

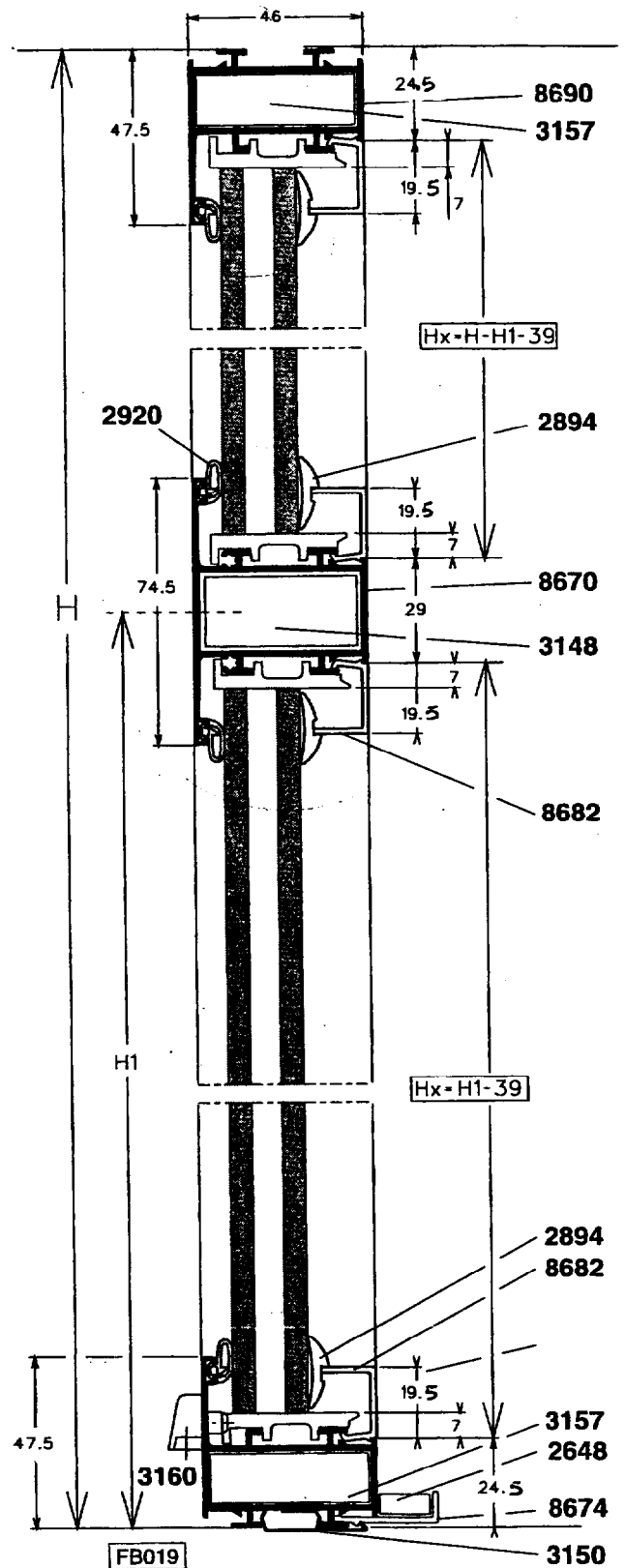
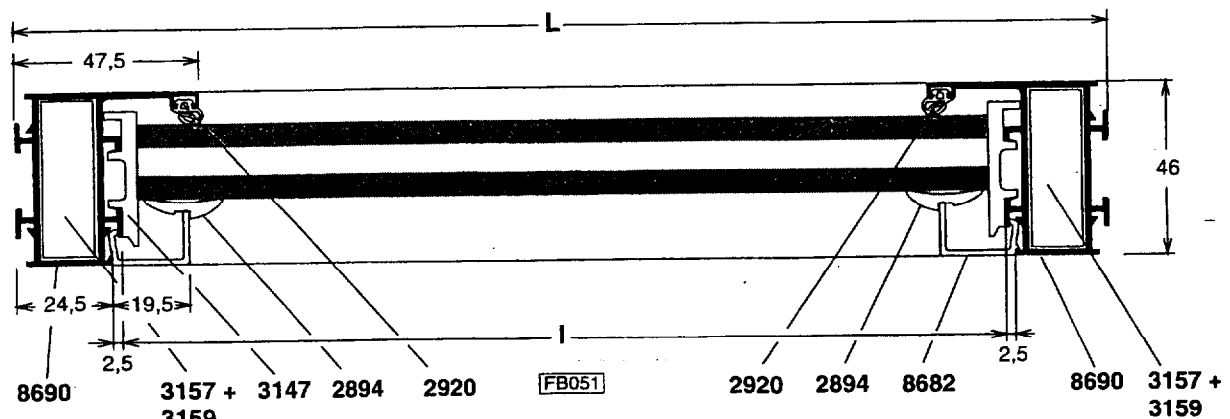
Châssis fixe

