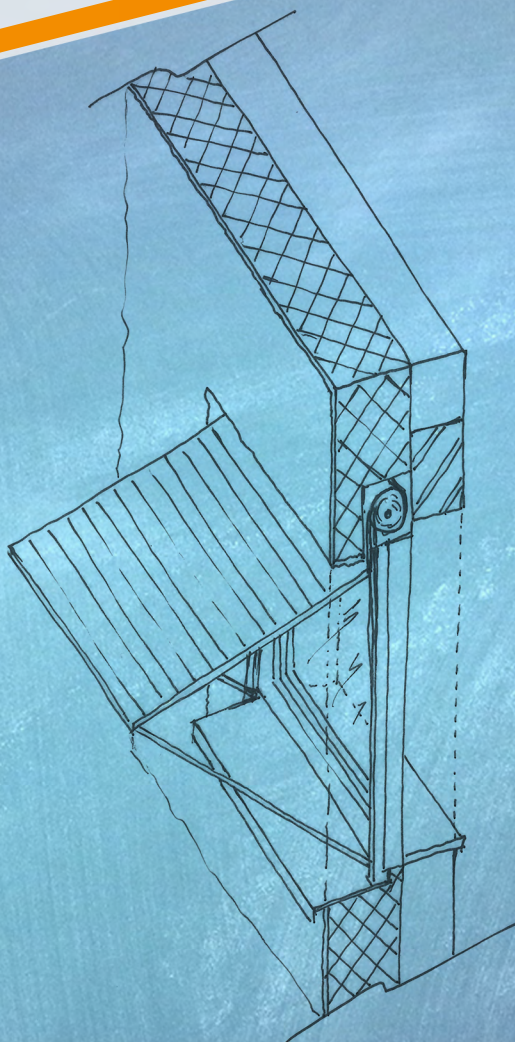


LA FENÊTRE ET LA GESTION DE L'ÉNERGIE

Jean-Marie Hauglustaine
et Francy Simon



uide pratique pour les architectes



Wallonie

2e édition, 2018

Ce guide pratique a été élaboré sous la direction de :

- **Jean-Marie HAUGLUSTAINE**, Dr. ir. architecte, chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université de Liège, Directeur de l'Unité de recherche EnergySuD (Energie et Développement durable) ;
- **Francy SIMON**, Ir. architecte, Professeur émérite à l'Université Catholique de Louvain ;

et avec la collaboration de **Françoise BUYSE**, architecte de recherche, de **Julie DETROZ**, **Christelle HUBERTY**, Ir. architectes de recherche et de **Stéphane MONFILS**, Ir. architecte doctorant, tous trois à l'Unité de recherche EnergySuD-ULg.

Il constitue la refonte du guide pratique pour architectes *La fenêtre et la gestion de l'énergie*, édité en 2001 (D/2001/5322/09) auquel avaient collaboré Catherine BALTUS et Sophie LIESSE.

PRÉFACE 5

INTRODUCTION 6

ENJEUX 8

L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E.) ET LE RÔLE DE LA BAIE DE FENÊTRE	9
---	---

LA BAIE DE FENÊTRE ET L'U.R.E. 14

L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENÊTRE	15
LE CONTRÔLE DU CLIMAT LOCAL PAR L'ARCHITECTURE	16
LA MAÎTRISE DES ÉLÉMENTS CLIMATIQUES	22
COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD	26
LA VENTILATION	27
L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR	29
L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES MENUISERIES	29
LES AUTRES FONCTIONS	32
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX CONSTITUANTS DES PAROIS EXTÉRIEURES NON OPAQUES D'UN BÂTIMENT	34

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE CHÂSSIS 36

SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CHÂSSIS EN BOIS	37
GÉNÉRALITÉS	38
LES CHÂSSIS EN BOIS	41
LES CHÂSSIS EN ALUMINIUM	43
LES CHÂSSIS EN ACIER	43
LES CHÂSSIS EN PVC	44
LES CHÂSSIS EN FIBRE DE VERRE	44
LES CHÂSSIS EN POLYURÉTHANE	45
LES CHÂSSIS COMPOSITES	45
LES CHÂSSIS RECOMMANDÉS DANS LES BÂTIMENTS «PASSIFS»	46
LES QUINCAILLERIES ET TYPES D'OUVRANTS	46
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES MATÉRIAUX DE CHÂSSIS	48
LA LIAISON AU GROS-OEUVRE	48

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE VITRAGE 50

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE	51
LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS	54
PERFORMANCES THERMIQUES ET LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR	55
LES AUTRES PERFORMANCES	59
PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES	

VITRAGES	61
PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES	61

**LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE :
LES PROTECTIONS** **64**

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTION	64
LES PROTECTIONS SOLAIRES	65
LES PERFORMANCES DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES	68

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME «BAIE» **69**

LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	70
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE	
- AU STADE DE L'ESQUISSE	78
- AU STADE DE L'AVANT-PROJET	83
- AU STADE DU PROJET	88

BIBLIOGRAPHIE **92**

ANNEXES **95**

ANNEXE 1 : LES LIAISONS ENTRE VITRAGE ET CHÂSSIS	95
ANNEXE 2 : L'ACOUSTIQUE	101
ANNEXE 3 : LA SÉCURITÉ	108
ANNEXE 4 : INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES	116
ANNEXE 5 : GLOSSAIRE	125

TABLE DES MATIÈRES **133**

Ce guide aborde la problématique du choix des performances des châssis et vitrages en tant que parois transparentes et, en particulier en fait d'isolation thermique et de transmission d'énergie solaire passive.

Il l'aborde dans le contexte plus global de la composition architecturale principalement des logements. Cependant, quelques remarques seront faites concernant d'autres programmes.

Seront également abordés les problèmes de ventilation, de contrôle solaire, d'acoustique et de sécurité.

Que ce soit pour diminuer la dépendance de la Wallonie, pour économiser nos précieuses ressources naturelles d'énergie ou pour limiter autant que possible le réchauffement climatique, nous sommes dans l'obligation de réduire fortement nos consommations d'énergie.

Face à ces défis, il nous faut, dès à présent, enclencher de profonds changements et amorcer une véritable révolution technologique dans tous les secteurs d'activités consommatrices d'énergie : dans la production industrielle et les transports, dans le tertiaire, mais aussi et surtout dans le résidentiel. A ce titre, la conception de nos bâtiments a un rôle considérable à jouer.

Changer d'habitudes dans et pour sa maison amplifiera la prise de conscience du plus grand nombre de citoyens.

L'ouvrage que vous avez entre les mains s'adresse tout particulièrement aux architectes, aux entrepreneurs, aux artisans du bâtiment, aux enseignants des écoles d'architecture et des techniques du bâtiment, à tous ceux qui sont les concepteurs et les réalisateurs des créations et des restaurations de bâtiments privés et publics.

Réduire la consommation d'énergie pour le chauffage d'un bâtiment requiert des outils et des techniques, spécifiques et en constante amélioration. Aussi, mon administration a confié la réalisation de cet ouvrage à quelques spécialistes, pour aider les concepteurs à intégrer ces impératifs énergétiques dans la conception de leurs bâtiments et les citoyens à mieux les utiliser.

J'espère que la lecture de cet ouvrage contribuera à ce qu'un maximum de bâtiments wallons consomment moins d'énergie.

Annick FOURMEAUX,
Directrice Générale.

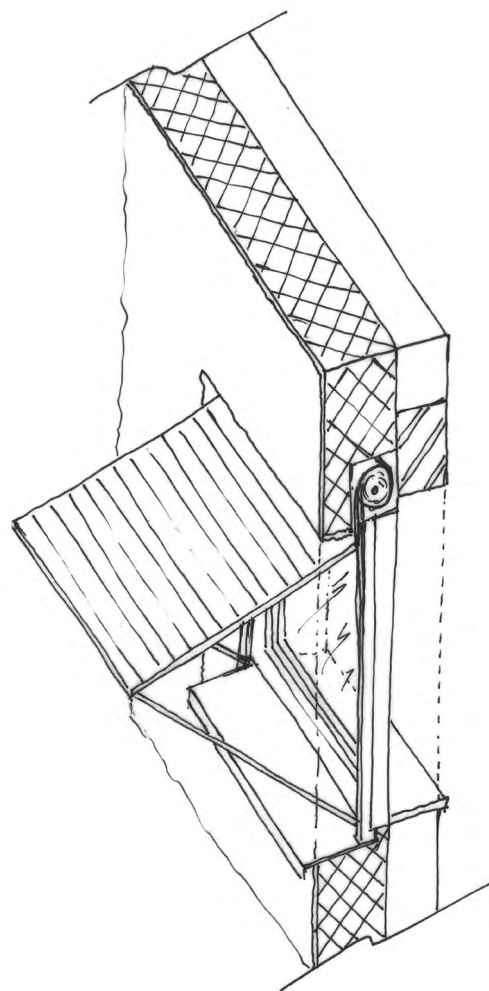
Dans le cadre des considérations sur l'Utilisation Rationnelle de l'Énergie, la Région Wallonne est consciente de l'importance de l'intervention des concepteurs, sur la consommation d'énergie des bâtiments et sur la qualité de vie dans les espaces bâtis.

Il leur revient d'intégrer, dès les stades initiaux du processus de conception architecturale, les concepts assurant des performances énergétiques compatibles avec les exigences actuelles.

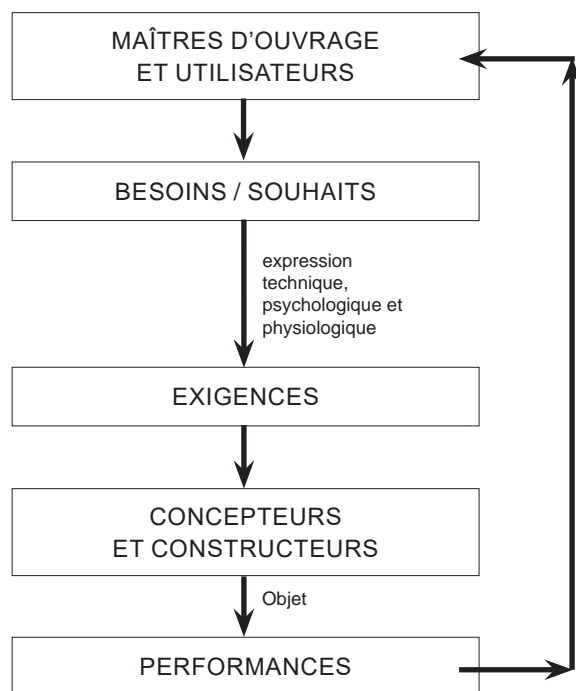
Pour les y aider dans le domaine de la sélection (voire de la conception) des fenêtres (châssis + vitrage), une méthodologie est proposée ci-après, qui rappelle les performances à atteindre et qui propose une démarche cohérente, depuis l'esquisse jusqu'au chantier.

DEFINITIONS [LAVE-99]

- **Baie** : n.f., toute ouverture pratiquée dans une construction (maçonnerie ou charpente), quelles que soient ses dimensions et sa fonction (porte, fenêtre, arcade, jour, oculus, soupirail, lucarne, claire-voie, vitrine...). Une baie libre est une baie sans fermeture.
- **Fenêtre** : n.f., baie non libre, équipée d'une fermeture vitrée.
- **Châssis** : n.m., cadre fixe ou mobile, vitré, grillagé, plein ou à lames, participant à la fermeture d'une baie. En menuiserie : cadre menuisé découpé dans un dormant.



		PAROIS NON OPAQUES			PAROIS OPAQUES		
		Parois transparentes	Parois translucides	Murs Trombe, ...	Murs (sans objet)	Toitures (sans objet)	Planchers (sans objet)
Contrôle du climat intérieur	Captation						
	Isolation ventilation				voir [HAUG-17-2]	voir [HAUG-17-3]	voir [HAUG-17-4]
Autres fonctions					voir [HAUG-17-2]	voir [HAUG-17-3]	voir [HAUG-17-4]



La fenêtre joue un rôle prépondérant au niveau de la qualité de vie et du confort dans les bâtiments.

Pour l'utilisateur, la fenêtre laisse entrer la lumière, la chaleur du soleil et l'air frais, et donne une vue sur le monde.

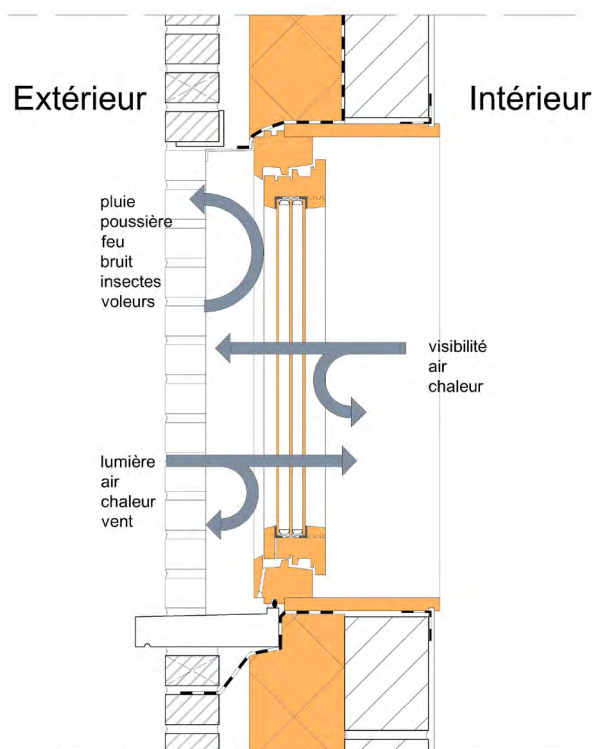
Pour l'architecte et l'ingénieur, les auteurs de projets, la fenêtre, en plus que de remplir ces mêmes fonctions, est un outil de composition et donne du caractère et du rythme à la façade; elle rompt la continuité d'un mur ou d'une toiture et nécessite un soin particulier.

Si elle est outil de captation d'énergie solaire, elle peut être aussi parfois vecteur de surchauffe, de refroidissement ou d'infiltration d'air.

La fenêtre est le point de rencontre de matériaux différents et demande l'intervention de divers corps de métiers.

En outre, elle peut servir d'issue en cas d'incendie, mais elle alimente le feu en oxygène et constitue un chemin de propagation des flammes vers les autres étages ou bâtiments contigus.

Pour tous, la fenêtre doit répondre à des besoins et des exigences parfois contradictoires.



SOUHAITS ET BESOINS DE L'UTILISATEUR

L'utilisateur demande à la fenêtre :

- d'assurer l'éclairage naturel des locaux et le contact visuel entre l'intérieur et l'extérieur, tout en protégeant l'habitat contre les intempéries ;
- de gérer les apports solaires en toute saison ;
- de remplir des fonctions très diverses, parfois complémentaires et parfois contradictoires ;
- d'assurer la ventilation des locaux.

EXIGENCES DE L'UTILISATEUR

La baie de fenêtre doit répondre à des exigences plus variées que les parois opaques d'un bâtiment.

Ces exigences portent non seulement sur la fenêtre mais aussi sur le milieu qu'elle crée à l'intérieur.

Elles sont principalement :

- l'utilisation rationnelle de l'énergie ;
- le confort fonctionnel et physiologique.

PERFORMANCES

Pour répondre aux nombreuses exigences, la baie doit être performante, des points de vue :

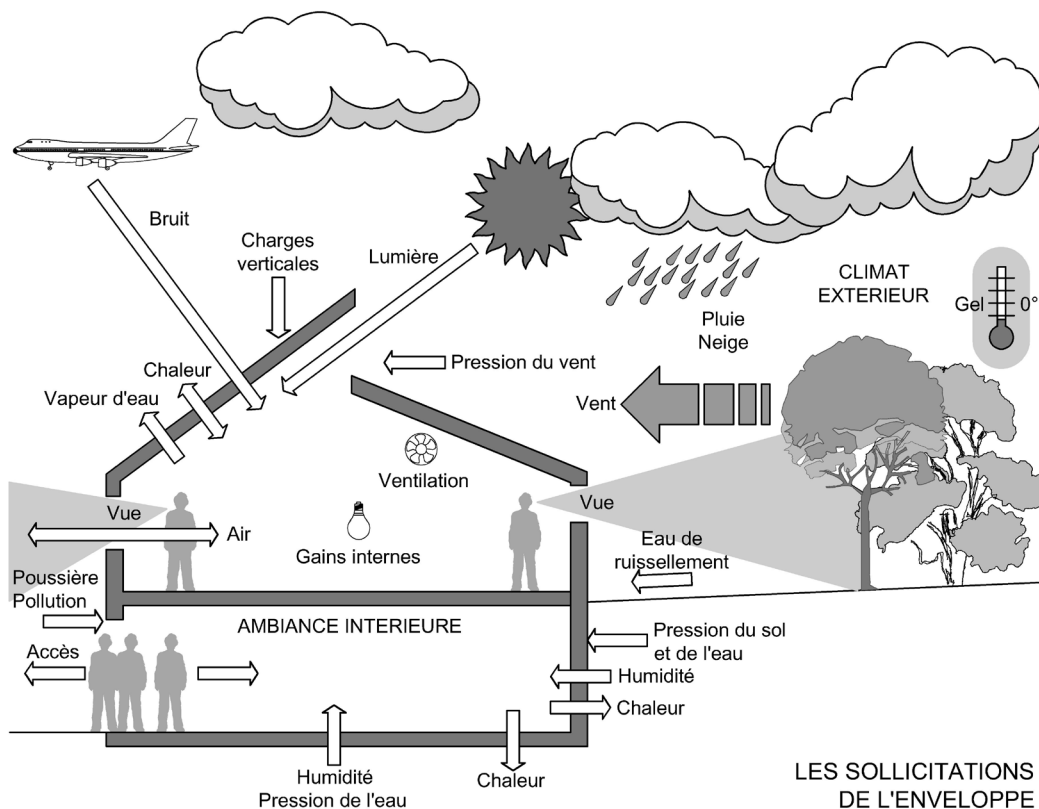
- de la thermique ;
- de l'étanchéité à l'air, au vent et à l'eau ;
- de la ventilation ;
- de la lumière ;
- de l'acoustique ;
- de la résistance mécanique ;
- de l'ouverture/fermeture ;
- de la longévité ;
- de la résistance anti-effraction ;
- etc.

FONCTIONS	EFFETS RECHERCHES	EFFETS NON SOUHAITES
Energétique	Gains solaires	Surchauffe / Pertes excessives
Fermeture / Ouverture	Etanchéité + résistance	Agressions diverses
Eclairage	Lumière	Eblouissement
Vue	Contact avec l'extérieur	Perte d'intimité
Ventilation	Apport d'air neuf	Courants d'air / pont acoustique
Contrôle social	Vue vers l'extérieur Vue vers l'intérieur parfois souhaitée (commerces)	Perte d'intimité

ENJEUX

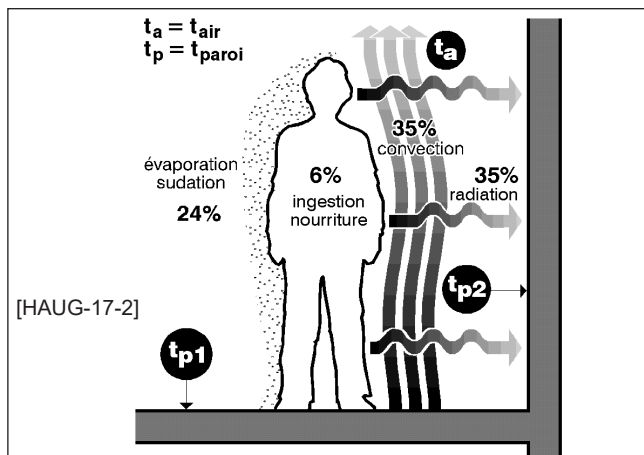
L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E) ET LE RÔLE DE LA BAIE DE FENÊTRE 9

ISOLER THERMIQUEMENT C'EST.....	9
<i>Augmenter le confort.....</i>	9
<i>Economiser l'énergie, réduire les dépenses et protéger l'environnement.....</i>	9
GÉRER LES APPORTS SOLAIRES, C'EST.....	9
<i>Contribuer à réduire les dépenses.....</i>	9
<i>Augmenter le confort en été.....</i>	10
LE BILAN THERMIQUE DU LOGEMENT.....	10
LE BILAN EN CHIFFRES.....	10
<i>Hypothèses générales.....</i>	10
<i>Impact de l'orientation et de la fenestration.....</i>	11
<i>Impact de la qualité du vitrage.....</i>	12
<i>Impact combiné de l'orientation, de la fenestration et de la qualité du vitrage.....</i>	13



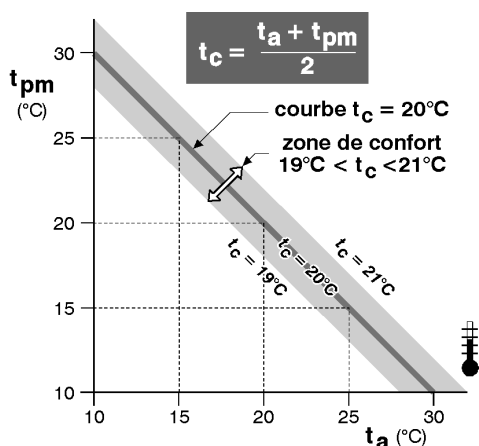
Extrait de [SIMO-96]

L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E.) ET LE RÔLE DE LA BAIE DE FENÊTRE



Le corps humain (36,6°C) dissipe une certaine quantité de chaleur vers l'environnement qui l'entoure. Son activité, la température de l'air ambiant et la température de surface intérieure des parois du local sont des facteurs qui interviennent dans le bilan global de confort. Pour éviter un échange thermique trop important et donc inconfortable entre le corps et son environnement, il y a lieu d'éviter :

- une radiation du corps vers des parois trop froides, en réduisant la conduction de la chaleur à travers elles ;
- une convection autour du corps, par des mouvements d'air trop rapides au sein du local.



t_{pm} = température moyenne de surface intérieure de parois (°C)
 t_c = température de confort
 t_a = température de l'air (°C)

Extrait de [HAUG-17-2]

Nous disposons de deux types de sources d'énergie, à savoir l'énergie "gratuite" et l'énergie "combustible". L'énergie apportée par les divers combustibles (mazout, gaz, électricité, etc.) ne doit pas être gaspillée (on parle d'isolation) ; tandis que celle provenant des apports solaires au travers des parois extérieures translucides doit être gérée (on parle de gestion des apports).

ISOLER THERMIQUEMENT, C'EST...

AUGMENTER LE CONFORT

Isoler thermiquement une paroi, c'est augmenter sa résistance thermique et donc la rendre moins conductrice de la chaleur.

Dans un local chauffé en permanence, la température de surface d'une paroi isolée sera toujours plus élevée que celle d'une paroi non isolée.

Pour atteindre les objectifs de confort et éviter la sensation de "paroi froide", il faut, au sein d'un local :

- veiller à l'homogénéité des températures des parois ;
- augmenter la température moyenne de surface intérieure de parois t_{pm} [°C] ;
- avoir une bonne température de l'air ambiant t_a .

La température de confort t_c est définie comme la moyenne entre t_a et t_{pm} : $t_c = \frac{t_a + t_{pm}}{2}$.

Cette formule signifie qu'à une température de confort t_c donnée, si t_{pm} est faible, on devra augmenter t_a et donc consommer plus d'énergie (voir figure ci-contre).

ECONOMISER L'ÉNERGIE, RÉDUIRE LES DÉPENSES ET PROTÉGER L'ENVIRONNEMENT

En accroissant la résistance thermique d'une paroi, sa température de surface intérieure augmente. Il ne sera plus nécessaire d'autant chauffer l'air intérieur, ce qui diminue la consommation d'énergie et réduit les dépenses.

L'utilisation massive des combustibles fossiles libère des quantités importantes de CO₂.

En fonction de ces deux aspects, économique et écologique, la conception des bâtiments ne peut qu'évoluer vers des bâtiments de mieux en mieux isolés.

L'isolation thermique a conquis ses lettres de noblesse et tout le monde est, à présent, convaincu de la nécessité d'isoler.

GÉRER LES APPORTS SOLAIRES, C'EST...

CONTRIBUER À RÉDUIRE LES DÉPENSES

La gestion des apports solaires permet de diminuer les dépenses en énergie de chauffage et/ou de refroidissement.

AUGMENTER LE CONFORT D'ÉTÉ

La ventilation et la limitation de l'effet de serre par des protections évitent la surchauffe des locaux.

LE BILAN THERMIQUE DU LOGEMENT

La fonction principale de l'enveloppe est d'enclorre un espace, qu'elle protège de l'environnement extérieur.

L'architecture choisie détermine une volumétrie qui peut engendrer, selon le type de bâtiment, des superficies très différentes de parois de déperditions.

Par rapport à la baie de fenêtre, les éléments influençant le bilan thermique sont :

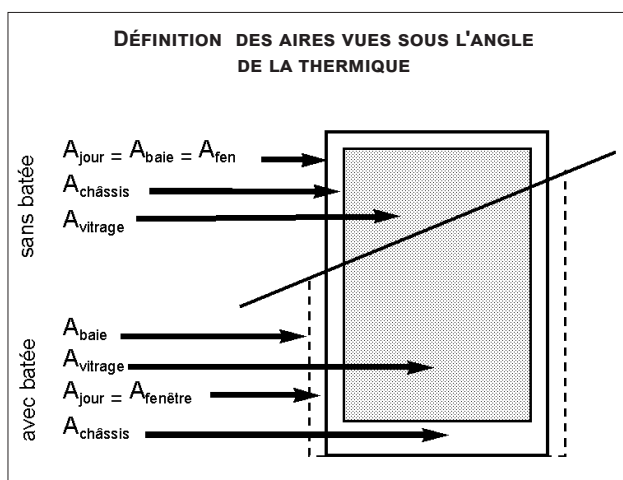
- la position de la fenêtre par rapport au soleil ;
- les pourtours de la baie ;
- les accessoires de la baie (tant extérieurs qu'intérieurs) ;
- la surface de la baie ;
- le type de fenêtre (matériaux) ;
- la surface de la fenêtre (entendue comme surface vue du châssis + surface du vitrage) c'est-à-dire A_{jour} ;
- la surface du vitrage (A_{vit}) ;
- la surface du châssis (= partie vue extérieure du châssis ($A_{\text{châssis}}$)) ;
- la proportion entre la surface de châssis et la surface de vitrage ($A_{\text{châssis}}/A_{\text{vit}}$).

LE BILAN EN CHIFFRES

L'exercice qui suit a pour but de situer le poids que représente la fenestration dans le bilan énergétique d'un bâtiment. Il est réalisé sur la base d'une maison 4 façades, comportant deux niveaux, d'une superficie habitable de 100 m², pour un volume habitable total de 250 m³. Le volume protégé ne comprend ni les caves ni les combles (l'isolant est placé dans le plancher du grenier). Les fenêtres comportent des châssis en PVC. Le bâtiment analysé est très petit et les résultats obtenus sont influencés par ce choix, particulièrement le niveau K qui est fonction de la compacité du bâtiment.

HYPOTHÈSES GÉNÉRALES

Les coefficients de transmission thermique U des parois sont les mêmes pour toutes les typologies de bâtiment. Paroi par paroi, ils contribuent à un niveau d'isolation thermique globale de l'enveloppe correspondant respectivement aux niveaux K35, K25 et K15. Pour le type K35, les valeurs maximales autorisées sont conformes à la réglementation en vigueur. Pour le type K25, les valeurs sont améliorées de manière à essayer de répondre à un bâtiment global conforme à la réglementation en vigueur. Pour le type K15, les valeurs sont optimisées de manière à se conformer aux recommandations du standard passif. L'inertie thermique du bâtiment est de type « peu lourde », c'est-à-dire que les pourcentages des éléments de



construction horizontaux massifs et des éléments de construction verticaux et inclinés massifs sont compris entre 50 et 90 %.

Le système de ventilation est choisi en adéquation avec le niveau d'isolation. Dans tous les cas, un système de ventilation double flux avec récupération de chaleur a été choisi.

L'étanchéité à l'air du bâtiment se caractérise par un taux de renouvellement d'air de 3 à 0,6 volumes par heure, sous une pression de 50 Pa ($n_{50} = 3$ à $0,6 \text{ h}^{-1}$). Le détail des hypothèses d'isolation, ventilation et étanchéité à l'air se trouve dans le tableau ci-dessous.

NIVEAU ISOLATION THERMIQUE	Performance thermique des parois						VENTILATION	ETANCHÉITÉ À L'AIR : n_{50} [$\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$]
	U_{toiture} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	U_{mur} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	U_{plancher} [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	$U_w = U_{\text{fenêtre}}$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	$U_g = U_{\text{vitrage}}$ [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]	Facteur solaire g		
Type K35	0,24	0,24	0,24	1,5	1,1	0,6	Système D (+ récup.)	3
Type K25	0,20	0,20	0,20	1,2	0,8	0,5	Système D (+ récup.)	1
Type K15	0,15	0,15	0,15	0,8	0,6	0,4	Système D (+ récup.)	0,6

Au niveau des systèmes, c'est une chaudière mazout à condensation placée hors volume protégé qui assure aussi bien le chauffage que la préparation d'eau chaude sanitaire. Le rendement de l'installation globale de chauffage est de 79 %, résultant du produit des rendements d'émission (89 %), de distribution (95 %), de stockage (100 % car il n'y a pas de stockage de chaleur pour le chauffage) et de production (94 %). L'eau chaude sanitaire est stockée dans un ballon intégré à la chaudière ; le rendement de production de l'ECS est estimé à 45 %. La température de consigne journalière des locaux est de 18°C.

Dans le cadre de cet exercice, les résultats suivants sont calculés avec le logiciel PEB mis à disposition par la Région Wallonne, à savoir : le niveau K, le critère de consommation d'énergie primaire E_w et la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire du bâtiment par m^2 de surface de plancher chauffé E_{spec} . Ces deux derniers indicateurs (E_w et E_{spec}) sont calculés dans des conditions standardisées, de manière à pouvoir comparer les différentes solutions de façon objective. Le coût de consommation est estimé au départ du prix du mazout moyen de septembre 2016, soit 0,49 €/litre (TVAC).

IMPACT DE L'ORIENTATION ET DE LA FENESTRATION

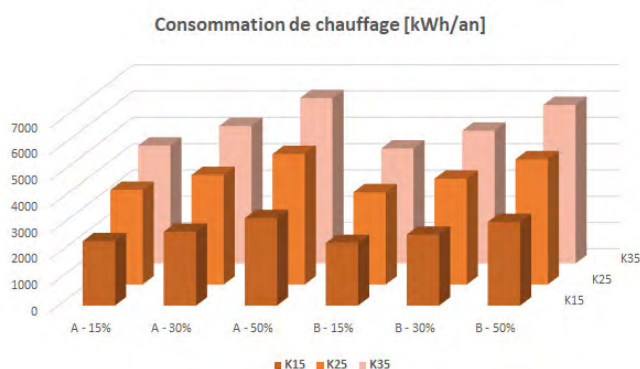
Deux cas d'orientation des fenêtres sont envisagés :

- Cas A : orientation uniforme = toutes les fenêtres sont réparties de manière uniforme sur les 4 façades.
- Cas B : orientation adaptée = les fenêtres sont orientées préférentiellement au sud, à l'est et à l'ouest (10 % au nord, 20 % à l'est, 50 % au sud et 20 % à l'ouest).

Trois cas de fenestration sont envisagés avec respectivement 15, 30 et 50 % de surface de fenêtres par rapport à la superficie habitable.

Qualité Isolation thermique	A : orientation des fenêtres Fenestration uniforme : 25 % nord 25 % est 25 % sud 25 % ouest				B : orientation des fenêtres Fenestration orientée : 10 % nord 20 % est 50 % sud 20 % ouest			
	$K_{réel}$ [-]	E_w [-]	E_{spec} [kWh/m ² .an]	Consommation chauffage [kWh/an]	$K_{réel}$ [-]	E_w [-]	E_{spec} [kWh/m ² .an]	Consommation chauffage [kWh/an]
	4 Façades sur 2 niveaux				4 Façades sur 2 niveaux			
	15 % de fenêtres				15 % de fenêtres			
Type K35	34	40	86	4.483	34	40	86	4.371
Type K25	28	35	76	3.597	28	36	76	3.511
Type K15	22	31	65	2.450	22	31	66	2.382
	30 % de fenêtres				30 % de fenêtres			
Type K35	41 (*)	47	101	5.227	41 (*)	49	105	5.050
Type K25	34	40	87	4.164	34	42	89	4.023
Type K15	26	35	76	2.804	26	37	79	2.697
	50 % de fenêtres				50 % de fenêtres			
Type K35	51 (*)	60	129 (*)	6.293	51 (*)	65 (*)	140 (*)	6.029
Type K25	42 (*)	49	105	4.961	42 (*)	52	113	4.766
Type K15	32	44	93	3.323	32	48	104	3.177

(*) Valeurs supérieures aux valeurs admises, selon les exigences en vigueur du 1/01/17 au 31/12/20 [GW -16-2]



D'autre part, l'augmentation de la surface vitrée diminue les performances énergétiques ; au-delà de 30 % de surface vitrée, le bâtiment satisfait plus difficilement aux exigences en vigueur. Une importante proportion de surface vitrée diminue fortement les performances énergétiques d'un bâtiment. Il y a donc lieu de trouver le meilleur compromis entre surfaces vitrées/éclairage naturel et performances thermiques d'un bâtiment.

IMPACT DE LA QUALITÉ DU VITRAGE

Trois types de châssis sont comparés : un châssis performant avec un double vitrage à basse émissivité, un châssis performant avec un double vitrage à haute performance et un châssis passif muni d'un triple vitrage.

	PERFORMANCE DE LA FENÊTRE			K [-]	E_w [-]	E_{spec} [kWh/m ² .an]	Conso. chauffage [kWh/an]	Surcoût [€]	Budget sur 30 ans [€]
	$U_w = U_{fenêtre}$ [W/m ² K]	$U_g = U_{vitrage}$ [W/m ² K]	Facteur solaire g [-]						
Châssis performant et DV à basse émissivité	1,42	1,1	0,6	38 (*)	45	96	4.629	0	6.805
Châssis performant et DV à haute performance	1,13	0,8	0,5	34	40	87	4.164	1.550	7.671
Châssis passif et TV	0,85	0,6	0,5	30	38	81	3.479	2.323	7.437

(*) Valeur supérieure aux valeurs admises, selon les exigences en vigueur du 1/01/17 au 31/12/20 [GW -16-2]

Le placement d'un meilleur vitrage, plus isolant, permet de réaliser des économies d'énergie, mais apporte un surcoût à l'investissement. **Après 30 ans, ce surcoût est amorti grâce aux économies d'énergie réalisées.** Il est également intéressant de constater que le choix d'un meilleur châssis peut éventuellement aider à répondre aux exi-

gences en vigueur. Lors du choix des châssis, il est important de tenir compte de ces différents facteurs afin de conseiller au mieux le Maître de l’Ouvrage.

IMPACT COMBINÉ DE L’ORIENTATION, DE LA FENESTRATION ET DE LA QUALITÉ DU VITRAGE

Pour concrétiser le gain global que peuvent apporter conjointement une bonne orientation des baies vitrées, une proportion favorable d’ouvertures en fonction de la surface de plancher chauffé et une bonne qualité de vitrage, le tableau suivant propose la combinaison de 2 variantes :

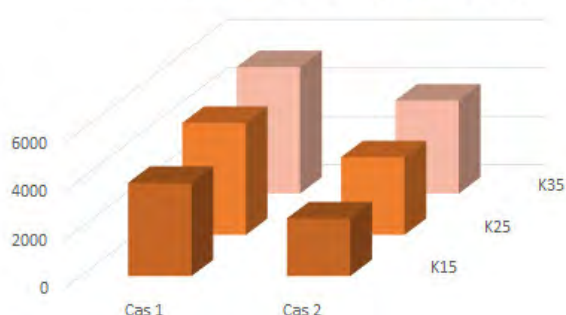
- Dans le cas 1, la répartition des fenêtres sur les façades est uniforme. Leur superficie totale atteint 30 % de la superficie de plancher chauffé. Le choix s’est porté sur des châssis standard avec un vitrage à basse émissivité.
- Dans le cas 2, les fenêtres sont réparties en fonction de l’orientation du bâtiment avec une superficie atteignant 15 % de la superficie de plancher chauffé. Le choix s’est porté sur des châssis performants avec un triple vitrage muni d’un intercalaire isolant.

