

Fiche technique Fenêtres

La fenêtre dans le calcul
de la consommation d'énergie



Avec le soutien de



La fenêtre est un élément important de l'enveloppe d'un bâtiment. Son influence sur les besoins énergétiques, sur la protection thermique estivale et sur le confort est considérable. La présente fiche technique résume, pour un système de fenêtre, toutes les exigences ayant une influence sur les besoins de chaleur. Cette fiche technique soutient les planificateurs dans la préparation des justificatifs énergétiques, des demandes Minergie, dans l'évaluation des bâtiments existants et dans le conseil énergétique, notamment pour l'élaboration d'un Certificat énergétique cantonal du bâtiment (CECB).

Sommaire	Page
■ Bases de détermination de la valeur U d'une fenêtre (U_w)	3
■ Justificatif par performances ponctuelles	4
■ Justificatif par performance globale	5
■ Montage d'une fenêtre	8
■ Valeurs U_w	9
■ Calcul de la valeur U_w	10
■ Informations complémentaires	12
■ La fenêtre en tant qu'élément de l'enveloppe du bâtiment	14

Bases de détermination de la valeur U d'une fenêtre (U_w)

Une fenêtre est une construction inhomogène dont les composants présentent des propriétés isolantes différentes les unes des autres. Dans le calcul, les valeurs U du cadre et du vitrage sont intégrées proportionnellement à leur surface et l'effet du pont thermique des intercalaires est pris en compte par son coefficient de transmission thermique linéique.

Valeur U du vitrage (U_g)

Le coefficient de transmission thermique d'un vitrage est désigné par l'abréviation U_g . Il doit être déclaré selon la norme DIN EN 673. Les triples vitrages avec gaz de remplissage peuvent atteindre des valeurs allant jusqu'à $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Valeur U du cadre de fenêtre (U_f)

Le coefficient moyen de transmission thermique d'un cadre de fenêtre est désigné par l'abréviation U_f . Sa valeur dépend du matériau qui le compose et de la conception du profil. Pour déterminer la valeur U_f moyenne du cadre, se reporter à la norme SIA 331.

Intercalaires (Ψ_g)

Le coefficient linéique de transmission thermique des intercalaires est désigné par l'abréviation Ψ_g . Les intercalaires sont fabriqués en acier inoxydable, en matière synthétique ou en aluminium, et la valeur du coefficient linéique varie en fonction du vitrage et du matériau utilisé pour le cadre.

Surface des fenêtres (A_w)

La surface des fenêtres A_w est constituée des vides réservés aux fenêtres dans les murs extérieurs et la toiture; ce qui correspond aux dimensions nettes de la fenêtre. Cette surface sert de grandeur de référence pour déterminer sa valeur U .

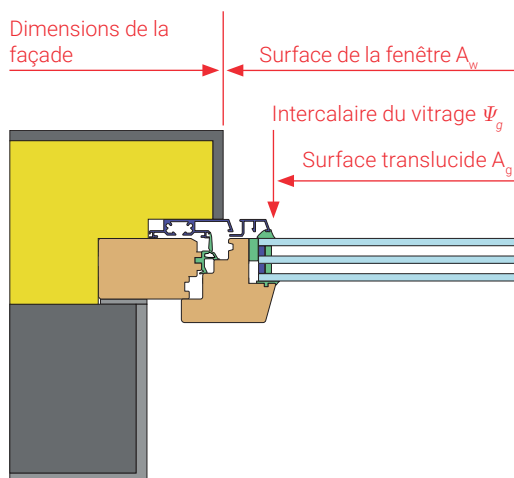


Figure 1: Appui de fenêtre

Procédure de justification

La norme SIA 380/1 prévoit deux procédures de justification énergétique:

- la justification par performances ponctuelles, qui est une procédure simplifiée consistant à vérifier le respect des exigences ponctuelles de chaque élément de construction;
- la justification par performance globale, qui porte sur le respect des exigences concernant les besoins limites de chaleur pour le chauffage $Q_{H,li}$ pour le bâtiment.

Taux de transmission d'énergie globale (g)

La valeur g définit la part du rayonnement solaire qui traverse le vitrage. La valeur utilisée pour le vitrage est le taux de transmission d'énergie globale g_{\perp} d'un rayon tombant perpendiculairement au vitrage. Elle est déterminante pour évaluer un vitrage par rapport au bilan énergétique total. Il existe une multitude de produits aux valeurs g très variées.

La valeur U_w est déterminée sur la base des coefficients de transmission thermique de tous les éléments de la fenêtre (cadre, vitrage et intercalaires), qu'ils soient linéaires ou qu'ils se rapportent à une surface, additionnés les uns aux autres.

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi_g \cdot l}{A_w}$$

U, Ψ	= coefficient de transmission thermique		
A_f	= surface du cadre		
Dimensions	A = surface	l = longueur	
Index	w = fenêtre	f = cadre	g = vitrage

Outil de calcul

Le calcul des valeurs U des fenêtres peut être effectué à l'aide de l'outil de calcul «fenêtre» de la Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK), mis gratuitement à disposition sur le site www.endk.ch

Tableau 1: Calcul de la valeur U_w

Justificatif par performances ponctuelles

Deux voies s'offrent pour la justification: le justificatif par performances ponctuelles ou le justificatif par performance globale (page 5).

Domaine d'application

Le justificatif par performances ponctuelles ne peut pas être utilisé:

- pour les façades-rideaux
- pour les vitrages avec protection solaire dont le taux de transmission d'énergie globale $g < 0,3$

Façades-rideaux: dans ces façades, la grandeur des vides réservés aux fenêtres – par conséquent leur surface – ne peut être définie, raison pour laquelle un justificatif par performances ponctuelles n'est pas accepté.

Calcul de la performance ponctuelle (U_w) d'une fenêtre

Pour le justificatif par performances ponctuelles, la valeur U_w est calculée sur la base d'une fenêtre normée à deux battants avec dimensions nettes de 1,55 m sur 1,15 m. La part de vitrage est fonction des dimensions spécifiques.

Simplification: à défaut de justification des dimensions spécifiques, la part vitrée d'une fenêtre normée peut être fixée à 75%.

Exemple

Une valeur $U_w \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ est possible comme suit:

- Système de fenêtre avec part vitrée = 75%:
 $U_g \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$; $U_f \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$;
 $\Psi_g \leq 0,045 \text{ W/mK}$

Pour le justificatif par performances ponctuelles de la fenêtre, seul un cadre d'une largeur maximale de 15 cm est autorisé (figure 2). Tout ce qui dépasse cette largeur (cadre élargi, panneau) doit satisfaire aux exigences fixées pour les éléments de construction opaques ou pour les caissons de store, même si inclus dans les dimensions nettes de la fenêtre.

