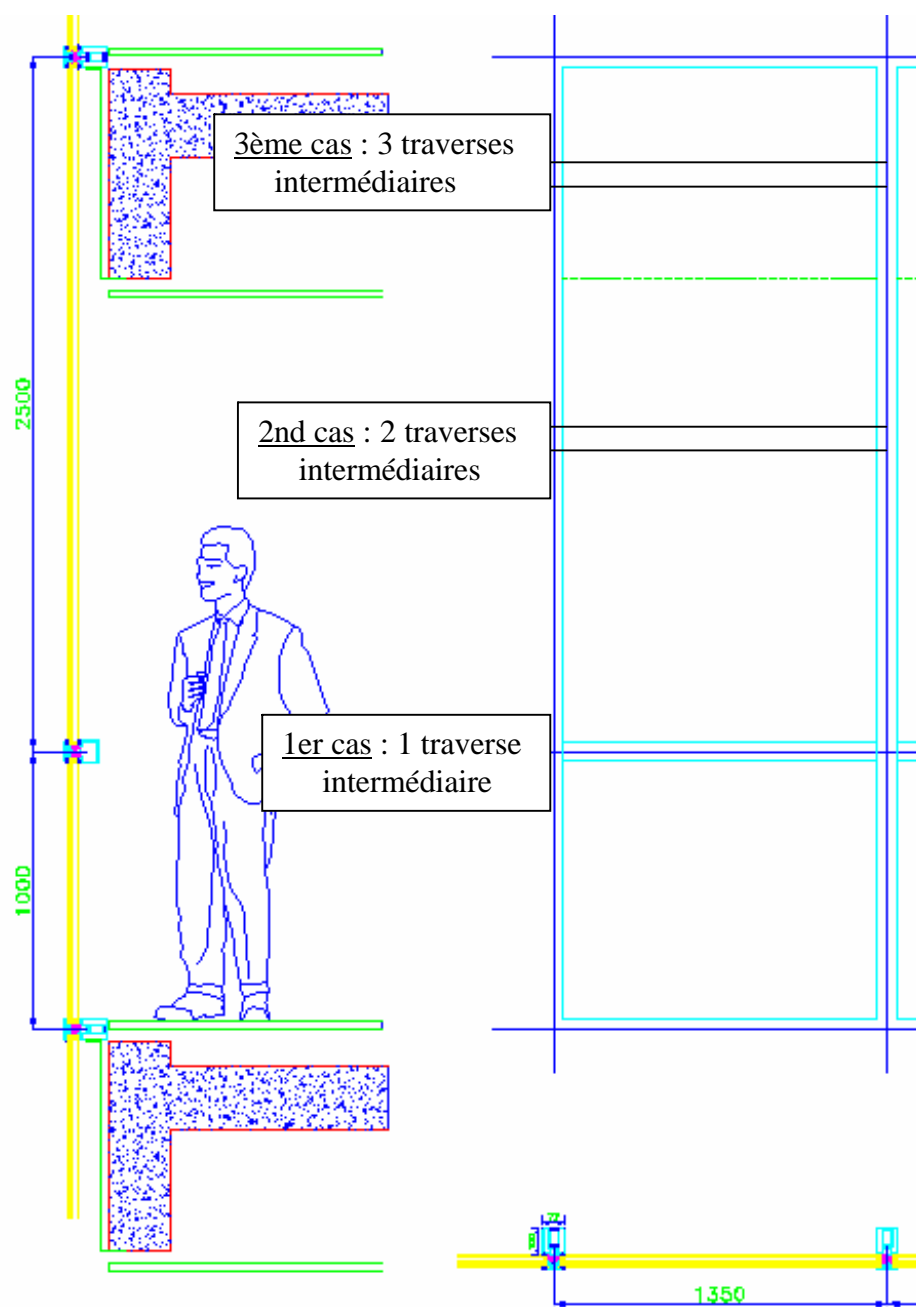
dtot=0.063 m, Rtot=0.843 m²K/W with [h1=25.0 W/m²K, h2=7.7 W/m²K] U=0.99 W/m²K, g=0.06

Hypothèse : store « screen » standard $T_e = 0.10$ / $R_e = 0.40$ / $A_e = 0.5$
(par exemple, store Réf Soltis 99-2058 de l'entreprise Ferrari)