On obtient alors les résultats suivants :

Qualité isolation thermique	Cas 1 : châssis standard DV 30 % de fenêtres Fenestration uniforme : 25 % nord 25 % est 25 % sud 25 % ouest				Cas 2 : châssis performants TV 15 % de fenêtres Fenestration orientée : 10 % nord 20 % est 50 % sud 20 % ouest			
	$K_{réel}$ [-]	E_w [-]	E_{spec} [kWh/m ² .an]	Consommation chauffage [kWh]	$K_{réel}$ [-]	E_w [-]	E_{spec} [kWh/m ² .an]	Consommation chauffage [kWh]
Type K35	41 (*)	47	101	5.227	30	37	79	3.850
Type K25	38 (*)	45	96	4.629	27	34	73	3.205
Type K15	33	42	90	3.852	22	31	66	2.382

(*) Valeurs supérieures aux valeurs admises, selon les exigences en vigueur du 1/01/17 au 31/12/20 [GW -16-2]

Consommation de chauffage [kWh/an]



Dans les cas présentés, les choix sont assez extrêmes et il revient à l’architecte de prévoir des châssis performants bien orientés en quantité suffisante pour satisfaire les besoins du Maître de l’Ouvrage tout en gérant durablement l’énergie. Cette étape dans la conception du bâtiment devrait toujours faire l’objet de simulations pour optimiser la performance énergétique et économique du bâtiment.

Il est intéressant de remarquer que les 3 facteurs (orientation, quantité et qualité) sont importants dans le cadre du choix des châssis. La qualité globale de l’habitation est également à prendre en compte ; l’impact du choix d’une orientation favorable avec une bonne répartition sur les façades et une quantité assez faible de baies (cas 2, type K35) permet d’obtenir un bâtiment quasi aussi performant qu’un bâtiment globalement plus performant mais présentant plus d’ouvertures moins bien orientées et de qualité standard (cas 1, type K15).

En se posant les bonnes questions dès la conception du bâtiment, on évite des coûts inutiles tout au long de la durée de vie du bâtiment. Tel est le principe de l’architecture bioclimatique : dès la conception, on tient compte du climat et de l’environnement dans lequel le bâtiment va s’intégrer, afin de tirer le meilleur profit possible de l’énergie solaire gratuite et ainsi réduire les besoins en énergie pour le chauffage et l’éventuelle climatisation de l’habitat.

LA BAIE DE FENÊTRE ET L'URE

L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENÊTRE.....	15
LE CONTRÔLE DU CLIMAT LOCAL PAR L'ARCHITECTURE	16
LES PERFORMANCES DEMANDÉES	16
LE PRINCIPE	16
GAINS DE CHALEUR - GÉNÉRALITÉS.....	16
<i>Le principe.....</i>	16
<i>Le contrôle des apports solaires.....</i>	17
COMMENT GÉRER LES GAINS SOLAIRES ?	18
<i>Par la gestion de l'environnement et de l'orientation.....</i>	18
<i>Par l'architecture du bâtiment.....</i>	18
<i>Par les détails architecturaux.....</i>	19
<i>Par la qualité du vitrage.....</i>	19
COMMENT STOCKER LES GAINS DE CHALEUR ?	20
COMMENT CONTRÔLER ?	20
LA MAÎTRISE DES ÉLÉMENTS CLIMATIQUES.....	22
L'INFLUENCE DE L'EAU ET DE L'AIR	22
<i>L'eau, le vent.....</i>	22
<i>La neige.....</i>	23
<i>La vapeur d'eau.....</i>	23
<i>L'humidité relative.....</i>	24
L'INFLUENCE DE LA CHALEUR ET DU FROID	25
<i>L'isolation thermique et le rayonnement solaire.....</i>	25
COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD	26
LA VENTILATION	27
LA VENTILATION MAÎTRISÉE	27
LA VENTILATION INTENSIVE SELON LA NORME NBN D50-001	28
L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR.....	29
BUT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR.....	29
L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES MENUISERIES.....	29
PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DES MENUISERIES.....	29
PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DU RACCORD ENTRE LE CHÂSSIS ET LE SUPPORT.....	30
LES AUTRES FONCTIONS	32
LA FONCTION VISUELLE ET D'ÉCLAIREMENT	32

LA FONCTION STRUCTURALE.....	32
LA FONCTION ACOUSTIQUE	33
LA FONCTION DE SÉCURITÉ.....	34

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX CONSTITUANTS DES PAROIS EXTÉRIEURES NON OPAQUES D'UN BÂTIMENT	34
---	-----------

L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENÊTRE

UN PEU D'HISTOIRE...

Plusieurs siècles avant Jésus-Christ, les maisons des Assyriens avaient des fenêtres longues et étroites séparées par de petites colonnes car le rôle du soleil dans la gestion de l'énergie était important.

Les Egyptiens représentaient déjà des fenêtres dans leurs premières fresques. Le temple légendaire de Karnak construit par les Pharaons Seti I et Ramsès II en comportait lui-même.

Généralement, elles ne consistaient qu'en des ouvertures pratiquées dans les murs, recouvertes à l'occasion par des peaux, des rideaux ou des pièces de nattes.

Ce n'est qu'à l'apogée de l'architecture romaine que les fenêtres ont réellement commencé à ressembler aux fenêtres telles qu'on les connaît aujourd'hui. Habituellement, les Romains utilisaient des feuilles de mica, des panneaux de coquillages et même de minces feuilles de marbre diaphane comme vitrage. Et déjà au premier siècle avant J.-C., le verre coulé apparut chez les Romains qui allaient l'exporter dans le bassin de la Sambre.

Dans son oeuvre, Vitruve évoquait la disposition changeante des lieux de vie suivant les saisons et l'importance accordée au patio et aux jardins d'hiver.

Au Ve siècle, le verre était soufflé sur une surface pour en faire un verre plat. Cette technique ne sera supplantée que 6 siècles plus tard. Elle laissa sa place au "manchon" (verre soufflé en forme de cylindre).

Au Xe siècle, probablement en raison des rigueurs du climat, la production du verre pour fenêtre devenait assez élevée dans le Nord de l'Europe.

La recherche de la lumière s'est traduite dans l'architecture en général et plus particulièrement dans le Gothique et le Modern Style.

Au cours de la seconde moitié du XVIII^e siècle, la technique du verre coulé supplantant le verre soufflé a permis de développer des feuilles (vitrages) de plus grandes dimensions.

Après la première guerre mondiale, le procédé Fourcault (étirage mécanique) permit de réaliser des coulées en continu.

Ce n'est qu'en 1959 que le système "float glass" offrait enfin du verre dont les faces étaient planes et parallèles et ce, sans opérations de doucissage ou de polissage.

L'invention des fenêtres remonte presque au tout début de la civilisation mais ce n'est que dans les années 1970 que le vitrage et la menuiserie extérieure ont connu une évolution impressionnante.

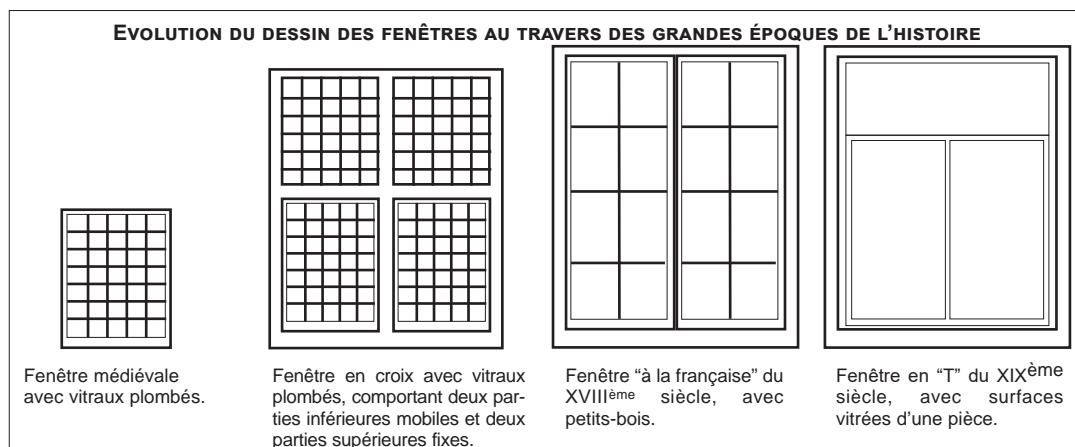
Auparavant, la plupart des infiltrations de vent et de pluie étaient dues à un manque d'étanchéité des menuiseries des baies extérieures.

Mais le besoin croissant de confort et la crise énergétique de 1973 ont incité des améliorations dans la conception de l'architecture, de ses matériaux et de leur fabrication.

L'étanchéité au vent est devenue si performante qu'elle permet enfin de mieux gérer les flux d'air en ayant recours à des dispositifs indépendants de la fenêtre elle-même pour assurer une ventilation contrôlée de l'ambiance intérieure.

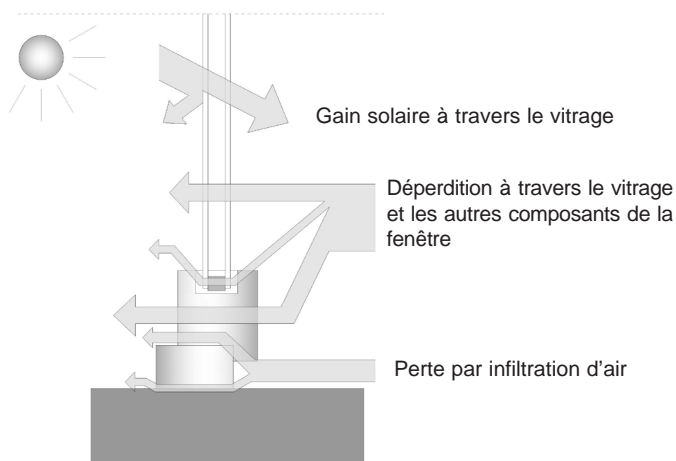
La recherche dans le domaine des fenêtres a permis de nombreux progrès tels que :

- l'amélioration des performances énergétiques en période hivernale ;
- le contrôle des gains solaires ;
- l'optimisation de l'éclairage naturel, pour limiter l'utilisation de l'éclairage artificiel et contrôler la transmission de lumière afin d'éviter les phénomènes d'éblouissement et les reflets ;
- la mise au point de façades à fonctions multiples : la combinaison de fonctions dans les murs-rideaux s'est de plus en plus imposée ces dernières années ;
- l'amélioration de la qualité des châssis tant du point de vue des matériaux que des profilés ;
- l'évolution positive des produits de resserrage en périphérie.



LE CONTRÔLE DU CLIMAT LOCAL PAR L'ARCHITECTURE

BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UNE BAIE DE FENÊTRE



LES PERFORMANCES DEMANDÉES

En principe, les performances de la fenêtre doivent rejoindre et compléter les performances énergétiques, structurales et visuelles de l'enveloppe extérieure.

Cependant, il faut constater que, généralement, même performante, une fenêtre laisse passer plus de chaleur qu'une partie de l'enveloppe opaque équivalente en surface.

LE PRINCIPE

Le climat local peut influencer l'implantation du bâtiment et son architecture.

Réciproquement, l'enveloppe doit protéger des variations du climat extérieur.

Le climat local doit conditionner l'orientation, la typologie et le dimensionnement des ouvertures et des fenêtres, ainsi que l'utilisation éventuelle des protections extérieures ou intérieures de ces ouvertures.

La disposition des locaux et les matériaux intérieurs jouent un rôle considérable dans l'absorption, le stockage et la distribution de l'énergie apportée par l'ensoleillement (flux solaire transmis au travers des vitrages).

L'ensoleillement, comme source d'énergie, est le facteur climatique dont il faut tirer parti car il compense partiellement les besoins en chauffage du bâtiment. Cependant, en hiver, il ne suffit généralement pas à couvrir l'ensemble des apports et, en été, il est trop important pour assurer le confort aux habitants en évitant les surchauffes.

GAIN DE CHALEUR - GÉNÉRALITÉS

Le rayonnement solaire (direct et diffus) réchauffe les parties opaques de l'enveloppe qui, par conduction (mais d'autant moins que l'isolation thermique de la paroi est importante), diffusent cette chaleur à l'intérieur du bâtiment.

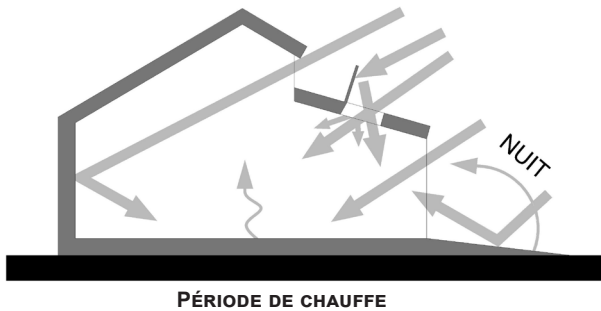
Au travers des vitrages (fenêtres, lanterneaux, verrières), il constitue, par effet de serre, un apport de chaleur intéressant s'il est stocké dans les masses intérieures.

LE PRINCIPE

Le principe consiste à stocker, dans les parois lourdes, les apports solaires directs qui passent à travers les vitrages des fenêtres pendant les périodes de chauffe.

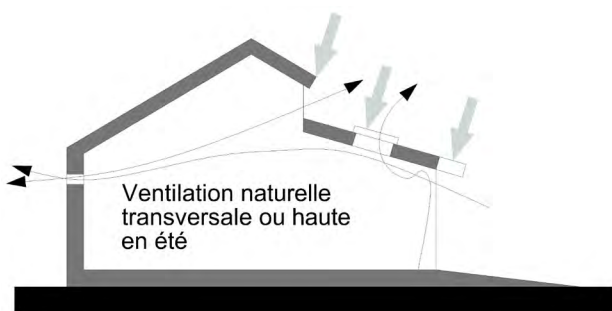
- Périodes de chauffe : les apports solaires directs à tra-

LA BAIE DE FENÊTRE ET L'URE



PÉRIODE DE CHAUFFE

Pour mémoire : le risque d'apparition de surchauffe est inversement proportionnel au temps de stockage dans les matériaux et dans les masses intérieures. Plus un matériau emmagasine rapidement de la chaleur, plus court sera le temps de restitution de celle-ci.



PÉRIODE D'ÉTÉ

vers les vitres se stockeront principalement dans les parois lourdes frappées directement par les rayons. La diffusion à travers l'espace est aussi possible mais moins efficace.

Remarque : les surfaces (sols et murs mais aussi le vitrage lui-même) peuvent être réfléchissantes pour mieux répartir le rayonnement de chaleur.

- Périodes d'été : il est important de prévoir un ombrage des surfaces vitrées au sud (SE et SO) :
 - soit par la végétation ;
 - soit par la forme du bâtiment ;
 - soit par une occultation idéalement extérieure.

LE CONTRÔLE DES APPORTS SOLAIRES

Le contrôle des apports solaires est indispensable, car le rayonnement solaire peut produire des surchauffes qu'une régulation usuelle maîtrise mal. Ceci mène à dire qu'il est nécessaire de compléter les fenêtres par des éléments de protection tels que les volets, les stores...

L'excès des apports solaires peut provoquer la surchauffe des locaux et donc l'inconfort de ses occupants.

Pour économiser de l'énergie dans le cas des logements, il est également conseillé de rechercher l'effet de serre aux périodes froides de l'année.

Par contre, cet effet de serre engendre une hausse des coûts liés aux systèmes de conditionnement dans le cas des bâtiments du secteur tertiaire car le taux d'occupation y est élevé et les appareils électriques ainsi que l'éclairage artificiel provoquent déjà une augmentation de la température interne.

EFFET DE SERRE

Lorsque le rayonnement solaire frappe un bâtiment, il peut atteindre une paroi opaque, une paroi transparente ou translucide.

Si le rayonnement solaire atteint une paroi translucide (en verre ou en matière plastique), cette paroi :

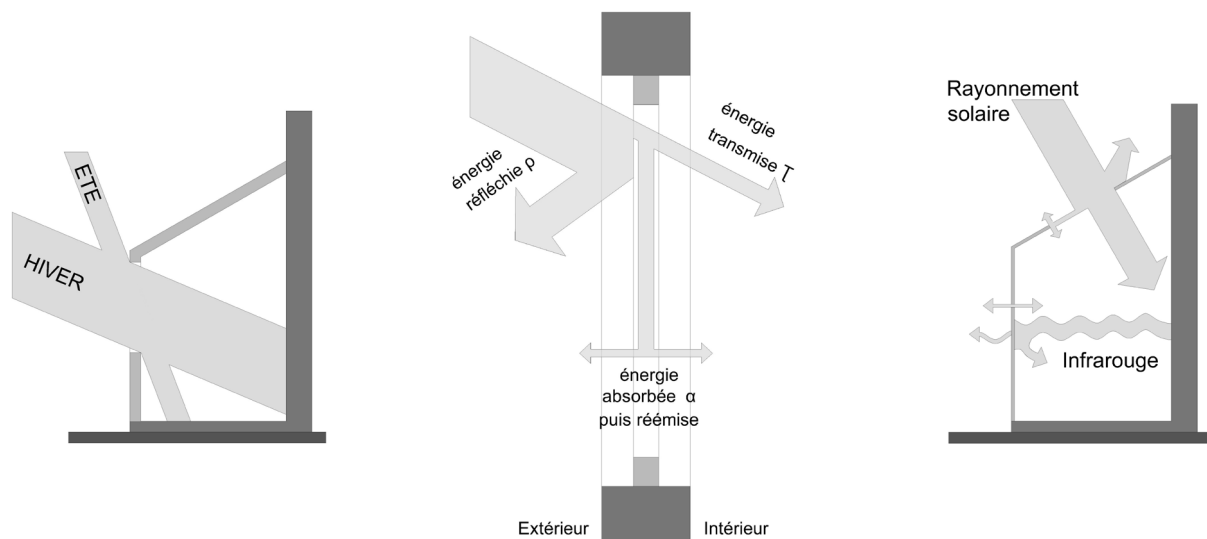
- transmettra les rayonnements à courtes longueurs d'onde (rayonnement solaire) vers l'intérieur (τ) ;
- réfléchira une partie de l'énergie (ρ) (grandes longueurs d'onde) ;
- absorbera puis réémettra de l'énergie (α).

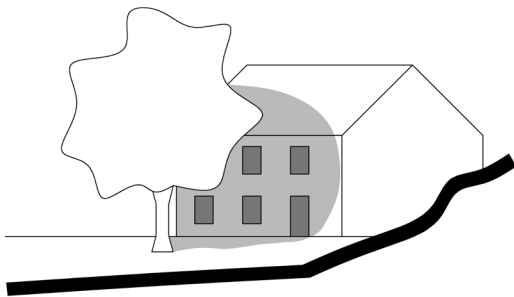
Principe de l'effet de serre [DE H-92]

Le rayonnement solaire, dont la longueur d'onde est courte, traverse le vitrage.

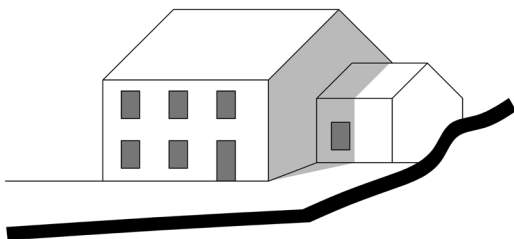
Il atteint l'intérieur du local et en réchauffe les objets et les parois. Etant donné que le rayonnement réémis a une grande longueur d'onde principalement située dans l'infrarouge lointain (supérieur à $5 \mu\text{m}$) et que les objets et matériaux translucides des parois extérieures sont "pratiquement opaques" à ces longueurs d'onde, il s'ensuit une augmentation de la température du local.

Ce phénomène basé sur la capture de l'énergie solaire à travers les parois translucides est appelé **l'effet de serre**.

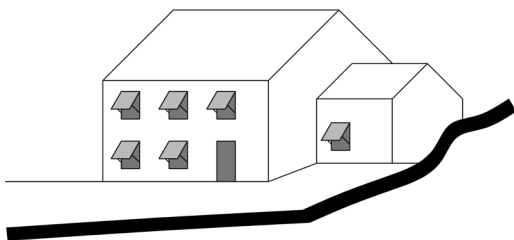




Ombre grâce à la végétation environnante

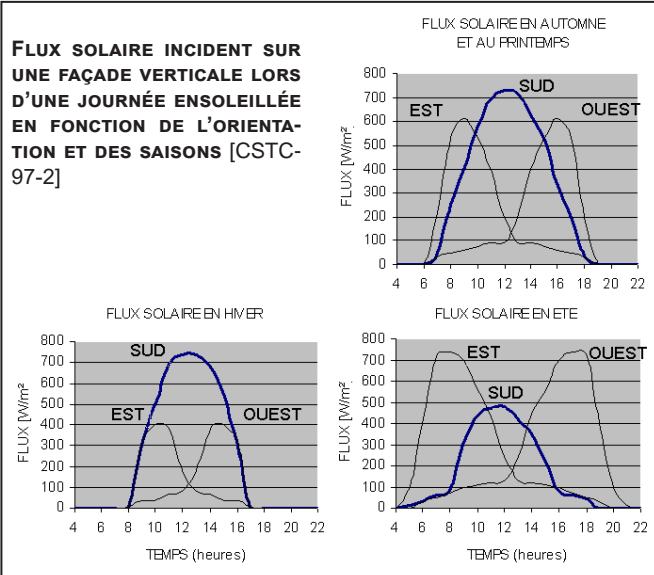


Ombre grâce au bâti environnant



Ombre et contrôle solaire grâce aux protections solaires

FLUX SOLAIRE INCIDENT SUR UNE FAÇADE VERTICALE LORS D'UNE JOURNÉE ENSOLEILLÉE EN FONCTION DE L'ORIENTATION ET DES SAISONS [CSTC-97-2]



Remarque : pour des baies de dimensions identiques, un châssis fixe laissera entrer plus de lumière qu'un châssis ouvrant, qui lui, en laissera pénétrer plus qu'un châssis ouvrant à plusieurs divisions.

De même, pour une baie de dimensions identiques, un châssis en bois ou en PVC aura un encombrement supérieur à celui qu'occupera un châssis métallique.

COMMENT GÉRER LES GAINS SOLAIRES ?

PAR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ORIENTATION

• L'environnement

Des obstacles extérieurs naturels ou artificiels peuvent provoquer des zones d'ombre sur un bâtiment, influençant ainsi l'ensoleillement.

L'apport d'ombre par les obstacles naturels tels que les arbres à feuilles caduques varie dans le temps mais il est illusoire de croire que pendant la période hivernale la luminosité et les apports solaires à l'intérieur seront égaux à ce qui existerait sans cette végétation.

• Le flux solaire sur une surface verticale

Le flux solaire sur une surface verticale varie en fonction de l'orientation. Les graphiques de la page 14 montrent les flux solaires incidents sur une façade verticale lors d'une journée ensoleillée en fonction de l'orientation de celle-ci et de la saison.

L'orientation idéale pour tout capteur est "sud \pm 20 degrés", ce qui revient à privilégier les orientations sud-est à sud-ouest car elles sont les plus avantageuses d'un point de vue énergétique.

PAR L'ARCHITECTURE DU BÂTIMENT

• La répartition des locaux et la thermocirculation

Une répartition judicieuse des locaux permettra de faire un usage optimal de l'orientation de l'habitation et de la distribution des surfaces vitrées sur les différentes façades pour accumuler le maximum d'énergie solaire ou, au contraire, pour éviter toute surchauffe.

La disposition des locaux, que ce soit en plan ou en coupe, permet d'une part de créer des espaces-tampons (isolants ou sans nécessité particulière de confort) mais aussi, grâce aux différences de température entre les pièces opposées, de générer des flux de chaleur.

D'une manière générale, on orientera de préférence les pièces de séjour au sud, les chambres à coucher à l'est et à l'ouest, et les zones tampons (garage, entrée...) au nord. Un bon compartimentage, même mobile, permet en outre de maintenir différentes zones de température dans la maison selon leur utilisation.

• La dimension des baies de fenêtres

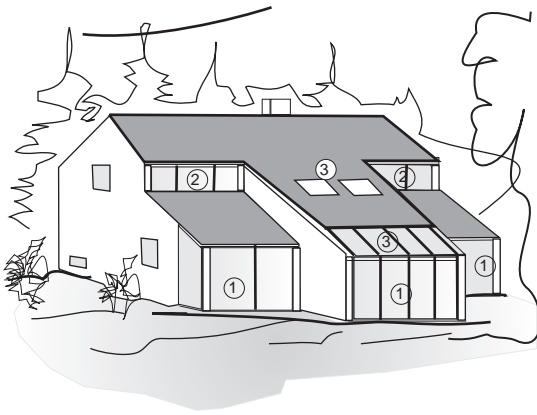
Les grandes baies, orientées vers le soleil, sont intéressantes pour récupérer les gains solaires mais il convient d'éviter les trop grandes surfaces vitrées, même lorsqu'elles sont orientées sud-est et sud-ouest car il peut y avoir des problèmes de surchauffe en été et d'inconfort thermique en hiver.

• La position des fenêtres

- *Fenêtres inclinées (fenêtres de toit, coupoles, etc.)*

Ces surfaces vitrées inclinées fournissent, pour une surface égale de vitrage, deux à trois fois plus de lumière

TYPLOGIE DE LA FENÊTRE SELON SA POSITION



- 1- large fenêtre vitrée verticale
- 2- fenêtre horizontale haute en position verticale
- 3- fenêtre de toit en pente

naturelle que les ouvertures en surface verticale. En été, les fenêtres inclinées captent plus d'énergie solaire. Il faut donc prévoir des protections pour empêcher une surchauffe et un système de ventilation approprié.

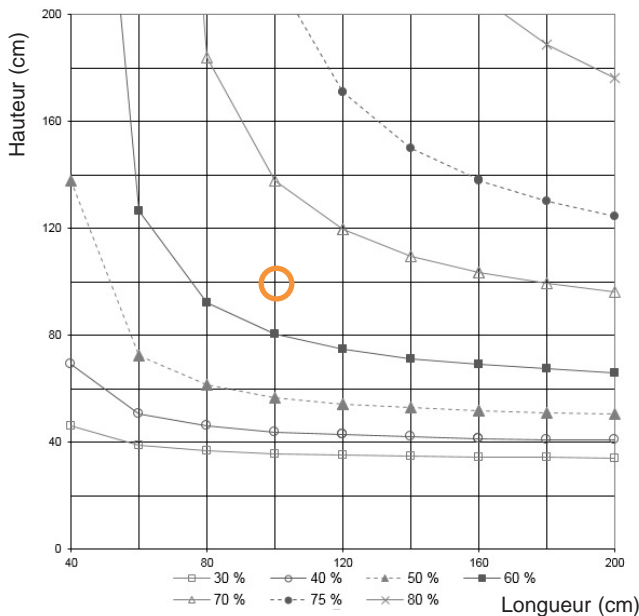
Dans les autres cas (en hiver et pendant la nuit), ces fenêtres inclinées subissent une grande perte thermique en raison du rayonnement infrarouge vers la voûte céleste. Il est donc nécessaire de prévoir une bonne protection pour éviter le refroidissement excessif pendant ces périodes.

- Fenêtres verticales

Par rapport à l'intérieur d'un local, plus la fenêtre sera haute, plus le fond de la pièce sera éclairé.

Pour économiser l'énergie (moins d'éclairage artificiel), il est donc conseillé de situer le linteau le plus haut possible.

POURCENTAGE VITRÉ SELON LES DIMENSIONS JOUR (CHÂSSIS BOIS DE MONTANTS 58 x 58 MM) [HAUG-01]



PAR LES DÉTAILS ARCHITECTURAUX

• La dimension des surfaces de vitrage

L'architecture actuelle utilise des surfaces vitrées de plus en plus grandes, ce qui donne plus de transparence, d'ouverture et de prestige au bâtiment. Mais selon le type de châssis et selon ses divisions, la surface "transparente" sera plus ou moins importante (voir figure ci-contre). Ainsi, la figure ci-contre illustre l'ordre de grandeur de la partie vitrée des fenêtres selon leur dimension jour (longueur x hauteur en cm), pour un châssis en bois de montants 58 x 58 mm [HAUG-01] : une fenêtre de L100 x H100 cm comporte environ 63 % de superficie vitrée.

PAR LA QUALITÉ DU VITRAGE

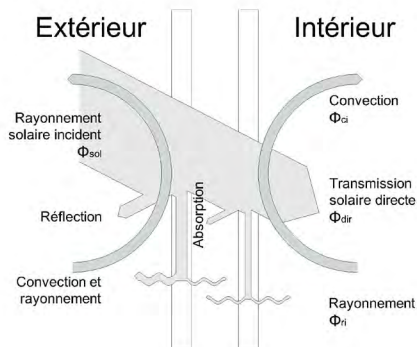
• Le coefficient de transmission d'énergie ou facteur solaire du vitrage

Le facteur solaire g (ou facteur de transmission d'énergie totale) a une influence considérable sur les gains solaires. Plus le facteur solaire sera élevé, plus les gains solaires seront élevés. Le facteur g est calculé selon la norme NBN EN 410 (voir ci-dessous).

FACTEUR SOLAIRE ABSOLU OU TRANSMISSION D'ÉNERGIE TOTALE

= fraction de rayonnement solaire incident (irradiance) pénétrant dans l'ambiance intérieure sous forme de chaleur.

$$[\phi_{dir} + (\phi_{ri} + \phi_{ci})] / \phi_{sol}$$



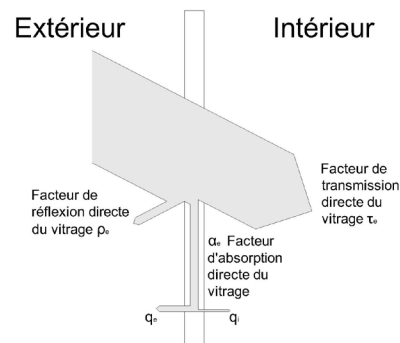
FACTEUR SOLAIRE G

= pourcentage d'énergie entrant dans un local par rapport à l'énergie solaire incidente (transmission + réémission énergétique de la paroi vers l'intérieur) ;

$$\text{soit } g = \tau_e + q_i$$

q_i = facteur de réémission thermique vers l'intérieur

q_e = facteur de réémission thermique vers l'extérieur



FLUX SOLAIRE SUR UNE SURFACE VERTICALE EN FONCTION DE L'ORIENTATION ET DE L'INERTIE DU BÂTIMENT [ARCH-97]

Dans les immeubles de bureaux, on estime qu'en été, un refroidissement devient nécessaire lorsque la somme des apports internes et externes atteint 50 W/m² au sol.

Si on estime, d'une manière générale, les apports internes d'un bureau de 15 m² moyennement équipé à 17 W/m², soit 1 ordinateur (± 150 W) et 1 personne (70 W), il est alors nécessaire de limiter les apports solaires à 33 W/m² au sol.

Le tableau ci-dessous représente, pour une journée ensoleillée du mois de juillet, la puissance énergétique maximale due à l'ensoleillement, réellement transmise à l'ambiance, d'un local de 30 m² au sol, en fonction de l'inertie du bâtiment. La fenêtre du local est équipée d'un double vitrage clair (de 6 m²) orienté respectivement à l'est, au sud et à l'ouest.

	BÂTIMENT LOURD		BÂTIMENT MOYEN		BÂTIMENT LÉGER	
	W/m ² de vitrage	W/m ² au sol	W/m ² de vitrage	W/m ² au sol	W/m ² de vitrage	W/m ² au sol
EST	245	49	267	53	351	70
SUD	198	50	210	42	252	50
OUEST	250	50	263	53	356	71

Le tableau ci-dessous reprend le facteur solaire minimum de l'ensemble [vitrage + protection] nécessaire pour limiter les apports solaires à 33 W/m² au sol.

	BÂTIMENT LOURD	BÂTIMENT MOYEN	BÂTIMENT LÉGER
EST	0,51	0,47	0,36
SUD	0,63	0,60	0,50
OUEST	0,50	0,47	0,35

COMMENT STOCKER LES GAINS DE CHALEUR ?

Le captage de l'énergie solaire au droit des éléments transparents et des parois, son stockage dans les planchers et les parois et sa diffusion après un temps de déphasage sont les éléments à intégrer dans le calcul des apports externes.

• Le stockage : l'accumulation se fait directement dans le sol et les murs frappés par le soleil. Il est donc préférable que ces matériaux accumulateurs aient de petites surfaces épaisses plutôt que d'avoir de grandes surfaces minces.

Il est également préférable que ces matériaux présentent une grande capacité thermique (béton, briques ou eau).

Il faut également prêter attention au fait que :

- une masse d'accumulation chauffée par l'air réchauffé dans l'espace de vie doit être 4 fois plus importante que si elle était directement ensoleillée ;
- la couleur sombre est préférable pour les éléments accumulateurs.

COMMENT CONTRÔLER ?

• Pour réduire l'apport d'énergie solaire, il convient :

- de limiter la surface des vitrages à des valeurs raisonnables compte tenu du volume et de l'inertie thermique du bâtiment ainsi que l'orientation des fenêtres ;
- d'utiliser des vitrages permettant le contrôle solaire (facteur solaire < 0,5). Ces vitrages à transmission énergétique limitée assurent le passage d'une fraction du rayonnement énergétique solaire afin d'assurer un éclairage naturel tout en limitant les risques de surchauffe ;
- d'utiliser des protections solaires (volets, stores extérieurs, ombrage de la végétation, débordement de toiture...). Il est indispensable de concilier la protection contre la surchauffe et l'apport en éclairage naturel au sein du local ;
- d'assurer une circulation d'air.

• Pour augmenter l'apport d'énergie solaire, il convient :

- de choisir les couleurs claires pour les sols extérieurs ou d'avoir des plans d'eau qui peuvent aussi assurer cette réflexion ;
- de placer le plus grand vitrage possible dans les baies créées, en réduisant l'emprise des châssis dans les dimensions jour des baies.

• Les apports solaires dépendent également :

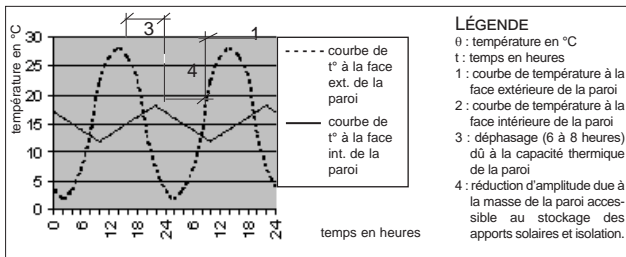
- de l'orientation des baies vitrées ;
- de leur inclinaison par rapport au rayonnement solaire incident ;
- de la performance thermique du vitrage (U_g et facteur solaire g) et de l'ensemble de la baie (U_w).

STOCKAGE ET INERTIE THERMIQUE DES PAROIS

L'inertie thermique due à la capacité thermique d'une paroi s'exprime par le déphasage dans le temps, entre l'accumulation de l'énergie thermique de cette paroi et la redistribution de calories ou de frigories.

Le confort thermique des maisons anciennes aux murs très épais en matériaux peu isolants, provenait d'un compromis heureux entre une isolation thermique relativement médiocre et une grande inertie thermique, alliées à une occupation constante.

Le temps nécessaire à la redistribution des calories accumulées par les parois résulte du volant d'inertie thermique.



Un fort volant d'inertie thermique conduit :

- en hiver, à un fonctionnement plus régulier de l'installation de chauffage, permettant une puissance installée moindre et des variations de la température intérieure plus lentes et plus réduites, donc plus acceptables ;
- en saison d'été, à une température intérieure clémente en soirée et fraîche pendant la journée.

Les baies vitrées n'ayant pas de masse suffisante, il n'y a donc pas de possibilité qu'elles jouent un rôle dans le phénomène d'inertie thermique. En été, les baies doivent être associées par la mise en place de protection solaire et d'un système de rafraîchissement pendant la nuit. Par contre, en hiver, il est intéressant de profiter de ces apports solaires gratuits dans le but d'emmagasiner l'énergie dans la masse et de la restituer.