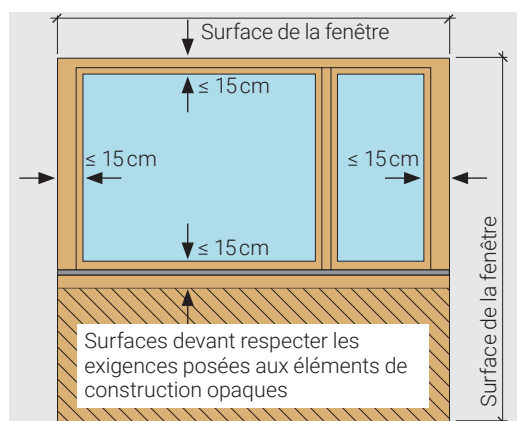


Tableau 2: Valeurs limites U_{ii} pour fenêtres selon la norme SIA 380/1:2016

Figure 2: Fenêtre et éléments de construction adjacents

Valeur limite U_{ii}

La norme SIA 380/1 définit les exigences thermiques imposées aux éléments constituant l'enveloppe thermique d'un bâtiment. Les valeurs limites applicables sont celles fixées en fonction des catégories d'ouvrages, pour une température ambiante standard (θ_i) de 20 °C. Si la température ambiante du bâtiment ou d'une partie du bâtiment s'écarte des 20 °C, les valeurs limites U_{ii} sont adaptées. Un degré Kelvin d'écart entraîne une diminution ou une augmentation de la valeur limite de 5%. Les valeurs limites sont corrigées tout au plus jusqu'à la valeur cible de 0,80 W/m²K des fenêtres. Les valeurs limites s'appliquent indifféremment aux positions de montage horizontales, inclinées et verticales.

Exemples de corrections de U_{ii}

- Catégorie d'ouvrage: industrie ($\theta_i = 18 \text{ °C}$):
 U_{ii} de 1,0 W/m²K sera augmentée de 10% ,
 U_{ii} applicable à l'industrie = 1,1 W/m²K
- Catégorie d'ouvrage: piscine couverte ($\theta_i = 28 \text{ °C}$):
 U_{ii} de 1,0 W/m²K sera corrigée à la valeur cible,
 U_{ii} applicable à une piscine couverte = 0,8 W/m²K

Caissons de store

Les caissons de store ne sont pas intégrés dans le calcul de la valeur U_w d'une fenêtre, mais considérés comme éléments de construction séparés. Leur valeur limite U_{ii} est de 0,50 W/m²K.

Fenêtres, portes-fenêtres	
Contre extérieur	1,0 W/m ² K
Contre locaux non chauffés	1,3 W/m ² K
Caissons de store	0,50 W/m ² K
Portes	
Contre extérieur	1,2 W/m ² K
Contre locaux non chauffés	1,5 W/m ² K

Justificatif Couverture des besoins de chaleur dans les bâtiments à construire

Lorsque l'une des solutions standard prévoyant des exigences renforcées pour les fenêtres est sélectionnée dans le justificatif «Couverture des besoins de chaleur dans les bâtiments à construire», une valeur U_w de 0,8 W/m²K doit être respectée pour les fenêtres.

Justificatif par performance globale

Dans le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage, les caractéristiques d'isolation thermique des fenêtres (déperditions de chaleur par transmission) ainsi que les gains solaires qu'elles permettent sont pris en compte. La norme SIA 380/1 définit différentes valeurs de calcul et les conditions d'utilisation de celles-ci.

Valeurs de calcul des gains solaires

Les valeurs de calcul sont des valeurs spécifiques relatives à des conditions définies permettant de simplifier le calcul des besoins de chaleur pour le chauffage. Pour le calcul des gains solaires par les fenêtres, les valeurs suivantes sont déterminantes:

- Taux de transmission d'énergie globale
- Quote-part vitrée des fenêtres
- Facteur d'ombrage dû à l'effet des ombres permanentes

Taux de transmission d'énergie globale g_{\perp}

Selon la norme SIA 380/1:2016, 3.5.4.11, les valeurs de calcul à utiliser sont celles mentionnées dans le tableau 3. L'utilisation de meilleures valeurs doit être justifiée. Attention: des valeurs g_{\perp} plus basses peuvent apparaître en fonction du nombre de verres, de leur épaisseur, de leur qualité et des revêtements dont ils sont pourvus. Dans le justificatif par performance globale, la valeur g_{\perp} est multipliée par le facteur 0,9 (pour compenser l'angle d'incidence et les salissures).

Type de vitrage		Valeur g_{\perp}
Double vitrage avec revêtement isolant	Verre isolant	0,55
Triple vitrage avec revêtement isolant	Verre isolant	0,50

En ce qui concerne des surfaces vitrées contre des locaux contigus, y compris des vérandas et atriums, ou contre un puits de lumière, la valeur g est égale à zéro.

Verre spécial

En cas d'exigences supplémentaires concernant la protection contre le bruit, le dispositif anti-effraction, la protection contre les chutes et autres, il convient de tenir compte de leur influence sur la valeur U_g et la valeur g .

Quote-part vitrée des fenêtres f_f

L'importance des gains solaires est directement liée à la surface du vitrage A_g (surface translucide). Cette surface est fonction de la quote-part vitrée des fenêtres f_f , définie par le rapport entre la surface du vitrage A_g et la surface de la fenêtre A_w . Par mesure de simplification, un facteur de 0,75 peut être utilisé. Un facteur $f_f \geq 0,75$ doit être justifié sur la base de plans détaillés (cf. norme SIA 380/1:2016, 3.5.4.12).

Facteur d'ombrage dû à l'effet des ombres permanentes f_s

Ce facteur d'ombrage intègre la diminution du rayonnement solaire due à la topographie du lieu, aux autres constructions environnantes et à des éléments fixes du bâtiment concerné (balcons, etc.). Ce facteur de réduction se compose de trois facteurs partiels (voir tableau 4). Les valeurs de calcul f_{s1} , f_{s2} et f_{s3} sont définies dans les tableaux 20 à 22 de la norme SIA 380/1:2016.

f_{s1}	Facteur de réduction dû à l'horizon
f_{s2}	Facteur de réduction dû à un surplomb
$f_{s3,g}$	Facteur de réduction dû à un écran latéral gauche
$f_{s3,d}$	Facteur de réduction dû à un écran latéral droit

$$f_s = f_{s1} \cdot f_{s2} \cdot f_{s3,g} \cdot f_{s3,d}$$

Tableau 4: Facteur d'ombrage dû à l'effet des ombres permanentes

Surfaces horizontales

Pour les fenêtres horizontales (jusqu'à une inclinaison de 60°), seul le facteur de réduction dû à l'horizon f_{s1} est utilisé selon la norme SIA 380/1:2016, 3.5.4.13.4. L'angle de l'horizon est déterminé pour les quatre points cardinaux par rapport au milieu de la fenêtre, l'ombre produite par le bâtiment lui-même étant prise en compte. On obtient le facteur d'ombrage dû à l'effet des ombres permanentes f_s en multipliant les valeurs des quatre points cardinaux.