- ① triple-vitrage à couche en face 2 ($\epsilon = 0.04$) avec store intérieur ; **FS = 0.22.**
- ② triple-vitrage à couche en face 2 ($\epsilon = 0.04$) avec store dans lame argon 16 mm ; **FS = 0.19.**
- ③ triple-vitrage à couche en face 2 ($\epsilon = 0.04$) avec store extérieur ; **FS = 0.06.**

d. Influence de certains paramètres sur le calcul U_{cw} :

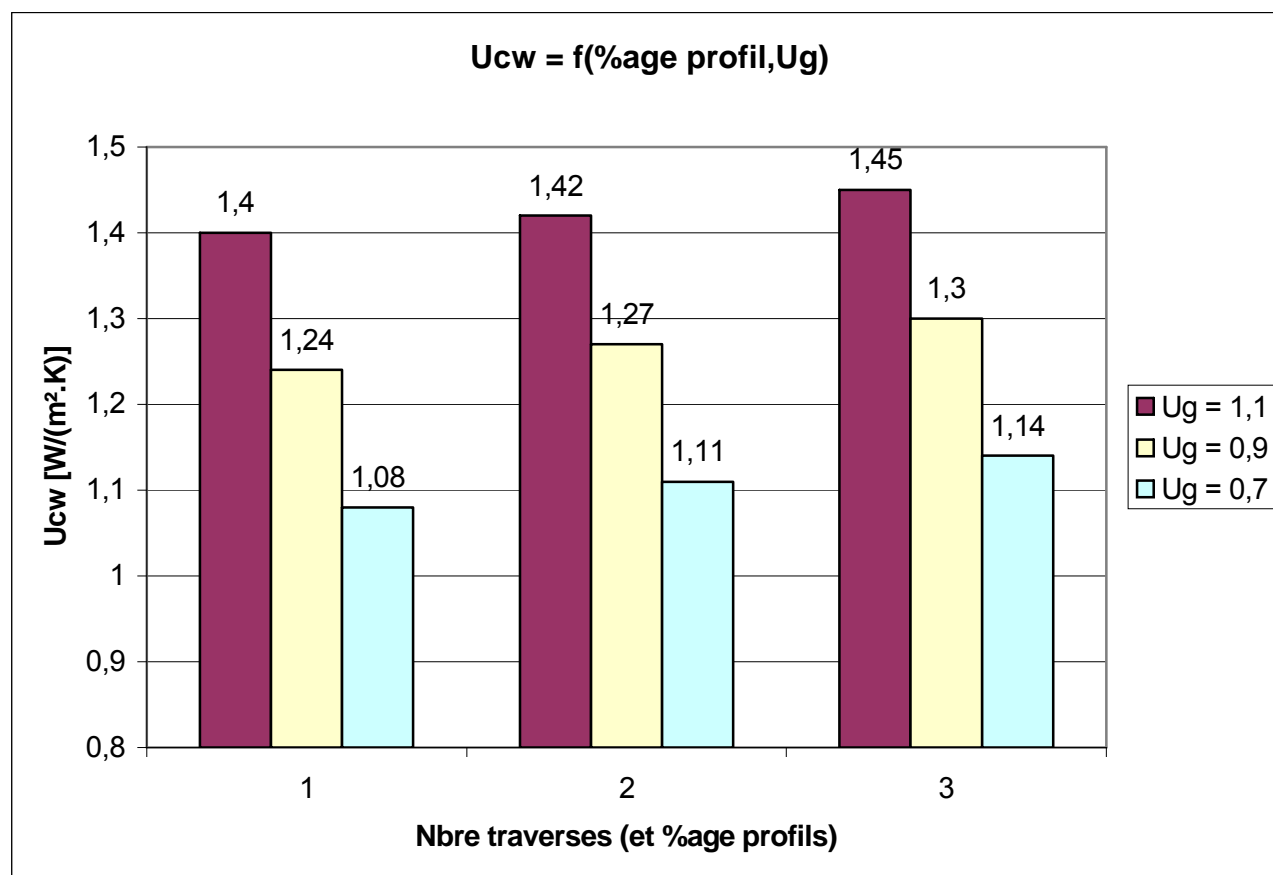
objectif : Faire varier les paramètres (Surface profilés, valeur U_g) pour 1 élément répétitif et voir l'influence sur la valeur U_{cw} .