De ce fait, il s'agit de choisir, pour les autres parois ou parties de parois, des matériaux qui permettent l'accumulation de la chaleur.

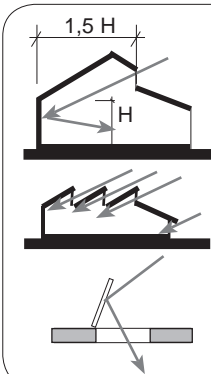
Dès lors de grandes baies vitrées doivent être compensées par une masse thermique appropriée et par une isolation rapportée pour empêcher l'effet de paroi froide.

Ceci illustre l'intérêt, sur le plan du confort, de l'utilisation d'un vitrage thermiquement performant.

En conclusion : il est recommandé de stocker la chaleur dans les parois intérieures présentant une capacité thermique suffisante (par exemple, mur accumulateur (voir glossaire)).

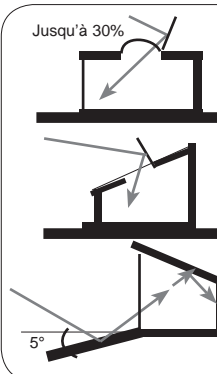
Ce principe peut avoir une incidence sur le choix des matériaux des parois intérieures.

QUELQUES EXEMPLES DE TECHNIQUES POUR RÉDUIRE OU AUGMENTER LES APPORTS SOLAIRES



Pour optimiser les gains solaires, il est conseillé que :

- pour les fenêtres verticales en toiture :
 - le plafond soit clair et réfléchissant ;
 - les fenêtres soient positionnées à une distance de 1,5 fois la hauteur du mur capteur ;
 - dans le cas d'une toiture en sheds, la pente soit égale à l'angle azimutal du soleil le 21 décembre (en fonction des données locales).
- pour les fenêtres de toiture :
 - un réflecteur est nécessaire pour les fenêtres en toiture plate.



La mise en place de réflecteurs

Dans certaines régions, pour augmenter l'apport d'énergie solaire, il convient de mettre en place des réflecteurs qui peuvent, dans certains cas, augmenter jusqu'à 30 à 40 % le gain direct pour une ouverture.

Idéalement, ces réflecteurs rabattus doivent aussi assurer l'isolation nocturne, hivernale et servir d'ombrage lorsque cela s'avère nécessaire.

La projection horizontale du pare-soleil au niveau du linteau de la fenêtre

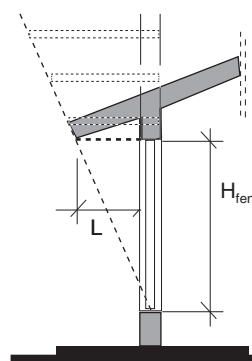
L'ombrage sera maximal le 21 juin.

La longueur (projection horizontale) de la protection solaire idéale est donnée par : $L = H_{\text{fen}} / F$

avec :

- H_{fen} : hauteur de la fenêtre ;
- F : facteur dont les valeurs varient en fonction de la période et de la latitude. Ce facteur est maximum lors du solstice d'été et a une valeur moyenne représentative lors du premier août ; il est repris dans le tableau ci-contre.

Une autre méthode de calcul d'un auvent horizontal est l'utilisation du diagramme solaire, non reprise ici.



latitude	21 juin	1 août
48°	2.2	1.7
52°	1.8	1.5

LA BAIE DE FENÊTRE ET L'URE

SYNTHÈSE DES CARACTÉRISTIQUES DES DIFFÉRENTES STRATÉGIES DE CONTRÔLE SOLAIRE [WOUT-00]

DESIGN ARCHITECTURAL	DEVELOPPEMENT INDUSTRIEL	CONTRÔLE AUTOMATIQUE	PERFORMANCES DE LA LUMIERE DU JOUR	DONNEES SUR LES PRODUITS ET LES SYSTEMES	OPTIMISATION ETE /HIVER	MAINTENANCE		
							Dimensionnement adéquat des surfaces vitrées	→
							Orientation des fenêtres	→
							Ombfrage par des objets	→
							⇒ constructions environnantes	
							⇒ végétation	
							⇒ compartimentage de la construction	
							Fenêtre avec des caractéristiques spéciales	→
							⇒ vitrage réfléchissant ou absorbant	
							⇒ vitrage sélectif	
							⇒ vitrage à propriétés variables	
							Système d'ombfrage indépendant	→
							⇒ volets	
							⇒ écrans	
							⇒ ...	
							Façade double ou active	→

INTERPRÉTATION DU TABLEAU

Par exemple : lorsque, pour contrôler les apports solaires, on choisit comme stratégie de limiter les surfaces vitrées, cela implique une modification de l'architecture et une optimisation des performances en été et en hiver. De plus, cela influence, dans une certaine mesure, la pénétration de la lumière pendant la journée.

Impact important et/ou aspect crucial
 Impact modéré à important
 Impact faible à modéré

LA MAÎTRISE DES ÉLÉMENTS CLIMATIQUES

L'INFLUENCE DE L'EAU ET DE L'AIR

Tout comme l'enveloppe, la fenêtre agit à la fois comme une peau respirante et comme une barrière ou un filtre.

L'EAU, LE VENT

Malgré l'action du vent, l'eau sous sa forme de liquide libre doit être arrêtée totalement par l'enveloppe et donc par le vitrage mais aussi par les autres constituants de la baie, à savoir les châssis, les joints et les compléments.

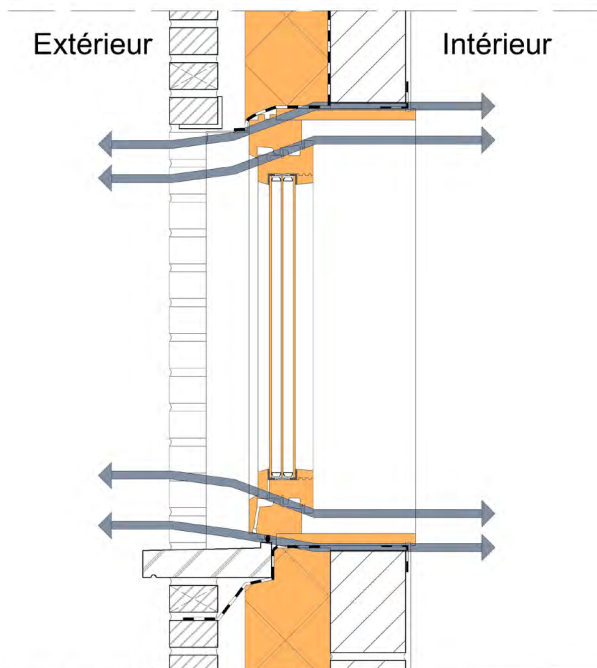
Le vitrage arrête naturellement l'eau mais les autres constituants de la baie demandent une attention particulière lors de la conception et de la mise en oeuvre des éléments.

L'enveloppe doit être conçue comme un régulateur et non comme une barrière à l'air. En effet, le renouvellement périodique de l'air de l'ambiance intérieure est indispensable, mais doit être contrôlé.

Dès lors, il faut être attentif aux flux d'air qui résulteraient d'une ventilation mal contrôlée car une vitesse trop importante de l'air dans un local perturbe le confort thermique de l'occupant.

Les échanges d'air indésirables se font principalement par les joints, autour des fenêtres et des portes, aux raccords entre les châssis et les parois et, bien entendu, lors de l'ouverture des portes et des fenêtres.

La pénétration contrôlée de l'air extérieur au travers des parois influence également la température de l'air ambiant,



Étanchéité à l'air et à l'eau :

Dans un châssis, il y a deux endroits où l'étanchéité peut présenter des faiblesses :

- au raccord avec le gros-oeuvre ;
- dans le cas de châssis ouvrants, entre le dormant et l'ouvrant.

CLASSE DE PERMÉABILITÉ À L'AIR REQUISE DES FENÊTRES, MESURÉE SUIVANT NBN EN 12207 [IBN -00-2] (SELON STS 52 [SPFE-05])

Hauteur au-dessus du sol	Rugosité du terrain			
	Ville IV	Boisée III	Campagne II	Mer ⁽¹⁾ I
0 à 10 m du sol	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3
10 à 18 m du sol	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾
18 à 25 m du sol	3 ⁽²⁾	3	3	3
25 à 50 m du sol	3	3	3	4
50 à 100 m du sol	3	4	4	4
> 100 m du sol	(3)			

Remarque générale : Pour des locaux avec air conditionné, le niveau de perméabilité à l'air de la classe 4 est toujours exigé. Cette exigence découle du fait qu'il est conseillé d'utiliser un maximum de châssis fixes dans le cas de bâtiments équipés d'air conditionné.

(1) Bord de mer : zone allant jusqu'à 2000 m de la digue ou à défaut de digue, de la ligne des hautes eaux d'équinoxe.

(2) Si des isolations thermique et/ou acoustique moindres sont acceptables, le cahier spécial des charges peut prescrire le niveau de perméabilité à l'air de classe 2.

(3) Le cahier spécial des charges spécifie la pression maximale de l'essai.

CLASSE DE PERMÉABILITÉ À L'EAU REQUISE DES FENÊTRES, MESURÉE SUIVANT NBN EN 12208 [IBN -00-3] (SELON STS 52 [SPFE-05])

Hauteur au-dessus du sol	Rugosité du terrain			
	Ville IV	Boisée III	Campagne II	Mer ⁽¹⁾ I
0 à 10 m du sol	4A ⁽²⁾	4A ⁽²⁾	6A ⁽²⁾	8A
10 à 18 m du sol	4A ⁽²⁾	6A ⁽²⁾	8A ⁽²⁾	9A
18 à 25 m du sol	6A ⁽²⁾	8A	9A	9A
25 à 50 m du sol	8A ⁽²⁾	9A	9A	9A
50 à 100 m du sol	9A	Rem ⁽³⁾	Rem ⁽³⁾	Rem ⁽³⁾
> 100 m du sol	Rem ⁽³⁾			

(1) Bord de mer : zone allant jusqu'à 2000 m de la digue ou à défaut de digue, de la ligne des hautes eaux d'équinoxe.

(2) Pour des fenêtres et portes-fenêtres non protégées, le cahier spécial des charges peut prescrire une pression d'essai de 100 Pa supérieure à celle prescrite dans les STS 52, à savoir : 150 Pa pour la classe 4A, 250 Pa pour la classe 6A, 450 Pa pour la classe 8A et 600 Pa pour la classe 9A.

(3) Le cahier spécial des charges spécifie la pression maximale de l'essai.

la température des parois, ainsi que le contrôle du taux de renouvellement d'air.

Les nouvelles techniques permettent une bonne étanchéité de la menuiserie et, enfin, de maîtriser les renouvellements d'air et d'augmenter sensiblement le confort. Le niveau de performance d'étanchéité à l'eau et à l'air, sous une pression donnée, est lié au contexte et à la hauteur par rapport au sol.

LA NEIGE

La neige représente une charge dont il faut tenir compte dans le calcul de la structure portante des verrières mais aussi des parties translucides de celles-ci. L'accumulation, même partielle, de neige sur des surfaces vitrées (principalement en toiture) peut provoquer des "chocs thermiques" et donc l'éclatement des feuilles de verre.

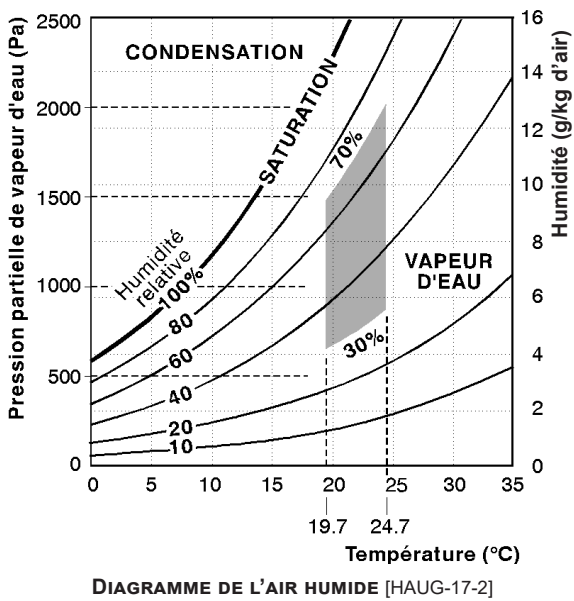
LA VAPEUR D'EAU

En conditions hivernales, la température et l'humidité de l'air sont plus élevées dans le bâtiment qu'à l'extérieur.

Le bâtiment est donc comme un réservoir de chaleur et de vapeur d'eau, qui tendent à s'échapper vers l'extérieur au travers des parois extérieures. De fait, les châssis et vitrages sont les premiers endroits où la condensation risque d'apparaître (baies, châssis et leurs pourtours).

Il faut surtout veiller à :

- assurer la continuité de la coupure thermique au raccord entre le gros-oeuvre et les fenêtres ;
- diminuer l'humidité relative du local par une ventilation appropriée (voir [HAUG-17-1]) car il faut veiller à évacuer l'humidité produite. En effet, la production de vapeur d'eau doit rester un pic et la ventilation doit permettre un retour à la normale. La ventilation appropriée est la ventilation hygiénique définie par l'Annexe C2-VHR de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2] qui fait, elle-même référence à la NBN D50-001. Pour la définir, il faut déterminer les débits de ventilation qui sont fonction du type de local (sec ou humide) et de la surface intérieure. Elle renouvelle l'air des espaces intérieurs grâce à un des quatre systèmes de ventilation. Ils organisent l'alimentation de l'air frais dans les locaux secs, son transfert et, une fois vicié, son évacuation via les locaux humides ;
- à avoir une température suffisante à l'intérieur du local, de manière à "chauffer" la face intérieure de la paroi ;
- choisir les matériaux et les finitions du châssis et des vitrages pour leurs propriétés d'isolant thermique ;
- à la conception du gros-oeuvre, à la qualité des raccords au gros-oeuvre (noeuds constructifs), aux performances des châssis, du vitrage et des compléments (volet, etc.).



L'HUMIDITÉ RELATIVE

Dans des conditions habituelles de confort, le taux courant d'humidité relative de l'air ambiant est compris entre 30 et 70 % pour des températures d'air entre 20 et 25°C (zone grisée sur le diagramme de l'air humide ci-contre).

• Condensation à l'intérieur

La quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir est proportionnelle à sa température. Lorsque de l'air saturé en vapeur d'eau se refroidit, la quantité de vapeur qu'il peut contenir diminue et l'excédent de vapeur d'eau se condense. Un vitrage froid refroidit l'air en contact direct avec lui. Lorsque cet air est suffisamment humide, la vapeur va se condenser et former de la buée sur le vitrage.

Dans le but de limiter la condensation, il est essentiel d'agir sur tous facteurs liés au phénomène de condensation, à savoir :

- la température de surface de la paroi ;
- la température de l'air intérieur ;
- la production d'humidité dans le bâtiment ;
- le débit de ventilation.

Par exemple, dans les locaux "humides" (salle-de-bain, cuisine...), la saturation de l'air peut entraîner malgré tout de la condensation. Ce problème se résout par une ventilation hygiénique définie par la norme.

La condensation côté intérieur sur les vitrages apparaît en premier lieu dans les angles du vitrage en raison de l'accroissement de flux dû aux intercalaires des vitrages. Dans des conditions normales, les vitrages isolants permettent pratiquement de supprimer le risque de condensation sur la face du vitrage se situant à l'intérieur du local. Une solution est de placer des intercalaires en matériau moins conducteur, par ex. composite pour réduire le pont thermique. Par contre un phénomène de condensation externe a tendance à se produire de plus en plus comme décrit ci-dessous.

• Condensation à l'extérieur

De nos jours, l'isolation thermique des vitrages devient de plus en plus performante, ce qui contribue au fait que la température de leur face se situant à l'extérieur devient très basse par temps froid car la chaleur de l'intérieur ne peut plus réchauffer la face externe du vitrage. Il peut donc y avoir de la condensation sur cette face, particulièrement en début de matinée, après une nuit claire. C'est généralement le cas avec des vitrages multiples à haut rendement (ou à faible émissivité) et sur les fenêtres de toiture. Mais, dans ce cas, la vue brouillée qui en résulte cause moins de désagrément pour les occupants que lorsque cette condensation se situe sur une fenêtre verticale.

On peut donc observer de la condensation extérieure dans les conditions suivantes :

- présence de vitrages bien isolés ;
- pendant la nuit ou aux petites heures du matin ;
- par ciel dégagé et absence de vent ;



CONDENSATION SUR LA FACE EXTERNE DU VITRAGE

Le lecteur pourra trouver un complément d'information dans :

- la partie "annexes" de ce même ouvrage ;
- les ouvrages repris en bibliographie sous les références :
 - [CSTC-89] : la NIT176 du CSTC donne des renseignements précieux entre autre sur les sollicitations des vitrages en toiture et sur le calcul de l'épaisseur ;
 - [CSTC-93] : la NIT188 du CSTC donne des renseignements précieux et des détails concernant les barrières d'étanchéité entre les menuiseries et le gros-oeuvre ;
 - [CSTC-99] : la NIT 214 du CSTC donne des renseignements sur le verre et les produits verriers, ainsi que sur les fonctions des vitrages ;
 - [CSTC-99] : la norme NBN S23-002-2:2016 «Vitrerie - Partie 2 : calcul des épaisseurs du verre» est d'application depuis février 2016. L'application Vitralys®, développée par la Fédération de l'Industrie du Verre permet de calculer l'épaisseur des vitrages conformément à cette norme.

- par temps froid et période hivernale ;
- en été : pendant des périodes de ciel clair et pendant lesquelles l'humidité relative est plutôt élevée.

Cela signifie que :

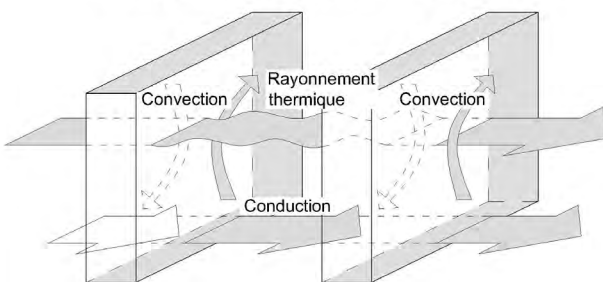
- la température de la face extérieure du vitrage est nettement plus basse que la température de l'air extérieur ;
- le point de rosée de l'air extérieur est supérieur à la température de la face extérieure du vitrage ;
- le produit (vitrage) est de bonne isolation thermique.

La condensation apparaît d'abord au centre du vitrage. Cette zone reçoit un minimum d'énergie depuis l'intérieur vu que les bords du vitrage se réchauffent au droit de l'intercalaire faisant pont thermique. Ce phénomène peut avoir également pour conséquence la fixation des poussières sur le vitrage.

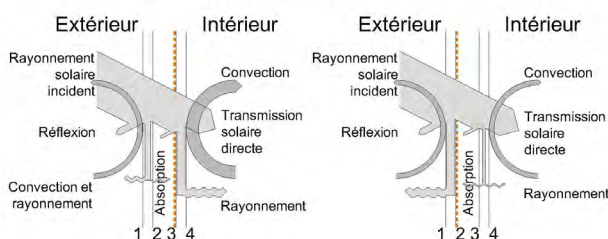
• Condensation interne aux matériaux

- *Dans les châssis bois* : il peut y avoir de la condensation à l'intérieur des profilés si ceux-ci ne sont pas protégés par un vernis ou une peinture pare-vapeur apposé(e) sur la face intérieure du profilé. En effet, si cette situation perdure, cela peut entraîner le pourrissement du bois.
- *Entre les feuilles de verre des vitrages multiples* : il faut veiller à la qualité des intercalaires car il peut y avoir condensation interne
 - si les feuilles du vitrage multiple sont mal soudées ;
 - ou si l'étanchéité de la lame d'air (ou de gaz) n'est plus assurée.

SCHÉMA DES DIFFÉRENTS TRANSFERTS DE CHALEUR DANS UN DOUBLE VITRAGE



MODIFICATION DES FLUX PAR L'ADJONCTION D'OXYDES MÉTALLIQUES SUR LES FACES INTERNES



La couche "basse émissivité" est une couche d'oxydes métalliques, déposée sous vide à l'intérieur du double vitrage vu sa fragilité. Elle bloquera une partie du transfert de chaleur par rayonnement, diminuant ainsi le flux total de chaleur au travers de la fenêtre. En effet, en plus de sa capacité à inhiber les transferts d'infrarouges à grande longueur d'onde, une couche basse émissivité absorbe une certaine quantité de l'énergie solaire incidente. Cette énergie absorbée est transformée en chaleur, provoquant un échauffement du vitrage. Si l'on cherche à laisser passer la chaleur solaire avec un facteur solaire élevé, la couche basse émissivité sera placée sur le verre intérieur du double vitrage en face 3. La chaleur absorbée par la vitre sera réémise vers l'intérieur. Si l'on cherche au contraire à diminuer la chaleur solaire entrante avec un facteur solaire faible, la couche basse émissivité sera placée en face 2, la chaleur absorbée par le vitrage étant alors essentiellement réémise vers l'extérieur. Dans les bâtiments résidentiels, la couche "basse émissivité" sera placée en face 3 pour éviter les pertes de chaleur en hiver. Par contre, dans les bâtiments tertiaires avec des apports internes élevés, la couche "basse émissivité" sera placée sur la face 2 pour éviter les apports solaires excessifs en été et à la mi-saison.

L'INFLUENCE DE LA CHALEUR ET DU FROID

L'ISOLATION THERMIQUE ET LE RAYONNEMENT SOLAIRE

L'enveloppe extérieure doit limiter les pertes de chaleur en hiver et protéger de la radiation solaire en été.

Cette propriété d'atténuation dépend des caractéristiques de transmission thermique des parois par conduction, convection et radiation.

Les fenêtres et leurs compléments doivent s'associer à l'isolation thermique. Suivant l'orientation, les saisons et les heures, la fenêtre (baie) doit capter l'énergie (apport solaire gratuit) et évacuer le trop-plein pour éviter toute surchauffe essentiellement en période estivale.

Actuellement, grâce aux recherches et aux nouvelles technologies, l'industrie produit des doubles vitrages qui permettent d'atteindre un coefficient de transmission thermique de la fenêtre (châssis + vitrage) proche de 0,8 W/m²K, ce qui se rapproche des performances des parois opaques un peu isolées.

- Température de surface interne des parois : cette température est importante et conditionnée par le choix du type de paroi et du type de matériau.

Les grandes surfaces froides occasionnent la radiation du corps vers elles ; il faut donc les éviter, par exemple, en équipant les grandes ouvertures de vitrage isolant ou

en ajoutant des systèmes de protection extérieure ou intérieure. Nous décrirons dans le chapitre y relatif l'efficacité des compléments à la fenêtre.

- Température superficielle de la surface externe d'un vitrage : elle est fonction :
 - du flux de chaleur venant de l'intérieur et traversant le verre ;
 - de l'échange convectif avec l'air extérieur ;
 - des pertes par rayonnement (principalement vers la voûte céleste) et donc de l'inclinaison du vitrage (par exemple, en toiture) par rapport à la verticale.

COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD

COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES ET PORTES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD

Dans son paragraphe « 9. Coefficient de transmission thermique des composants des fenêtres et des portes », l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 donne le détail du mode de calcul des coefficients de transmission thermique :

- du vitrage ;
- de l'encadrement ;
- du panneau de remplissage opaque ;
- de la grille de ventilation ;

ainsi que :

- le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement ;
- et le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement.

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre U_w ou d'une porte U_D ayant des dimensions connues et pourvue de parties vitrées et/ou de panneaux de remplissage opaques et/ou de grilles de ventilation, est généralement calculé au moyen de la formule suivante :

$$U_w \text{ (ou } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + A_r U_r + l_g \psi_g + l_p \psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r}$$

où,

A [m^2] = superficie du vitrage (A_g), du châssis (A_f), de la grille de ventilation (A_r) ou du panneau de remplissage (A_p)

U [W/m^2K] = coefficient de transmission thermique du vitrage (U_g), du châssis (U_f), du panneau de remplissage opaque (U_p) ou de la grille de ventilation (U_r)

ψ [W/mK] = coefficient de transmission linéique tenant compte des effets combinés

- du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement (ψ_g)
- du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement (ψ_p)

l [m] = longueur du raccordement entre l'encadrement et

- le vitrage (l_g)
- le panneau de remplissage (l_p)

Cette équation peut être utilisée pour les fenêtres constituées de plusieurs types de vitrages, encadrements ou panneaux de remplissage.

La procédure générale pour la détermination de la valeur U des fenêtres et des portes est détaillée dans l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2].

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre (U_w) est déterminé soit par des essais selon la NBN EN ISO 12567-1 (ou NBN EN ISO 12567-2 pour les fenêtres de toit), soit d'après un calcul décrit dans l'Arrêté. Dans l'évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment dans le cadre de la PEB, un calcul fenêtre par fenêtre est en principe réalisé, utilisant la formule reprise dans l'encadré ci-contre.

Une approche simplifiée est également autorisée. Pour des fenêtres sans grille de ventilation ni panneau de remplissage, le coefficient se calcule comme suit :

$$\text{si } U_g \leq U_f, \text{ alors : } U_{w,T} = 0,7 U_g + 0,3 U_f + 3 \psi_{f,g} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

$$\text{si } U_g > U_f, \text{ alors : } U_{w,T} = 0,8 U_g + 0,2 U_f + 3 \psi_{f,g} \text{ [W/m}^2\text{K]}$$

La valeur U des fenêtres concerne l'ensemble de la fenêtre, c'est-à-dire la partie vitrage et le châssis et l'intercalaire.

Elle sera plus importante que la valeur U centrale du vitrage, à cause de l'influence du châssis, de l'intercalaire et des raccords au mur.

A titre indicatif, le tableau de la page suivante fournit quelques valeurs de coefficients de transmission thermique $U_{w,T}$ des fenêtres, calculés d'après cette procédure simplifiée tenant compte d'une proportion fixe entre l'aire du vitrage et l'aire du châssis, ainsi que d'un périmètre fixe de la vitre ou des intercalaires. Les jonctions entre profilés et vitrages sont pourvues d'un intercalaire «isolant» lorsque $U_g \leq 1,1 W/m^2/K$ (voir tableau des ψ ci-dessous).

PROFILÉ D'ENCADREMENT	VITRAGE MULTIPLE			
	$U_g > 2,0 W/m^2K$		$U_g \leq 2,0 W/m^2K$	
	Intercalaires normal	Intercalaires isolant	Intercalaires normal	Intercalaires isolant
$U_f \geq 5,9 W/m^2K$	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_f < 5,9 W/m^2K$	0,06	0,05	0,11	0,07

$U_{w,max} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{g,max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$			VITRAGE DOUBLE				VITRAGE TRIPLE		
			air + 0 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/15/4	krypton + 2 couches peu émissives 6/10/4	argon + 2 couches peu émissives 4/15/4/15/4	argon + 2 couches peu émissives 4/18/4/18/4	
CHÂSSIS			$U_g = 2,9$	$U_g = 1,3$	$U_g = 1,1$	$U_g = 0,8$	$U_g = 0,6$	$U_g = 0,5$	
Type de châssis		U_f	$\psi_g = 0,06$	$\psi_g = 0,11$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	
Métal (alu, acier...)	Coupure 20 mm	2,75	3,05	2,07	1,81	1,60	1,46	1,39	
	Coupure 28 mm	2,55	3,01	2,01	1,75	1,54	1,40	1,33	
	Coupure 36 mm	2,50	3,00	1,99	1,73	1,52	1,38	1,31	
	U_f déterminé par calcul selon norme EN ISO 10077-2, par le fabricant de châssis		1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04
			1,20	2,74	1,61	1,34	1,13	0,99	0,92
		0,90	2,68	1,55	1,27	1,04	0,90	0,83	
		0,71 ⁽²⁾	2,64	1,51	1,23	0,99	0,84	0,77	
PUR ép. ≥ 8 mm avec renfort métal.		2,80	3,06	2,08	1,82	1,61	1,47	1,40	
Bois type 1 : Afzelia, Merbau, Chêne...	ép. 60 mm	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	ép. 80 mm	1,96	2,89	1,83	1,57	1,36	1,22	1,15	
	ép. 120 mm	1,58	2,82	1,71	1,45	1,24	1,10	1,03	
Bois type 2 : Dark Red Meranti, Sapelli...	ép. 60 mm	2,10	2,92	2,87	1,61	1,40	1,26	1,19	
	ép. 80 mm	1,85	2,87	1,80	1,54	1,33	1,19	1,12	
	ép. 120 mm	1,48	2,80	1,68	1,42	1,21	1,07	1,00	
Bois type 3 : Pin sylvestre, Résineux...	ép. 60 mm	1,93	2,89	1,82	1,56	1,35	1,21	1,14	
	ép. 80 mm	1,67	2,83	1,74	1,48	1,27	1,13	1,06	
	ép. 120 mm	1,32	2,76	1,64	1,38	1,17	1,03	0,96	
Bois + PUR + capot alu ⁽¹⁾		0,66 ⁽³⁾	2,63	1,50	1,22	0,98	0,83	0,76	
PVC avec ou sans renforts métalliques	2 chambres	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	3 chambres	2,00	2,90	1,84	1,58	1,37	1,23	1,16	
	4 chambres	1,80	2,86	1,78	1,52	1,31	1,17	1,10	
	5 chambres	1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04	
	+ PUR ⁽¹⁾	0,74 ⁽⁴⁾	2,65	1,52	1,24	1,00	0,85	0,78	

REMARQUES : Selon la réglementation énergétique wallonne en vigueur à partir du 1/01/2017 [GW -16-1], la valeur U_w ne peut être supérieure à $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, et la valeur de U_g ne peut dépasser $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les fenêtres ne respectant pas cette double condition sont grisées dans le tableau.

(1) Selon la fabricant de châssis, qui détermine la valeur de U_f par calcul, conformément à la norme EN ISO 10077-2

(2) Pour atteindre cette performance, les chambres en alu sont remplies de mousse isolante

(3) Pour atteindre cette performance, les cadres extérieurs du châssis en bois (dormant et ouvrant) sont recouverts d'une mousse isolante, elle-même protégée d'un capot en aluminium

(4) Pour atteindre cette performance, les chambres de PVC sont remplies de mousse isolante

LA VENTILATION

LA VENTILATION MAÎTRISÉE

Le lecteur est invité à consulter "La ventilation et l'énergie" - dans la même série de guides pratiques pour les architectes édités par la DGO4 [HAUG-17-1]. Il y trouvera toutes les informations et les illustrations nécessaires à la bonne compréhension de cette matière.

Pour une bonne gestion de l'énergie et pour assurer la qualité de confort et de vie, il faut maîtriser la ventilation.

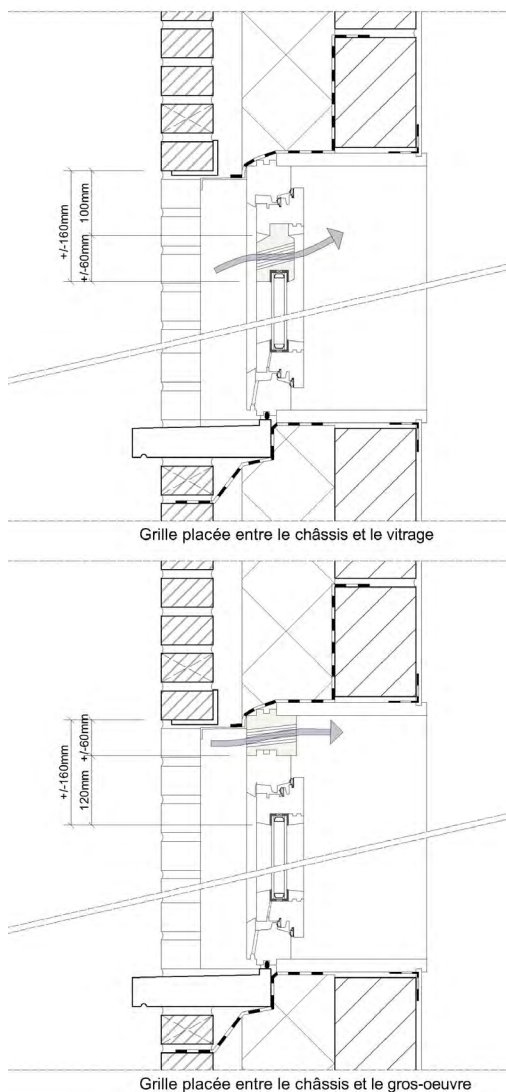
Les composants d'une telle installation (ventilateurs, conduits, diffuseurs, bouches d'aménées d'air, extracteurs d'air, grilles, etc.) doivent assurer un débit d'air permettant de satisfaire la réglementation et d'atteindre le confort.

LA BAIE DE FENÊTRE ET L'URE

	AMENÉE D'AIR NEUF	EVACUATION D'AIR VICIÉ
Règle générale	3,6 m³/h par m² de surface au sol	
AVEC POUR LIMITES PARTICULIÈRES :		
Living	min. 75 m³/h max. 150 m³/h	
Chambre, local d'études et de jeux	min. 25 m³/h max. 72 m³/pers.	
Cuisines fermées, S.D.B., buanderies		min. 50 m³/h max. 75 m³/h
Cuisines ouvertes		min. 75 m³/h
W.-C.		25 m³/h

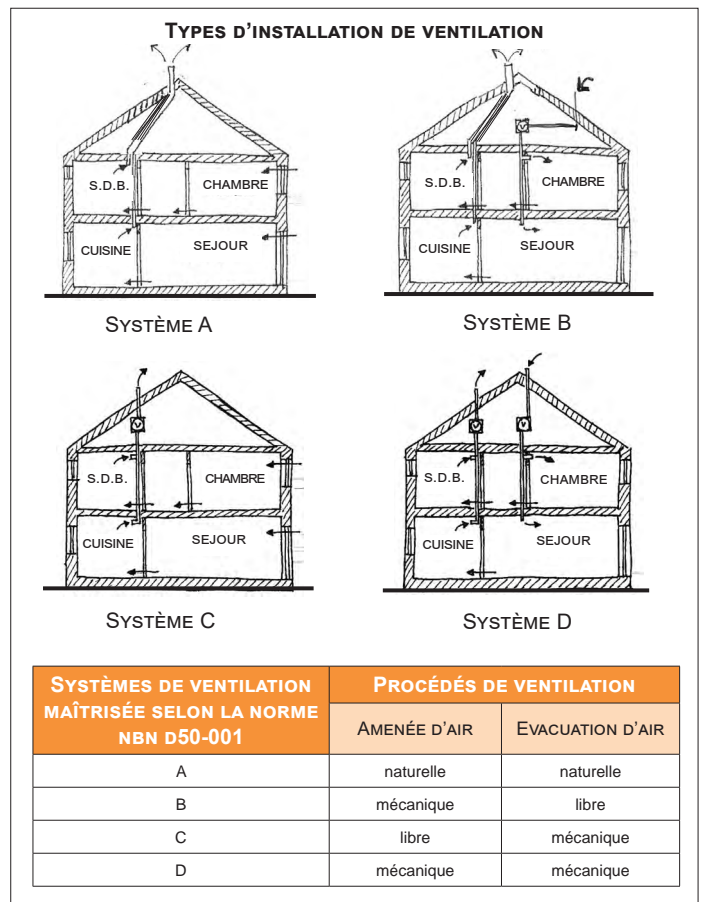
Dans ce tableau, le vocable "max" est à comprendre comme "peut être limité à".

PRINCIPE DU POSITIONNEMENT DES GRILLES DE VENTILATION



Actuellement, on trouve sur le marché plusieurs types de dispositifs de ventilation s'adaptant aux baies. Ces baies doivent être conçues en fonction de ces dispositifs. Les deux grands principes de positionnement de grilles dans la baie de fenêtre sont illustrés ci-dessus.

La norme NBN D50-001 distingue quatre systèmes de ventilation qui sont repris et illustrés ci-contre.



EXIGENCES RELATIVES AUX AMENÉES D'AIR ET AUX EXTRACTIONS MÉCANIQUES D'AIR SELON L'ANNEXE C2-VHR DE L'ARRÊTÉ DU GOUVERNEMENT WALLON DU 15 MAI 2014

LA VENTILATION INTENSIVE SELON LA NORME NBN D50-001

La réglementation des dispositifs de ventilation dans les bâtiments résidentiels est basée sur la norme NBN D50-001 qui est d'application pour les bâtiments résidentiels, conformément à l'Annexe C2-VHR de l'AGW du 15/12/16.