Tableau 3: Taux de transmission d'énergie globale du vitrage (valeur g_{\perp})

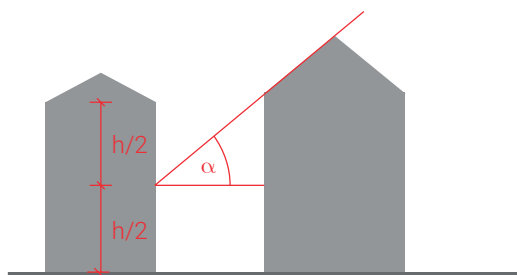


Figure 3: Coupe

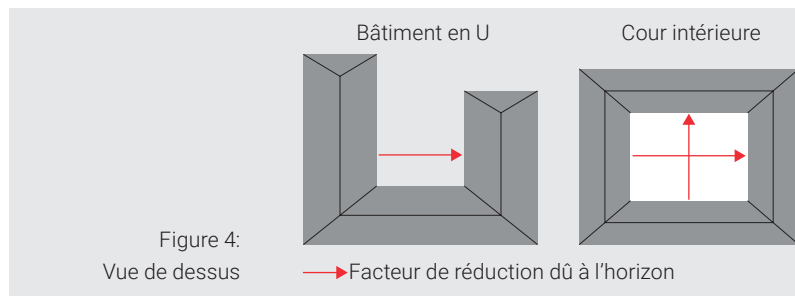
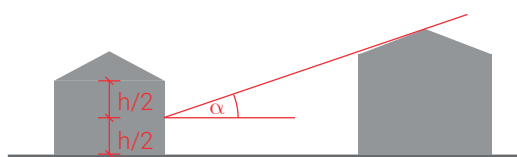


Figure 4:
Vue de dessus

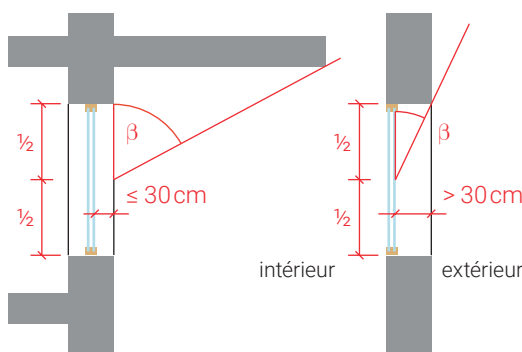


Figure 5: Coupe

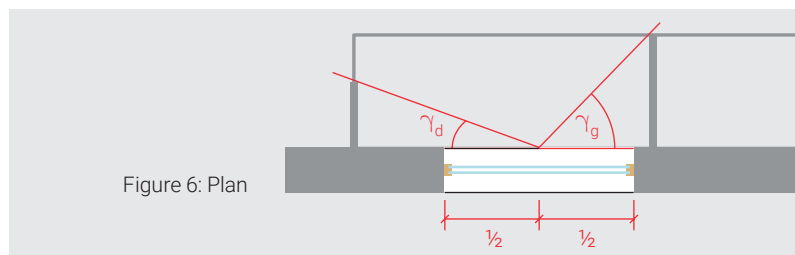


Figure 6: Plan

Embrasure de fenêtre de plus de 30 cm

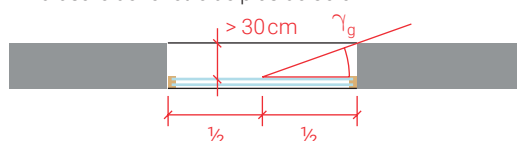


Figure 7: Plan

■ Facteur de réduction dû à l'horizon f_{s1}

Le facteur de réduction dû à l'horizon prend en compte l'effet des ombres permanentes dues aux bâtiments voisins, à son propre bâtiment et à la topographie du lieu; il est défini pour chaque façade. L'angle horizontal α se rapporte au milieu de la façade concernée.

En l'absence d'un justificatif spécifique, les valeurs suivantes sont à utiliser pour déterminer le facteur f_{s1} :

■ Lorsque les prescriptions de zone autorisent la construction de bâtiments de trois étages ou plus à proximité du bâtiment concerné, ou que des bâtiments plus hauts que celui-ci existent déjà: angle horizontal $\alpha = 30^\circ$

■ Dans les autres cas: angle horizontal $\alpha = 20^\circ$
Ces valeurs doivent être utilisées sauf s'il est possible de prouver que d'autres s'imposent. La figure 3 montre à l'aide de 2 situations l'effet de la hauteur et de la distance d'un bâtiment sur le facteur f_{s1} .

L'ombre produite par le bâtiment lui-même doit aussi être prise en compte (figure 4).

■ Embrasures de fenêtre

Concernant l'ombrage de la fenêtre, il faut tenir compte de la position de la fenêtre dans l'épaisseur de la paroi extérieure. L'ombre doit être intégrée dans le calcul dès que la profondeur de l'embrasure dépasse 30 cm.

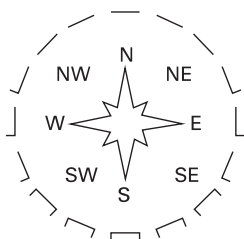
■ Facteur de réduction dû à un surplomb f_{s2}

Le facteur de réduction dû à un surplomb prend en compte l'effet des ombres permanentes dues aux éléments saillants de la façade. Il doit être déterminé fenêtre par fenêtre et se rapporte chaque fois au milieu de la fenêtre (figure 5). Les dalles de balcon ou les avant-toits représentent un exemple typique de surplomb.

■ Facteur de réduction dû à un écran latéral f_{s3}

Le facteur de réduction dû à un écran latéral prend en compte l'effet des ombres permanentes des écrans latéraux. Il doit être déterminé fenêtre par fenêtre au milieu de la fenêtre et se rapporte aux deux côtés (figure 6). En ce qui concerne les fenêtres orientées à l'est et à l'ouest, il s'applique aux écrans latéraux situés sur le côté sud de la fenêtre. Pour les revêtements latéraux situés sur le côté nord, le facteur 1,0 s'applique. Exemples typiques d'utilisation de ce facteur: balcons en retrait ou retraits de façade.

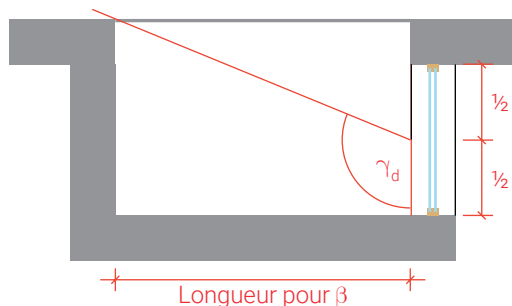
Facteur d'ombrage dû à l'effet des ombres permanentes des deux côtés: chaque angle est déterminé par rapport au milieu de la fenêtre. La valeur de calcul s'applique pour un écran unilatéral. En ce qui concerne les fenêtres orientées sud-est à sud-ouest avec des écrans latéraux des deux côtés, les deux valeurs de calcul doivent être multipliées l'une par l'autre (figure 6).