Descriptif avec vitrage 20 mm

Réf.	Désignation	Quantité
2894	Joint intérieur	1
2920	Joint multifonction	2
3147	Support cale de vitrage	2
3157	Equerre à sentir-goupiller 43 x 15	2
3159	Coupille Ø8	2
3160	Défecteur	2
8682	Profilé parcloze 14 mm	1
8690	Profilé dormant de 15	1



Coupe horizontale échelle 1/2



Chapitre II Méthodes de calcul

EXTRAITS RT 2000

Une alternative à la méthode de calcul décrite ci-après est la mesure de la paroi vitrée ou de ses composants conformément aux normes d'essai citées au § 1.1.

2.1 Principe

Une paroi vitrée nue est généralement constituée de deux composants principaux qui sont, l'élément de remplissage, et la menuiserie.

Cependant, pour le calcul thermique du coefficient moyen de la paroi, celle-ci doit être décomposée en trois parties distinctes :

- 1 – la partie courante de l'élément de remplissage
Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique qui exclut l'effet de bord, et qui est valable sur toute la surface visible de l'élément de remplissage.
- 2 – la jonction entre la menuiserie et l'élément de remplissage
Elle se caractérise par un coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné du bord de l'élément de remplissage et de la menuiserie. Ce coefficient s'applique au périmètre de la partie visible de l'élément de remplissage.
- 3 – la menuiserie.
Elle se caractérise par un coefficient de transmission surfacique moyen valable sur toute la surface de la menuiserie.

Pour calculer le coefficient moyen de la paroi nue, on procède tout d'abord au calcul des trois coefficients correspondants aux trois zones, puis on détermine le coefficient moyen de la paroi par la pondération respective de chaque coefficient par l'aire ou le linéaire correspondant.

Quant au coefficient moyen $U_{\text{jour-nuit}}$, il sera calculé après détermination de la résistance additionnelle totale ΔR apportée à la paroi vitrée par la résistance thermique propre de la fermeture et celle de la lame d'air située entre la fermeture et la paroi (voir § 2.22 et 2.23).

2.2 Calcul de la paroi vitrée

Ce paragraphe donne les formules générales pour le calcul du coefficient moyen de la paroi vitrée nue en fonction des caractéristiques thermiques de ses éléments. Le § 2.3 est consacré aux méthodes de calcul des différents éléments.

2.21 Fenêtres, portes, et portes-fenêtres

a – simple paroi

Le coefficient de transmission surfacique moyen de la fenêtre, porte ou porte-fenêtre, peut être déterminé soit par calcul conformément à la norme NF EN ISO 10077 parties 1 et 2, soit par mesure à la boîte chaude gardée selon la norme ISO 12567.

En absence de valeurs mesurées ou calculées selon ces normes, des valeurs par défaut sont données aux § 3.3 et 3.5.

Les dimensions à prendre en compte pour le calcul du coefficient surfacique moyen U_w , sont les dimensions hors tout de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre, prises indépendamment de la mise en œuvre. Tout débordement dû aux recouvrements éventuels est à exclure (voir figure 1).