Figure 4 : élévation du module répétitif pour le calcul de U_{cw}

cas 1 : 1 traverse intermédiaire	cas 2 : 2 traverses intermédiaires	cas 3 : 3 traverses intermédiaires
Stot = 4,725 m ²	Stot = 4,725 m ²	Stot = 4,725 m ²

Commission Métallerie Façades Légères du 7 mai 2008
Compagnie des Ingénieurs Experts près la Cour d'Appel de Paris

Sf =	0,968	m ²	Sf =	1,041	m ²	Sf =	1,12	m ²
Sg =	3,757	m ²	Sg =	3,684	m ²	Sg =	3,605	m ²
pg =	11,18	m	pg =	13,42	m	pg =	15,67	m
Uf =	2,43	W/(m ² .K)	Uf =	2,43	W/(m ² .K)	Uf =	2,43	W/(m ² .K)
Ug1 =	1,1	W/(m ² .K)	Ug1 =	1,1	W/(m ² .K)	Ug1 =	1,1	W/(m ² .K)
Ug2 =	0,9		Ug2 =	0,9		Ug2 =	0,9	
Ug3 =	0,7		Ug3 =	0,7		Ug3 =	0,7	
psi g =	0,01	W/(m.K)	psi g =	0,01	W/(m.K)	psi g =	0,01	W/(m.K)
Ucw 1 =	1,40		Ucw 1 =	1,42		Ucw 1 =	1,45	
Ucw 2 =	1,24	W/(m².K)	Ucw 2 =	1,27	W/(m².K)	Ucw 2 =	1,30	W/(m².K)
Ucw 3 =	1,08		Ucw 3 =	1,11		Ucw 3 =	1,14	
%age profil	20,49		22,03			23,70		



e. Analyse du risque de condensation (définition et un exemple):

Définition :

La condensation est un phénomène naturel qui intervient dès lors que la température de surface d'un corps atteint une température trop basse dite température de rosée.

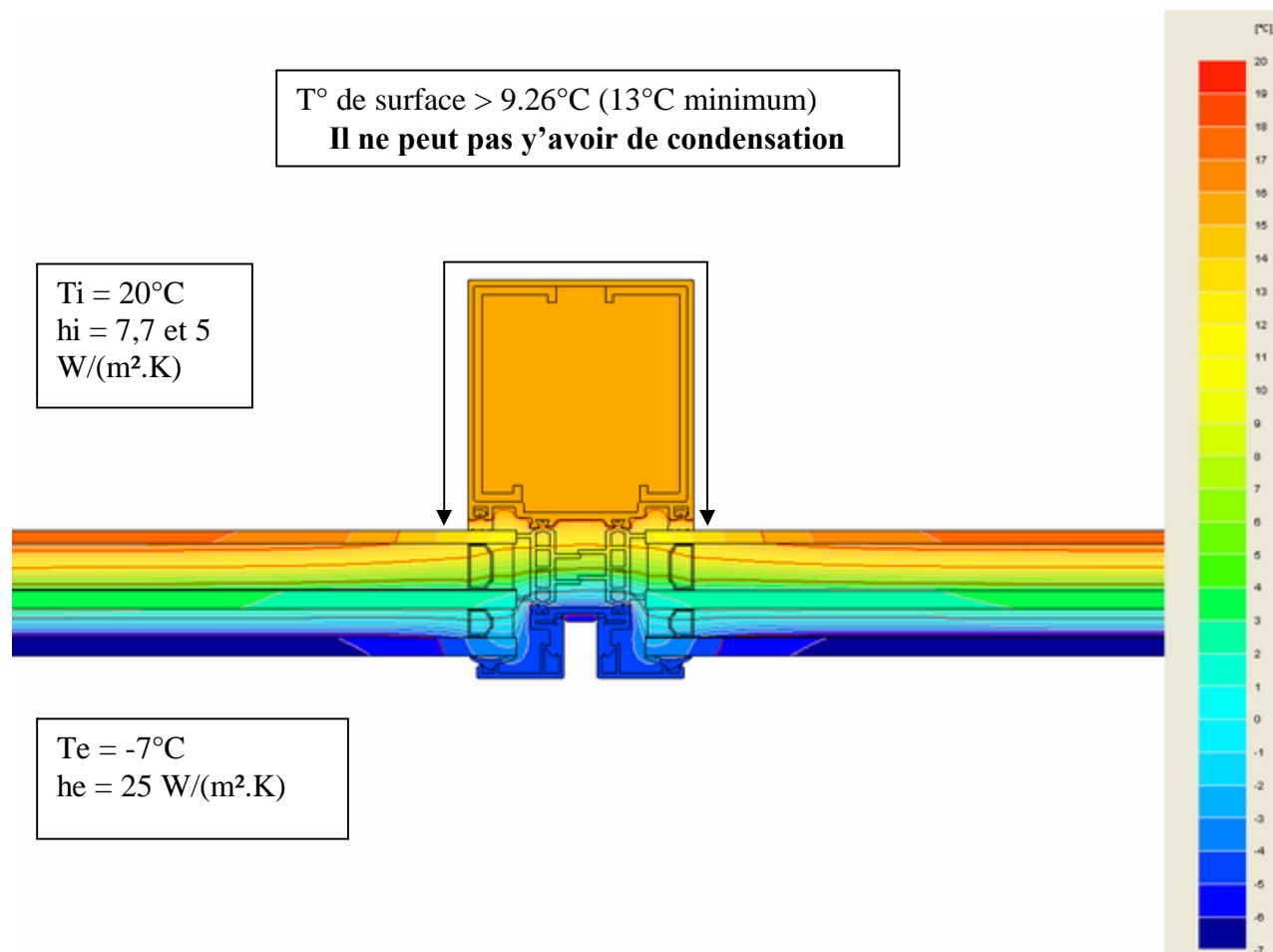
Le point de rosée dépend de la température et de l'humidité relative contenue dans l'air.