Ombrage sur des surfaces vitrées dû à des éléments fixes placés à l'extérieur: si le rayonnement solaire est entravé par des ombrages fixes, le taux de transmission d'énergie globale doit être réduit en conséquence (protection contre les chutes devant des portes de balcon, lamelles en bois plaquées devant une surface vitrée, etc.).

Facteurs de réduction applicables aux fenêtres en retrait du plan principal de la façade: pour des loggias ou des balcons en retrait, le surplomb f_{s2} et l'écran latéral f_{s3} doivent être pris en compte pour chaque fenêtre (figures 8 et 9).

Loggia; fenêtre latérale; vue en plan



Balcon; fenêtre latérale; vue en plan

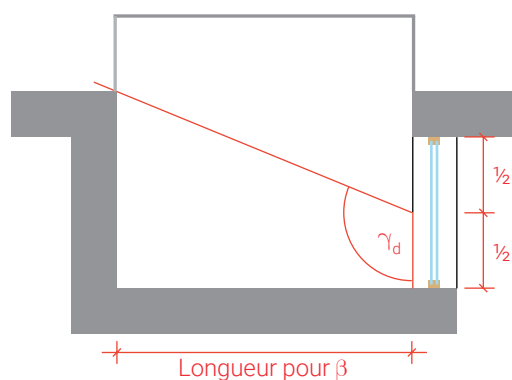
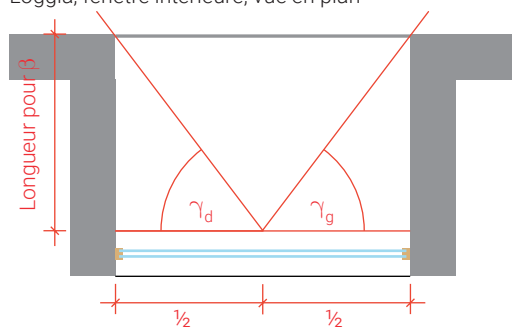


Figure 8: Ecran latéral unilatéral

Loggia; fenêtre intérieure; vue en plan



Balcon; fenêtre intérieure; vue en plan

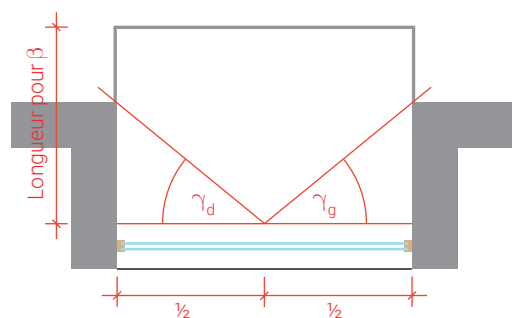


Figure 9: Ecrans latéraux des deux côtés

Montage d'une fenêtre

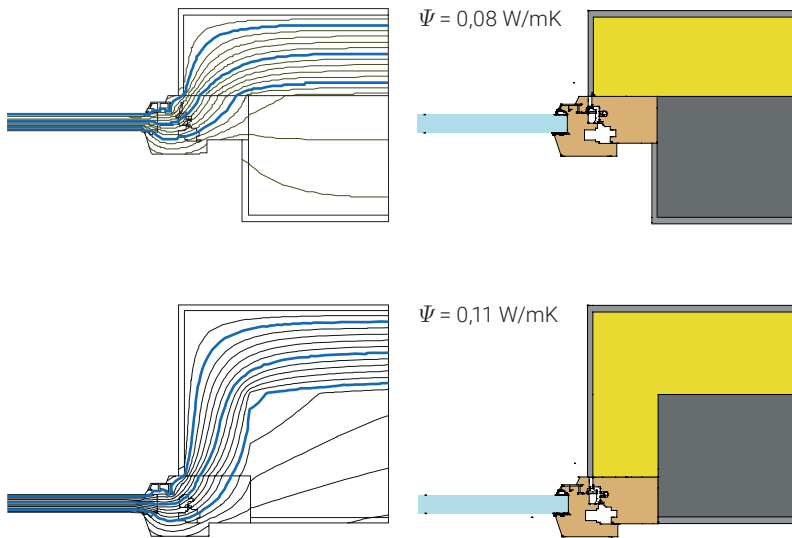


Figure 10: Montage d'une fenêtre

Ci-dessus, exemples de montage de cadre de fenêtre sur une façade extérieure et influence sur le pont thermique, en fonction du type d'appui. Les valeurs se réfèrent à une valeur U_f du cadre = $1,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Pour limiter les déperditions thermiques, le cadre de fenêtre doit être installé au niveau de l'isolation périphérique de la façade. L'isolation doit recouvrir le mieux possible le cadre fixe de la fenêtre.

Installation optimisée

- L'installation d'une fenêtre exige qu'une grande attention soit portée à la planification et à l'exécution de la construction.
- La norme SIA 380/1:2016 exige la prise en compte des ponts thermiques. Pour un justificatif par performances ponctuelles, procédure normale, la valeur limite de $0,15 \text{ W/mK}$ doit être respectée pour l'appui.
- Un emplacement inadéquat peut grandement diminuer les avantages offerts par la qualité du vitrage et du cadre de fenêtre.

Ponts thermiques

Les ponts thermiques sont des parties de l'enveloppe du bâtiment dont la résistance thermique est plus faible que celle d'une surface extérieure ininterrompue. Ils sont souvent responsables d'une augmentation des pertes thermiques par transmission, aussi est-il conseillé d'atténuer dans la mesure du possible leurs effets au moyen de mesures constructives. S'il n'est pas possible d'éliminer le pont thermique à l'appui de la fenêtre (c'est-à-dire à la jonction entre la fenêtre et la paroi externe), on peut en revanche en diminuer les conséquences.

Influence de l'appui de fenêtre sur la valeur Ψ_w

La valeur Ψ_w de l'appui de fenêtre est influencée par:

- La valeur U de la paroi extérieure adjacente et du cadre de la fenêtre
- La qualité du raccord
- La profondeur et l'épaisseur d'isolation de l'embrasure