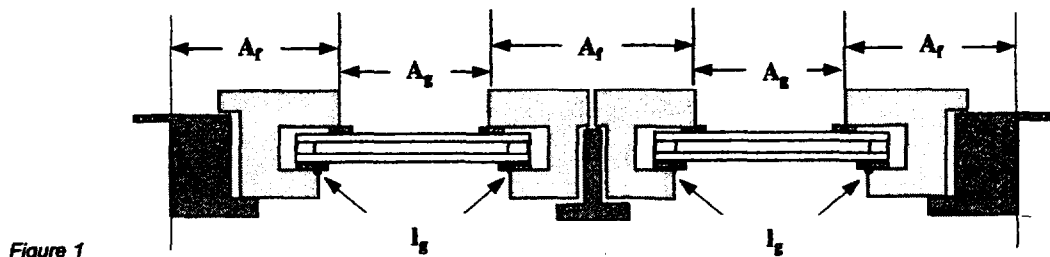


Figure 1

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 23/28

Le coefficient de transmission thermique U_w de la fenêtre, de la porte ou de la porte-fenêtre peut être calculé selon la formule suivante :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + \psi_g l_g}{A_g + A_f} \quad (1)$$

où

A_g est la plus petite des aires visibles du vitrage, vues des deux côtés de la paroi en m^2 . On ne tient pas compte des débordements des joints.

A_f est la plus grande aire projetée de la menuiserie prise sans recouvrements (incluant la surface de la pièce d'appui éventuelle), vue des deux côtés de la paroi, en m^2 .

l_g est la plus grande somme des périmètres visibles du vitrage, vus des deux côtés de la paroi en m.

U_g est le coefficient surfacique en partie centrale du vitrage en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée au § 2.31.

U_f est le coefficient surfacique moyen de la menuiserie en $W/(m^2.K)$ calculé selon la formule suivante :

$$U_f = \frac{\sum U_{fi} A_{fi}}{A_f} \quad (2)$$

U_{fi} étant le coefficient surfacique du montant ou de la traverse numéro i . La méthode de calcul des coefficients U_{fi} est donnée au § 2.32.

A_{fi} étant son aire projetée correspondante. La largeur des montants en partie courante est supposée se prolonger sur toute la hauteur de la fenêtre.

ψ_g est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné de l'intercalaire du vitrage et du profilé, en $W/(m.K)$. La méthode de calcul de ψ_g est donnée au § 2.33.

Lorsque le vitrage est remplacé en partie par un panneau opaque, U_w doit être calculé par la formule ci-après :

$$U_w = \frac{U_g A_g + U_f A_f + U_p A_p + \psi_g l_g + \psi_p l_p}{A_g + A_f + A_p} \quad (3)$$

où

U_p est le coefficient surfacique en partie centrale du panneau opaque en $W/(m^2.K)$. La méthode de calcul correspondante est donnée au § 2.31.

ψ_p est le coefficient linéique dû à l'effet thermique combiné du cadre du panneau et du profilé, en $W/(m.K)$. La méthode de calcul de ψ_p est donnée au § 2.33.

l_p est la plus grande somme des périmètres visibles du panneau, vus des deux côtés de la paroi en m.

b – double paroi

Il s'agit d'un système constitué de deux fenêtres, deux portes ou deux portes-fenêtres, séparées par une lame d'air. Le coefficient surfacique moyen résultant se calcule en fonction des coefficients surfaciques individuels des deux parois U_{w1} , U_{w2} et de la résistance thermique de la lame d'air R_s :

$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - (R_{si} + R_{se}) + (R_s) + \frac{1}{U_{w2}}} \quad (4)$$

R_{si} et R_{se} étant les résistances superficielles, intérieure et extérieure, données au § 2.31 tableau 3.