Les locaux d'habitation (séjour, chambre à coucher, d'études ou de jeux) et les cuisines doivent être pourvus de fenêtres ou de portes dans les parois extérieures qui, lorsqu'elles sont ouvertes, assurent une ventilation intensive en cas de surchauffe par le soleil, en cas de forte occupation ou en cas de production temporaire élevée d'odeurs ou de vapeurs.

Ce type de ventilation est assuré par l'ouverture des portes et/ou fenêtres dont la superficie totale s doit au moins correspondre à :

- pour une ventilation unilatérale : 6,4 % de la superficie au sol des pièces présentant des ouvertures dans une seule façade ;
- pour une ventilation transversale : 3,2 % de la superficie

au sol des pièces présentant des portes et des fenêtres ouvrantes dans plusieurs façades. Chaque façade comporte au moins 40 % de la superficie totale requise.

L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

BUT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

L'étanchéité à l'air d'une construction définit sa capacité à empêcher le passage non contrôlé d'air de l'extérieur vers l'intérieur, et inversement (via des fissures, des joints, des matériaux non étanches...). Le but de l'étanchéité à l'air est de garantir une enveloppe hermétique, par une mise en oeuvre soignée (exemple : plafonnage continu, raccords étanches, membrane étanche...). Une bonne étanchéité à l'air est nécessaire pour limiter les déperditions thermiques et pour éviter les courants d'air involontaires et incontrôlables, nuisibles au bon équilibre de pression et donc à la bonne ventilation du bâtiment. La plupart des fuites se situent aux raccords avec les parois, le toit, le plancher, les ouvertures, les passages des tuyaux, câbles électriques etc.

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe fait partie d'une stratégie globale visant à réaliser un bâtiment confortable et peu énergivore. Les trois concepts de cette stratégie sont indissociables :

- l'isolation thermique permet de limiter les pertes par transmission ;
- l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment permet de limiter les pertes involontaires par infiltration d'air ;
- la ventilation hygiénique contrôlée permet d'amener la quantité d'air nécessaire.

L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES MENUISERIES

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment est aussi influencée par les menuiseries. Contrairement aux autres composants de l'enveloppe, l'étanchéité à l'air des menuiseries extérieures est déterminée en laboratoire dans le cadre du marquage CE. Elle est dépendante du niveau d'exposition à la pluie et au vent.

Deux sources de pertes d'étanchéité à l'air existent :

- celle au niveau du châssis (reprise sans le marquage CE) ;
- celle au niveau du raccord entre le châssis et le support au gros-oeuvre (dépendant de la qualité de mise en oeuvre réalisée par le poseur.

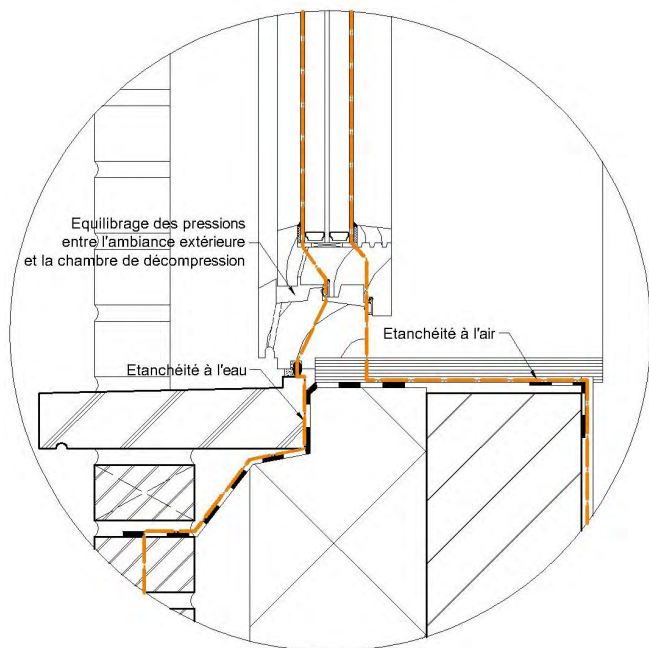
PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DES MENUISERIES

La perméabilité à l'air est déterminée en laboratoire sous une pression de 100 Pa par la norme NBN EN 1026. Elle permet de classer les menuiseries de 0 à 4 selon la norme

Classe	Perméabilité à l'air de référence à 100 Pa par unité de surface [m ³ /(h.m ²)]	Pression maximale d'essai [Pa]	Perméabilité à l'air de référence à 100 Pa par unité de longueur de joint [m ³ /(h.m)]
0	Pas d'essai effectué		
1	50	150	12,5
2	27	300	6,75
3	9	600	2,25
4	3	600	0,75

NBN EN 12207, "FENÊTRES ET PORTES - PERMÉABILITÉ À L'AIR - CLASSIFICATION", 2000

NBN EN 12207 (cf. tableau ci-dessous extrait de la norme).



Actuellement, la majorité des châssis à double ou à triple frappe appartiennent à la classe 4. Cette classe couvre un large éventail ; les châssis les plus performants présentent des débits de fuite 5 à 8 fois moins importants que les moins performants de cette même classe. Une subdivision de la classe 4 permettrait aux auteurs de projets et aux menuisiers d'opter pour les menuiseries les plus adaptées aux performances d'étanchéité à l'air requises. Les performances sont atteintes à condition de respecter le principe de la double barrière d'étanchéité : barrière à l'eau extérieure et barrière à l'air intérieur. Elles sont situées dans un « même » plan sur tout le périmètre du châssis et séparées par une chambre de décompression drainée. Selon l'article « Etanchéité à l'air » du CSTC, la performance d'étanchéité à l'air comporte des critères se rapportant non seulement aux matériaux mais également à la qualité d'assemblage, à la mise en œuvre, à la précision de la conception et aux choix des matériaux.

En pratique, il convient de veiller à la bonne réalisation des points suivants :

- la continuité des joints ;
- la compression des joints ;
- le réglage de la quincaillerie ;
- les dimensions des frappes ;
- la qualité des assemblages (colles, soudures, ...) ;
- la qualité des mastics ;
- la rigidité des profilés ;
- le respect des dimensions (diagonales, jeu correct entre ouvrant et dormant, respect des dimensions des profilés, lattes, ...) ;
- la stabilité dimensionnelle des profilés bois, PVC et aluminium ;
- le nombre de points de fermeture ;
- le dimensionnement correct des points de suspension.

La norme NBN B 25-002-1 exige pour la plupart des applications au moins la classe 3. Dans les cas de haute performance énergétique, il est préférable d'opter pour une menuiserie de classe 4 dont le débit à 100 Pa est inférieur à $1,2 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$.

PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DU RACCORD ENTRE LE CHÂSSIS ET LE SUPPORT

Les performances énergétiques demandées aujourd'hui entraînent des modifications dans la pose des fenêtres dans la baie. Quelle que soit la pose choisie, une attention particulière doit être apportée dans la mise en œuvre et la coordination des travaux.

Les deux solutions les plus performantes sont les suivantes :

- Membrane d'étanchéité à l'air : fixée par le menuisier avant la pose du châssis, elle est placée sur tout le pourtour du châssis et sous la tablette. La membrane et le châssis sont liés à l'aide d'une colle ou d'un joint



PRÉCAUTIONS CONDUISANT À UNE EXCELLENTE ÉTANCHÉITÉ À L'AIR
(ARCHITECTE : F. BUYSE)

et d'une latte de compression fixée dans le gros-œuvre. Une membrane munie d'un treillis mis en place par le plafonneur est parfois nécessaire pour améliorer l'adhésion de la finition;

- **Caisson** : caractérisé par une étanchéité à l'air suffisante, le caisson est formé de panneaux (en contreplaqué par exemple). Un joint continu ou une colle expansive sont appliqués sur l'interface entre le dormant et le caisson avant d'être fixés dans le gros œuvre. La colle expansive n'étant pas suffisante pour garantir une étanchéité complète, une membrane d'étanchéité doit être appliquée côté intérieure puis noyée dans l'enduit. L'utilisation d'un caisson prévoit une augmentation de la largeur de la battée ; la largeur minimale étant dans ce cas de 6 cm.

Un raccord étudié entre le châssis et la baie diminue ainsi les pertes d'étanchéité à l'air.

**VALEURS DU COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U_g
DES VITRAGES ISOLANTS SELON L'ÉPAISSEUR DE L'INTERCALAIRE [W/m²K]**

Espace [mm]	DOUBLE VITRAGE						TRIPLE VITRAGE			
	4 (cavité) 4		6 (cavité) 4		6 (cavité) 6		4 (cavité) 4	4 (cavité) 4	6 (cavité) 6	6 (cavité) 6
	Air	Argon	Air	Argon	Air	Argon	Air	Argon	Air	Argon
6	2,6	2	2,4	2	3,3	2	/	1,2	/	1,2
8	2,6	1,7	2,1	1,6	3,1	1,7	/	1	/	1
9	2,2	1,6	1,9	1,5	/	/	/	0,9	/	0,9
10	2,4	1,5	1,8	1,4	3	1,5	/	0,8	/	0,8
12	1,9	1,3	1,6	1,2	2,9	1,3	/	0,7	/	0,7
14	/	/	/	/	2,8	1,2	/	0,6	/	/
15	1,8	1,1	1,3	1	2,8	1,1	/	0,6	/	0,6
16	1,5	1,1	/	/	/	/	/	0,6	/	/
18	/	/	/	/	/	/	/	0,5	/	0,5
20	1,8	1,1	1,4	1,1	2,8	1,2	/	0,5	/	0,5
24	2,1	1,2	1,4	1,1	2,8	1,2	/	0,5	/	0,5

Remarque : Seules les cases grisées correspondent à des vitrages isolants qui respectent la valeur U_{max} exigée par la réglementation thermique en vigueur au 1/01/2017 [GW -16], à savoir $U_g \leq 1,1$ W/m²K

COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE U_g [W/m²K] DES VITRAGES ISOLANTS

Source : FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU VERRE, JANVIER 2012.

LES AUTRES FONCTIONS

LA FONCTION VISUELLE ET D'ÉCLAIREMENT

L'enveloppe extérieure exprime l'architecture d'un bâtiment et contribue à son intégration dans l'environnement. Les fenêtres et les parois vitrées en général, suivant leur typologie, sont des outils très importants de composition architecturale, et leur architectonique constitue un gage de qualité architecturale.

De plus, le rôle de la fenêtre et de sa situation par rapport à l'environnement intérieur et extérieur est incontestable dans la transmission lumineuse et dans la gestion de l'énergie.

Optimiser l'utilisation de la lumière naturelle selon les espaces et leurs fonctions :

- *cuisine, séjour et salle à manger* : ce sont les pièces où la lumière naturelle est importante ;
- *chambres, coins jeux et bureaux* :
 - pour les espaces destinés aux enfants, il est important d'amener le plus possible de lumière naturelle pour favoriser l'épanouissement et le développement psychomoteur ;
 - pour tous, cette lumière naturelle contribue au bien-être psycho-sociologique ;
- *locaux situés en sous-sol* : la présence d'ouvertures permet non seulement d'apporter une luminosité minimale et rassurante, mais aussi d'offrir des possibilités de ventilation intéressantes ;
- *magasins* : ces pièces présentent généralement de grandes vitrines laissant pénétrer la lumière naturelle abondamment. Il faut veiller dès lors à ce que la réflexion lumineuse ne gêne la visibilité.

Une limitation n'est pas à négliger : beaucoup de lumière naturelle entraîne parfois des problèmes d'éblouissement.

LA FONCTION STRUCTURALE

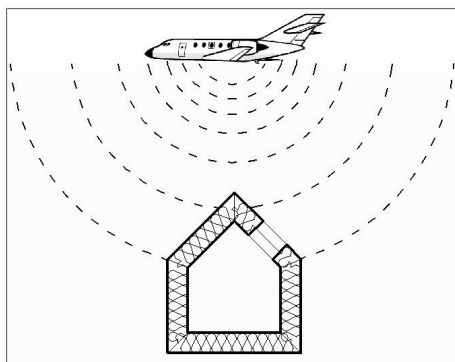
La fonction structurale est la capacité de l'enveloppe à résister aux charges, à savoir :

- le poids propre ou poids mort de tous les éléments eux-mêmes (planchers, toitures, murs...) ;
- les charges extérieures (dans tous les cas : pressions et dépressions dues au vent) et/ou surcharges (dans le cas des fenêtres de toitures qui doivent être résistantes à leur poids propre, aux surcharges d'entretien, à la neige, etc.) ;
- les charges intérieures et/ou surcharges d'utilisation (par exemple accrochage de stores et rideaux).

La pose du châssis, le type d'ouvrant, le type d'intercalaires, de vitrage et les quincailleries influencent significativement les performances globales de la menuiserie extérieure.

ORIENTATION	Nord	Eclairage faible, bonne qualité de la lumière pour certaines activités (salles de lecture, ateliers, locaux équipés d'ordinateurs...), lumière naturelle constante. Pas de soleil direct - Pas de problème d'éblouissement direct. Moins de gains solaires et moins de problème de surchauffe. → vitrage recommandé : vitrage à isolation thermique renforcée pour maîtriser les pertes thermiques en hiver.
	Sud	Eclairage important (maximum en hiver car le soleil est bas sur l'horizon). Soleil direct - Risque d'éblouissement. Peu de risques de surchauffe : en été, le rayonnement solaire est moindre grâce à une position plus élevée du soleil dans le ciel. Les ouvertures peuvent ainsi être facilement protégées à l'aide d'un avant-toit, d'un balcon, d'un auvent... Gains solaires principalement pendant la saison froide et en mi-saison..
	Est	Eclairage moyen, le matin. Soleil direct, le matin - Risques d'éblouissement. Gains solaires - Peu de risques de surchauffe. → vitrage recommandé : vitrage à contrôle solaire.
	Ouest	Eclairage moyen, en soirée. Soleil direct, le soir - Risques d'éblouissement. Gains solaires - Risques de surchauffe. → vitrage recommandé : vitrage à contrôle solaire.
Profondeur du local	Il faut veiller à limiter la profondeur du local. Au-delà de 6 m, on peut considérer que l'éclairage naturel se réduit considérablement.	
Hauteur de la pièce	Très peu d'influence sur la pénétration de la lumière naturelle.	
Emplacement de la fenêtre	Plus la position de la fenêtre est haute, plus la lumière pénétrera profondément dans le local, et moins on devra faire appel à l'éclairage artificiel. Mais on crée alors une zone sombre à proximité du mur de fenêtre.	
Taille de la fenêtre	Plus la fenêtre est grande, plus elle apportera d'éclairage. Plus la fenêtre est large, plus la répartition de la lumière sera uniforme.	
Forme de la fenêtre	Pour une même surface de baie, une grande fenêtre apportera une lumière plus uniforme que deux petites fenêtres. Une fenêtre plus large et moins haute apportera une lumière plus uniforme qu'une fenêtre moins large et plus haute. Pour maximiser la quantité de lumière naturelle, il est conseillé de réduire l'épaisseur des menuiseries (cadres de fenêtre, montants intermédiaires) afin d'augmenter la proportion de vitrage.	

ECLAIRAGE NATUREL À L'INTÉRIEUR D'UN LOCAL EN FONCTION DE LA TYPOLOGIE DE LA FENÊTRE



Les fenêtres constituent en général un maillon faible dans l'isolation aux bruits aériens des façades et des toitures.

Pour tout complément sur le volet acoustique, le lecteur est invité à consulter l'annexe 2 de cet ouvrage.

La mise en place d'une fenêtre nécessite le respect des principes suivants :

- le châssis vertical est posé dans l'axe de la baie, il est posé de niveau et d'aplomb ;
- il est fixé au gros-oeuvre de manière à transmettre aux éléments de celui-ci les sollicitations dues au poids propre, au vent, aux manoeuvres et fausses manoeuvres et aux tentatives d'effractions.

LA FONCTION ACOUSTIQUE

L'isolation aux bruits aériens apportée par les fenêtres a généralement pour objectif principal d'isoler l'intérieur du bâtiment des bruits du trafic.

Les bruits d'impact sont principalement provoqués par les précipitations (grêle ou pluie), en particulier pour les vitrages inclinés.

Chacun des bruits parasites a un niveau et une tonalité différents. Un trafic à circulation rapide n'a pas la même tonalité que le bruit grave d'un moteur d'autobus ou du trafic urbain plus lent.

Ce paramètre a un rôle considérable car il est beaucoup plus difficile, dans la pratique, de réaliser une isolation aux sons graves.

Le choix du vitrage doit donc s'effectuer en fonction du niveau sonore maximal intérieur acceptable, du type et du niveau de bruit selon la zone d'implantation.

Pour atténuer une trop forte transmission directe des bruits extérieurs aériens, l'enveloppe doit offrir le plus de résistance possible au passage d'air.

Pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, deux systèmes peuvent être utilisés :

- une masse importante de l'enveloppe ;
- une enveloppe constituée de parties de masses différentes solidarifiées par des attaches amortissant les vibrations; elle peut être complétée d'une matière absorbant les sons, interposée entre ses deux parties.

Grâce aux zones de décompression, on peut considérer qu'un châssis constitue un ensemble masse-air-masse.

L'isolation acoustique d'une baie vitrée dépend :

- du type de vitrage ;
- de l'étanchéité à l'air entre ouvrant et dormant et entre menuiserie et façade ;
- du type de châssis, de son montage et verrouillage ;
- des accessoires (grilles de ventilation, volets...) ;
- du type et de la qualité des raccords entre le vitrage, les grilles de ventilation, les panneaux opaques et la menuiserie, etc. ;
- de l'absorption et de l'amortissement par les joints périphériques du vitrage ;
- de l'angle d'incidence du bruit.

LA FONCTION DE SÉCURITÉ

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui ont amené l'homme à construire.

On peut distinguer plusieurs "catégories" de sécurité :

- la sécurité à l'effraction ;
- la sécurité au feu ;
- la protection contre les blessures et les chutes.

Afin de respecter la réglementation en matière de sécurité, il est important de se référer à la NBN S23-002 « Verre dans la construction ».

Pour ne pas alourdir le contenu de ce chapitre concernant la fonction de sécurité, un complément d'information a été reporté en annexe 3 de ce même guide.

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX CONSTITUANTS DES PAROIS EXTÉRIEURES NON OPAQUES D'UN BÂTIMENT

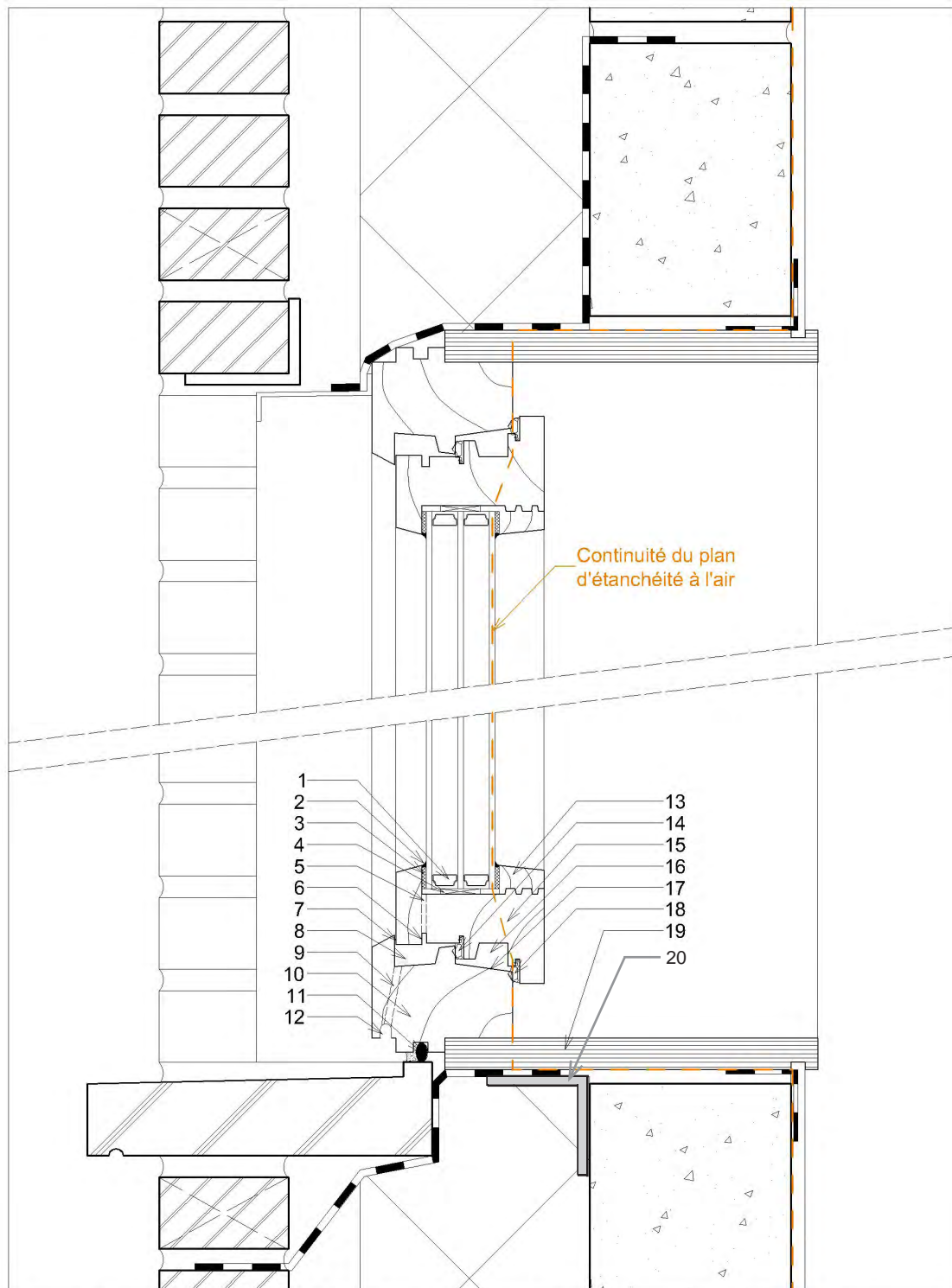
	Vitrage	Intercalaire	Châssis	Quincaillerie	Jonctions avec le gros-œuvre	Protection intérieure	Protection extérieure	Protection entre les feuilles du vitrage	RÔLES DEMANDÉS PAR LES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS DE LA BAIE
FONCTION DE CONTRÔLE DU CLIMAT LOCAL									
Eau									Arrêt total de l'eau : les verres et plastiques sont des matériaux totalement imperméables.
									Arrêt et/ou rejet des eaux d'infiltration dues à l'exposition, à la force et à la direction du vent.
									Ne doivent pas influencer les performances.
									Drainent l'eau de pénétration et/ou de condensation.
									Coupure et contrôle du passage d'eau.
Neige									Résistance aux contraintes thermiques.
Glace									Résistance aux contraintes thermiques.
Vapeur									Doivent éviter les risques de condensation.
									La surface extérieure doit être plus perméable à la vapeur que la surface intérieure.
Confort thermique									Vitrage composite assure le confort thermique.
									Par la couleur, absorbe ou réfléchit le rayonnement solaire.
									Réduit le passage de la chaleur.
									Limiter les surchauffes, par le facteur g du vitrage et/ou les protections solaires (les plus efficaces sont celles situées à l'extérieur).
Variation thermique									Limiter les ponts thermiques.
Air									Faibles variations dimensionnelles dues aux contraintes thermiques.
Air et vent									Barrière à l'air.
									Résistance à l'action du vent (forte pression).

	Vitrage	Intercalaire	Châssis	Quincaillerie	Jonctions avec le gros-œuvre	Protection intérieure	Protection extérieure	Protection entre les feuilles du vitrage	RÔLES DEMANDÉS PAR LES DIFFÉRENTS CONSTITUANTS DE LA BAIE
FONCTION DE CONTRÔLE DE L'ENVIRONNEMENT									
Ventilation									Si le système de ventilation se fait dans la baie.
									Protège d'une ventilation excessive mal contrôlée.
Lumière									Confort visuel.
									Selon l'encombrement, diminue la surface laissant pénétrer la lumière.
									Entretien aisé.
									Selon le type, peut faire varier la transmission de la lumière.
Vue et vision									Intimité de l'occupant.
									Contrôle visuel vers l'extérieur.
Bruit aérien									Atténuation des bruits.
									Problème de la dilatation des plastiques.
A l'usage									Résistance aux chocs lors de l'ouverture et de la fermeture.
									Résistance lors de l'ouverture et de la fermeture.
									Pas de chute des matériaux.
									Lavage aisé des fenêtres.
A l'effraction									Résistance globale de ces éléments en cas de tentative d'effraction.
									Assure la protection indépendamment de la qualité des éléments de la fenêtre.
Aux chocs									L'ensemble de la baie doit avoir la même classe de résistance.
									Assure la protection indépendamment de la qualité des éléments de la fenêtre.
En cas de bris									Assure la protection même en cas de disparition du vitrage.
									Vitrage retardataire d'effraction.
Au feu									L'ensemble de la baie doit avoir la même classe de résistance.
Bilan énergétique global									Selon le type et le matériau.
Recyclage des matériaux									Favoriser le choix de matériau dont la fabrication et la mise en œuvre consomment, au total, le moins d'énergie (notion d'énergie grise).
									Favoriser le choix de matériaux recyclés (sans perte de performance).
Accès aux objets									Favoriser le choix de matériaux recyclables (sans nocivité pour l'environnement), ou biodégradables.
									Dimensions et possibilités de démontage.
Entretien									Nettoyage.
									Petite réparation.
									Remplacement aisé.
FONCTION VISUELLE									
									Eléments perçus de l'extérieur : importance du choix des éléments perçus de l'extérieur : matériaux, couleurs, teintes, dégradations / durabilité / vieillissement / comportement aux salissures, texture, etc.
									Eléments perçus de l'intérieur : importance du choix des éléments perçus de l'intérieur : matériaux, couleurs, teintes, dégradations / durabilité / vieillissement / comportement aux salissures, texture, etc.
									Reflète vers l'extérieur la lumière et le paysage selon la teinte, le matériau.
									Importance de la qualité de l'exécution des détails.
									Décoration ou discrétion.
FONCTION STRUCTURALE									
									Peut être autoportant mais nécessite une étude détaillée.
En pose verticale									Verre autoportant, qui transmet les charges aux calages : résistance aux sollicitations en pression et dépression.
Autres poses									Travaille comme une plaque fléchie mais limitation des portées.
Grande surface									Calculs nécessaires.
									Supporte le vitrage et nécessite des dimensions appropriées.
									Assume le rôle de stabilité et de résistance mécanique aux sollicitations dues aux charges, en général charges dynamiques et chocs, au vent et à leur propre poids.
									Peut, dans certains cas, assumer un rôle important dans la stabilité et dans la résistance mécanique aux sollicitations anormalement élevées.
									Résistance aux sollicitations entre les éléments principaux de la fenêtre.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CHÂSSIS EN BOIS	37
GÉNÉRALITÉS.....	38
LE RÔLE PRINCIPAL DU CHÂSSIS	38
L'ISOLATION THERMIQUE	38
L'ISOLATION ACOUSTIQUE.....	38
LES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN CHÂSSIS	39
<i>Le dormant.....</i>	39
<i>L'ouvrant.....</i>	39
<i>La double barrière d'étanchéité à l'air et à l'eau.....</i>	39
<i>La chambre de décompression.....</i>	40
<i>Les exutoires de drainage de la chambre de décompression.....</i>	40
<i>La feuillure et la parclose.....</i>	40
LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHÂSSIS.....	41
LES CHÂSSIS EN BOIS	41
LES TRAITEMENTS	42
<i>La protection.....</i>	42
<i>La finition.....</i>	42
LES CHÂSSIS EN ALUMINIUM	43
LES CHÂSSIS EN ACIER.....	43
LES CHÂSSIS EN PVC	44
LES CHÂSSIS EN FIBRES DE VERRE	44
LES CHÂSSIS EN POLYURÉTHANE	45
LES CHÂSSIS COMPOSITES	45
LES CHÂSSIS RECOMMANDÉS DANS LES BÂTIMENTS « PASSIFS ».....	46
LES QUINCAILLERIES ET TYPES D'OUVRANTS.....	46
RÉGLAGE DES QUINCAILLERIES.....	46
TABLEAU COMPARATIF DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES TYPES D'OUVRANTS	47
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES MATÉRIAUX DE CHÂSSIS.....	48
LA LIAISON AU GROS-OEUVRE	48

SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CHÂSSIS EN BOIS



Légende châssis bois : Coupe type d'un profil d'un châssis oscillo-battant équipé d'un triple vitrage :

- | | |
|--|--|
| 1. Intercalaire | 13. Parcelse de fixation du vitrage |
| 2. Joint d'étanchéité néoprène ou silicone | 14. Deuxième frappe avec joint périphérique préformé continu - étanchéité principale à l'air |
| 3. Préformé de bourrage - mousse d'écartement | 15. Profil du dormant |
| 4. Cale du vitrage | 16. Chambre pour quincaillerie |
| 5. Conduit de drainage | 17. Rainure ou réservation éventuelles pour fixation de la quincaillerie |
| 6. Casse-goutte (largeur minimum 6mm, profondeur minimum 4mm*) | 18. Troisième frappe amélioration acoustique |
| 7. Première frappe - étanchéité à l'eau | 19. Cadre de fixation au gros-oeuvre |
| 8. Chambre de décompression drainée | 20. Cornière ponctuelle de soutien du cadre intérieur |
| 9. Conduit de drainage | |
| 10. Profilé du dormant | |
| 11. Joint d'étanchéité avec le seuil | |
| 12. Casse-goutte | |

(*) D'autres dimensions peuvent être envisagées : consulter le Magazine du CSTC "Infiltration d'eau par la menuiserie extérieure" - 1er trim. 1995 [CSTC-95]

GÉNÉRALITÉS

LE RÔLE PRINCIPAL DU CHÂSSIS

Le rôle du châssis de fenêtre est de maintenir le vitrage en place et de permettre l'ouverture, l'entretien et la ventilation intensive.

La structure du châssis reprend le poids des éléments constituant la fenêtre, les charges climatiques et d'entretien, ainsi que de certains accessoires (protections solaires, décorations...) et les reporte sur les murs, auxquels le châssis doit être correctement ancré pour reprendre les efforts de pression et de succion du vent.

Il ne suffit pas que les cadres aient la résistance nécessaire pour constituer un support efficace pour les vitres, il faut encore que le poids de celles-ci soit reporté aux endroits judicieusement choisis afin d'éviter la déformation excessive des cadres ouvrants et des traverses fixes.

En aucun cas, le vitrage ne peut intervenir dans le calcul des cadres. La transmission de son poids aux points appropriés de la menuiserie s'effectue à l'aide de cales à insérer entre les vitres et l'âme des profils [CSTC-01].

L'ISOLATION THERMIQUE

À l'origine la plupart des châssis étaient fabriqués en bois et présentaient une isolation thermique satisfaisante. Plus tard, d'autres types de châssis sont apparus.

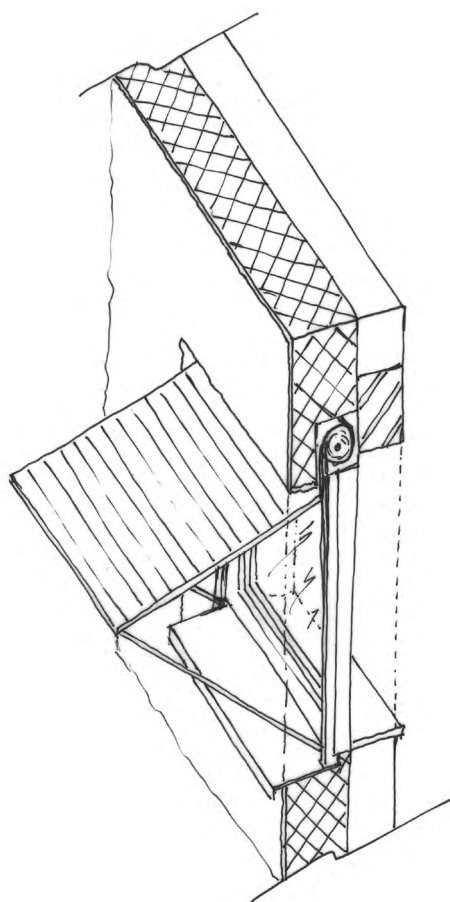
Ainsi les châssis métalliques prirent place sur le marché mais leurs performances thermiques étaient très mauvaises. Il a donc fallu créer des profilés spéciaux : ce sont les châssis "à coupure thermique". Cette évolution s'est marquée dans les châssis.

Le coefficient de transmission thermique U_f des profilés est déclaré par le fabricant. Par contre, s'il n'est pas connu ou si seules quelques caractéristiques des profilés sont connues, la valeur U_f est calculée ou donnée par défaut dans la norme NBN B62-002.

Les performances d'isolation thermique des châssis dépendent d'une part, de leur étanchéité à l'eau et à l'air, et donc principalement du type de matériau et de la qualité de pose sur le seuil et, d'autre part, de leur positionnement par rapport à l'isolant placé autour de la baie.

L'ISOLATION ACOUSTIQUE

Dans le cas d'une habitation traditionnelle, les châssis en bois, aluminium, PVC... correctement exécutés et munis de vitrage ont une influence significative sur les performances acoustiques. En effet, les châssis sont généralement plus isolants aux bruits que les vitrages.



Remarque : Vu que le châssis est moins performant que le vitrage et principalement le vitrage à haut rendement, il faut veiller à éviter de le subdiviser car, primo, cela augmente le périmètre d'intercalaire et de superficie de châssis, ce qui va augmenter la valeur du coefficient de transmission thermique global de la fenêtre et son coût ; et, secundo, cela diminue l'apport de lumière, ce qui diminue les apports solaires.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

Il faut également noter que le manque d'étanchéité à l'air est défavorable d'un point de vue acoustique car les défauts d'étanchéité laissent le passage libre pour les ondes aériennes des bruits de fréquences moyennes et hautes.

LES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN CHÂSSIS

LE DORMANT

C'est l'élément constitutif de base d'un châssis et c'est la partie du châssis fixée au gros-oeuvre. S'il n'y a pas d'ouvrant (châssis appelé fixe), il comprendra la feuillure et la parclose de fixation du vitrage.

L'OUVRANT

C'est la partie mobile du châssis. Il comporte toujours la feuillure et des joints d'étanchéité à l'air.

Dans le cas d'un ouvrant, le dormant comporte des profilés créant avec ceux de l'ouvrant des barrières à l'eau, à l'air et des chambres de décompression.

Des logements pour les quincailleries y sont également prévus.

Il existe de nombreux types d'ouvrants (voir p. 47).

LA DOUBLE BARRIÈRE D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR ET À L'EAU

• Composition

Ce principe est appliqué sur la majorité des châssis de menuiserie extérieure et ce, quel que soit le matériau de base.

Cette appellation est donnée par la conception même du châssis. En effet, la barrière à l'air et la barrière à l'eau sont physiquement dissociées l'une de l'autre. Ceci a pour conséquence d'offrir un avantage considérable : la protection de la barrière d'étanchéité à l'air contre les sollicitations climatiques.

• Principe

Les barrières d'étanchéité à la pluie et au vent ne peuvent, à aucun endroit du périmètre ni verticalement, ni horizontalement, présenter de déviation ni de décalage.

Toute discontinuité, même très légère, peut être source de pénétration d'eau et/ou d'air.

• La barrière d'étanchéité à l'eau

Elle est située du côté extérieur et doit :

- être continue et située idéalement sur un même plan ;
- en toute logique, empêcher au maximum le passage de l'eau et l'évacuer.

• La barrière d'étanchéité à l'air

Située du côté intérieur, elle se compose de joints d'étanchéité en matériaux souples (par exemple, en matière synthétique, en caoutchouc synthétique, etc.), susceptibles de perdre leurs propriétés sous l'action de l'humidité et des ultraviolets et de l'air sec intérieur.

REMARQUE CONCERNANT LE NOMBRE DE FRAPPES

Tout châssis doit posséder au moins deux frappes.

La frappe la plus à l'extérieur doit assurer la barrière à l'eau ; la frappe la plus à l'intérieur doit assurer la barrière à l'air.