Valeurs U_w

Anciennes fenêtres

Désignation	Vitrage	Valeur U_g	Valeur g	Valeur U_f			
		[W/m ² K]	[%]	= 1,4 [W/m ² K]	= 1,9 [W/m ² K]	= 2,5 [W/m ² K]	= 3,3 [W/m ² K]
Fenêtres de bâtiments anciens	Double vitrage avec lame d'air > 7 cm	2,7	75	2,5	2,6	2,6	3,5
Double vitrage avant 1980	Double vitrage	2,7	75	2,5	2,6	2,6	3,5
Vitrage isolant avant 1990	Verre isolant avec intercalaire > 12 mm						
	a) Air de remplissage	2,9	75	2,7	2,8	3,0	3,5
	b) Gaz de remplissage (argon)	2,7	75	2,6	2,7	2,8	3,0
Triple vitrage isolant avant 1990	Triple vitrage isolant avec deux intercalaires > 9 mm						
	a) Air de remplissage	2,0	70	2,0	2,1	2,3	2,5
	b) Gaz de remplissage (argon)	1,9	70	1,9	2,0	2,2	2,4
Vitrage avec revêtement isolant après 1990	Verre isolant avec intercalaire > 10 mm et revêtement isolant avec gaz de remplissage (argon)	1,8	62	1,9	2,0	2,2	2,4
		1,6	62	1,7	1,8	2,0	2,2
		1,4	62	1,6	1,7	1,9	2,1
		1,3	62	1,5	1,6	1,8	2,0
Triple vitrage avec revêtement isolant après 1990	Verre isolant avec deux intercalaires > 9 mm et un revêtement isolant avec gaz de remplissage (argon)	1,5	60	1,7	1,8	1,9	2,1
		1,4	60	1,6	1,7	1,8	2,0
		1,2	60	1,4	1,6	1,7	1,9
		1,1	60	1,3	1,5	1,6	1,8
Triple vitrage avec double revêtement isolant après 1990	Verre isolant avec deux intercalaires > 9 mm et deux revêtements isolants avec gaz de remplissage (argon)	1,2	45	1,5	1,6	1,7	1,9
		1,1	45	1,4	1,5	1,6	1,8
		0,9	45	1,2	1,4	1,5	1,7
		0,8	45	1,1	1,3	1,4	1,6

Tableau 5: Valeurs U_w d'anciennes fenêtres

Le tableau 5 présente les données des anciennes fenêtres normées. En l'absence d'informations détaillées, ces valeurs doivent être utilisées pour évaluer les bâtiments existants.

Valeurs de calcul U_f pour cadres	
Matériau du cadre	U_f [W/m ² K]
Bois / bois-métal	1,4
Plastique	1,9
Profil de liaison isolé	2,5
Profil métallique	3,3

Tableau 6: Valeurs de calcul U_f pour cadres pour les anciennes fenêtres

Nouvelles fenêtres

Désignation	Vitrage	Valeur U_g	Valeur g	Valeur U_f			
		[W/m ² K]	[%]	= 1,0 [W/m ² K]	= 1,2 [W/m ² K]	= 1,4 [W/m ² K]	= 1,7 [W/m ² K]
Triple vitrage avec double revêtement isolant	Verre isolant avec deux intercalaires > 9 mm et deux revêtements isolants avec gaz de remplissage (argon)	0,7	50	0,9	0,9	1,0	1,1
		0,5	50	0,7	0,8	0,8	0,9

Tableau 7: Valeurs U_w des nouvelles fenêtres

Calcul de la valeur U_w

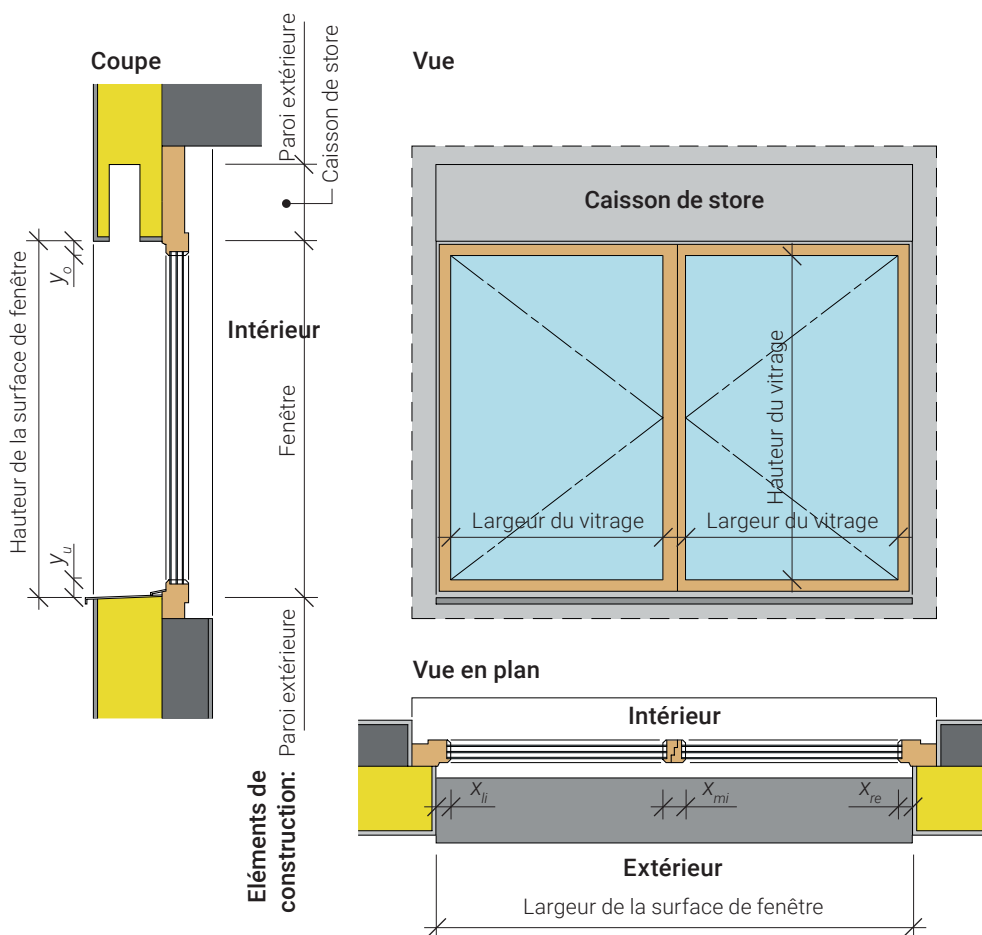
Valeur Ψ_g de vitrages avec intercalaire thermique- ment amélioré (acier inoxydable, plastique)			Valeur Ψ_g de vitrages avec intercalaire en aluminium		
Matériau du cadre	Valeur Ψ_g en W/mK		Matériau du cadre	Valeur Ψ_g en W/mK	
	Double ou triple vitrage sans film sélectif $U_g = 1,9$ à $3,0$ W/m ² K	Double ou triple vitrage avec film sélectif $U_g = 0,5$ à $1,8$ W/m ² K		Double ou triple vitrage sans film sélectif $U_g = 1,9$ à $3,0$ W/m ² K	Double ou triple vitrage avec film sélectif $U_g = 0,5$ à $1,8$ W/m ² K
Bois ou plastique	0,05	0,06	Bois ou plastique	0,06	0,08
Métallique avec rupture de ponts thermiques	0,06	0,08	Métallique avec rupture de ponts thermiques	0,08	0,11
Métallique sans rupture de ponts thermiques	0,01	0,04	Métallique sans rupture de ponts thermiques	0,02	0,05

Tableaux 8 et 9: En l'absence de valeur Ψ certifiée pour les intercalaires, appliquer les valeurs de ces tableaux.
Source: EN ISO 10077-1:2017

■ Intercalaire conseillé

Remarque: la désignation «surface de fenêtre» a le même sens que la «surface des vides réservés aux fenêtres dans les murs extérieurs et la toiture» mentionnée dans la norme SIA 380/1:2016.