Cette méthode n'est pas applicable lorsque la lame d'air communique avec l'extérieur par le biais d'ouvertures dont l'aire équivalente dépasse 500 mm^2 par mètre de longueur de paroi pour les lames verticales (pour une lame horizontale voir fascicule « parois opaques »), sans qu'aucune disposition ne soit entreprise pour limiter les échanges d'air avec l'extérieur.

Tableau 1 : Résistance thermique des lames d'air non ventilées – surfaces à forte émissivité

Epaisseur de la lame d'air e mm	Résistance de la lame d'air R_s $m^2.K/W$
0	0.00
5	0.11
7	0.13
10	0.15
15	0.17
25 et > 25	0.18

NOTE – Les valeurs intermédiaires peuvent être obtenues par interpolation linéaire

Les valeurs de R_s correspondant à une lame verticale sont données dans le tableau suivant :

2.22 Paroi vitrée avec fermetures et stores

Ce paragraphe donne la méthode de calcul du coefficient U des parois vitrées équipées de fermetures et stores. Cette méthode reprend les principes établis par la norme NF EN ISO 10077-1 et NF EN 13125.

2.221 – Fermetures extérieures

Les fermetures extérieures sont réparties du point de vue de leur perméabilité à l'air en cinq classes.

Le critère d'évaluation de la perméabilité peut être exprimé par la somme des largeurs des interstices de montage de la fermeture par rapport au gros œuvre. Cette largeur totale est exprimée par e_{tot} en mm et est donnée par l'expression :

$$e_{tot} = e_1 + e_2 + e_3 \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

e_1 , e_2 et e_3 sont les largeurs moyennes des interstices : haut, bas et latéral. Ces valeurs sont définies sur la figure ci-après.

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 24/28

2.3 Calcul des éléments de la paroi vitrée

2.3.1 Eléments de remplissage

Le coefficient surfacique du vitrage U_g ou du panneau opaque U_p caractérise le transfert thermique en partie centrale sans les effets de bords. Il se définit comme étant le flux, en régime stationnaire, par unité de surface et pour une différence de température d'un Kelvin entre les deux ambiances situées de part et d'autre du vitrage. Il s'exprime en Watt par mètre carré par Kelvin, $W/(m^2.K)$.

La méthode de calcul détaillée est décrite dans la norme NF EN 673.

Le principe de calcul est donné ci-après :

a – vitrage isolant

Le coefficient de transmission thermique U_g exprimé en $W/(m^2.K)$ se calcule d'après la formule suivante :

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_k R_{s,k} + R_{si}} \quad (16)$$

où

- R_{se} est la résistance superficielle extérieure, en $m^2.K/W$
- R_{si} est la résistance superficielle intérieure, en $m^2.K/W$
- d_j est l'épaisseur du verre ou de la couche du matériau j (à l'exception de l'air ou du gaz), en m
- λ_j est la conductivité thermique du verre ou de la couche de matériau j , en $W/(m.K)$
- $R_{s,k}$ est la résistance thermique de la lame d'air ou du gaz, en $m^2.K/W$.

Elle se calcule d'après la formule suivante :

$$R_{s,k} = \frac{1}{h_r + h_g} \quad (17)$$

où

h_r est la conductance thermique radiative de la lame de gaz, en $W/(m^2.K)$

$$h_r = 4 \sigma \left(\frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right)^{-1} T_m^3 \quad (18)$$

où

σ est la constante de Stefan-Boltzmann, en $W/(m^2.K^4)$

T_m est la température moyenne absolue de la lame de gaz, en K

ϵ_1 et ϵ_2 sont les émissivités corrigées à la température T_m

h_g est la conductance thermique du gaz, en $W/(m^2.K)$

$$h_g = Nu \frac{\lambda}{s} \quad (19)$$

où

s est l'épaisseur de la lame, en m

λ est la conductivité thermique du gaz, en $W/(m.K)$

Nu est le nombre de Nusselt (si $Nu < 1$ prendre $Nu = 1$)

$$Nu = A (Gr Pr)^n \quad (20)$$

où

A est une constante qui dépend de l'inclinaison du vitrage.

n est un exposant qui dépend de l'inclinaison du vitrage

Gr est le nombre de Grashof

Pr est le nombre de Prandtl

$$Gr = \frac{9.81 s^3 \Delta T \rho^2}{T_m \mu^2} \quad (21)$$

$$Pr = \frac{\mu c}{\lambda} \quad (22)$$

où

ΔT est la différence de température entre les surfaces situées de part et d'autre de la lame de gaz, en K.