Mais il est important de noter que, si certains châssis ont plus de deux frappes, ils ne sont pas nécessairement plus performants du point de vue de l'étanchéité à l'air et à l'eau.

Ils le deviennent si on utilise des joints préformés.

Actuellement, la majorité des châssis présente au moins trois frappes.

TEST D'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

- Test de la feuille de papier : ce test consiste à tenter d'extraire une feuille de papier entre le dormant et l'ouvrant. Si cette feuille pincée dans la batée ne se déchire pas lors de la tentative d'extraction, il s'avère nécessaire de poser ou de remplacer des joints d'étanchéité dans le dormant. Dans le cas d'utilisation de joints à mémoire, ce test ne fonctionne pas.
- Test de pressurisation : il est réalisé au moyen d'un ventilateur qui place le bâtiment en surpression puis en dépression. Les débits d'air nécessaires pour maintenir différents niveaux de pression au sein du bâtiment sont mesurés au droit du ventilateur.
- Test du gaz traceur : il mesure la quantité résiduelle du gaz traceur et la compare avec celle injectée au départ dans l'ambiance à contrôler.

Dans le cas d'inétanchéité à l'air, la solution consiste à la mise en place de profilés isolants en matière synthétique, résistants aux intempéries, ou de lames métalliques souples.

Cette dernière technique est plus coûteuse et plus difficile à réaliser.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

Elle doit être :

- continue et se situer de préférence dans un même plan ;
- parfaitement étanche. En effet, tout défaut (toute fuite) compromet directement l'efficacité de la barrière à l'eau, mais aussi le contrôle de la ventilation et l'isolation acoustique.

LA CHAMBRE DE DÉCOMPRESSION

Entre les deux barrières d'étanchéité, se trouve une zone de drainage appelée "chambre de décompression".

Elle a pour but le drainage et l'évacuation, par le biais des exutoires de drainage, des eaux qui n'ont pu être retenues par la barrière d'étanchéité à l'eau.

Elle ne peut en aucun cas avoir de communication avec la zone située en aval de la barrière d'étanchéité à l'air.

• Fonctionnement théorique [CSTC-95]

La pression atmosphérique qui règne dans la chambre de décompression est identique à celle exercée du côté extérieur du châssis (principe des vases communicants). En effet ces deux zones sont directement reliées par les exutoires de drainage et la barrière à l'eau qui n'est jamais tout à fait imperméable à l'air.

Ceci entraîne qu'une goutte d'eau située à la hauteur de la barrière d'étanchéité à l'eau ne subit aucune poussée vers l'intérieur. Cependant, par le travail de la menuiserie, le jeu entre le dormant et l'ouvrant offre la possibilité à la goutte d'eau de pénétrer sous l'action de la pesanteur dans la chambre de décompression.

L'évacuation de cette goutte se fait par les exutoires de drainage, également sous l'effet de la pesanteur.

LES EXUTOIRES DE DRAINAGE DE LA CHAMBRE DE DÉCOMPRESSION

Ils doivent répondre à certains critères :

- ils doivent déboucher à l'extérieur ;
- ils doivent être entredistants de 50 cm au maximum et situés à proximité immédiate des angles du châssis ;
- leur section doit être comprise entre 0,5 et 2,5 cm², selon l'exposition.

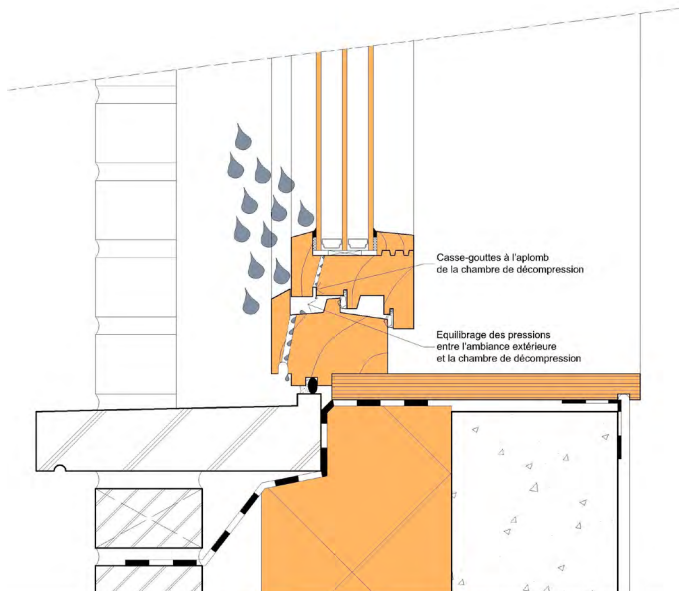
LA FEUILLURE ET LA PARCLOSE

• La feuillure

Son fonctionnement doit être basé sur le principe de la double barrière d'étanchéité. Malgré une perte d'étanchéité probable due à l'usure du joint entre le vitrage et le châssis, la feuillure doit permettre l'évacuation de l'eau qui s'y serait infiltrée.

• La parclosé

Elle sert à fixer le vitrage et à permettre son remplacement. Elle est posée par vissage, clouage ou clipsage à l'intérieur pour lutter contre l'effraction et faciliter la pose et la dépose.



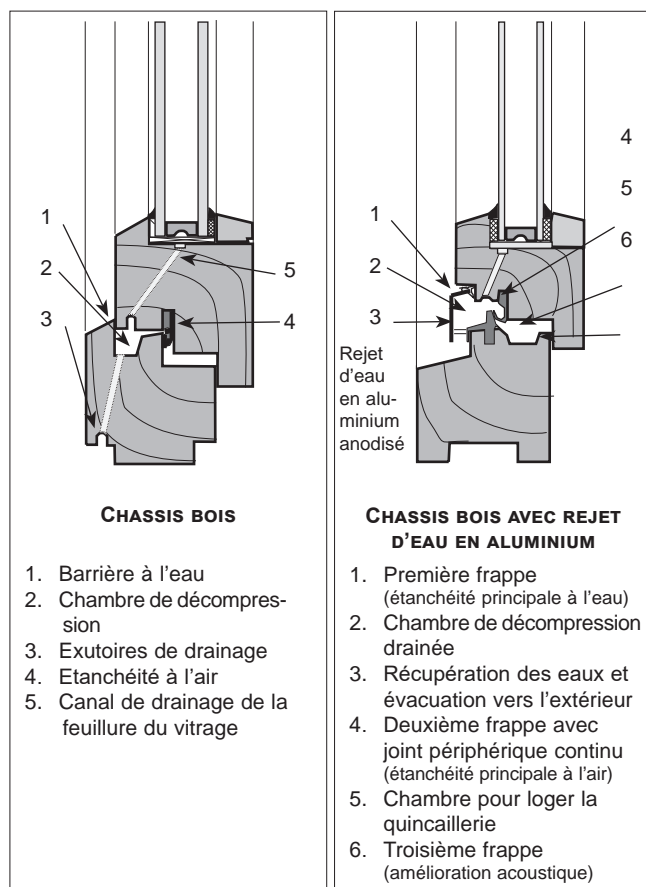
IL NE FAUT JAMAIS OUBLIER QUE :

- les isolations thermiques du dormant et de l'ouvrant, quelles que soient les forces appliquées, doivent être alignées ;
- la jonction vitrage / châssis doit être étanche du côté extérieur ou intérieur ou, idéalement, des deux côtés ;
- l'étanchéité à l'air et l'isolation thermique doivent être continues ;
- les assemblages des pièces doivent être étanches, ainsi que les fixations à la structure ;
- les joints sont à vérifier périodiquement et, le cas échéant, devront être remplacés s'ils ne présentent plus une étanchéité suffisante.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

Remarque : l'agrément technique UBAtc permet de soumettre régulièrement les châssis à de nouveaux tests, supposant ainsi que les améliorations suggérées lors de ces tests sont mises sur le marché.

Le lecteur trouvera, en annexe 4, des tableaux concernant les types de bois (nomenclature et durabilité (classes)) et leurs performances.



Remarque : la condensation de vapeur d'eau dans la masse du bois des menuiseries est évitée lorsque la résistance à la diffusion de vapeur de la finition intérieure est suffisamment grande par rapport à celle de la finition extérieure.

LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHÂSSIS

Les châssis de fenêtre sont fabriqués en différents matériaux tels que le bois, le PVC (chlorure de polyvinyle), l'aluminium, des matériaux composites.

Les différentes parties d'un châssis et leurs rôles respectifs seront abordés dans les parties concernant chacun des matériaux utilisés pour la conception d'un châssis.

LES CHÂSSIS EN BOIS

Utilisées depuis toujours, les menuiseries en bois ont démontré qu'elles résistaient à l'épreuve du temps.

Le bois est utilisé dans les menuiseries de fenêtre car il a une faible conductivité thermique, c'est-à-dire qu'il procure une bonne isolation.

Toutefois, un châssis en bois offre une isolation thermique moindre par rapport à un double vitrage à faible émissivité rempli d'un gaz moins visqueux que l'air.

De nombreuses variétés de bois peuvent être utilisées pour la conception des châssis mais même le plus performant présentera toujours quelques inconvénients.

En effet, après avoir été coupé en longueur, il sera traité par un produit de préservation mais pourra toujours subir les effets de l'humidité.

En cas d'humidité anormale, les châssis en bois peuvent travailler et présenter des problèmes de manoeuvrabilité.

Afin de réduire les problèmes de ce type, les menuiseries en bois doivent être régulièrement entretenues par des lasure ou des peintures.

Les avantages incontestables de ce matériau est qu'il est biodégradable et que les éléments de menuiserie sont faciles à réparer.

On utilise également des bois recomposés ou combinant des lames de matériau isolant entre les deux parties visibles du châssis.

• Avantages :

- matériau traditionnel et naturel ;
- coloris originaux et variés en fonction de l'essence choisie ;
- stabilité dimensionnelle, renforcée par l'apparition des châssis en lamellé-collé ;
- permet les formes les plus variées.

• Inconvénients :

- entretien régulier (au moins tous les 10 ans, voire une périodicité plus rapprochée pour les châssis les plus exposés) ;
- difficulté de faire évoluer la technologie du point de vue de l'efficacité thermique ;
- les joints sont à vérifier périodiquement.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

LES TRAITEMENTS [CSTC-96]

Le traitement consiste à appliquer une protection et une finition sur la menuiserie en bois.

LA PROTECTION

Une mesure préventive ou de préservation consiste à appliquer au bois des produits chimiques en vue de le protéger des dégradations dues aux moisissures et/ou insectes xylophages.

Cette protection est nécessaire lorsque le bois n'a pas de durabilité naturelle suffisante pour le mettre à l'abri des attaques éventuelles par des champignons et/ou des insectes (voir le tableau des classes de résistance pour menuiseries extérieures en annexe 4).

En Belgique, on estime que la finition ne peut être appliquée que sur des éléments en bois suffisamment durables pour résister à tous les agents d'agression susceptibles d'affecter le matériau.

Par conséquent, l'introduction, dans les assemblages de châssis en bois non durable (classe IV ou V), de capsules contenant des produits de préservation n'est pas considérée, dans notre pays, comme une mesure de protection préventive suffisante pour l'ensemble de la menuiserie.

En principe, seul le duramen des espèces de bois appartenant aux classes I, II et III (durabilité naturelle conventionnelle vis-à-vis des champignons lignicoles) peut être utilisé sans protection préventive en menuiserie extérieure. S'il existe un risque quant à la présence, dans les profilés, d'une petite quantité d'aubier, un traitement de protection superficiel suffira généralement à garantir un bon résultat.

L'utilisation d'espèces moins durables, de bois à duramen non différencié et de pièces de bois durable renfermant une part d'aubier peut être envisagée à condition que le matériau ait subi un traitement de préservation en profondeur (en général au moyen d'un produit C1 ou d'un procédé A3 : voir tableau ci-contre).

LA FINITION

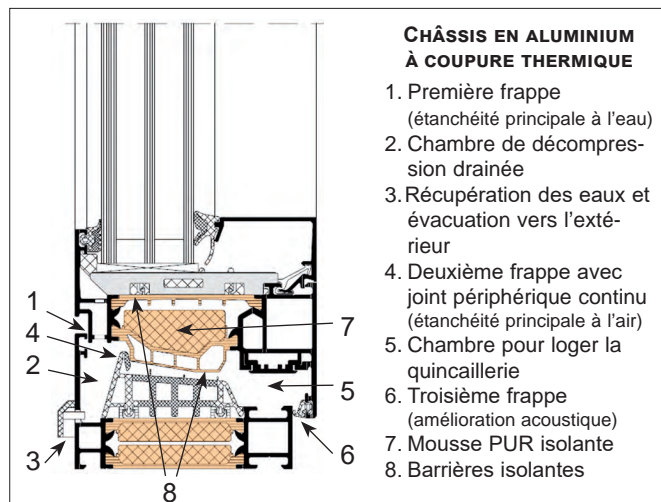
La finition permet de remplir les fonctions suivantes :

- rehausser l'aspect esthétique ;
- préserver le bois des agressions climatiques telles que :
 - les rayonnements ultraviolets et infrarouges ;
 - les variations importantes du taux d'humidité sous l'effet des précipitations, de l'humidité relative de l'air et des vents ;
 - le lessivage des substances ligneuses et le tachage dû à l'humidité ;
- faciliter l'entretien ;
- accroître la longévité de la menuiserie.

PROTECTION	
A3 : Procédé de préservation	<ul style="list-style-type: none"> • produit soluble dans l'eau, appliqué par immersion ou par imprégnation sous vide ; • non filmogène ; • contient des fongicides contre la pourriture, un insecticide et un agent antibleu (facultatif).
C1 : Produit de préservation	<ul style="list-style-type: none"> • incolore ou légèrement pigmenté ; • non filmogène, teneur en matières sèches : 10 à 20 % ; • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture ainsi qu'un insecticide ; • épaisseur indicative par couche : 1 à 5 µm (à l'état sec).
FINITION	
C2 : Lasure légèrement pénétrante avec fongicide	<ul style="list-style-type: none"> • pigmentée ; • légèrement filmogène, teneur en matières sèches : 20 à 35 % ; • contient un fongicide contre le bleuissement et la pourriture ; • épaisseur indicative par couche : 15 à 20 µm (à l'état sec).
C3 : Lasure légèrement pénétrante sans fongicide	<ul style="list-style-type: none"> • pigmentée ; • nettement filmogène, teneur en matières sèches : 20 à 35 % ; • contient uniquement un fongicide contre le bleuissement ; • épaisseur indicative par couche : 15 à 20 µm (à l'état sec).
CTOP : Lasure satinée ou top coat	<ul style="list-style-type: none"> • pigmentée ; • nettement filmogène, teneur en matières sèches : 35 à 60 % ; • contient uniquement un fongicide contre le bleuissement (ne protège que le film) ; • épaisseur indicative par couche : ≥ 20 µm (à l'état sec).
Peinture	<ul style="list-style-type: none"> • pigmentée ; • caractère filmogène prononcé, teneur élevée en matières sèches ; • ne contient pas de biocides ; • épaisseur indicative par couche : ≥ 30 µm (à l'état sec).
TRAITEMENT	
Rétification ou THT (traitement haute température)	<ul style="list-style-type: none"> • procédé de traitement thermique du bois ; • ce procédé sous azote bien spécifique ou par pyrolyse consiste à traiter les bois entre 230°C et 250°C sous atmosphère inerte afin de modifier la structure moléculaire du bois ; • la réification est un changement irréversible qui apporte stabilité dimensionnelle et durabilité ; ce procédé est certifié par le Contrôle Scientifique et Technique du Bâtiment sous l'Avis Technique RETIbois 2/11-1482 français.

Remarque : certaines essences (chêne, afzelia, etc.) sont plus difficiles à traiter car elles sont taniques.

LES CHÂSSIS EN ALUMINIUM



Contrairement aux menuiseries en bois, les châssis en aluminium comportent des profilés extrudés creux fixés au moyen d'attaches mécaniques.

Étant donné la forte conductivité thermique de ce matériau, il a fallu, au fil du temps, l'adapter pour qu'il réponde aux besoins en matière de confort. On a donc fabriqué des châssis métalliques à coupe thermique.

Ainsi, une isolation est introduite entre 2 profilés pour en réduire la conductivité directe entre les parties extérieure et intérieure de la fenêtre. Il n'y a plus de contact alu-alu entre ces 2 profilés.

Cependant la présence d'une barrière thermique n'est pas toujours suffisante pour contrôler la formation de condensation du côté intérieur. Toutefois, ce cas est de moins en moins rencontré avec les nouveaux profilés.

• Avantages :

- grande diversité de couleurs via le laquage ;
- résistance mécanique accrue dans le cas de grandes fenêtres subissant de fortes charges de vent ;
- légèreté visuelle.

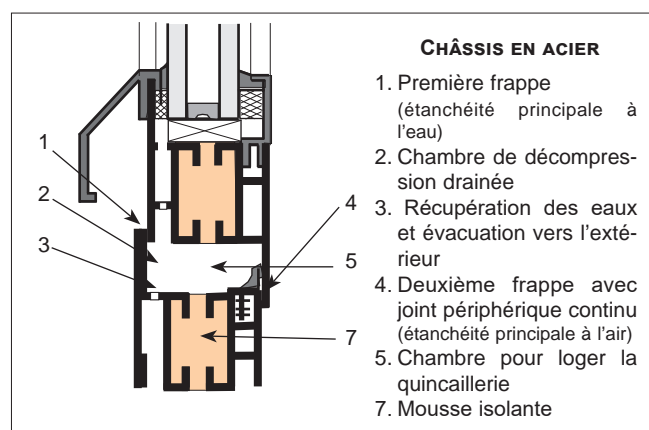
• Inconvénients :

- prix ;
- perte d'éclat des coloris foncés ;
- efficacité énergétique moindre que les châssis en PVC.

Pour ces châssis, la performance thermique dépend largement du détail de la fenêtre et de l'épaisseur de la coupe thermique.

Les châssis en aluminium n'existe plus actuellement sans coupe thermique. Les isolants utilisés à cet effet sont généralement du polyamide renforcé en fibre de verre ou des isolants constitués de résines. Quand l'isolation augmente (U_f diminue), le risque de condensation diminue.

LES CHÂSSIS EN ACIER



Assez peu utilisés sur le territoire du fait de leur coût assez élevé (surtout par rapport à une habitation unifamiliale), les châssis en acier à coupe thermique présentent certains atouts.

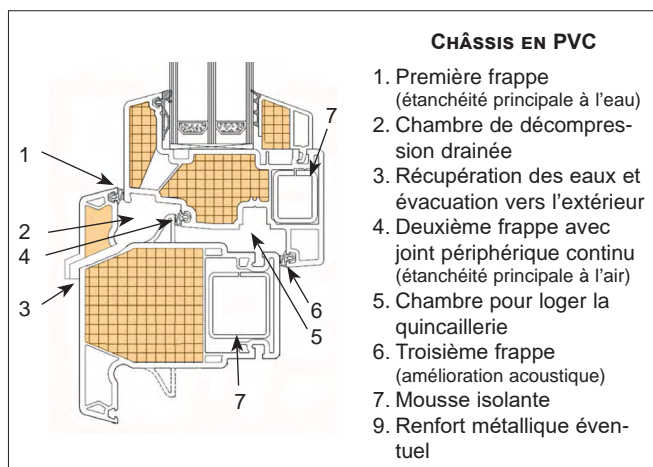
• Avantages :

- très solide et excellente résistance au feu et à l'effraction. Ils sont utilisés dans les bâtiments où la sécurité prime sur l'efficacité énergétique ;
- technologie en développement permanent ;
- profilés élancés, nombreuses formes possibles.

• Inconvénients :

- la formation de rouille posait auparavant des problèmes, mais ce risque est désormais quasiment exclu grâce aux traitements préventifs ;
- thermiquement, les châssis en acier restent moins performants que les châssis en aluminium.

LES CHÂSSIS EN PVC



Le PVC est le plastique le plus utilisé pour les menuiseries. Il est thermoplastique c'est-à-dire qu'il est susceptible de ramollir sous l'action de la chaleur et de durcir sous l'action du froid.

La composition chimique de ce matériau est variable et les adjuvants au PVC jouent un rôle considérable. En effet, ils permettent de réduire la fragilité du matériau, de faciliter sa mise en forme, d'empêcher les dégradations causées par la chaleur, l'oxydation et le rayonnement solaire.

La résistance mécanique du PVC est située entre celle du bois et celle de l'aluminium (à coupure thermique).

Cependant, lorsque ce type de châssis est amené à fermer une grande baie, il convient de le rigidifier par une armature en acier (ce qui accroît la conductivité thermique globale de cette menuiserie).

• Avantages :

- entretien facile car le châssis PVC reste stable en présence d'air salin et pollué. Un simple lavage suffit ;
- performance thermique élevée ;
- technologie en développement permanent.

• Inconvénients :

- coefficient de dilatation thermique élevé (2 à 3 fois supérieur à celui de l'aluminium) ; problème renforcé sur des éléments comportant des panneaux pleins également en PVC. Il faut dès lors en tenir compte lors de la conception de la fenêtre et de son installation. En effet, dans le cas de températures basses, le dormant de la fenêtre se contracte et la largeur de la jonction de celui-ci avec le mur s'élargit. Il faut donc choisir avec le plus grand soin les produits d'étanchéité flexibles et déterminer une bonne largeur du joint pour éviter la rupture de cohésion du produit d'étanchéité ;
- perte d'éclat et déformations pour les menuiseries de coloris foncés exposées au sud. Il est dès lors préférable de choisir des coloris clairs et pâles. Les déformations sont causées par la hausse de température liée au problème de dilatation importante du plastique.

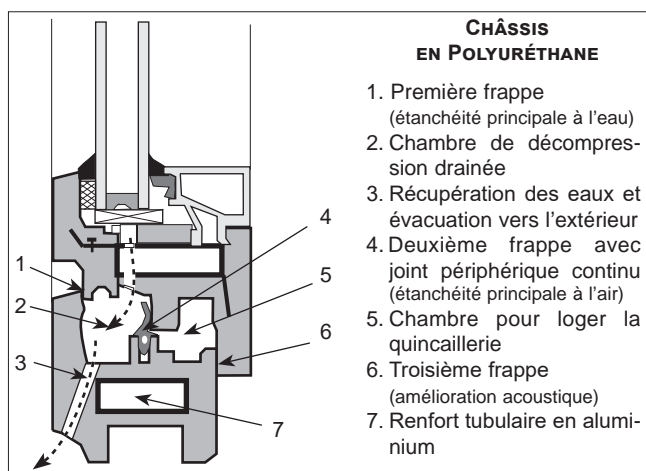
LES CHÂSSIS EN FIBRES DE VERRE

Dans certains pays, des menuiseries en fibres de verre ont été lancées sur le marché mais la nouveauté du produit fait que les performances en service doivent encore être déterminées.

Il s'agit de profilés creux réalisés par pultrusion qui sont joints ensemble par des attaches mécaniques. La fibre de verre permet de réduire le poids.

Pultrusion : processus permettant la production en continu de profilés en résine armée (de fibres de verre) à section constante formés par une filière qui entraîne la polymérisation.

LES CHÂSSIS EN POLYURÉTHANE



Les châssis en polyuréthane (PUR) sont constitués d'un matériau thermodurcissable utilisé notamment pour la fabrication de pièces plastiques, de peintures, de mousses isolantes, de fibres plastiques, etc.

Ce matériau offre une grande liberté de conception ; le polyuréthane est très résistant à la corrosion, à l'abrasion ou aux produits chimiques agressifs ; il présente également de bonnes performances en terme d'isolation thermique et phonique.

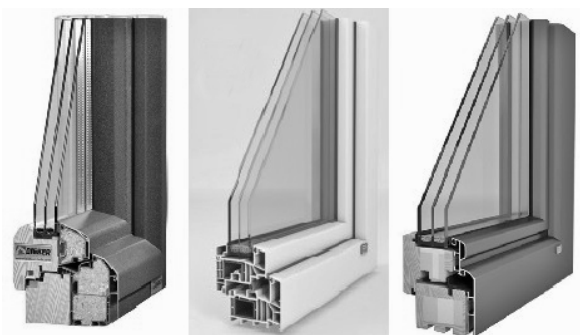
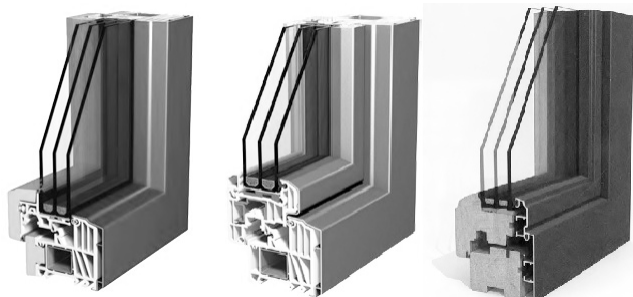
• **Avantages :**

- bonne isolation acoustique ;
- se prête bien aux formes courbes ;
- faible coefficient de dilatation ;
- facile d'entretien (antistatique, n'attire pas les poussières).

• **Inconvénients :**

- plus cher que l'aluminium ;
- pas aussi résistant aux rayures que l'aluminium mouflé, mais il est plus aisé d'y apporter des retouches ;
- profilés plus larges que l'aluminium ;
- isolation thermique faible ($U_f = 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$).

LES CHÂSSIS COMPOSITES



Ce sont des menuiseries fabriquées avec plusieurs matériaux combinés. Beaucoup de combinaisons peuvent être envisagées pour autant que les différents matériaux utilisés soient chimiquement compatibles. Il s'agit généralement de châssis recouverts par un capotage en aluminium sur la face extérieure. Du côté intérieur, on retrouve aussi bien du bois que du PVC ou encore la combinaison des deux.

• **Avantages :**

- choix du matériau idéal en fonction de son emplacement dans le châssis ;
- possibilité d'avoir du bois côté intérieur sans avoir les inconvénients de l'avoir sur la face extérieure ;
- évolution technologique permanente ;
- bonne performance thermique pour cette technologie ;
- stabilité dimensionnelle.

• **Inconvénients :**

- Coût élevé pour certaine combinaison ;
- Produit technologique qui doit être parfaitement monté ;
- Nécessité d'appliquer un traitement pare-vapeur sur le bois côté intérieur afin d'éviter l'apparition de condensation à l'intérieur du châssis sur la face interne de l'aluminium.

LES CHÂSSIS RECOMMANDÉS DANS LES BÂTIMENTS « PASSIFS »

Les châssis utilisés dans les bâtiments « passifs » présentent une valeur recommandée U_w de 0,8 W/m²K maximum. Les matériaux choisis ne sont pas imposés par le standard passif. Toutefois, de bonnes performances thermiques sont atteintes avec les matériaux suivants :

- le bois massif ou lamellé collé, avec ou sans ajout d'isolant, avec ou sans capot d'aluminium ;
- le PVC avec ou sans ajout d'isolant ;
- l'aluminium, avec ou sans ajout d'isolant, et présentant des coupures thermiques.

Les performances thermiques dépendent de l'étanchéité à l'eau et à l'air. Cette dernière, déterminée en laboratoire, comporte une classification allant de 0 à 4. La valeur recommandée pour ce type de châssis est de 4. Le châssis est idéalement placé dans l'épaisseur de l'isolant.

Il est important de noter que le terme « châssis recommandé pour les bâtiments passifs » implique un châssis parfaitement isolé mais n'induit aucun marquage officiel.

LES QUINCAILLERIES ET TYPES D'OUVRANTS

La forme, le type de fenêtre, ses divisions et leur position vont influencer le comportement et la résistance structurelle aux intempéries. De plus, le coefficient de transmission thermique U en est modifié.

Par exemple, si on choisit le même vitrage et le même type de châssis, une fenêtre fixe ou une fenêtre à deux vantaux ouvrants vers l'intérieur n'ont pas le même coefficient U_w car les proportions de châssis et de vitrage sont différentes.

Dans la PEB, ces valeurs entrent en ligne de compte pour le calcul du U_w .

Les quincailleries ne rentrent pas en ligne de compte dans le calcul énergétique. Elles sont pourtant la source de nombreuses fuites d'air et de points de condensation.

RÉGLAGE DES QUINCAILLERIES











Les quincailleries de certains châssis testés en laboratoire (33 %) ont dû être réglées pour obtenir un résultat correct. En effet le réglage déficient des fermetures et des charnières peut donner lieu à une compression insuffisante de préformé d'étanchéité. Un contrôle régulier est donc indispensable.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

COMPARAISON DES PERFORMANCES ÉCO-ÉNERGÉTIQUES DES TYPES D'OUVRANTS

- fixes : les plus éco-énergétiques car réduction des fuites et courants d'air ;
- pivotants (à battants / à axe vertical) : en comparaison avec les autres types d'ouvrants, offrent la meilleure étanchéité à l'air ;
- basculants : doivent être pourvus d'un coupe-froid efficace ; ils réduisent les infiltrations d'air ;
- à guillotine (à 1 ou 2 vantaux) : pas très efficaces d'un point de vue énergétique ;
- coulissants : les moins éco-énergétiques de tous.

TABLEAU COMPARATIF DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES TYPES D'OUVRANTS

TYPES D'OUVRANTS (vu de l'extérieur)			PROPRIÉTÉS	AVANTAGES / INCONVÉNIENTS									
				Eclairage	Quincaillerie	Entretien	Sécurité	Étanchéité à l'eau	Étanchéité à l'air	Encombrement vers l'intérieur	Ventilation intensive	Limites	
PIVOT A AXE VERTICAL		à la française	vantail ouvrant vers l'intérieur	BON	CHOIX SIMPLE	BON	BON	BON	BON	BON	IMPORTANT	NÉCESSITE UN CALAGE	LIMITE EN LARGEUR
		à l'anglaise	vantail ouvrant vers l'extérieur	BON	NÉCESSITE UN CALAGE	DIFFICILE	MAUVAIS	EXCELLENT	EXCELLENT	NON	NON	NÉCESSITE UN CALAGE	LIMITE EN LARGEUR
		pivotant simple	vantail ouvrant vers l'intérieur en parite gauche et vers l'extérieur en partie droite	BON	COÛTEUX	BON car s'ouvre à 180°	MAUVAIS	DIFFICILE	DIFFICILE	MOYEN	MOYEN	NÉCESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
PIVOT A AXE HORIZONTAL		pivotant à axe horizontal	vantail ouvrant vers l'intérieur en parite haute et vers l'extérieur en partie basse	BON	COÛTEUX	BON car s'ouvre à 180°	MAUVAIS	BON	DIFFICILE	MOYEN	MOYEN	NÉCESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
		à visière	vantail ouvrant principalement vers l'extérieur	BON	COÛTEUX	DIFFICILE	MAUVAIS	BON	DIFFICILE	FAIBLE	FAIBLE	NÉCESSITE UN CALAGE	LIMITE POUR L'OUVERTURE
		oscillo-battant	2 types d'ouvertures vers l'intérieur	BON	UN PEU + COÛTEUX	BON	BON	BON	BON	IMPORTANT À FAIBLE	IMPORTANT À FAIBLE	BON	LIMITE POUR L'OUVERTURE
		tombant	vantail ouvrant vers l'intérieur	BON	SIMPLE	BON si s'ouvre à 180°	BON	BON	BON	BON	FAIBLE	FAIBLE	BON
COULISSANTE		coulissant	par translation horizontale	BON	COÛTEUX	DIFFICILE	BON	BON	BON	BON	NON	BON	h/l < 2,5
		levant-coulissant	par translation horizontale	BON	COÛTEUX	DIFFICILE	BON	MOYEN À BON	MOYEN À BON	MOYEN À BON	NON	BON	h/l < 2,5
		à guillotine	par translation verticale	BON	CHOIX SIMPLE	DIFFICILE	MAUVAIS	MOYEN	MOYEN	DIFFICILE	NON	NÉCESSITE UN CALAGE	POIDS, SÉCURITÉ

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS

TABLEAU RÉCAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES MATÉRIAUX DE CHÂSSIS

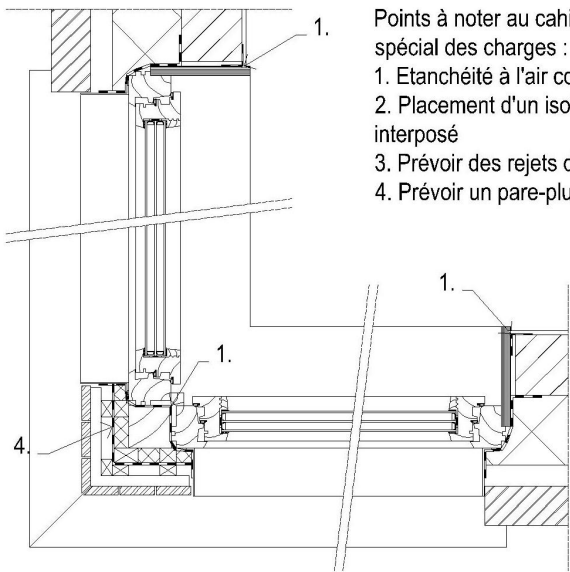
	CHÂSSIS BOIS	CHÂSSIS PVC	CHÂSSIS ALUMINIUM	CHÂSSIS POLYURETHANE	CHÂSSIS ACIER
AVANTAGES	<ul style="list-style-type: none"> • Aspect chaleureux. • Matériau naturel. • Matériau stable. • Possibilités de travailler le matériau (moulures, cintrage, etc). • Changement de coloris de peinture possible dans le temps. • Stockage de CO₂. • Recyclable si non traité. • Choix très vastes d'essences différentes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Facile d'entretien. • Partiellement recyclable. • Parfois produit avec du PVC recyclé. • Résistant à la corrosion. • Résistant aux conditions climatiques hivernales. • Profilés nombreux dont certains présentent une très bonne résistance thermique. • Produit généralement certifié ou labellisé. • Textures et coloris variés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solide. • Facile d'entretien. • Partiellement recyclable. • Résistant aux conditions climatiques hivernales. • Résistant à la corrosion et aux chocs. • Profilés variés mais dont la résistance thermique reste généralement moins bonne que le bois ou le PVC. • Produit généralement certifié ou labellisé. • Textures et coloris variés. • Profilés étroits. 	<ul style="list-style-type: none"> • Très bonne isolation acoustique. • Facile d'entretien. • Possibilités de formes multiples car procédé de fabrication par moulage.. • Stabilité dimensionnelle. • Produit généralement certifié ou labellisé. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solide. • Très bonne résistance à l'effraction. • Facile d'entretien. • Recyclable. • Possibilité de réaliser des formes sur mesure. • Produit généralement certifié ou labellisé concernant l'effraction et la résistance aux chocs.
INCONVÉNIENTS	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien nécessaire (au moins tous les dix ans). • Toutes les essences de bois ne conviennent pas (voir tableau de l'annexe 2). • Différence de masse volumique entre les essences entraînant un pouvoir isolant différent. • Sensible aux conditions climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produit artificiel. • Mauvaise stabilité dimensionnelle lors des variations de températures importantes. • Mauvaise stabilité des coloris foncés exposés aux UV. • Choix des formes de profilés fixées par le fabricant. • Diversité formelle limitée. • Fabrication consommant beaucoup d'énergie. • Attraction des poussières à cause de l'électricité statique présente à la surface du PVC. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produit artificiel. • Mauvaise stabilité dimensionnelle lors des variations de températures importantes.. • Mauvaise stabilité des coloris foncés exposés aux UV. • Choix des formes de profilés fixées par le fabricant. • Diversité formelle limitée. • Fabrication consommant beaucoup d'énergie.. • Onéreux. 	<ul style="list-style-type: none"> • Produit artificiel. • Isolation thermique faible. • Mauvaise stabilité des coloris foncés exposés aux UV. • Choix des formes de profilés fixées par le fabricant. • Fabrication consommant beaucoup d'énergie. 	<ul style="list-style-type: none"> • Isolation thermique faible. • Fabrication consommant beaucoup d'énergie. • Onéreux.
<p>Remarque : - Choisir un entrepreneur compétent pour s'assurer de la qualité du profilé et, dans le cas du bois, de l'essence adaptée</p>					

LA LIAISON AU GROS-OEUVRE

Au point de vue thermique, dans la liaison au gros-oeuvre, il y a nécessité d'avoir une coupure thermique la plus continue et la plus totale possible.