Figure 11: Largeur et hauteur du vitrage (surface translucide A_g).
 x_{li} , x_{re} : part latérale du cadre pris en compte (de l'embrasure de la fenêtre au vitrage)
 x_{mi} : largeur de la partie centrale
 y_o : part supérieure du cadre prise en compte (du dessous de l'appui de fenêtre au vitrage)
 y_u : part inférieure du cadre prise en compte (du dessus de la tablette de fenêtre au vitrage)



Méthode de calcul de la valeur U_w des fenêtres pour le justificatif par performance globale		Etapas de calcul			
Cadre					
Matériau	bois-alu	$A_f = 1,40 \times 0,05 \times 1 =$	0,07 m ²		
Valeur U_f du cadre	$U_f = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$1,40 \times 0,18 \times 1 =$	0,252 m ²		
Surface de projection du cadre	$A_f = 0,72 \text{ m}^2$	$1,81 \times 0,05 \times 2 =$	0,181 m ²		
		$1,81 \times 0,12 \times 1 =$	0,217 m ²		
Vitrage					
Désignation du vitrage	Triple vitrage isolant	$A_g = 0,59 \times 1,81 \times 2 =$	2,136 m²		
Remplissage entre verres	Argon				
Valeur U_g du vitrage	$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$				
Surface de projection du vitrage	$A_g = 2,14 \text{ m}^2$				
Intercalaire					
Matériau, désignation	thermiquement amélioré	$l = 0,59 \times 4 =$	2,36 m		
Coefficient de transmission thermique	$\Psi_g = 0,04 \text{ W/mK}$			$1,81 \times 4 =$	7,24 m
Longueur totale de l'intercalaire	$l = 9,6 \text{ m}$				9,60 m
Surface de projection de la fenêtre	$A_w = 2,86 \text{ m}^2$	$1,40 \times 2,04 =$	2,86 m²		

Tableau 10: Méthode de calcul

$$U_w = \frac{U_f \cdot A_f + U_g \cdot A_g + \Psi_g \cdot l}{A_w} = \frac{1,2 \cdot 0,72 + 0,7 \cdot 2,14 + 0,04 \cdot 9,6}{2,86} = 0,96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

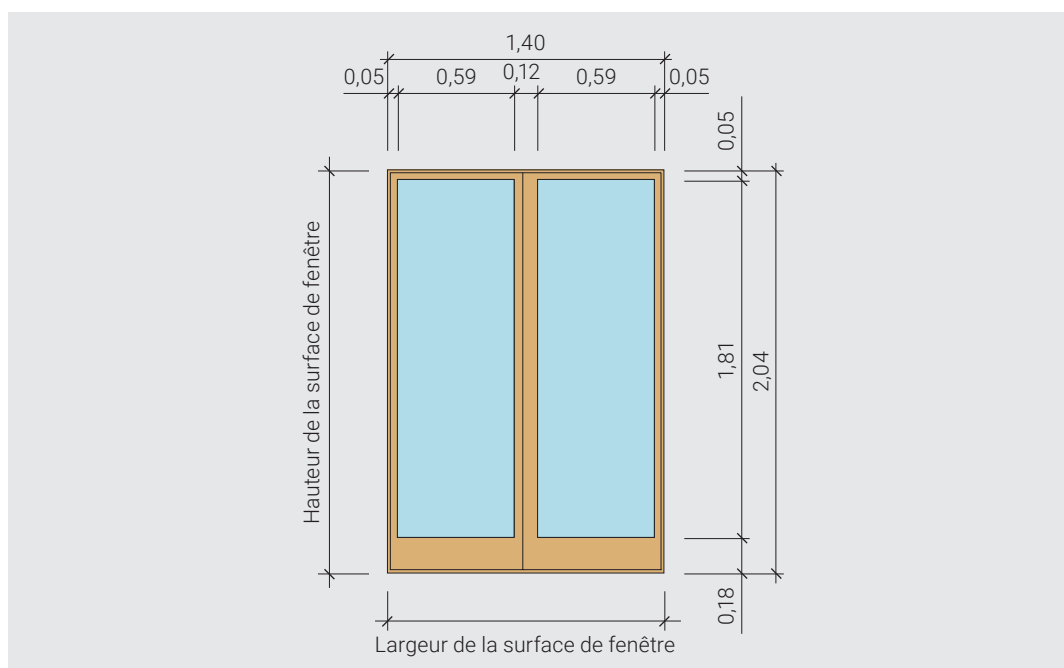


Figure 12: Plan coté servant de base au calcul

Informations complémentaires

Éléments spéciaux

■ **Fenêtres en toiture:** dans le justificatif par performances ponctuelles, les fenêtres en toiture sont prises en compte avec leur dimension normée, soit 1,14 m • 1,40 m (dimensions extérieures); le calcul est effectué pour une fenêtre à simple battant. La valeur U_w indiquée par les fabricants, obtenue par test ou par calcul, se réfère à une fenêtre normée. Les fenêtres de toiture sont des points énergétiquement faibles dans une toiture bien isolée. Il est important que des fenêtres à faible valeur U_w soient utilisées. Les raccords à la structure de la toiture doivent faire l'objet d'une attention particulière (isolation, étanchéité à l'air).

■ **Coupoles translucides:** les coupoles translucides existent en différents modèles, pour des valeurs U comprises entre 0,8 et 2,5 W/m²K.

■ **Verre profilé:** le verre profilé existe en différentes qualités. En double paroi, sa valeur U est de l'ordre de 1,8 W/m²K, pour un taux de transmission d'énergie globale de 0,45. L'ajout d'un revêtement en surface améliore la valeur U . Le remplissage des espaces intercalaires par un isolant thermique transparent améliore la valeur U et la valeur g est nettement plus faible.

■ **Brique de verre:** les briques de verre sont des éléments de construction translucides. La valeur g est en général $\leq 0,3$; un justificatif par performances ponctuelles n'est donc pas autorisé. La valeur U de cet élément de construction se situe entre 1,0 et 3,5 W/m²K.

■ **Verre intelligent:** un verre intelligent est un vitrage avec protection solaire, qui modifie sa transparence et donc également le taux de transmission d'énergie globale et la transmission de lumière grâce à l'électricité (verre électrochrome) ou au rayonnement solaire (verre thermochrome). La valeur g du verre électrochrome change progressivement; ce type de verre peut en général présenter une valeur g minimale de 0,02. Pour calculer le justificatif énergétique, il est recommandé d'utiliser la valeur g la plus élevée. Pour calculer la protection thermique en été, on utilise la valeur g la plus basse (protection solaire fermée). Contrairement aux verres traditionnels, les verres intelligents ont des propriétés divergentes. Leur utilisation doit être soigneusement examinée.