ρ est la masse volumique du gaz, en kg/m^3 .

μ est la viscosité dynamique du gaz, en $kg/(m.s)$

c est la capacité thermique massique du gaz, en $J/(kg.K)$

T_m est la température moyenne absolue du gaz, en K

En cas où le vitrage comporte N lames de gaz avec $N > 2$, plusieurs itérations sont nécessaires pour le calcul des résistances $R_{s,k}$.

Ces itérations se font en fonction d'un seul paramètre (ΔT) et avec l'hypothèse d'une température moyenne constante $T_m = 283$ K. La valeur de départ de ΔT est $15/N$, N étant le nombre de lames.

A chaque itération de nouvelles valeurs de ΔT sont calculées et ainsi de suite jusqu'à la convergence de $\Sigma R_{s,k}$ au troisième chiffre significatif.

b – panneau opaque

Le calcul de U_p s'effectue en utilisant la formule (16) où $R_{s,k}$ désigne la résistance thermique de la lame d'air éventuelle faisant partie du panneau.

A défaut d'un calcul détaillé de $R_{s,k}$ conforme au fascicule « parois opaques » les valeurs par défaut, données au tableau 1 peuvent être utilisées pour des lames verticales si leur épaisseur n'excède pas 300 mm.

c – données d'entrée

c.1 – résistances superficielles

Les résistances superficielles extérieure et intérieure dépendent de l'inclinaison de la paroi :

Tableau 3 : Résistances superficielles

Inclinaison de la paroi	R_{si} $m^2.K/W$	R_{se} $m^2.K/W$
$\geq 60^\circ$ (paroi verticale et flux horizontal)	0.13	0.04
$< 60^\circ$ (paroi horizontale et flux ascendant)	0.10	0.04

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 25/28

c.2 – émissivité corrigée

L'émissivité corrigée, ϵ , est obtenue en multipliant l'émissivité normale par le rapport figurant dans le tableau ci-après :

Tableau 4 : Emissivité corrigée

Emissivité normale ϵ_n	Rapport ϵ/ϵ_n
0.05	1.18
0.10	1.14
0.20	1.10
0.30	1.06
0.40	1.03
0.50	1.00
0.60	0.98
0.70	0.96
0.80	0.95
0.90	0.94

Des valeurs intermédiaires peuvent être obtenues avec une précision suffisante par interpolation linéaire

L'émissivité normale utile ϵ_n à utiliser pour le calcul doit être prise égale à l'émissivité déclarée majorée de :

- 0.0 si le coefficient U_g du vitrage isolant fait l'objet d'une certification menée par un organisme accrédité COFRAC ou équivalent sur la base d'une émissivité certifiée par un membre de l'UEATC.
- x si la paroi vitrée est certifiée ACOTHERM ou équivalent, où x est déterminé au cas par cas par le comité de la marque (x = 0 ou 0.02)
- 0.02 dans les autres cas

L'émissivité normale déclarée doit être justifiée par un rapport d'essai émanant d'un laboratoire indépendant sinon considérer le vitrage comme non traité.

c.3 – valeurs de la constante A et de l'exposant n

Tableau 5 : Valeurs de A et de n

	vitrage vertical	vitrage incliné à 45°	vitrage horizontal
A	0.035	0.1	0.16
n	0.36	0.31	0.28

Pour des angles intermédiaires, une interpolation linéaire est possible pour retrouver les valeurs correspondantes de A et de n.

c.4 – propriétés des gaz de remplissage

Il s'agit de quatre propriétés données en fonction de la température moyenne de la lame de gaz et qui servent au calcul de la conductance de gaz h_g .