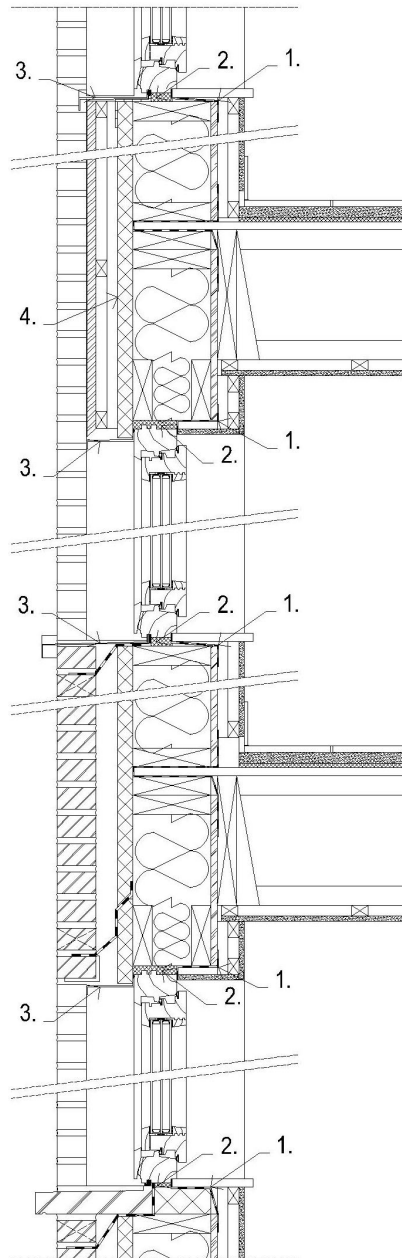
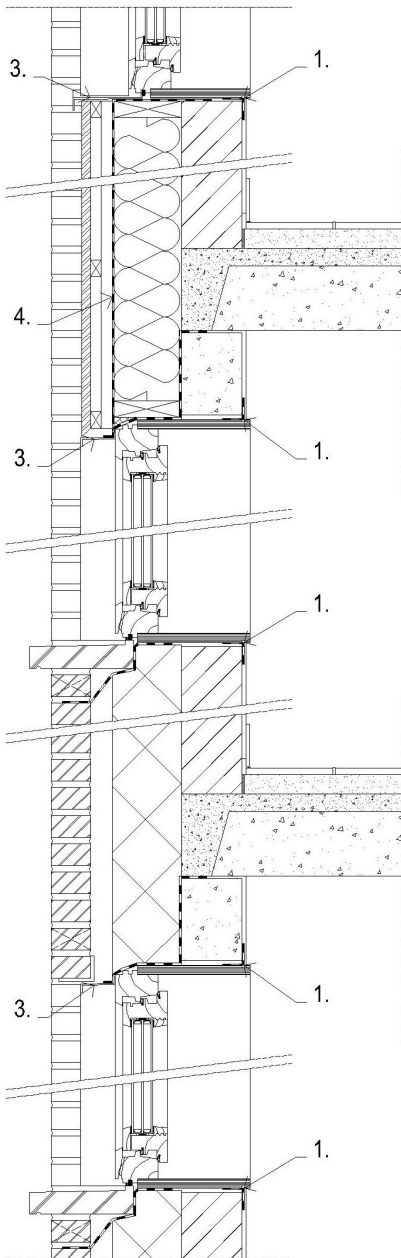
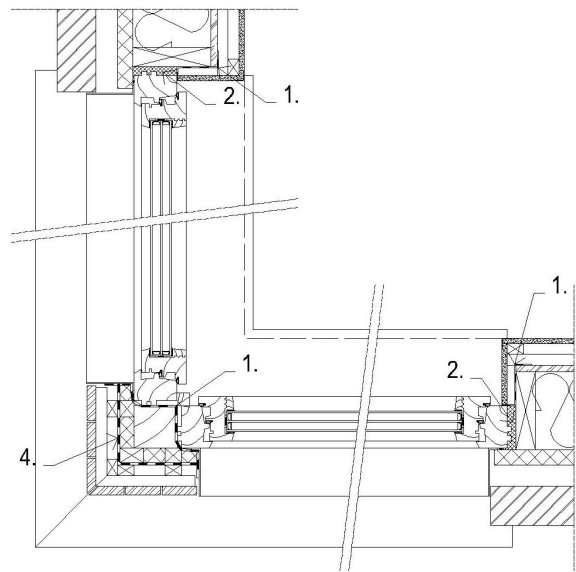
La page suivante illustre les principes de positionnement de la baie de fenêtre dans le gros-oeuvre.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE CHÂSSIS



Points à noter au cahier spécial des charges :

1. Etanchéité à l'air continue
2. Placement d'un isolant interposé
3. Prévoir des rejets d'eau
4. Prévoir un pare-pluie



LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE VITRAGE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE	51
LA COMPOSITION DU VERRE	51
LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE.....	52
<i>Les produits de base</i>	52
<i>Les produits de base spéciaux</i>	52
<i>Les produits transformés</i>	53
LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS	54
LES PERFORMANCES THERMIQUES ET LA LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR	55
LA TRANSMISSION DE CHALEUR.....	55
LE GAIN DE CHALEUR PAR EFFET DE SERRE.....	55
L'INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA VALEUR U.....	56
<i>Les vitrages multiples</i>	57
<i>L'épaisseur du verre</i>	57
<i>L'épaisseur de la lame d'air ou de gaz</i>	57
<i>La composition de la lame entre les feuilles de verre</i>	57
<i>Les intercalaires</i>	58
LES AUTRES PERFORMANCES	59
LA FONCTION VISUELLE	59
<i>La transmission lumineuse</i>	59
LES PERFORMANCES PHYSICO-MÉCANIQUES.....	59
LE RÔLE ACOUSTIQUE.....	59
LA FONCTION SÉCURITÉ	60
LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES VITRAGES.....	61
LE VITRAGE.....	61
LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES.....	61
LES COMPOSANTS.....	61
LE CYCLE DE VIE.....	62

Cette partie concernant les vitrages tient compte des normes et des projets de normes européennes les décrivant. Sauf mention contraire explicite, tous les chiffres et les valeurs donnés proviennent de ces normes et projets de normes européennes.

La plupart des données sont issues de la Note d'Information Technique 214 du CSTC - "Le verre et les produits verriers - les fonctions des vitrages" [CSTC-99].

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE

COMPOSITION DU VERRE SILICO-SODO-CALCIQUE (proportion massique) [CSTC-99] [IBN -00-1]			
AVANT FUSION		APRES FUSION	
Sable (SiO ₂)	58 %	SiO ₂	69 à 74 %
Feldspath (SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , K ₂ O, Na ₂ O)	3 %	Na ₂ O	12 à 16 %
Calcaire (CaO)	4 %	CaO	5 à 12 %
Dolomie (CaO, MgO)	17 %	MgO	0 à 6 %
Soude (Na ₂ O)	18 %	Divers	0 à 3 %

ROLE DES DIFFERENTS COMPOSANTS	
• Le sable (à plus de 99 % de SiO ₂) : la silice joue le rôle d'oxyde formateur de réseau.	
• Le Na ₂ CO ₃ apporte le principal oxyde modificateur de réseau (Na ₂ O) qui joue le rôle de fondant permettant de diminuer la température de fusion de SiO ₂ .	
• La dolomie et le calcaire améliorent la résistance chimique des verres sodiques en diminuant fortement leur solubilité.	
• Le borax diminue le coefficient de dilatation du verre et améliore ainsi la résistance aux chocs thermiques.	

PROPRIETES MECANQUES	
Masse volumique ρ à 18 °C	2 500 kg/m ³
Résistance à la compression	1 000 N/mm ²
Résistance à la traction :	
verre simple	10 N/mm ²
verre trempé	50 N/mm ²
Taux de travail = résistance à la flexion / coefficient de sécurité :	
verre recuit	16,5 N/mm ²
verre durci	31 N/mm ²
verre trempé thermiquement	49 N/mm ²
verre trempé chimiquement	70,6 ou 50,4 N/mm ² si les bords du verre sont apparents ou non
Résistance au cisaillement	28 N/mm ²
Module de Young E	70 000 N/mm ²

PROPRIETES OPTIQUES	
Indice de réfraction η :	
air/verre	0,67
verre/air	1,5
eau/verre	0,88
verre/eau	1,13
Transmission énergétique	
FSA (facteur solaire absolu g)	60 à 85 %
FLA (facteur de transmission lumineuse absolu)	75 à 90 %

PROPRIETES THERMIQUES	
Température de ramollissement	± 600 °C
Température de fusion	1 500 °C
Coefficient de dilation linéaire α	9.10 ⁻⁶ / K
Conductivité thermique λ	1 W/mK
PROPRIETES ELECTRIQUES	
Résistance spécifique	5.10 ⁷ Ω à 1 000 Hz et à 25 °C
Constance diélectrique	7,6 à 1 000 Hz et à 25 °C

Les verres existent dans la nature. Ils se sont formés lors du refroidissement brusque de lave fondue (obsidienne) ou par impact de météorites (tectites), mais ce sont principalement des matériaux artificiels.

Les verres inorganiques sont, pour 95 % de la production industrielle, des verres constitués de silicates (verres d'oxyde).

LA COMPOSITION DU VERRE

Le verre utilisé pour la confection de vitrages dans la construction est fabriqué à partir de :

- sable de silice (69 à 74 %) ;
- oxyde de sodium (soude ; 12 à 16 %) utilisé comme fondant dans le but d'abaisser la température de fusion de la silice ;
- chaux (5 à 12 %) qui joue le rôle de stabilisant conférant au verre sa résistance chimique ;
- divers oxydes métalliques servant à améliorer ses caractéristiques mécaniques et sa résistance aux agents atmosphériques, ainsi qu'à lui donner une coloration éventuelle ;
- divers éléments provenant du fait qu'une partie de la matière première est apportée sous forme de verre recyclé.

De par sa composition, ce type de verre est appelé "silico-sodo-calciq". Il existe aussi des verres borosilicates et vitrocéramiques.

Le verre silico-sodo-calciq a des propriétés mécaniques, optiques, thermiques, acoustiques et électriques particulières dont les principales sont chiffrées dans le tableau ci-contre.

Il y faut noter que la proportion massique des éléments constituant les produits verriers varient après la fusion. La composition d'un mélange destiné à élaborer des verres plats est variable.

RÉSISTANCE À LA FLEXION DES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE [CSTC-99]			
TYPE DE VERRE	RÉSISTANCE CARACTÉRIS- TIQUE [N/mm ²]	COEFFICIENT DE SÉCURITÉ Y	RÉSISTANCE DE CALCUL INSTANTANÉE [N/mm ²]
Verre recuit	41,2	2,5	16,5
Verre durci (*)	(93,0)	(3,0)	(31,0)
Verre trempé thermiquement	196,0	4,0	49,0
Verre trempé chimiquement (**)	353,0	5,0 ou 7,0 (***)	70,6 ou 50,4 (**)

(*) Seuls les verres durcis porteurs d'un agrément technique (ATG) peuvent avoir des valeurs de calcul de σ et k différentes de celles du verre recuit.

(**) Ce type de verre n'est pas utilisé dans le bâtiment.

(***) On prendra la valeur 5 si les bords du vitrage sont non apparents, la valeur 7 s'ils sont apparents.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

Pour plus d'information, consulter les de normes NBN EN 1051-1 et NBN EN 1051-2.

REMARQUES

- La résistance du verre armé est inférieure à celle d'un verre non armé car le treillis déforce la résistance intrinsèque du verre.
- Vu la présence de l'armature et le déformement qui s'ensuit, le verre armé ne peut être trempé.
- L'utilisation du verre armé en verre feuilleté ou en double vitrage est déconseillée (pas de garantie).

- La pose du vitrage doit s'effectuer conformément à la norme NBN S 23-002
- La norme NBN-EN 356 définit des classes de protection en fonction de la résistance des vitrages.
- La masse surfacique du verre type est d'environ :
 - 20 kg/m² pour DV 4+4 ;
 - 25 kg/m² pour DV 4+6 ;
 - 35 kg/m² pour DV 6+8 ;
 - 30 kg/m² pour DV verre feuilleté : 44.4 à savoir 2 vitrages de 4 mm d'épaisseur séparés par 4 feuilles de PVB ;
 - 35 kg/m² pour DV verre feuilleté : 64.4 ;
 - 50 kg/m² pour DV verre feuilleté : 86.6 ;
 - 15 kg/m² pour un verre simple armé 6 mm ;
 - 30 kg/m² pour un triple vitrage 4/12/4/12/4 ;
 - 40 kg/m² pour un triple vitrage 6/15/4/15/6.

Pour plus d'information sur le verre borosilicate et le verre vitrocéramique, consulter respectivement les normes NBN EN 1748-1 et NBN EN 1748-1-2

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE [CSTC-97-2]

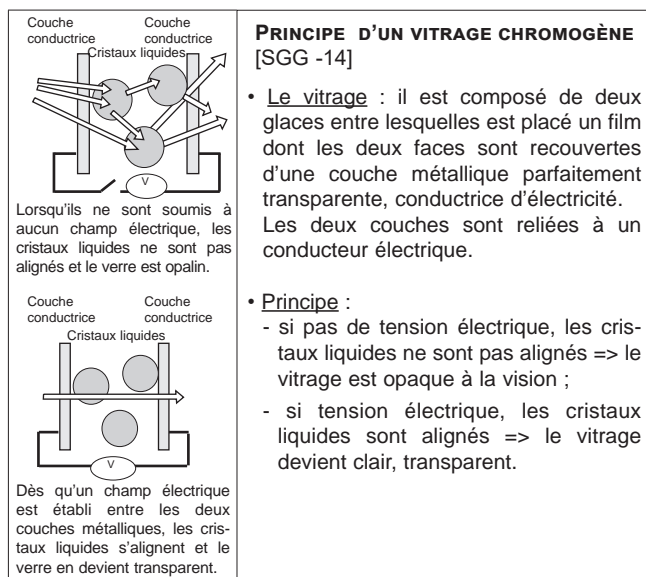
LES PRODUITS DE BASE

- Glace (selon la NBN EN 572-1) / verre clair simple / verre recuit / "float glass" : feuille de verre clair ou coloré obtenue par coulage sur bain d'étain en fusion.
- Verre coulé / traité / de sécurité / sérigraphié : feuille de verre coulé (armé ou non armé) obtenue par laminage à chaud entre deux rouleaux, avec ou sans impression de dessins sur une des faces.
- Verre armé : verre dans lequel on a incorporé, lors de la phase de fabrication, un treillis métallique destiné à maintenir les morceaux de verre en place en cas de bris mais ne participant pas à la résistance mécanique.
- Verre profilé : verre de silicate sodo-calcique recuit obtenu par coulée continue suivie d'un laminage et d'un processus de formage (souvent en forme de U). Des fils métalliques peuvent y être incorporés lors de la fabrication pour en faire du verre profilé armé. Ce verre peut être assemblé à l'aide de mastic (silicone) et ce, de différentes façons. Le verre profilé peut être utilisé en double paroi uniquement dans le cas de bâtiments à faible teneur en humidité. Il s'applique en paroi tant intérieure qu'extérieure, mais pas à un endroit où un vitrage de sécurité est requis (toiture, risque de chute,...). Les performances thermiques ne sont pas très bonnes.
- Verre moulé : verre translucide moulé soit sous forme de dalles décoratives, soit sous formes de briques (c'est-à-dire corps en verre, étanches à l'air, généralement composés d'au moins deux éléments soudés les uns aux autres).
- Verre soufflé : produit par un ancien procédé artisanal (le soufflage) qui permet d'obtenir une large gamme de couleurs.

LES PRODUITS DE BASE SPÉCIAUX

- Verre borosilicate : verre contenant entre 7 et 15 % d'oxyde de bore. Il présente une dilatation représentant un tiers à deux tiers de celle du verre silico-sodo-calcique. Il possède une excellente résistance aux acides et est utilisé pour les feux ouverts.
- Verre vitrocéramique : verre constitué d'une phase cristalline et d'une phase vitreuse résiduelle. Ensuite, il est soumis à un traitement thermique qui transforme, de façon contrôlée, une partie du verre en une phase finement cristallisée, ce qui leur confère des propriétés de coefficient de dilatation proche de zéro. Il est utilisé en cuisine pour les plaques de cuisson.
- Verre à haute teneur en plomb : verre présentant une teneur en plomb de l'ordre de 70 %, ce qui permet une forte atténuation des rayons x et γ . Il est sensible à l'oxydation. Il faut donc éviter le contact

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE



Pour plus d'informations :

- sur le verre trempé thermiquement : consulter la norme NBN S23-002 (STS 38) ;
- sur le verre durci : consulter le projet de norme NBN EN 1863 et la norme NBN S23-002 ;
- sur le verre trempé chimiquement : consulter la norme NBN S23-002 (STS 38).

Remarque importante : pour le float trempé thermiquement, le float durci et le float trempé chimiquement, certaines valeurs (dues à la méthode de calcul des vitrages données dans le prEN 13474) des projets de norme européenne prEN 12150, prEN 1863 et prEN 12337 ne peuvent être utilisées selon la norme NBN S23-002 .

NOMENCLATURE DU VERRE FEUILLETÉ

Le verre feuilleté possède une nomenclature propre qui permet de reconnaître sa composition ; deux chiffres (minimum) indiquent l'épaisseur des feuilles de verre en mm et sont suivis, après interposition d'un point, d'un chiffre donnant le nombre de films plastiques placés entre deux feuilles de verre.

Exemple :

- un vitrage 66.2 correspond à :
 - deux feuilles de verre de 6 mm d'épaisseur ;
 - deux feuilles de PVB de 0,38 mm d'épaisseur chacune séparant les feuilles de verre ;
- un vitrage 4/12/66.2 correspond à un double vitrage composé d'un verre simple de 4 mm, d'un espace de 12 mm rempli d'air et d'un vitrage feuilleté 66.2.

NB : le vitrage est noté de l'extérieur vers l'intérieur.

avec l'eau et les détergents. Il sert en gobeletterie, en verrerie d'art, pour les téléviseurs et en électronique.

LES PRODUITS TRANSFORMÉS

- **Verres composés à partir de verres simples de base ou éventuellement traités ou vitrages multiples** :
 - **vitrages multiples à lames d'air ou de gaz** (vitrage isolant double / double avec soudure / triple) : vitrage obtenu par assemblage de feuilles de verre et d'intercalaires métalliques ou plastiques unis au verre par soudure, collage, etc. ;
 - **vitrages chromogènes** : vitrage à propriétés variables. Le changement d'état dépend soit des conditions ambiantes (cas des vitrages non électroactivés) soit de l'application d'un courant électrique (cas des vitrages électro-activés).
- **Verre à mince couche réfléchissante** :
 - par projection d'oxyde métallique sur verre chaud ;
 - par évaporation sous vide ou par extraction ionique d'un métal sous champ électrique.
- **Verre traité thermiquement (trempé ou durci) - appelé "renforcé à la chaleur" - et verre traité chimiquement** : verres traités de manière à y introduire des contraintes permanentes, ce qui leur donne une meilleure résistance aux sollicitations d'origine thermique et/ou mécanique.
- **Verre feuilleté** : verre obtenu par plusieurs feuilles de verre collées par interposition d'un ou de plusieurs films plastiques (en général de butyral de polyvinyle, PVB) ou de résines.

C'est un produit de haute performance puisqu'il associe les propriétés intrinsèques du verre à celles de la feuille synthétique (adhérence au verre, élasticité, résistance à l'impact). Cependant, après l'opération de trempage qui lui confère une très bonne résistance, il ne peut plus être coupé, scié, percé ni façonné.
- **Verre feuilleté assurant une protection contre le feu et les incendies** :
 - **avec gel aqueux** : vitrage composé de minimum deux verres trempés, assemblés au moyen d'un espaceur en acier. L'espace entre les feuilles de verre est rempli d'un gel transparent qui, sous l'action de la chaleur provoquée par un incendie, se transforme et libère de la vapeur d'eau. Le gel devient alors opaque et forme un écran isolant.
 - **avec intercalaire intumescent** : vitrage composé d'un verre feuilleté contenant un intercalaire solide qui foisonne en cas d'incendie. En condition normale, l'intercalaire est transparent à la lumière ; en cas d'incendie, il gonfle sous l'effet de la chaleur et se transforme en une mousse isolante opaque qui réduit les échanges par convection et absorbe quasi intégralement le rayonnement.
- **Verre feuilleté retardateur d'effraction** : vitrage qui se fendille tout en restant adhérent à la feuille de PVB. Il restera dans le châssis et retardera l'effraction.

Le degré de protection contre l'effraction offert par le vitrage est principalement fonction du nombre de couches de PVB.

- Verre mince « super-isolant » : vitrage composé d'un verre épais mais unique (à partir de 5,8 mm) visant des performances meilleures qu'un simple vitrage en terme d'isolation thermique, de protection contre les UV et d'isolation acoustique (U_g de l'ordre de 3,5 à 3 W/m²K). Souvent utilisé dans des bâtiments de type historique, il s'apparente au verre authentique grâce à son épaisseur minimale.
- Verre intelligent : verre dont les propriétés sont radicalement modifiées sous l'influence d'une sollicitation extérieure : tension électrique, rayonnement, fluide aqueux, etc.
 - *Le verre électrochrome* : verre qui, sous l'effet d'un faible courant électrique, peut passer d'un état clair à un état teinté (et inversement) tout en restant toujours transparent. C'est un courant électrique qui permet la transition par une technologie multi-couches sur le vitrage : une couche mince d'oxyde conducteur transparente pour l'amenée de courant, une couche électrochrome qui est l'oxyde de tungstène et une contre-électrode associée pour la conduction ionique. Sous une impulsion électrique, l'oxyde de tungstène vire au bleu et conserve cette couleur même lorsque le courant est coupé. Sous une tension inverse, l'oxyde reprend sa couleur initiale et le vitrage redevient transparent.
 - *Le verre thermochrome* : verre changeant de teinte en fonction de sa température. En-dessous de 25 °C, il se comporte comme un verre clair standard à faible émissivité ; entre 25 et 65 °C, sa teinte fonce graduellement pour atténuer le gain de chaleur à l'intérieur du bâtiment. Le verre thermochrome présente l'avantage de ne requérir aucune intervention humaine ni électrique pour fonctionner.
 - *Le verre auto-nettoyant* : verre qui, grâce au dépôt d'une fine couche nanométrique de dioxyde de titane sur sa face externe, photocatalyse la destruction des poussières et dépôts organiques sous l'influence de la lumière du soleil (rayonnement UV). C'est ensuite la pluie qui lave la surface dégagée des traces grasses. Ce verre est particulièrement intéressant pour les verrières de grande hauteur dont le nettoyage est difficile et coûteux. La contrainte est qu'il doit être exposé au rayonnement solaire direct.

LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS

Selon la norme NBN S23-002, les produits verriers du bâtiment sont supposés répondre à 9 exigences essentielles, à savoir :

- la résistance mécanique et la stabilité aux actions externes telles que le vent et, dans certains cas, le risque de « casse thermique » ;
- la sécurité en cas d'incendie ;
- l'hygiène, la santé, l'environnement : les produits verriers n'émettent aucune substance polluante susceptible de provoquer des effets néfastes sur la santé et sur l'environnement. En plus de la qualité de l'air, les aspects tels que l'humidité, le choc et la fragmentation doivent être pris en compte ;
- la sécurité d'utilisation à savoir la résistance méca-

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

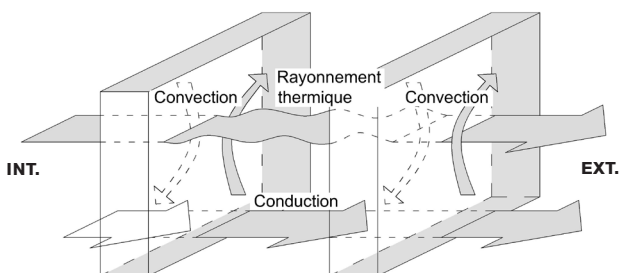
nique et la stabilité ainsi que la sécurité des personnes : les produits verriers doivent être stables sous des efforts combinés générés par le poids propre, la charge due au vent, la neige, la température, l'humidité, les charges d'exploitation, les chocs et les déformations normales de la structure portante. Le verre doit présenter des caractéristiques telles qu'il évite les chutes par effacement de la protection (garde-corps) ou les blessures par contact d'arêtes vives et coupantes ;

- la protection contre le bruit ;
- l'économie d'énergie et l'isolation thermique ;
- la durabilité en évitant des détériorations importantes durant la durée de vie du produit ;
- la mise en œuvre et les performances des accessoires et produits annexes à savoir le fond joint, la cale, les profilés d'étanchéité, le mastic d'étanchéité... ;
- la protection des biens contre l'intrusion, l'attaque armée ou les explosions.

PERFORMANCES THERMIQUES ET LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR

LA TRANSMISSION DE CHALEUR

SCHÉMA DES DIFFÉRENTS TRANSFERTS DE CHALEUR DANS UN DOUBLE VITRAGE



MODES DE TRANSMISSION DE CHALEUR À TRAVERS UN DOUBLE VITRAGE LORSQUE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE EST INFÉRIEURE À LA TEMPÉRATURE INTÉRIEURE [CSTC-97-2]

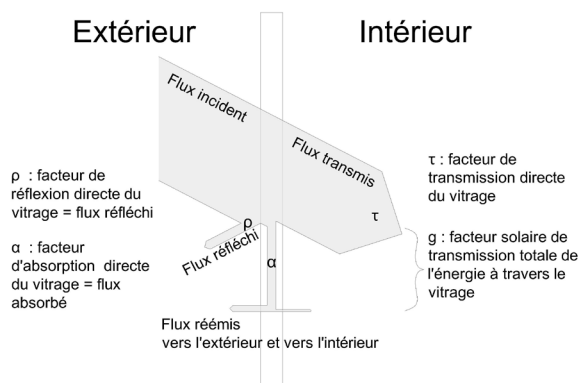
La transmission de chaleur entre les deux faces du verre se fait :

- uniquement par conduction s'il s'agit d'un simple vitrage opaque ;
- par conduction et rayonnement s'il s'agit d'un simple vitrage transparent ;
- par conduction et rayonnement dans le verre, par conduction dans l'espaceur et par conduction, rayonnement et convection dans la lame d'air ou de gaz s'il s'agit d'un vitrage multiple.

L'utilité du vitrage multiple est de limiter les pertes de chaleur par conduction dans le verre en séparant les feuilles de verre par une (des) lame (s) de gaz.

La conductivité thermique λ du verre vaut 1 W/mK. Il ne s'agit donc pas d'un matériau isolant puisque sont généralement considérés comme tels les matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à 0,065 W/mK.

Pour minimiser les déperditions d'énergie et donc obtenir une isolation thermique maximale, il faut que le coefficient de transmission U du vitrage ait une valeur aussi faible que possible .



LE GAIN DE CHALEUR PAR EFFET DE SERRE

Rappelons que c'est l'élément translucide - et donc le vitrage - qui est l'agent essentiel de l'effet de serre (voir principe défini à la p. 17).

L'INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA VALEUR U

Pour atteindre les valeurs les plus basses du coefficient U, différents paramètres peuvent jouer.

Tout en sachant qu'il y a des limites dans les possibilités techniques, on peut donc améliorer l'isolation thermique de la fenêtre en :

- créant des vitrages multiples ;
- réduisant l'émissivité du verre en y adjoignant une couche d'oxydes métalliques ;
- augmentant l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz ;
- limitant le transfert de chaleur dans la lame entre les verres en plaçant un gaz plus visqueux que l'air (argon, krypton).

Attention, les éléments repris ci-dessus influencent la valeur U_g , le facteur solaire g et la transmission lumineuse TL, ainsi que l'épaisseur du vitrage. Toutes les combinaisons numériques ne sont pas possibles et tous les profilés n'ont pas une épaisseur de feuillure standardisée. Il revient dès lors à l'architecte de décrire dans le cahier des charges une combinaison possible en vérifiant si le vitrage existe sur le marché et qu'il est possible de l'insérer dans le châssis prescrit.

Pour les vitrages commercialisés en Belgique, se référer à la brochure « Un regard éclairé sur les vitrages belges » [FIV -15] ; pour les feuillures, s'informer auprès du fabricant des profilés choisis.

En combinant ces éléments, il est possible, aujourd'hui, d'obtenir un double vitrage présentant de très bonnes qualités thermiques ($U_{\text{vitrage}} \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$: voir zone grisée de la page suivante). Ce type de vitrage est appelé **double vitrage haut rendement**. Il est souvent composé d'une feuille de verre munie d'une couche dite à "basse émissivité".

Un double vitrage 4/15/4 doté d'une couche basse émissivité et d'une lame d'argon de 15 mm peut présenter une valeur U proche de $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Cette valeur peut être encore diminuée en remplaçant l'argon par du krypton qui est un gaz plus visqueux mais également plus coûteux.

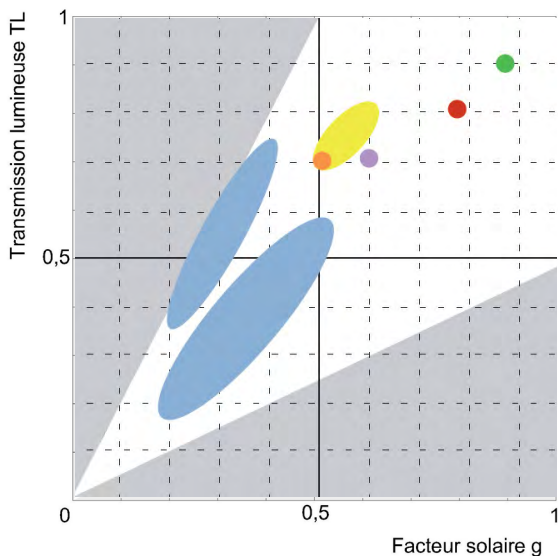
Un triple vitrage 4/10/4/10/4 doté des caractéristiques identiques permet d'obtenir un coefficient de transmission thermique U encore plus faible $\leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Outre les aspects liés aux économies d'énergie, une augmentation du pouvoir isolant des vitrages entraîne également une augmentation des températures de surfaces intérieures avec pour conséquences :

- une diminution des risques de condensation ;
- un confort thermique accru, grâce à une température superficielle intérieure plus élevée, ressentie par l'occupant (voir p. 9).

On peut en conclure que le vitrage simple présentera un risque de condensation majeur et que le double vitrage 'haut rendement' garantira, grâce à une température de

COMBINAISONS POSSIBLES DU FACTEUR SOLAIRE ET DE LA TRANSMISSION LUMINEUSE [FIV -15]



- Simple vitrage
- Double vitrage sans couche
- Double vitrage à haut rendement
- Vitrage à haut rendement et contrôle solaire
- Triple vitrage à haut rendement
- Triple vitrage à haut rendement - Construction passive

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

surface intérieure sensiblement plus élevée, une amélioration appréciable du confort thermique.

Cependant la face extérieure peut être, dans certaines conditions atmosphériques, à une température extérieure très basse, qui entraîne une formation de condensation nuisant à la visibilité (voir p. 24).

LES VITRAGES MULTIPLES

Les doubles et triples vitrages constituent la base des vitrages isolants. L'ajout de lames (d'air ou de gaz) supplémentaires a été envisagé mais ce type de solution présente de gros inconvénients tels qu'une épaisseur importante et un poids considérable.

L'ÉPAISSEUR DU VERRE

Le verre est un matériau thermiquement conducteur. C'est pour cette raison que l'augmentation de l'épaisseur des verres composant un vitrage n'influence que très peu la qualité de l'isolation thermique. Sans entrer dans les détails, citons par exemple que la valeur U diminue de moins de 0,5 W/m²K quand on utilise du verre de 19 mm plutôt que de 4 mm.

La NIT 176 «Vitrage en toiture» [CSTC-89] aborde en détail le calcul de l'épaisseur des vitrages de façade et de la résistance du verre à l'action du vent.

L'ÉPAISSEUR DE LA LAME D'AIR OU DE GAZ

Augmenter l'épaisseur de la lame d'air ou de gaz influence de façon déterminante la valeur U.

Selon l'étude comparative publiée dans la NIT 214 «Le verre et les produits verriers» [CSTC-99], la valeur U diminue fortement quand l'espace d'air passe de 4 à 100 mm, l'optimum se situant, selon les cas, autour de 10 à 15 mm.

Pour des largeurs plus importantes, la valeur U ne diminue plus, vu l'importance des phénomènes de convection dans la lame d'air, raison pour laquelle cette solution est rarement utilisée sauf pour de meilleures performances acoustiques.

LA COMPOSITION DE LA LAME ENTRE LES FEUILLES DE VERRE

On peut limiter le transfert de chaleur dans la lame d'air par deux procédés :

- L'utilisation de surfaces à faible facteur d'émissivité dans le domaine de l'infrarouge.

Cette technique consiste à appliquer une couche métallique transparente ultra-mince. Cette couche "basse émissivité" est constituée soit d'un métal précieux multicouche vaporisé (en général : de l'argent), soit d'un film semi-conducteur appliqué par déposition pyrolytique.

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DE QUELQUES VITRAGES [FIV -15] [FIV -17]				
Type de vitrage	Composition [mm]	Valeur U [W/m ² K]	Facteur solaire absolu g	Facteur lumineux TL (%)
Vitrage simple	4	5,8	0,87	90
	6	5,7	0,84	88
Double vitrage avec lame d'air	4 / 12 / 4	2,9	0,81	77
Double vitrage, 1 couche basse émissivité 3 %, lame d'argon	4 / 12 / 4	1,3	0,62	80
Double vitrage, 1 couche basse émissivité 3 %, lame d'argon	4 / 15 / 4	1,1	0,62	80
Double vitrage, 1 couche basse émissivité, argon, contrôle solaire	6 / 15 / 4	1,1	0,40	40
		1,1	0,20	20
		1,0	0,28	28
Double vitrage, 1 couche basse émissivité 1 %, argon	4 / 15 / 4	1,0	0,50	70
Double vitrage, 2 couches basse émissivité, krypton	6 / 10 / 4	0,8	0,47	68
Triple vitrage, 2 lames d'air	4 / 12 / 4 / 12 / 4	0,8	0,67	73
Triple vitrage, 2 couches basse émissivité, 2 lames d'argon	4 / 12 / 4 / 12 / 4	0,7	0,50	70
Triple vitrage, 2 couches basse émissivité, 2 lames d'argon	4 / 15 / 4 / 15 / 4	0,6	0,50	70
Triple vitrage, 2 couches basse émissivité, 2 lames d'argon	4 / 18 / 4 / 18 / 4	0,5	0,50	70
Triple vitrage, 2 couches basse émissivité, 2 lames krypton	4 / 10 / 4 / 10 / 4	0,6	0,50	70

Les valeurs U évoquées dans ce tableau concernent la partie centrale du vitrage et non la zone périphérique.

Les cases colorées correspondent à des vitrages respectant la valeur U_{max} de 1,1 W/m²K imposée par la réglementation PEB (cf. Annexe 3 de la l'AGW PEB du 28/01/16 [GW -16-1]).

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

- Le remplacement de l'air par des gaz plus isolants et plus visqueux que l'air, tels que l'argon ($\lambda = 0,017 \text{ W/mK}$) ou le krypton ($\lambda = 0,009 \text{ W/mK}$ à 10 °C), permet de diminuer la conduction et la convection de manière considérable.

Cet usage doit se limiter aux gaz non toxiques.

LES INTERCALAIRES

Un vitrage multiple composé de plusieurs vitres, est serti par un cadre qui maintient écartées les différentes vitres. Pour maintenir cette distance, on place entre les vitres des intercalaires, qui peuvent être en plastique, en fibre de verre, en acier ou en aluminium.

L'intercalaire a pour fonction d'être étanche (à l'eau et à l'air), d'empêcher les fuites du gaz situé entre les différentes vitres et d'éviter que l'humidité pénètre dans les espaces entre vitres. De telles propriétés permettent de préserver plus longtemps les performances du vitrage isolant. L'aluminium et l'acier, ayant une conductivité thermique élevée, créent un pont thermique non négligeable sur la périphérie des vitrages, ce qui engendre la création d'un point froid et dès lors l'apparition de condensation.