■ **Façade rideau:** la façade rideau est un système global composé d'éléments de construction formant une enveloppe légère et ininterrompue ancrée au corps du bâtiment. Les éléments de construction qui la composent sont verticaux et horizontaux, reliés entre eux et pourvus d'éléments de remplissage. Si elle remplit toutes les fonctions usuelles d'une paroi extérieure, de manière autonome ou en lien avec le corps du bâtiment, la façade rideau ne contribue toutefois pas aux propriétés de portance du corps du bâtiment. Elle est le plus souvent fabriquée en métal, en bois ou en matériaux synthétiques. Un système complet peut également intégrer des mesures de protection solaire, d'utilisation active de l'énergie solaire, avec leurs dispositifs d'entraînement et/ou de contrôle.

Confort thermique en hiver

■ **Confort thermique hivernal:** en hiver, le confort thermique ne dépend pas uniquement de la température intérieure, mais aussi des températures de surface des éléments de construction qui délimitent les locaux, et donc de l'isolation thermique de l'enveloppe. Les exigences concernant le confort thermique hivernal sont données dans la norme SIA 180.

■ **Courants d'air froid:** au contact de la surface froide d'une fenêtre, l'air contenu dans un local se refroidit et chute. Selon la température de la surface du vitrage et sa hauteur, la vitesse de l'air peut atteindre des valeurs qui dépassent la limite de perception d'un courant d'air à une température intérieure déterminée. La vitesse de l'air influe alors négativement sur la possibilité de rester près de la fenêtre. La vitesse de l'air est utilisée comme grandeur d'évaluation. Elle est très fortement influencée par la hauteur et par la valeur U de la fenêtre. La vitesse de l'air déterminante est celle mesurée dans la zone de travail, c'est-à-dire à un mètre environ de la paroi extérieure. En présence de baies vitrées ou de hautes fenêtres, une vérification approfondie des courants d'air froid doit avoir lieu. Il est recommandé d'utiliser des fenêtres avec une valeur U la plus basse possible.

Confort thermique en été

■ **Systèmes de protection solaire:** le but premier d'un système de protection solaire est de protéger les locaux d'une chaleur excessive due au rayonnement solaire. Pour les places de travail, des exigences supplémentaires existent concernant par exemple la protection fonctionnelle contre l'éblouissement. En cas de rayonnement direct, il est important que la lumière naturelle, disponible en abondance, soit utilisée. Pour les façades très ombrées, il est préférable d'opter pour un contrôle par étage plutôt qu'un contrôle par façade.

■ **Protection solaire:** une protection solaire efficace est essentielle en raison des températures extérieures croissantes et du nombre de jours de canicule. Des exigences concernant la valeur g de la protection solaire existent pour les nouvelles constructions et les bâtiments transformés. Pour les locaux refroidis ou ceux pour lesquels un rafraîchissement est nécessaire ou souhaité, il faut respecter les exigences concernant le contrôle et la résistance au vent de la protection solaire. Cela vaut également pour les fenêtres en toiture. Le module Minergie Protection solaire répond à ces exigences.

Termes techniques décrivant les fenêtres

Dormant: cadre entourant une fenêtre qui assure la liaison de la fenêtre avec le corps du bâtiment.

Battant: partie de la fenêtre reliée au dormant de manière mobile.

Type de fenêtre: définit comment la fenêtre est divisée et la façon dont elle s'ouvre, par exemple à simple ou double battant.

Élargissement du cadre: élargissement du dormant de la fenêtre, le plus souvent près du caisson du store, mais pouvant également se situer sous la fenêtre ou de côté.

Montant intermédiaire: partie du cadre qui divise verticalement la surface d'une fenêtre.

Traverse intermédiaire: partie du cadre qui divise horizontalement la surface d'une fenêtre.

■ **Vitrages avec protection solaire:** les vitrages avec protection solaire sont des vitrages isolants dotés d'un revêtement spécial qui permet d'obtenir une basse valeur g . Le justificatif par performances ponctuelles n'est pas autorisé si le taux de transmission énergétique globale est inférieur à 0,3.

Planification et exécution

■ **Module Minergie Fenêtres:** les fenêtres Minergie présentent une valeur globale $U_w \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ et une valeur $U_g \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Elles garantissent non seulement des économies d'énergie, mais aussi un grand confort thermique. Le module est régulièrement adapté à l'état de la technique.

Pour plus d'informations:

www.minergie.ch/fr/certifier/modules

■ **Les spécialistes:** les spécialistes – constructeurs de fenêtres ou menuisiers par exemple – offrent également de bons produits (cf. Association suisse des fenêtres et façades, www.fensterverband.ch). Voici les critères importants à observer lors du choix:

■ Triple vitrage: $U_g \leq 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$

■ Intercalaires en acier inoxydable ou mieux

■ Part vitrée la plus élevée possible

■ Lors de la mise en place, étanchéité à garantir par des professionnels

■ Lors de l'assainissement des éléments adjacents, les embrasures doivent être isolées

■ **Exécution:** s'il est important que les données correctes soient mentionnées dans le justificatif énergétique, il est encore plus important de rappeler ces valeurs dans l'appel d'offres et de les vérifier lors de l'exécution des travaux. Par exemple: la norme SIA 331:2012 fixe le marquage des éléments de vitrage isolant. Voici les données qui doivent figurer sur les intercalaires:

■ Fabricant

■ Date de fabrication et/ou numéro de production

■ Matériau utilisé pour les intercalaires, pour autant que ceux-ci soient thermiquement améliorés

■ Indications permettant de déterminer la valeur U_g et la valeur g – données techniques du revêtement, grandeur de l'espace intercalaire et type de gaz de remplissage

La fenêtre en tant qu'élément de l'enveloppe du bâtiment

Une fenêtre permet l'utilisation de la lumière naturelle et un renouvellement sporadique de l'air des locaux; elle offre en outre un lien avec l'espace extérieur. Si elle joue un rôle important pour l'hygiène au sens global, elle revêt également une importance majeure dans le bilan énergétique et dans la physique du bâtiment, pour lesquels les éléments translucides jouent un rôle fondamental.

La valeur U d'une fenêtre est environ cinq fois supérieure à celle d'éléments de construction opaques. Mais cet inconvénient peut être largement compensé par l'utilisation de la chaleur du rayonnement solaire, à la condition toutefois que la conception de la fenêtre soit optimisée selon des critères énergétiques et que la fenêtre elle-même soit d'excellente qualité.

Conception du bâtiment

■ **Orientation:** un bâtiment sera conçu pour que les grandes surfaces de fenêtres soient orientées au maximum vers l'est, le sud ou l'ouest.

■ **Utilisation de l'énergie solaire:** orienter au sud un maximum de fenêtres permet de diminuer les besoins en chaleur pour le chauffage et donc la consommation d'énergie. Toutefois, si ces fenêtres sont à l'ombre en hiver, il est alors préférable, du point de vue de l'utilisation de l'énergie solaire, d'opter pour une orientation non ombragée à l'est ou à l'ouest.

■ **Capacité thermique:** la capacité thermique d'un bâtiment décrit sa capacité à stocker puis restituer de la chaleur. Cette capacité est atteinte par exemple avec des éléments de construction massifs tels que des dalles d'étage (sol, plafond et parois) en béton armé sans revêtement.