Par exemple, pour un bureau dont la température est 20°C et l'humidité relative 50%, il y'a condensation si la température de surface (du profil ou du vitrage) est inférieure ou égale à 9.26 °C.

Exemple de l'analyse du risque de condensation sur une coupe :

La coupe ci-dessous est modélisée numériquement (avec Bisco) ;

Les conditions aux limites sont reportées sur la coupe.



LEXIQUE

☞ VEC : Verre Extérieur Collé.

☞ VEP : Verre Extérieur Parclosé

☞ MR BP : Mur-Rideau de type Bloc-Panneau.

☞ RPT 24/30 : Rupture de Pont Thermique de 24 ou 30 mm (de longueur).

☞ Respirant :

La principale caractéristique d'une façade dite « respirante » est de comporter des filtres (orifices de respiration) en partie basse de la menuiserie.

Ainsi, il y'a **mise en communication entre l'air extérieur et la lame d'air respirante** :

En terme de pressions (absolues), il y'a équilibre entre les deux milieux tandis que **la pression de vapeur d'eau est différente ; les molécules d'eau peuvent migrer de l'extérieur vers la lame d'air (ou inversement) ; on parle de diffusion de vapeur d'eau** (sans mouvement d'air).

L'objectif du dispositif de respiration est de permettre un équilibrage des pressions partielles de vapeur d'eau pour ne pas observer de condensation sur la face intérieure du vitrage extérieur.

☞ ECS solaire : Eau Chaude Sanitaire produite par des cellules photovoltaïques ou panneaux solaires qui transforment l'énergie solaire en énergie électrique ou thermique.

☞ PAC avec bon COP : Pompe à Chaleur avec bon COefficient de Performance. Si la pompe à chaleur est réversible, alors elle peut produire soit du chaud, soit du froid.

☞ régime stationnaire : le flux sortant est égal au flux entrant.

En réalité, il y'a un phénomène qui intervient dans l'équation, nommé « variation d'énergie interne », qui dépend du temps et des caractéristiques thermodynamiques du matériau (masse volumique et chaleur spécifique $[J/(kg.K)]$).

☞ Isotrope : se dit d'un matériau qui possède les mêmes caractéristiques mécaniques dans toutes les directions.