Pour éviter ces problèmes de pertes de chaleur et l'apparition de condensation, il est recommandé d'utiliser des intercalaires faisant partie de ce qu'on appelle la technologie des bordures chaudes. On appelle «à bordure chaude» les intercalaires qui sont moins conducteurs de chaleur que les modèles acier ou alu. Ces intercalaires comportent une coupure thermique ou sont fabriqués au moyen de matériaux peu conductibles (p.e. un matériau composite isolant).

On peut reconnaître un intercalaire isolant au fait qu'il n'est généralement plus formé de parties métalliques mais plutôt de composants plastiques. Au niveau des performances, on évalue le pont thermique de l'intercalaire, qui dépend à la fois du type de châssis, du type de vitrage et, enfin, de l'intercalaire lui-même. Il est exprimé en W/mK ; sa valeur est fournie par le fournisseur des châssis, qui l'établit en respectant la norme NBN EN ISO 10077-1.

Il est donc important de retenir que la performance thermique du nœud de connexion entre châssis et vitrages ne dépend pas du seul intercalaire. Un vitrage multiple d'un même coefficient U_g , inséré dans des châssis différents, entraîne des valeurs différentes du coefficient Ψ (psi).

L'INFLUENCE DU CHOIX DU VITRAGE SUR L'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE		
Si la lumière naturelle à travers le vitrage augmente	Eclairage artificiel	↘
Si l'isolation thermique du vitrage augmente	Dépense thermique	↘
	confort intérieur	↗
	Température de la face intérieure	↗
	Température de l'air intérieur	↗
Si le facteur solaire diminue	Risques de surchauffe	↘
	Apport d'énergie en hiver	↘
	Besoin d'un conditionnement d'air	↘

L'influence du choix du vitrage sur l'économie d'énergie peut se synthétiser dans le tableau ci-dessus.

INTERCALAIRE	DOUBLE VITRAGE		TRIPLE VITRAGE	
	ALUMINIUM	À BORDURE CHAUDE	ALUMINIUM	À BORDURE CHAUDE
Châssis bois	$U_i = 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_i = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
	psi = 0,082 W/mK	psi = 0,039 W/mK	psi = 0,089 W/mK	psi = 0,037 W/mK
Châssis PVC	$U_i = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_i = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
	psi = 0,076 W/mK	psi = 0,039 W/mK	psi = 0,078 W/mK	psi = 0,037 W/mK
Châssis alu	$U_i = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_i = 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U_g = 0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$
	psi = 0,11 W/mK	psi = 0,047 W/mK	psi = 0,12 W/mK	psi = 0,042 W/mK

LES AUTRES PERFORMANCES

LA FONCTION VISUELLE

LA TRANSMISSION LUMINEUSE

Le rôle de la fenêtre et de sa situation par rapport à l'environnement intérieur et extérieur est incontestable dans la transmission lumineuse.

Le choix de certains vitrages dans un but de contrôle de l'énergie solaire peut influencer la transmission lumineuse et, parfois, l'esthétique d'un bâtiment.

Choisir des verres absorbants, c'est-à-dire des verres teintés dans la masse, conduit, selon l'épaisseur, à diminuer le facteur solaire g . Celui-ci pourra varier de 0,4 à 0,8 en fonction du contrôle solaire choisi. De plus, ce type de vitrage est sujet au phénomène de casse thermique, car il s'échauffe plus que les verres classiques.

Choisir des verres réfléchissants peut entraîner, par réflexion du soleil sur les vitrages, un certain éblouissement.

L'avantage des façades entièrement vitrées par ce type de verre est de réfléchir le paysage.

Il faut également prendre en compte les problèmes de réflexion de l'image, de déformation et de coloration de l'environnement.

LES PERFORMANCES PHYSICO-MECANQUES

Quel que soit le type de vitrage, il doit pouvoir résister aux agressions extérieures et intérieures.

En effet, il doit au minimum résister à son propre poids, aux sollicitations du climat (pluie, vent, etc).

Ce matériau étant élastique, il pourra se dilater mais il ne présente jamais de déformation permanente.

Cependant, puisqu'il est fragile, lorsqu'il sera soumis à une flexion trop forte, il cassera sans présenter de signes pré-curseurs.

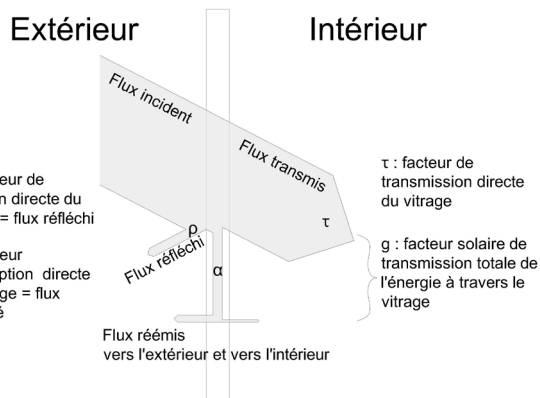
Il pourra en outre résister à la traction (module de Young ou module d'élasticité longitudinal) et subir une contraction latérale due à un allongement (coefficient de Poisson).

LE RÔLE ACOUSTIQUE

Les fenêtres constituent en général un maillon faible dans l'isolation aux bruits aériens des façades et des toitures.

L'isolation acoustique s'améliore entre autre par :

- l'utilisation de vitrages multiples dont les lames de verre sont d'épaisseurs différentes ;
- avec une lame d'air importante ;
- le choix judicieux des dispositifs de ventilation ;
- le recours aux châssis doubles.



Attention à ne pas confondre la transmission lumineuse TL et le facteur solaire g :

- La transmission lumineuse TL est le pourcentage de lumière transmise à travers le vitrage.
- Le facteur solaire g est le pourcentage d'énergie transmise à travers le vitrage.

INFLUENCE DES OXYDES ET DES SULFURES SUR LA COULEUR DU VERRE

Oxydes et sulfure	Couleur du verre
Oxyde de fer	verte
Oxyde de chrome	verte
Oxyde de nickel	grise
Oxyde de manganèse	violette
Oxyde de cobalt	bleue
Oxyde de cuivre	rouge ou verte
Sulfure de fer III (en milieu réducteur)	ambre (protection UV)

Le lecteur pourra trouver dans l'annexe 2 de ce même ouvrage, des renseignements utiles concernant le problème de l'acoustique.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

LA FONCTION DE SÉCURITÉ

Le lecteur pourra trouver dans l'annexe 3 de ce même ouvrage, des renseignements utiles concernant le problème de la sécurité.

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui ont amené l'homme à construire.

Les ouvertures restent les points sensibles. Il faut donc prévoir :

- un vitrage anti-effraction ou retardateur d'effraction ;
- des profilés de résistance et de rigidité adaptées aux sollicitations ;
- une fixation au gros-oeuvre adaptée et de caractéristiques suffisantes ;
- une fixation adaptée des parcloles ;
- une quincaillerie ralentissant l'effraction.

Pour le choix du vitrage, il y a lieu de tenir compte de :

- la recherche de l'intimité ;
- la protection contre l'effraction :
 - le type de vitrage : nombre et épaisseur des verres, et nombre de films PVB ;
 - la pose du vitrage ;
 - la pose des cales de support et d'espacement ;
 - la fixation des parcloles ;
- la protection contre le feu ;
- la protection contre le risque de blessures par des morceaux de verre brisés et coupants ainsi que contre le risque de chute dans le vide ;
- la protection contre la pénétration d'objets indésirés, de projectiles et la protection éventuelle contre les impacts d'armes et d'explosifs.

Le tableau ci-dessous [CSTC-93] établit les degrés de protection anti-effraction ainsi que le nombre de couches PVB à utiliser en tenant compte que c'est l'ensemble vitrage / menuiserie qui assure la protection anti-effraction. L'épaisseur de chaque feuille de PVB est de 0,38 mm.

TYPES DE PROTECTION	DEGRÉ DE PROTECTION ANTI-EFFRACTION	NOMBRE MIN. DE COUCHES PVB	ENDROITS CONCERNÉS	CLASSIFICATION NBN S23-002
Sécurité des personnes	Protection contre les blessures par des morceaux de verre brisés et coupants et contre le risque de chute dans le vide par bris ou par effacement du vitrage	2	• Chocs contre un vitrage	I
Protection contre le vandalisme	Protection contre le vandalisme non organisé	3	• Rez-de-chaussée d'une habitation • Etalages de magasins présentant des risques limités	
Ralentissement d'effraction	Protection contre le cambriolage	4	• Etalages de magasins présentant des risques réels	
	Protection renforcée contre cambriolage organisé	6	• Etalages de magasins présentant des risques élevés • Vitrines de prisons, hôpitaux psychiatriques	II
	Haut niveau de protection contre toutes formes d'agression à armes blanches	> 6 en multifeuilletée	• Etalages de magasins présentant de très hauts risques et/ou possédant des objets de très grande valeur	III
Protection contre les armes à feu et les explosions	La protection (des banques et bureaux de poste, par exemple) contre différents types d'armes à feu et explosifs est assurée par l'application de produits homologués ou spécialement mis au point à cet effet (composés de plus de deux panneaux de verre).			
En cas d'incendie	En ce qui concerne la réaction au feu et les verres présentant une résistance au feu, le lecteur consultera l'annexe 3		• Verre recuit et verre trempé : matériaux considérés comme incombustibles (classe A0) • Verre feuilleté avec PVB 33.2	Selon 5 catégories de A0 à A4

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES VITRAGES [SGG -14]

La mise en oeuvre doit :

- être conforme à la norme NBN S23-002 ;
- suivre les indications des NIT 188 du CSTC ;
- suivre le Cahier général des charges pour travaux de construction privée - 2ème partie - Clauses Techniques - Fascicule 22 "Travaux de vitrerie et de miroiterie" ;
- suivre les indications du STS 52 [SPFE-95] ;
- satisfaire les règles professionnelles reprises dans des documents tels que les Informations techniques 05 de l'Institut Scientifique du Verre - Vitrages isolants ou dans les prescriptions particulières des fabricants.

Il faut également tenir compte des spécifications techniques et des informations fournies par les fabricants.

LE VITRAGE

En plus de toutes les prescriptions données par les fabricants, il faut :

- déterminer les dimensions en fonction des dimensions à fond de feuillure des supports et des jeux à réserver tenant compte des tolérances des châssis ;
- veiller à ce que la découpe soit franche et sans éclat ;
- éviter toutes projections de ciment ou de peinture silicatée (même si nettoyage), ou jets d'étincelles ou de soudure ;
- faire attention aux risques de rayures par poussières abrasives (ciment ou autre) lors du nettoyage de fin de chantier notamment ;
- prévoir des larmiers pour prémunir les vitrages des coulures d'eau de ruissellement provenant de parties supérieures, notamment en béton.

PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES

LES COMPOSANTS

Quels que soient les constituants utilisés pour la fenêtre, il faut veiller à ce qu'ils conservent leurs propriétés et leurs caractéristiques physiques et chimiques sans qu'il y ait d'interaction susceptible de provoquer la dégradation des performances ou de l'aspect d'ensemble. Tout en répondant aux exigences des maîtres d'oeuvre et d'ouvrage, en termes de stabilité, de fermeture et de sécurité, il faut veiller à ce que les vitrages, les châssis, les accessoires (cales, etc.) et les garnitures d'étanchéité soient compatibles entre eux.

Les fenêtres doivent être posées avec le plus grand soin dans le gros-oeuvre (voir p. 48 de ce guide et [CSTC-93]). De même, les vitrages doivent être posés et maintenus de manière à ce qu'en aucun cas, ils ne puissent subir de blessures ou contraintes susceptibles de les altérer, voire de les briser.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE

LES CHÂSSIS

Les menuiseries de châssis doivent également respecter certaines règles. Il faut :

- veiller à la planitude ;
- concevoir les châssis en fonction des sollicitations extérieures, des mouvements "normaux" des bâtiments et du poids du vitrage ;
- veiller à ce que les châssis satisfassent aux critères de résistance mécanique ;
- éviter que la déformation de tout élément constitutif ne présente une flèche trop importante (max.1/600 de la portée suivant le type).

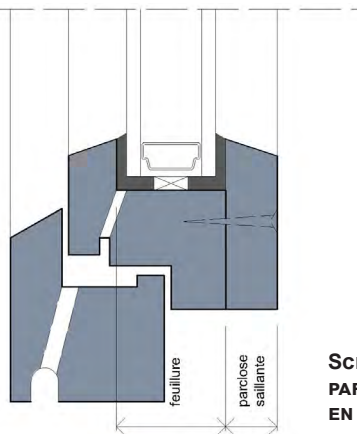
Le calage par des cales de support est nécessaire dans tous les types de châssis, qu'ils soient fixes (sauf si leur surface est inférieure à 2 m² et s'il s'agit de mastic durcissant) ou mobiles car il constitue un support efficace pour les feuilles de verre (ou plastique).

LES FEUILLURES ET PARCLOSES

Les feuillures doivent pouvoir accueillir le vitrage (multiple) et la parclose ; pour les châssis en bois, en rénovation, la parclose peut éventuellement être vissée en saillie sur la traverse du châssis. (voir illustration ci-contre)

Lors de la mise en oeuvre, les jeux entre le vitrage et les montants doivent être également répartis afin que le haut du joint de scellement ne dépasse pas le haut des feuillures.

Les feuillures et les parclose seront protégées contre la corrosion et la pourriture.



**SCHEMA D'UNE
PARCLOSE POSÉE
EN SAILLIE**

LES GARNITURES D'ÉTANCHÉITÉ

Il est important que l'étanchéité entre le vitrage et le châssis soit et reste souple pour éviter toute rupture lors des mouvements différentiels inévitables.

Ces garnitures d'étanchéité sont à choisir en fonction de certains critères qui sont repris dans l'annexe 1 sur les feuillures et parclose.

Pour déterminer le système d'étanchéité, il faut tenir compte de plusieurs critères :

- l'exposition à la pluie (qui est fonction de la situation de la construction, de la position du vitrage dans la baie, de la distance au-dessus du sol) ;
- le type et matériau de châssis ;
- la nature et les dimensions du vitrage.

Deux systèmes d'étanchéité sont possibles :

- le plein bain mastic qui est assez déconseillé de par la difficulté d'obtenir un plein bain parfait. Ce système est même proscrit pour les vitrages feuilletés et les doubles vitrages car il ne permet pas le drainage ;
- la feuillure drainée : actuellement, c'est la technique la plus utilisée.

Remarque : pour les locaux extrêmement humides (piscine), il faut également prévoir une ventilation de la feuillure.

Il faut donc respecter certaines règles élémentaires reprises dans l'encadré ci-contre.

LE CYCLE DE VIE

Un châssis est composé de nombreux matériaux différents :

- Il y a la composition du cadre (bois, aluminium, PVC, etc.) ;
- Il y a le vitrage ;
- Il y a les joints, les intercalaires, les systèmes de fixation, les quincailleries, les membranes d'étanchéité collées, etc.

Pour être recyclés, ces ensembles formés de châssis, vitrages et accessoires doivent être démontés. Actuellement, la logistique au niveau de ce démantèlement des différentes parties des châssis n'est pas évidente. En effet, si, pour les châssis métalliques, ce travail ne présente pas de souci particulier vu la valeur marchande élevée du métal, pour les autres châssis, l'organisation de ce démantèlement coûte trop cher aux entreprises, et la plupart des châssis terminent malheureusement leur vie en décharge sans être démantelés.

Pourtant, tous les éléments des châssis peuvent être théoriquement recyclés. Le bois peut être utilisé en bois-énergie. Le PVC peut être réutilisé dans de nouveaux profilés (certaines grandes marques de profilés organisent la récupération des châssis PVC afin de les démanteler et de recycler le PVC, d'une part, et les vitrages, d'autre part). Le métal est également facilement ré-injectable dans un processus de fabrication nécessitant du métal, que ce soit pour les profilés ou les quincailleries.

Enfin, les vitrages (simples, doubles, triples, avec ou sans film) peuvent être recyclés assez facilement. Toutefois, ils ne seront pas réintroduits dans le processus de fabrication de nouveaux vitrages mais bien vers d'autres filières qui utilisent du calcin (verre creux, laine de verre, etc.). En effet, la qualité colorimétrique des vitrages utilisés dans la construction doit être précise ; la qualité du calcin utilisé dans ces vitrages est donc très élevée. On utilisera dès lors un calcin issu directement de la chaîne de production et dont la composition est bien connue, pour la fabrication des nouveaux vitrages. Une brochure publiée par la Fédération de l'Industrie du Verre s'intitulant « Un autre regard sur la durabilité du verre » de septembre 2013 explique clairement le processus de recyclage du verre.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LE VITRAGE



DESSIN ISSU D'UN POSTER PÉDAGOGIQUE INTITULÉ « LE CYCLE DE VIE DU VERRE »
ÉDITÉ PAR LA FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU VERRE ([WWW.VGI-FIV.BE](http://www.vgi-fiv.be))

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LES PROTECTIONS

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTION	64
LES PROTECTIONS SOLAIRES	65
PRINCIPE ET EFFICACITÉ.....	65
<i>Les objectifs</i>	65
<i>Les caractéristiques</i>	65
LES PROTECTIONS ET L'URE.....	65
<i>Limiter les surchauffes</i>	65
<i>Diminuer les déperditions thermiques</i>	66
<i>Gérer la lumière</i>	66
AUTRES CRITÈRES DE CHOIX DES PROTECTIONS SOLAIRES.....	66
DESCRIPTION DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES.....	66
LES PERFORMANCES DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES	68

LES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTION

Ce chapitre est fortement inspiré de :

- DE HERDE A. "Le manuel du Responsable Energie" - Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, UCL, 1992 [DE H-92] ;
- ARCHITECTURE ET CLIMAT, "Choisir une protection solaire", Fascicule technique, UCL, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, 1997 [ARCH-97].

Il existe plusieurs types de protections que l'on peut rajouter aux baies de fenêtres. Leur position, le type et la famille des protections influencent les performances thermiques et de confort.

Les différentes protections peuvent avoir des performances distinctes et peuvent se compléter si elles sont utilisées ensemble.

- Protections contre les agressions : l'annexe 3 concernant la sécurité développe ce sujet.
- Protections anti-effraction : l'annexe 3 concernant la sécurité développe ce sujet.
- Protections physio-psychologiques : quelles que soient les protections, elles permettent, en occultant un local, d'assurer l'intimité des occupants et de protéger (protections "solides") les biens et les gens des diverses agressions extérieures possibles.
- Protections solaires : cette partie est développée ci-après.

Dans le cadre de cet ouvrage, c'est exclusivement les protections solaires qui sont développées car elles jouent un rôle important dans la gestion des apports solaires

LES PROTECTIONS SOLAIRES

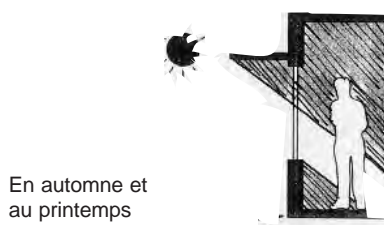
Ombrage structurel



En été



En hiver

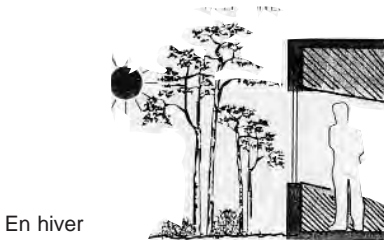


En automne et
au printemps

Ombrage environnemental



En été



En hiver

PRINCIPE ET EFFICACITÉ

Les possibilités d'utilisation des protections solaires sont multiples. Le choix optimal du type d'une de ces protections dépend donc des besoins de l'utilisateur.

LES OBJECTIFS

Les objectifs sont nombreux.

Les fonctions des protections solaires sont de limiter l'ensoleillement et les surchauffes des locaux, de gérer la lumière pour limiter l'éblouissement mais aussi d'un peu diminuer les déperditions thermiques de la fenêtre.

L'ombrage des éléments vitrés peut se faire grâce à des éléments architecturaux fixes en façade ou grâce à des protections solaires qui se caractérisent par leur position dans la baie (protections intérieures, extérieures ou intégrées au vitrage multiple) ou par leur degré évolutif (protections fixes, mobiles ou environnementales).

L'ombrage est fonction de la position du soleil et des protections. Il est donc plus aisé d'ombrer une fenêtre orientée au sud que d'ombrer des fenêtres orientées à l'est ou à l'ouest.

LES CARACTÉRISTIQUES

Les protections solaires sont caractérisées par le facteur solaire et par la transmission lumineuse.

La valeur de ce facteur solaire absolu (voir définition dans le glossaire, annexe 5) varie en fonction du type de protection solaire, du type de vitrage et de la mise en oeuvre.

Pour être efficace, une protection solaire doit stopper 80 à 85 % de l'énergie solaire : cela signifie que le facteur solaire doit être compris entre 0,20 et 0,15.

LES PROTECTIONS ET L'URE

Une même protection solaire placée à l'intérieur, à l'extérieur ou intégrée au vitrage, a la même efficacité quant au contrôle de la luminosité. Par contre, elle agira plus efficacement contre les surchauffes si elle est placée à l'extérieur du vitrage.

LIMITER LES SURCHAUFFES

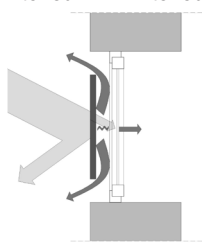
Comme nous l'avons vu dans le chapitre relatif à la baie de fenêtre et l'URE, l'orientation la plus critique par rapport aux apports solaires est l'ouest.

En effet, c'est surtout de ce côté que le rayonnement solaire à travers les vitrages peut entraîner, par effet de serre, des surchauffes inconfortables pour les utilisateurs.

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LES PROTECTIONS

LE POSITIONNEMENT DES PROTECTIONS

Extérieur Intérieur



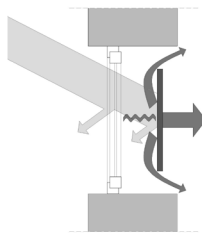
BAIE VITRÉE AVEC PROTECTION SOLAIRE EXTÉRIEURE

Les protections extérieures :

Elles sont beaucoup plus performantes d'un point de vue thermique que les protections intérieures. En effet, de par sa position, la protection solaire absorbe, réfléchit (et transmet dans certain cas) le rayonnement solaire incident. Lorsque cette protection solaire se trouve du côté extérieur du vitrage, elle arrête les rayons incidents et l'échauffement de la protection n'a que peu d'influence sur le climat intérieur.

Ces protections extérieures doivent être spécialement étudiées car elles sont soumises aux perturbations atmosphériques et diverses telles que le vandalisme et la pollution.

Extérieur Intérieur



BAIE VITRÉE AVEC PROTECTION SOLAIRE INTÉRIEURE

Les protections intérieures :

Elles sont efficaces pour assurer un confort visuel contre l'éblouissement mais ne présentent que des performances thermiques médiocres.

En effet, contrairement aux protections extérieures, les rayons solaires sont interceptés lorsqu'ils ont déjà pénétré dans le bâtiment.

L'efficacité de la protection solaire intérieure est donc limitée car le rayonnement solaire n'est intercepté qu'une fois qu'il est entré dans le bâtiment et seule une certaine proportion de rayons est réfléchi et effectivement transmise vers l'extérieur.

Les protections intégrées :

Ce sont les protections dont l'élément occultant est disposé entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple.

Les performances thermiques et visuelles sont généralement meilleures que celles des protections solaires intérieures mais moins bonnes que celles des protections solaires extérieures.

BAIE VITRÉE AVEC PROTECTION SOLAIRE INTÉGRÉE

Conclusion : Une protection solaire extérieure est thermiquement plus performante qu'une protection intérieure.

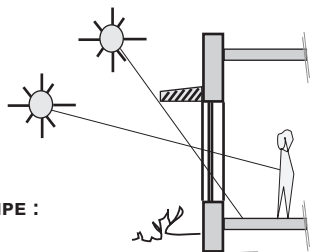


SCHÉMA DE PRINCIPLE : BRISE-SOLEIL

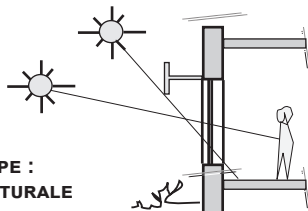


SCHÉMA DE PRINCIPLE : AVANCÉE ARCHITECTURALE

De même, si la température ambiante à l'intérieur du local est supportable, le rayonnement chaud du vitrage et le rayonnement direct du soleil peuvent être sources d'inconfort pour les occupants.

Il est donc important de combattre les surchauffes au moyen de protections judicieuses.

DIMINUER LES DÉPERDITIONS THERMIQUES

En plus de certains avantages tels la limitation de la pénétration de l'air et de l'eau, les protections solaires modifient le comportement global de la transmission d'énergie thermique à travers la baie de fenêtre.

GÉRER LA LUMIÈRE

Selon la position du soleil et de la baie de fenêtre, l'intensité lumineuse peut également être source d'inconfort.

Les problèmes d'éblouissement peuvent être très importants quand :

- le soleil est bas sur l'horizon (matin, soirée et hiver) ;
- dans le cas des locaux orientés au nord, le ciel est trop lumineux.

AUTRES CRITÈRES DE CHOIX DES PROTECTIONS SOLAIRES

D'autres critères interviennent dans le choix :

- la résistance aux contraintes mécaniques : corrosion, entretien, etc. ;
- l'esthétique : possibilités architecturales, choix des coloris et motifs, etc. ;
- le pouvoir isolant : poche de chaleur, réduction du gain de chaleur, amélioration thermique, etc. ;
- les possibilités techniques : ouverture des fenêtres, sécurité, possibilité d'obscurité complète, possibilité de moduler, etc. ;
- le coût ;
- l'atténuation phonique ;
- la "privacy" (impact sur la protection de la vie privée) ;
- la configuration des lieux par rapport à l'environnement intérieur et/ou extérieur ;
- la hauteur du bâtiment et son exposition au vent ;
- etc.

DESCRIPTION DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES

• Les éléments architecturaux :

Ce sont des éléments fixes extérieurs intégrés dans la structure du bâtiment.

Les balcons, les terrasses, etc. sont autant d'éléments repris dans cette catégorie.

Ils doivent, par définition, être prévus dès la conception.

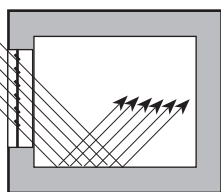
• Les brise-soleil :

Ce sont des éléments extérieurs rapportés au bâtiment : soit des éléments architecturaux lourds, soit des éléments un peu plus légers fixés à l'extérieur.

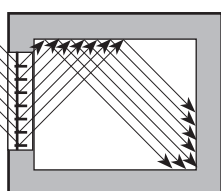
LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LES PROTECTIONS

STORES VÉNITIENS OU STORES À LAMELLES HORIZONTALES

Lamelles en position ouverte



Lamelles en position horizontale



Lamelles en position verticale ou perpendiculaire aux rayons du soleil

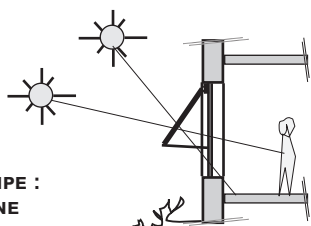
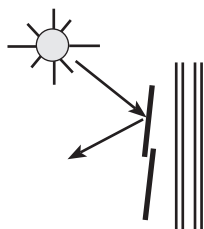
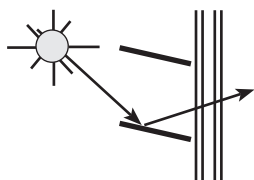
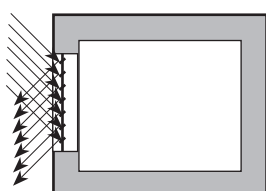


SCHÉMA DE PRINCIPE :
STORE À L'ITALIENNE

Un vitrage partiellement protégé du rayonnement direct du soleil présente une différence de température entre deux points. Un risque de casse survient alors par choc thermique. Ce dernier peut être affaibli par l'utilisation d'un vitrage trempé. Une de ses caractéristiques est de résister à des variations de températures importantes (environ 200°C).



VOLETS COULISSANTS



VOLETS BATTANTS

- Les stores vénitiens (ou écrans solaires à lamelles) :
Ce sont des protections mobiles verticales ou horizontales extérieures, intérieures ou même intégrées au vitrage multiple. Ces protections sont composées de lamelles en aluminium ou en bois, inclinables par un système de câbles, de chaînes ou de baguette. L'inclinaison des lamelles permet de conserver un éclairage naturel du local en se protégeant plus ou moins du rayonnement direct du soleil.
- Les stores enroulables (ou volets roulants) :
Ils constituent des protections mobiles, complètement extérieures ou intérieures, amovibles et sont composés d'une toile (ou d'un jeu de lamelles) qui se déploie devant (protection extérieure) ou derrière (protection intérieure) la fenêtre. Quelle que soit la position de la protection, le mécanisme est similaire. Ces stores enroulables peuvent être de différents types. Ils sont "simples", plissés (simple ou à double paroi) ou avec une structure alvéolaire.
- Les tentes solaires ou marquises :
Ce sont des toiles extérieures enroulables déployées obliquement ou à l'horizontale. Elles offrent une protection tout à fait variable en fonction des besoins. L'inconvénient majeur est que ce type de protection mobile est sensible au vent et aux intempéries.
- Les stores à projection ou volets projetés à l'italienne :
Placé à l'extérieur, ce système mobile combine des protections enroulables verticales et des protections horizontales, ce qui permet de conserver un certain apport d'éclairage naturel.
- Les stores enroulables réfléchissants :
Ce sont des stores similaires aux stores enroulables classiques mais ils sont composés d'une toile réfléchissante qui, habituellement, se déroule entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple. Cette lame d'air doit avoir au minimum 12 mm d'épaisseur.
- Les protections solaires intégrées au vitrage :
Ces protections solaires sont intégrées entre les feuilles de verre d'un vitrage multiple. Il peut s'agir de grilles en métal ou en matériau organique revêtu d'une couche hautement réfléchissante. Leurs propriétés sont analogues à celles obtenues par des systèmes de protections solaires homologues placés à l'intérieur ou à l'extérieur. Un avantage est l'entretien car ce type de protection n'est pas concerné par les salissures.
- Films et autocollants :
Ce sont des protections réfléchissantes qui contrôlent les apports solaires en diminuant la valeur du facteur solaire g. Toutefois, ils sont susceptibles de provoquer des casses thermiques.
- Les volets coulissants ou battants :
Ce sont des panneaux de bois ou métal composés de

LES CONSTITUANTS DE LA BAIE FENÊTRE : LES PROTECTIONS

lames parallèles placés à l'extérieur du bâtiment afin d'obstruer totalement une baie. Ils sont soit battants, soit coulissants. Actuellement, les panneaux coulissants latéralement sont fréquemment utilisés pour animer les façades. Ils présentent une très bonne protection solaire car, lorsqu'ils sont fermés, ils présentent un facteur solaire proche de zéro.

LES PERFORMANCES DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES

LE TABLEAU CI-DESSOUS [ARCH-97] REPREND LES PERFORMANCES DES PRINCIPAUX TYPES DE PROTECTIONS SOLAIRES

TYPES DE PROTECTION		Efficacité contre les surchauffes	Efficacité contre l'éblouissement	Apport en éclairage naturel	Isolation thermique	Résistance aux contraintes mécaniques	Modularité par rapport aux besoins	Ventilation intensive	Placement en rénovation	Intimité des occupants «privacy»
PROTECTIONS EXTÉRIURES	Brise-soleil	++	++	++	--	++	+/-	++	+/-	--
	Stores vénitiens	++	++	+	--	+	++	++	+	+
	Stores enroulables	++	++	+/-	-	-	++	+/-	++	++
	Eléments architecturaux	++	++	++	--	++	--	++	--	--
	Stores projetés à l'italienne	++	++	+	-	--	++	++	++	=
	Volets	++	++	+/-	-	-	++	+/-	++	++
PROTECTIONS INTÉRIURES	Stores enroulables plissés en tissu	-	++	+/-	+/-	+	++	-	++	++
	Stores enroulables plissés réfléchissants	+	++	-	+	+/-	++	-	++	++
	Stores vénitiens à lamelles verticales	--	++	+/-	--	+	++	-	++	+
	Films	-- à ++	-- à ++	+/-	-- à ++	++	--	++	++	- à ++
PROTECTIONS INTÉGRÉES AU VITRAGE	Stores vénitiens	++	++	+	+	++	++	++	--	+
	Stores enroulables	++	++	-	-	++	++	++	--	++

-- Très mauvais - Mauvais +/- Moyen + Bon ++ Très bon

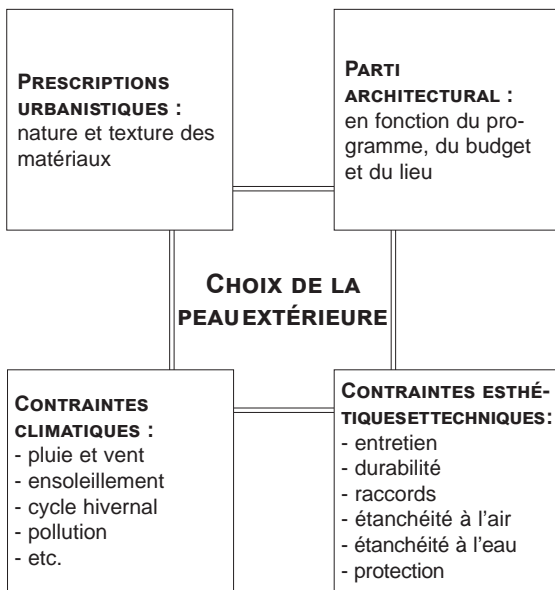
AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTIONS

LES PROTECTIONS FIXES	LES PROTECTIONS MOBILES	LES PROTECTIONS ÉVOLUTIVES OU ENVIRONNEMENTALES
<p><u>Avantages :</u> Elles protègent principalement des rayons directs du soleil sans affecter le rayonnement diffus. Elles offrent une protection très avantageuse contre le rayonnement direct estival, surtout pour les baies orientées au sud, mais ne permettent pas de lutter contre les risques d'éblouissement dus au soleil hivernal.</p> <p><u>Inconvénients :</u> Aucune protection fixe ne permet de résoudre le problème propre aux façades est et ouest.</p>	<p><u>Avantages :</u> Les risques d'éblouissement étant liés essentiellement à la hauteur du soleil, à l'orientation des fenêtres, à l'heure et à la saison, il est donc avantageux de pouvoir utiliser une protection solaire adéquate au moment voulu, ce qui peut être obtenu grâce à une commande optimisée.</p> <p><u>Inconvénients :</u> Si elle n'est pas automatisée, une protection solaire sera difficile à gérer de façon optimale, ce qui peut nuire aux objectifs d'économie d'énergie (par exemple : électricité). Elle doit pouvoir résister au vent mais il faut malgré tout veiller à la possibilité de rester libre de modifier cette protection automatisée.</p>	<p><u>Avantages :</u> La végétation à feuilles caduques s'inscrit dans cette catégorie. Elle apporte une protection qui est naturellement variable. En été : le feuillage apporte un ombrage aux fenêtres. En hiver : il est illusoire de croire que les locaux des apports gratuits du soleil mais ne protège pas de l'éblouissement.</p> <p><u>Inconvénients :</u> La protection est donc variable dans le temps mais ce, indépendamment de la volonté et des besoins réels. De plus, il est illusoire de croire que la végétation défeuillée en hiver n'oppose plus aucun obstacle aux apports solaires.</p>
<p><u>Remarque :</u> Certaines protections solaires peuvent évoluer dans le temps et selon les besoins grâce à un système de commande automatique ; d'autres sont fixes.</p>		

MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME “BAIE”

LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET	70
LES BAIES DANS L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE	70
L'ARCHITECTE EN RÉPONSE À UN PROGRAMME, À UNE MANIÈRE DE VIVRE.....	70
LE CHOIX DE L'IMPLANTATION DU BÂTIMENT DANS LE SITE	70
L'ESQUISSE ET LES BAIES	71
<i>Les baies et leur orientation</i>	<i>72</i>
<i>La disposition des espaces et des baies et la thermocirculation</i>	<i>72</i>
L'AVANT-PROJET ET LES BAIES	73
LE PROJET ET LES BAIES	73
LES CRITÈRES DE CHOIX.....	74
LE CHOIX DU CHÂSSIS	75
LE CHOIX DU VITRAGE	76
ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL.....	77
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE	78
LE PROGRAMME	78
LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL.....	78
LES EXIGENCES PARTICULIÈRES.....	79
LA MANIÈRE DE VIVRE.....	79
LE CONFORT ET LE BIEN-ÊTRE.....	81
CHOIX DE LA DISPOSITION DES LOCAUX.....	81
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	83
CHOIX DU SYSTÈME CONSTRUCTIF ET DES PERFORMANCES DE L'ENVELOPPE OPAQUE	83
FIXATION ET PRÉCISION DU POSITIONNEMENT, DU TYPE DE BAIES ET DES TYPES D'OUVRANT	83
PRÉCHOIX POUR LES MATÉRIAUX	83
PREMIÈRE ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES.....	84
CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION ET SON IMPACT SUR LES BAIES	84
CHOIX DU SYSTÈME DE PROTECTION SOLAIRE	85
SUITE DU CHOIX DES MATÉRIAUX	86
<i>Les vitrages.....</i>	<i>86</i>
<i>Les châssis</i>	<i>86</i>
<i>Globalement.....</i>	<i>86</i>
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET.....	88
BILAN GLOBAL.....	88
IMPACT DU CHOIX D'UN SYSTÈME DE VENTILATION DE TYPE C	88
<i>L'impact des grilles de ventilation.....</i>	<i>89</i>
<i>L'impact du choix du système de ventilation C sur le coût total.....</i>	<i>90</i>
QUELQUES DÉTAILS	91

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"



LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET

LES BAIES DANS L'ENVELOPPE EXTERIEURE

Le rôle principal de l'enveloppe reste la fermeture d'un espace de vie privé par rapport à l'espace public. Les baies en sont les ouïes.