Le tableau suivant récapitule les valeurs pour les quatre gaz : Air, Argon, Xénon et Krypton.

En cas où la lame de gaz contient deux ou plusieurs gaz à la fois, les propriétés résultantes du mélange sont obtenues par pondération proportionnelle aux volumes correspondants, F1, F2,...

$$\text{Gaz1} : P1 \quad \text{Gaz2} : P2 \quad \text{etc} \quad \rightarrow P = P1 F1 + P2 F2 + \dots$$

Où P représente la propriété concernée : masse volumique, viscosité dynamique, conductivité thermique ou chaleur massique.

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 26/28

Pour les gaz autres que l'air, le taux de remplissage doit être justifié à l'état initial et dans le temps, par un Avis Technique ou une certification délivrée par un organisme accrédité COFRAC, ou équivalent sinon un taux de remplissage d'air de 100 % doit être utilisé.

Tableau 6 : Propriétés des gaz

Gaz	Température T_m °C	Masse volumique ρ Kg/m ³	Viscosité dynamique μ Kg/(m.s)	Conductivité thermique λ W/(m.K)	Chaleur massique à pression constante c J/(Kg. K)
Air	-10	1.326	1.661×10^{-5}	2.336×10^{-2}	1.008×10^3
	0	1.277	1.711×10^{-5}	2.416×10^{-2}	
	10	1.232	1.761×10^{-5}	2.496×10^{-2}	
	20	1.189	1.811×10^{-5}	2.576×10^{-2}	
Argon	-10	1.829	2.038×10^{-5}	1.584×10^{-2}	0.519×10^3
	0	1.782	2.101×10^{-5}	1.634×10^{-2}	
	10	1.735	2.164×10^{-5}	1.684×10^{-2}	
	20	1.690	2.228×10^{-5}	1.734×10^{-2}	
Xénon	-10	6.121	2.078×10^{-5}	0.494×10^{-2}	0.161×10^3
	0	5.897	2.152×10^{-5}	0.512×10^{-2}	
	10	5.689	2.226×10^{-5}	0.529×10^{-2}	
	20	5.495	2.299×10^{-5}	0.546×10^{-2}	
Krypton	-10	3.832	2.287×10^{-5}	0.542×10^{-2}	0.245×10^3
	0	3.690	2.330×10^{-5}	0.570×10^{-2}	
	10	3.550	2.400×10^{-5}	0.590×10^{-2}	
	20	3.420	2.470×10^{-5}	0.628×10^{-2}	

c.5 – valeurs par défaut

Les valeurs suivantes doivent être utilisées quand il s'agit d'un calcul effectué dans le but de comparer les produits entre eux ou en absence de toute autre source de donnée.

Tableau 7 – Valeurs par défaut

Paramètres	valeur	unité
R_{se} résistance superficielle extérieure pour un verre sans couche particulière	0.04	m ² .K/W
R_{si} résistance superficielle intérieure pour un verre sans couche particulière	0.13	m ² .K/W
λ_g conductivité thermique du verre	1.0	W/(m.K)
ϵ_n émissivité normale d'une surface de verre, non traité	0.89	
T_m température moyenne de la lame de gaz	283	K
ΔT différence de température entre les surfaces chaudes de part et d'autre de la lame de gaz	15	K
σ constante de Stefan-Boltzmann	5.67×10^{-8}	W/(m ² .K ⁴)
A constante	0.035	
n exposant	0.38	

d – Présentation des résultats

d.1 – expression des valeurs

- La valeur de U_g vitrage doit être arrondie à un chiffre après la virgule.
- L'émissivité normale doit être arrondie à deux chiffres après la virgule.
- Les autres valeurs intermédiaires des paramètres servant au calcul de U_g ne doivent pas être arrondies.