■ **Utilisation de la lumière naturelle:** la grandeur, la conception et la mise en place d'une fenêtre, surtout dans la zone du linteau, influencent considérablement l'éclairage naturel. Il est nécessaire que la lumière du jour puisse être utilisée, aussi bien pour des raisons de santé que pour les économies d'électricité pour l'éclairage qu'elle permet. Des linteaux plutôt élevés ainsi que des ouvertures zénithales sont particulièrement efficaces pour ce faire.

■ **Disposition sur la façade:** d'un point de vue énergétique, il est préférable que la fenêtre soit positionnée au niveau de l'isolation périphérique et que la surface de son cadre soit le plus possible en contact avec la surface intérieure de l'isolation. La

disposition de la fenêtre influence le pont thermique que constitue l'appui. Elle influence aussi le pouvoir isolant de la zone du caisson du store ainsi que l'utilisation de la lumière naturelle. Des fenêtres fixées à l'extérieur de la façade ont des effets négatifs tant du point de vue énergétique que du point de vue de la physique du bâtiment. De plus, de telles fenêtres sont particulièrement exposées aux intempéries.

■ **Protection contre le bruit:** le pouvoir insonorisant d'une fenêtre est l'une de ses propriétés essentielles. Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des fenêtres particulièrement insonorisantes pour respecter les dispositions de l'ordonnance sur la protection contre le bruit. La protection acoustique dépend de la fenêtre elle-même, mais aussi de la qualité de son installation et des éléments adjacents, comme le caisson de store par exemple.

■ **Bâtiments protégés:** les exigences thermiques peuvent aussi être accompagnées d'exigences relatives aux bâtiments protégés.

Critères écologiques

L'éco-devis 371 « Fenêtres et portes-fenêtres » est un instrument de planification éprouvé qui peut être utilisé pour la mise en soumission. On y trouve une série de matériaux de construction ou de traitements à faible impact sur l'environnement. Voici par exemple certains éléments faisant partie d'un appel d'offres écologique de prestations:

■ **Cadres de fenêtre:** bois issu d'une production durable des forêts, certifié Minergie (1^{re} priorité) ou autres critères

■ **Revêtements des surfaces en métal:** produits diluables dans l'eau et exempts d'halogène

■ **Construction tenant compte des oiseaux:** verres avec un degré de réflexion extérieur de 15 % au maximum

■ **Intercalaire de vitrage:** matière synthétique (1^{re} priorité) ou acier inoxydable (2^e priorité)

■ **Etanchement:** feuilles et bandes d'étanchéité exempts de composants déterminants du point de vue écologique ou toxicologique, exempts d'halogène

■ **Mousses de montage et mousses de remplissage:** ne sont pas admises pour la pose, l'étanchéité et l'isolation de cavités.

Ces exigences sont intégrées aux programmes courants de devis.

La fenêtre en tant qu'élément de construction

■ **Part de cadre:** la valeur U du cadre est en général plus élevée que celle du verre. Des profils de cadre minces améliorent donc la fenêtre du point de vue énergétique. Les montants intermédiaires, les traverses intermédiaires et les croisillons exercent eux aussi un effet négatif.

■ **Valeur U d'une fenêtre:** l'effet isolant d'une fenêtre influence le confort dans l'espace proche de la fenêtre. Cette influence est plus marquée encore pour les baies vitrées et pour les fenêtres d'angle. Pour assurer le confort de travail ou d'habitat, il est recommandé d'employer de bons triples vitrages combinés avec des cadres de haute qualité.

■ **Valeur g du vitrage:** pour améliorer l'apport de la chaleur solaire, il est naturellement préférable de privilégier des fenêtres dont les valeurs g sont élevées. La valeur g dépend du nombre de verres, de leur épaisseur, de leur qualité et des revêtements (de protection solaire ou acoustiques) dont ils sont pourvus.

■ **Intercalaire:** l'intercalaire du vitrage isolant assure l'espace entre les verres, la liaison mécanique et l'étanchéité (gaz de remplissage, humidité). L'intercalaire implique un pont thermique, c'est pourquoi il influence la valeur U de la fenêtre. Par ailleurs, si cet élément est en aluminium, le risque est grand de voir apparaître de la condensation.

■ **Triples vitrages:** les valeurs U de triples vitrages sont généralement comprises entre 0,5 et 0,7 W/m²K. Les facteurs qui les influencent sont, en plus des couches sélectives, l'espace intercalaire entre les vitrages et le gaz de remplissage. Le krypton permet d'obtenir des valeurs U_w inférieures à celles obtenues au moyen de l'argon; mais des réserves s'imposent pour le krypton en raison d'aspects écologiques (disponibilité et énergie grise nécessaire pour se le procurer).

Installation

■ **Montage:** il est primordial que le raccordement de la fenêtre à l'embrasure de la paroi extérieure soit étanche à l'air. Pour assurer la qualité de cette interface, les responsabilités devront être clairement fixées. La mise en place de joints de mastic et le collage de feuilles permettent d'assurer cette étanchéité.

■ **Montage du store:** selon la conception du store, d'importants ponts thermiques sont susceptibles d'apparaître dans la zone du linteau. Si la fixation se fait à travers l'isolation, les fixations employées doivent impérativement être thermiquement isolées. Il est préférable de faire tenir l'ensemble du dispositif par l'intermédiaire des guides du store.

■ **Exécutions spéciales:** la qualité énergétique peut fortement varier en ce qui concerne les portes-fenêtres coulissantes, les ouvertures zénithales et les fenêtres en toiture. Le plus grand soin est recommandé par rapport aux caractéristiques et au choix de ces éléments.

■ **Caissons de store:** les caissons de store constituent souvent un élément faible de l'enveloppe de bâtiment. La planification et l'exécution doivent donc être particulièrement soignées.

■ **Entraînements de stores:** les perforations pour les entraînements de stores doivent être étanches à l'air.

Aides à l'application

Les cantons fournissent des outils très complets d'aide en matière de planification et de construction du point de vue énergétique. www.endk.ch

Outil de calcul

La Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK) fournit gratuitement un outil de calcul des valeurs U applicables aux fenêtres. Cet outil peut être téléchargé sur le site web de la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie. www.endk.ch

Normes en vigueur

- Norme SIA 180:2014; « Protection thermique, protection contre l'humidité et climat intérieur dans les bâtiments »
- Norme SIA 331:2012; « Fenêtres et portes-fenêtres »
- Norme SIA 380:2015; « Bases pour les calculs énergétiques des bâtiments »
- Norme SIA 380/1:2016; « Besoins de chaleur pour le chauffage »

Conférence des directeurs
cantonaux de l'énergie
(EnDK)
Maison des cantons
Speichergasse 6
3011 Berne
+41 31 320 30 25
www.endk.ch

Images:
Quartier Minergie
Furglerstrasse, Saint-Gall
Peter Ruggle. Photographe

Avec le soutien de