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 27/28

3.2 Coefficient ψ de la jonction élément de remplissage – menuiserie, en $W/(m.K)$

Les valeurs par défaut ci-après peuvent être utilisées en absence de valeurs plus précises obtenues en appliquant la méthode décrite au § 2.33.

a – l'élément de remplissage est un vitrage double à intercalaire aluminium, pris dans une feuillure (fenêtres et portes-fenêtres uniquement).

Tableau 17

Matériaux de la menuiserie*	Vitrage double ou triple, verre non traité, lame d'air ou de gaz	Vitrages doubles à faible émissivité, vitrage triple avec deux couches à faible émissivité, lame d'air ou de gaz
	ψ_0 $W/(m.K)$	ψ_0 $W/(m.K)$
Bois ou plastique	0.05	0.08
Métal à coupure thermique	0.07	0.10
Métal sans coupure thermique	0.0	0.02

* Si le vitrage est tenu dans la feuillure par un élément métallique, la menuiserie doit être considérée comme métallique

b – l'élément de remplissage est un panneau opaque avec cadre.

Tableau 18

Type de panneau	Conductivité thermique du cadre λ $W/(m.K)$	Coefficient linéique de la jonction panneau – menuiserie ψ_0 $W/(m.K)$
Aluminium/Aluminium	0.2	0.17
	0.4	0.26
Aluminium/Verre	0.2	0.14
	0.4	0.20
Acier/Verre	0.2	0.12
	0.4	0.17

3.3 Coefficient U_w des parois vitrées courantes

Définition des parois vitrées courantes

- vitrages : ils sont constitués de verres d'épaisseurs 4 mm. Le coefficient de transmission surfacique en partie courante varie entre 1.2 et 2.9 $W/(m^2.K)$
- menuiseries métalliques : pour les menuiseries métalliques à rupture de pont thermique, trois valeurs du coefficient U_f de menuiserie sont envisagées : 3.0 – 4.0 et 5.0 $W/(m^2.K)$
- menuiseries PVC : trois valeurs du coefficient U_f de menuiserie sont envisagées : 1.5 – 1.8 et 2.5 $W/(m^2.K)$

- menuiseries bois : deux essences sont envisagées correspondant à deux conductivités thermiques utiles : 0.13 et 0.18 $W/(m.K)$
- intercalaires : Les valeurs utilisées correspondent à des intercalaires en aluminium (voir tableau 17).
- rapport de la surface de clair à la surface hors tout de la fenêtre σ'
- Dimensions conventionnelles hors tout de la fenêtre ou de la porte-fenêtre (2 vantaux).

Tableau 19

	σ'	Dimensions conventionnelles Hauteur x Largeur (m)
Métal avec coupure thermique		
– Fenêtre battante	0.66	1.48 x 1.45
– Porte-fenêtre battante	0.71	2.18 x 1.45
– Fenêtre coulissante	0.74	1.48 x 1.85
– Porte-fenêtre coulissante	0.8	2.18 x 1.85
PVC		
– Fenêtre battante	0.62	1.48 x 1.45
– Porte-fenêtre battante sans soubassement	0.65	2.18 x 1.45
– Porte-fenêtre battante avec soubassement	0.57	2.18 x 1.45
– Fenêtre coulissante	0.69	1.48 x 1.85
– Porte-fenêtre coulissante	0.74	2.18 x 1.85
Bois		
– Fenêtre battante	0.66	1.48 x 1.45
– Porte-fenêtre battante sans soubassement	0.71	2.18 x 1.45
– Porte-fenêtre battante avec soubassement	0.60	2.18 x 1.45
– Porte-fenêtre coulissante sans soubassement	0.71	2.18 x 1.85

BTS ENVELOPPE DU BATIMENT	SUJET	Session 2003
Epreuve U41 Sciences du Bâtiment	Durée : 2 Heures 40	Coefficient : 2
CODE : EBE4SB		Page : 28/28