Capter, contrôler la lumière naturelle et la chaleur solaire, permettre les vues vers l'extérieur en protégeant l'intimité, tout en répondant aux mêmes performances que l'ensemble de l'enveloppe : tels sont les défis que le concepteur des baies doit relever.

L'ARCHITECTURE EN RÉPONSE À UN PROGRAMME, À UNE MANIÈRE DE VIVRE

L'architecture d'un bâtiment n'a de sens que dans la vie qu'il permet, qu'il offre : vie à l'intérieur de l'espace qu'il définit, vie à l'extérieur dans le site qu'il modifie en s'y implantant.

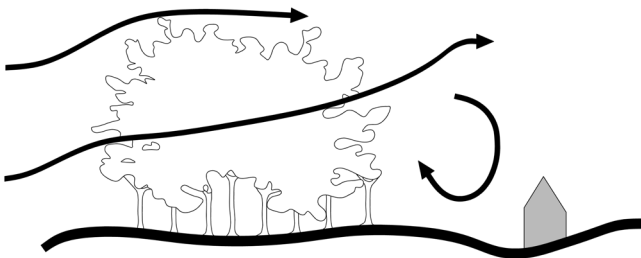
LE CHOIX DE L'IMPLANTATION DU BÂTIMENT DANS LE SITE

Les points à intégrer dans le choix du terrain et dans le choix des principes d'implantation d'un bâtiment sont :

- la "course du soleil" ;
- les vents dominants ;
- les vues à privilégier ;
- les activités à protéger des vues ;
- le relief du terrain ;
- les accès.

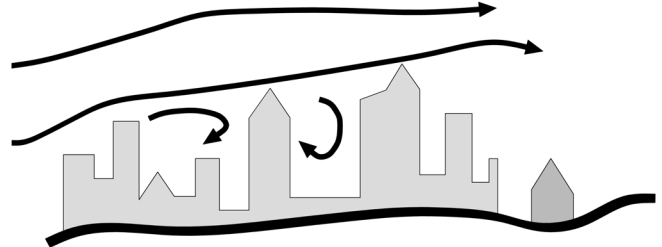
PROTECTION PAR LA VÉGÉTATION PERSISTANTE OU CADUQUE

Les ombres portées sur les bâtiments dépendent de la proximité du contexte et de sa hauteur, ainsi que, évidemment, de la position.



PROTECTION PAR LE MILIEU BÂTI

Diminution des pertes par convection. Les ombres portées sur les bâtiments sont beaucoup plus importantes qu'en terrain ouvert.



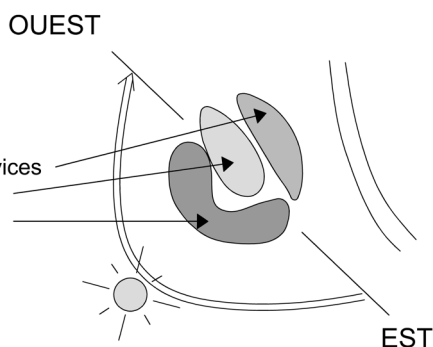
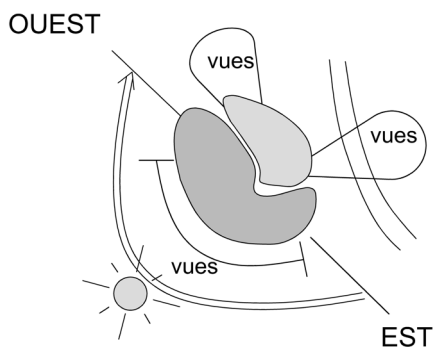
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

L'ESQUISSE ET LES BAIES

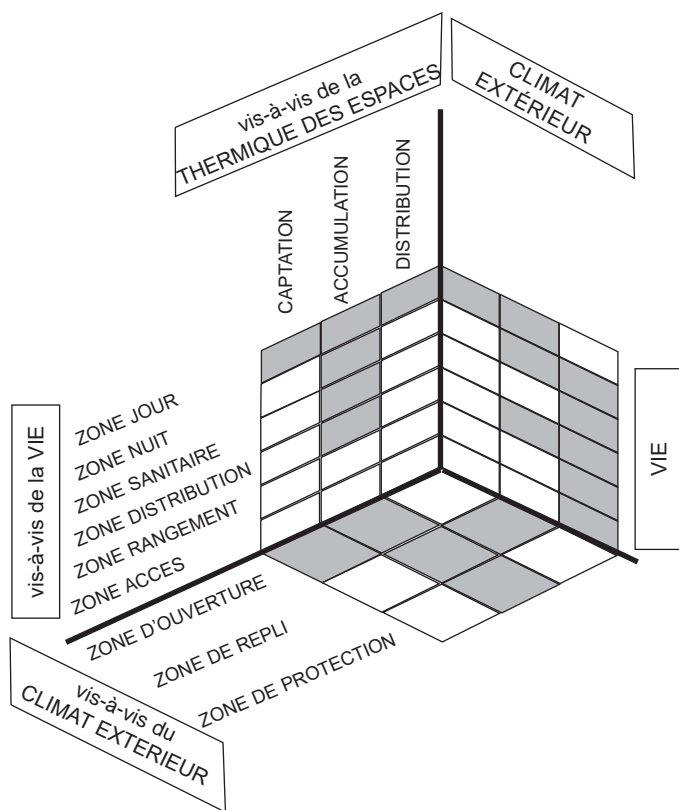
L'embryon du bâtiment naît d'une première formulation spatiale d'une réponse au programme mis en situation et souvent d'une approche solaire passive.

- Les zones de jour : elles vont prendre naturellement une part primordiale vers le sud et vers les vues à privilégier. Elles seront protégées du nord par des espaces de services, des espaces de nuit qui serviront d'espaces tampons.
- Les zones de services : elles seront situées de préférence du côté opposé aux espaces de vie, de façon à les "protéger" des nuisances extérieures telles que, entre autres, le froid, le bruit.
- Les zones de nuit : elles serviront d'espaces tampons.

Dès ce premier instant de conception, l'utilisation des baies va jouer un rôle essentiel pour permettre la vie à l'intérieur en amenant lumière, soleil et vues, pour donner au concepteur des outils de composition des espaces et des élévations (voir matrice tridimensionnelle et tableau ci-dessous).

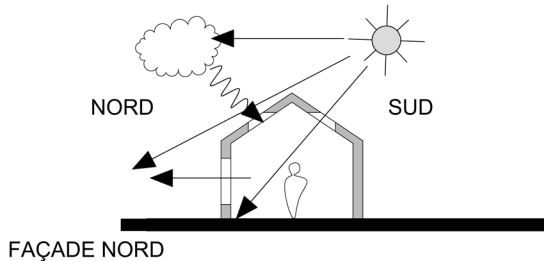
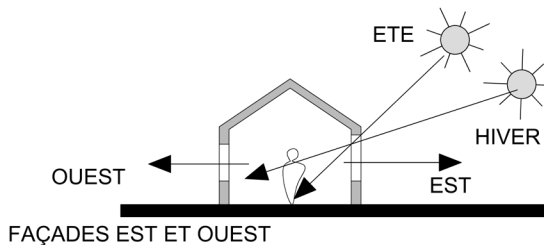
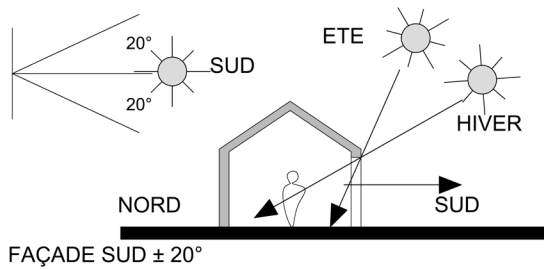


MATRICE DES RELATIONS ENTRE TYPES D'ESPACE
VIE - ÉNERGIE - SOLAIRE PASSIF



HIÉRARCHIE VIS-À-VIS DE LA VIE	HIÉRARCHIE VIS-À-VIS DU CLIMAT EXTÉRIEUR	HIÉRARCHIE VIS-À-VIS DE LA THERMIQUE DES ESPACES
<u>Zone de jour</u> - séjour - coin à manger - bureau - cuisine - salle de jeux	<u>Zone d'ouverture vers</u> - la lumière - le soleil - les vues - la terrasse	<u>Zone de captation</u> - face au sud (SE-SO) - espaces vitrés...
<u>Zone de nuit</u> - chambres - bains	<u>Zone de repli</u> - lieu de vie où l'on se protège en s'y retirant, loin du contact de l'extérieur	<u>Zone d'accumulation</u> Parois, planchers, murs Trombe, stockage semi-actif
<u>Zone sanitaire</u> - bains - wc - buanderie		
<u>Zone de distribution</u> - hall - couloir - escalier	<u>Zone technique</u> - espaces tampons non chauffés à l'intérieur du volume protégé	<u>Zone de distribution</u> Escaliers, mezzanine, couloir, permettant la thermocirculation naturelle
<u>Zone de rangement</u> - garage - atelier - appentis - cave - cellier	<u>Zone de protection</u> - espaces tampons - extérieurs - intérieurs - non chauffés - non chauffés et isolés - chauffés légèrement et isolés	
<u>Zone d'accès (ext. immédiat. proche)</u> - terrasse - porches		

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"



A NE PAS NÉGLIGER : se servir de baies zénithales peut amener le soleil et donc une lumière directe et vivante dans des espaces centraux ou des espaces orientés au nord.

LES BAIES ET LEUR ORIENTATION

- **Face sud +/-20°**
Larges ouvertures pour permettre l'effet de serre en période de chauffe, assurant une captation passive de l'énergie solaire.
La protection des baies en face sud en été est aisée, vu l'azimut élevé de celui-ci.
- **Face est et ouest**
Baies de dimensions moyennes. Cette orientation permet de capter le soleil en toute saison mais avec parcimonie. Les protections réglables sont à prévoir surtout à l'ouest dans les locaux de nuit pour éviter les surchauffes en été.
- **Face nord**
Baies essentiellement porteuses de lumière diffuse et de vues. Leurs dimensions doivent rester limitées sinon il y a lieu de contrôler l'isolation thermique des lieux.
- **Faces zénithales**
Suivant leurs orientations, les surfaces de baies zénithales seront plus ou moins proportionnées aux baies verticales mais plus réduites car les apports solaires via ces baies sont plus importants.
 - *Au sud* : la pénétration du soleil sera plus puissante. Il faudra donc créer des baies de taille moyenne sous peine de créer des surchauffes. Elles seront à protéger par l'extérieur si possible.
 - *Au nord* : la lumière diffuse et un peu de soleil pourront pénétrer plus intensément. Les baies au nord sont principalement utilisées pour éclairer des espaces nécessitant une lumière uniforme tout au long de la journée.

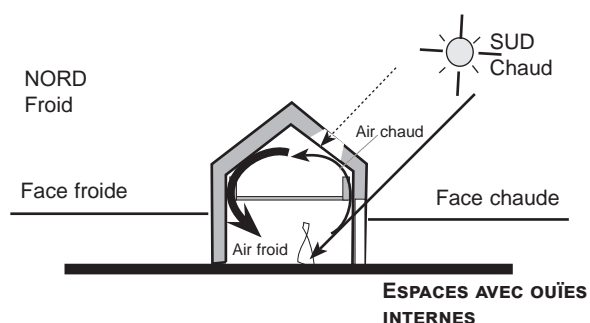
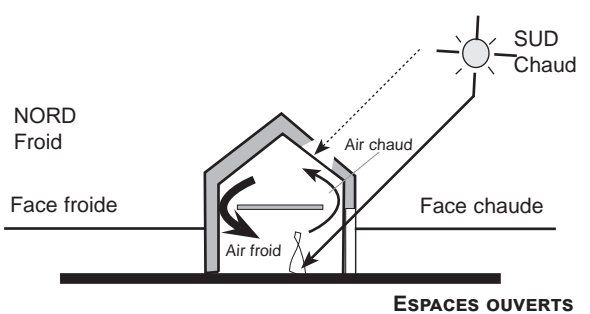
LA DISPOSITION DES ESPACES ET DES BAIES ET LA THERMOCIRCULATION

Les parois intérieures soumises aux rayonnements solaires vont s'échauffer et vont céder progressivement une partie de la chaleur accumulée à l'air ambiant par convection. L'air chaud, plus léger, va s'élever, créant un appel d'air plus frais.

Si l'agencement des espaces le permet (communication directe entre les espaces de différents niveaux, mezzanines et locaux disposés en plan de telle manière que l'air puisse les traverser de part en part, et redescendre), il va se créer une circulation d'air entre les zones exposées au rayonnement (face chaude) et les zones non exposées au rayonnement (face froide). Il s'établit ainsi une thermocirculation naturelle répartissant la chaleur due à l'effet de serre.

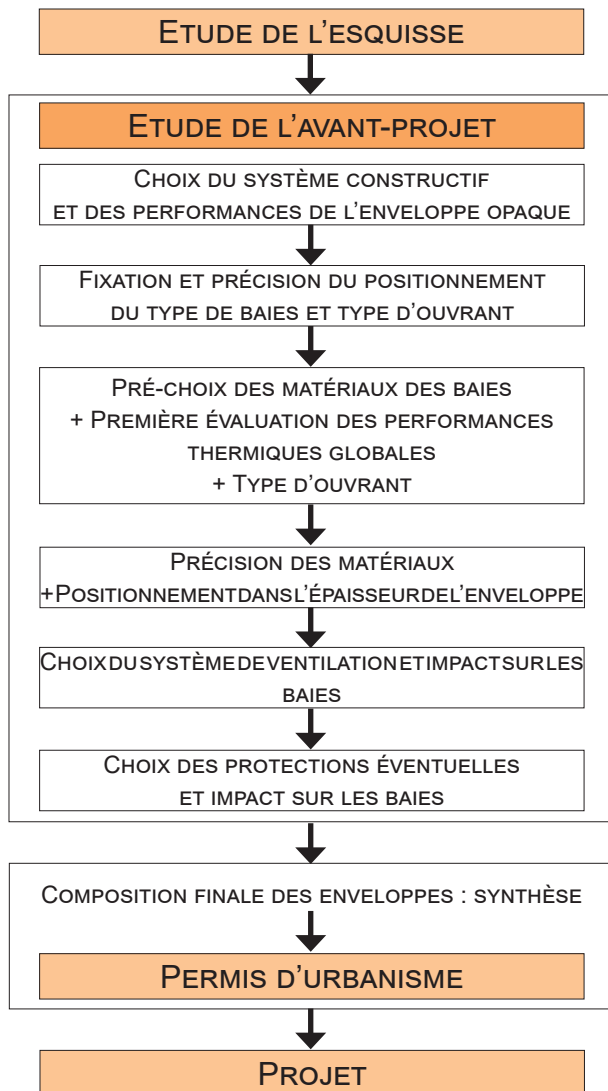
Bien gérer une thermocirculation permet d'atteindre un réel confort, grâce au transport optimal de l'air préchauffé d'un espace à un autre plus frais.

La mise en place et l'utilisation d'ouvertures mobiles et réglables entre l'espace fortement ensoleillé et le reste de l'habitation permettent la gestion de la circulation de l'air.



LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

Nous excluons ici toute architecture totalement vitrée car elle ne permet pas de répondre d'emblée aux normes d'isolation thermique actuelles.



L'AVANT-PROJET ET LES BAIES

Au stade de l'avant-projet, les techniques constructives des enveloppes vont être probablement fixées et choisies en fonction des divers critères.

Ceux qui concernent la gestion de l'énergie sont très largement analysés dans les ouvrages [HAUG-17-2] et [HAUG-17-3] repris dans la bibliographie.

L'importance relative des baies définies lors de l'esquisse suivant les faces du bâtiment va influencer en partie le choix de la technologie de la structure portante, des dispositifs d'isolation thermique mais aussi de certaines des fonctions volumétriques ou de détails de protection solaire à intégrer dans les formes essentielles de l'enveloppe extérieure.

Le dimensionnement plus précis, le choix des types d'ouvrants et le positionnement exact des baies va être fixé à ce stade.

Ces choix vont dépendre :

- des ambiances de vie ;
- d'une vérification du respect de certaines impositions normatives et/ou urbanistiques ;
- des dispositifs d'occultation ou de protections ;

Ceci influence une part du choix des éléments constitutifs : châssis, vitrage, jonctions avec le gros oeuvre et protections solaires.

Parmi les impositions réglementaires dont le mode de calcul est explicité aux Annexes de l'AGW PEB du 15/12/16, nous devons tenir compte du niveau d'isolation thermique globale K (NBN B62-002), de la performance énergétique E_w (Annexes 1 ou 2), de la consommation spécifique E_{spec} (Annexe 1), de la ventilation (Annexe C2-VHR ou C3-VHN) et de l'indice de surchauffe (Annexe 1).

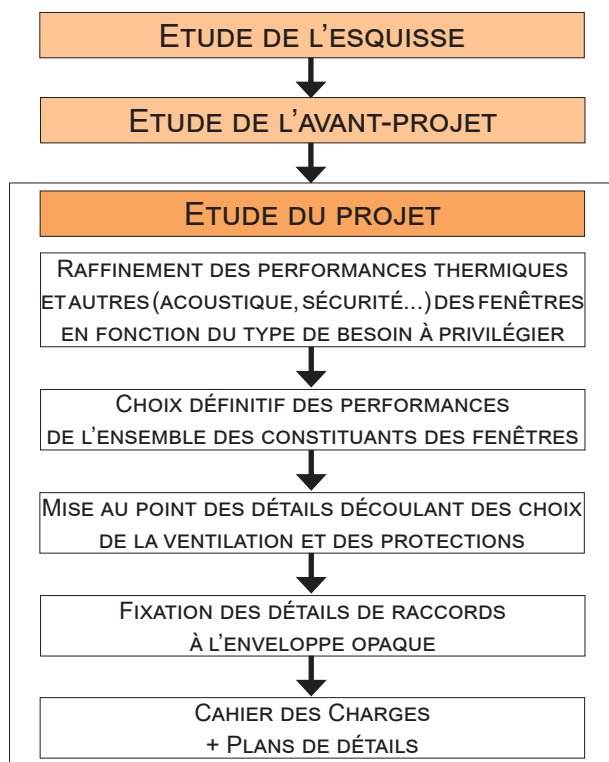
Les deux aspects sont intimement liés lorsqu'on choisit de positionner les ouvertures d'amenée d'air (OAR) dans les châssis ou au-dessus de ceux-ci.

LE PROJET ET LES BAIES

En ce qui concerne l'influence des baies sur l'Utilisation Rationnelle de l'Energie, l'avant-projet a permis d'en concevoir l'essentiel.

A cette étape du projet, il y a lieu de jouer sur les performances thermiques intrinsèques de tel ou tel système de fenêtres, de leurs composants et de leurs positionnements. Les détails de fixation à l'enveloppe opaque seront recherchés de manière à assurer une continuité de la coupure thermique et de l'étanchéité à l'air et à l'eau. De plus, si cela s'avère nécessaire, on pourra augmenter certaines autres performances telles que l'isolation acoustique et la sécurité.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"



Pour rappel : le positionnement des baies dans le gros-œuvre (voir p. 48 de ce même ouvrage).

A GARDER À L'ESPRIT

Certaines fonctions doivent également faire l'objet d'une attention particulière :

- **La facilité d'ouverture et/ou de démontage :** dans certains cas, tels que les déménagements ou l'évacuation de personnes par des services de secours, il est parfois, heureusement rarement, demandé aux fenêtres de s'ouvrir largement ou, cas extrêmes, de pouvoir s'enlever et ensuite se remonter.
- **La possibilité d'un nettoyage aisé et en sécurité**
- **Le contrôle de l'entrée des insectes :** lorsque les fenêtres sont ouvrantes, il faut prévoir la possibilité de les munir de moustiquaires bien ajustés afin d'empêcher la pénétration d'insectes.
- **La facilité de l'utilisation :** tout en offrant le maximum de sécurité contre les intrusions, il faut que le mécanisme d'ouverture des fenêtres soit relativement aisé, pour permettre l'utilisation par des personnes âgées (ou à mobilité réduite), tout en assurant la sécurité (enfants).

Il ne faut pas oublier que les performances des fenêtres du point de vue thermique et acoustique ne sont pas directement liées.

C'est pour cela que choisir un vitrage de contrôle acoustique ou/et de contrôle solaire requiert de comparer plusieurs caractéristiques.

Que choisir ?

- **Pour le contrôle acoustique :** se référer aux tableaux et commentaires du chapitre de cet ouvrage.
- **Pour le contrôle énergétique :** il faut comparer plusieurs caractéristiques dont les principales sont :
 - pour l'ensemble du châssis avec le vitrage, intercalaire compris, le coefficient de transmission thermique (valeur U) ;
 - pour le vitrage, la transmission lumineuse et le facteur solaire ;
 - pour les matériaux utilisés, la réflexion lumineuse.Ces 3 dernières caractéristiques sont des grandeurs spectrophotométriques.

A partir de ces précisions, le Cahier des Charges pourra être rédigé.

LES CRITÈRES DE CHOIX

On considère avoir choisi le type de parois extérieures selon la méthode illustrée dans les ouvrages [HAUG-17-2] et [HAUG-17-3] repris dans la bibliographie.

En ce qui concerne les baies, les critères de choix sont à la fois des critères :

- **de compositions architecturale et architectonique :**
 - rôle de la fenêtre et de la baie et position des baies dans les 3 dimensions, notamment la position du châssis dans la baie ;
 - rôle du positionnement des protections ;
 - matériaux de composition de tous les éléments constitutifs de la baie de fenêtre ;
- **d'ordre technique** visant à répondre aux différentes exigences définies pour les parois extérieures non opaques :
 - dimensions, divisions ;
 - apports solaires passifs et gestions de l'énergie ;
- **d'ordre économique :**
 - l'investissement (conception et achat) ;
 - amortissement à long terme par l'économie d'énergie (chauffage, électricité et éclairage) ;
 - l'entretien.

Les types de jonctions entre les différentes parties de l'enveloppe extérieure influencent également les choix. Leur repérage et leur analyse s'avèrent donc nécessaires dès l'avant-projet.

Plusieurs types de fenêtres (et accessoires "lourds") peuvent évidemment être choisis et appliqués dans différentes parties du bâtiment.

Cependant, concernant le choix des fenêtres et vitrages (matériaux), il est vivement conseillé d'utiliser la même

technique pour tout le bâtiment, bien qu'il puisse y avoir des variantes aux niveaux des protections.

LE CHOIX DU CHÂSSIS

Ce choix se fait selon plusieurs critères :

- Selon les sollicitations de l'environnement

Pour choisir un type de châssis, il faut tenir compte des actions (expositions) auxquelles sera soumis cet élément de façade. Bien que pourvus de profilés sophistiqués, tous les châssis n'offrent pas une parfaite étanchéité à l'eau et à l'air.

Dans certaines conditions climatiques, les châssis considérés comme les plus critiques sont les châssis coulissants classiques, les châssis à double ouvrant sans montant fixe et les châssis pivotants.

Les sollicitations qui peuvent s'exercer sur un châssis sont déterminées par plusieurs paramètres, dont les principaux sont les suivants :

- *le site* dans lequel est implanté le bâtiment (milieu urbain ou rural, littoral) ;
- *le relief environnant* (rase campagne, zone boisée, zone vallonnée,...) ;
- *la hauteur du châssis par rapport au sol* : les STS 52 [SPFE-05] notent que le cahier spécial des charges peut, pour des raisons d'uniformisation ou d'aspect, prescrire le même niveau de performance pour tous les châssis du bâtiment en se basant sur les éléments de construction les plus élevés ;
- *l'orientation* (direction des vents dominants), sachant qu'en Belgique, les pluies les plus intenses se manifestent généralement par un vent de sud-ouest ;
- *la présence d'éléments de protection* (par exemple, dépassant de toiture, balcon).

- Selon l'esthétique du matériau

L'esthétique du matériau du châssis est déterminée par :

- les finitions extérieures et intérieures qui peuvent éventuellement être différentes ;
- les teintes extérieure et intérieure du châssis qui peuvent éventuellement être différentes.

- Selon les nécessités d'entretien

Certains maîtres d'ouvrage choisissent des châssis ayant un peu moins d'exigences au niveau de l'entretien.

- Selon les besoins thermiques et/ou acoustiques

Parce que le niveau de performance thermique et acoustique n'évoluent pas de façon parallèle, il convient de choisir le châssis en fonction du besoin principal.

Pour tous compléments concernant les vitrages en toitures : voir la NIT 176 reprise en bibliographie [CSTC-89].

Concernant la sécurité en parlant du matériau "verre" en tant que retardataire d'effraction, de vandalisme :

- un chapitre entier de l'annexe 3 est consacré à ce problème ;
- voir aussi la norme européenne EN 356.

LE CHOIX DU VITRAGE

Le choix se fait :

• Selon les sollicitations de l'environnement

Le niveau de performance requis peut varier suivant la localisation et l'orientation de la façade.

D'un point de vue énergétique, l'auteur de projet peut privilégier deux types de besoins :

- *les besoins d'une isolation thermique performante* : ce choix doit être réalisé en alliant esthétique du verre et confort : il s'agit de protéger les espaces intérieurs, d'une part d'un refroidissement excessif dû aux pertes de chaleur par les fenêtres et, d'autre part, de la surchauffe provoquée par l'exposition au rayonnement solaire. Ceci permet de diminuer le plus possible les coûts de fonctionnement ;
- *les besoins d'une isolation acoustique performante* : ce choix est influencé par la nature des principaux types de nuisances sonores et les exigences du programme. Lorsque le bâtiment est basse énergie, voire passif, il faut essayer d'obtenir des déperditions thermiques via les châssis inférieures aux apports solaires. Pour ce faire, la combinaison entre le U_g , le g (facteur solaire) et le ψ de l'intercalaire doit être judicieusement choisie.

Au nord, on privilégie un U_g faible sans s'inquiéter du facteur solaire alors qu'au sud, on cherche le bon équilibre entre un U_g le plus faible possible avec un g le plus élevé possible.

• Selon l'esthétique du matériau

L'esthétique du matériau "vitrage" est déterminée par :

- la teinte du verre ;
- le niveau de transmission lumineuse du verre ;
- le niveau de réflexion lumineuse ;
- la couleur réfléchie et transmise ;
- la définition de toute les glaces en cas de vitrage multiple.

• Selon le but esthétique recherché

Dans le cas du vitrage, on peut préférer un aspect :

- plutôt réfléchissant pour "reproduire" l'environnement et procurer une façade s'animant avec l'évolution de la lumière, du ciel et des saisons ;
- moins réfléchissant, de couleur neutre ;
- moins réfléchissant mais coloré.

• Selon le but visuel recherché

Dans le cas du vitrage, on peut privilégier :

- une transmission lumineuse élevée qui assure un bon éclairage naturel à l'intérieur ;
- une protection lumineuse pour lutter contre l'éblouissement grâce à une transmission lumineuse plus faible.

• Selon les besoins et les exigences (normes) en terme de sécurité

Le choix du vitrage dépend de la nécessité et du type d'application. Il peut s'agir de la sécurité des personnes, de la sécurité à l'effraction, de la sécurité contre les agressions par armes à feu et explosifs.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL

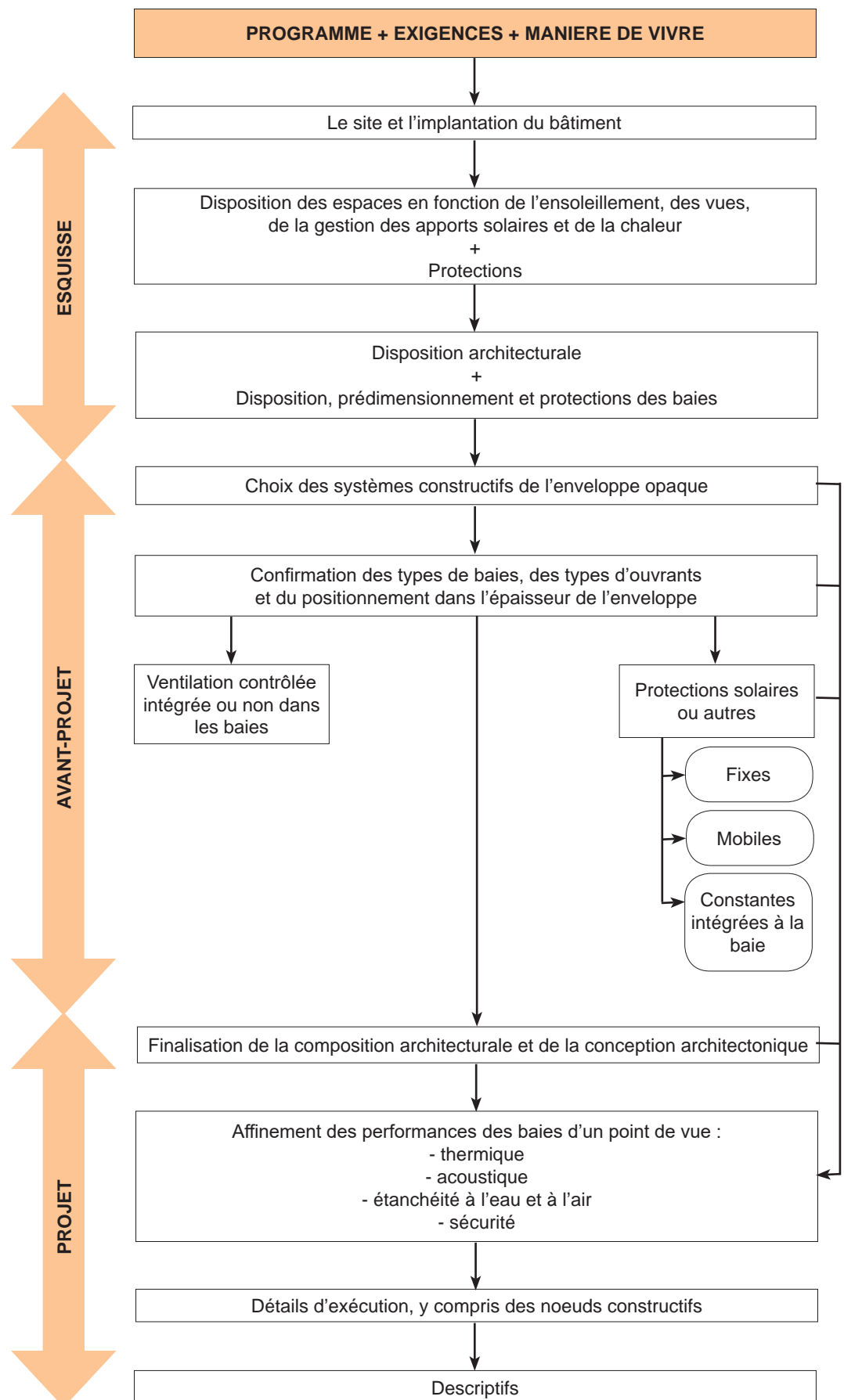


ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE

Dans le souci d'une démarche plus approfondie que celle offerte par les ouvrages précédentes concernant l'isolation thermique des murs creux et des toitures, nous ne supposons pas le schéma de plan acquis.

Dans l'utilisation rationnelle de l'énergie au travers de la construction, il est important non seulement d'isoler correctement les parois extérieures d'une habitation, mais aussi de permettre une gestion optimale des apports en énergie solaire.

L'utilisation du terrain et de ses atouts est primordiale pour profiter des attraits paysagers et environnementaux; par contre l'implantation sur ce terrain ne doit pas devenir problématique.

En effet, dans le cas d'une habitation unifamiliale, éventuellement couplée à une activité professionnelle demandant une certaine intimité, le voisinage peut être source d'une gêne certaine.

LE PROGRAMME

Soit, à titre d'exemple, le **programme architectural d'une maison unifamiliale**, comprenant :

- au sous-sol : un garage deux voitures, une chaufferie, deux caves et deux vides ventilés ;
- au rez-de-chaussée :
 - un cabinet de consultation : hall, salle d'attente, W.-C. et cabinet ;
 - la zone de jour de la maison unifamiliale : hall, W.-C., buanderie, cuisine, salle à manger, séjour et bureau ;
- à l'étage : quatre chambres, un w.-c., une salle de bain et un espace de jeux en mezzanine sur le séjour et hall d'entrée.

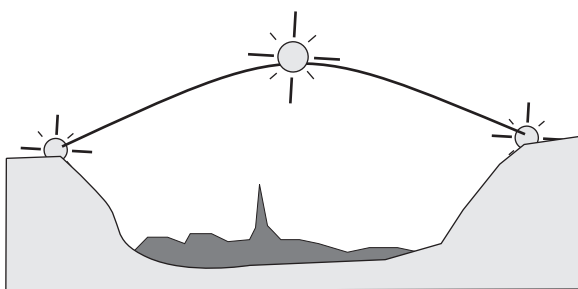
Les **données propres au projet** sont :

- Le terrain avec ses constituants :
 - la dénivellation ;
 - l'orientation de la pente du terrain ;
 - la qualité du sol ;
 - les contraintes urbanistiques et les variantes possibles, notamment en fait de matériaux des parements extérieurs ;
 - les traitements des aménagements ;
- Le programme et le plan résultant, ainsi que son adaptation au terrain ;
- L'orientation de la maison déterminée par :
 - le terrain ;
 - les impositions d'implantation ;
 - le programme.

LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

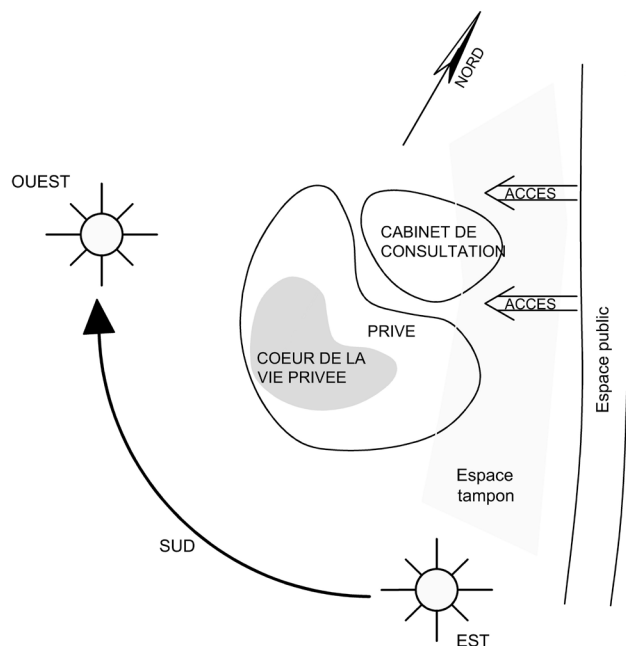
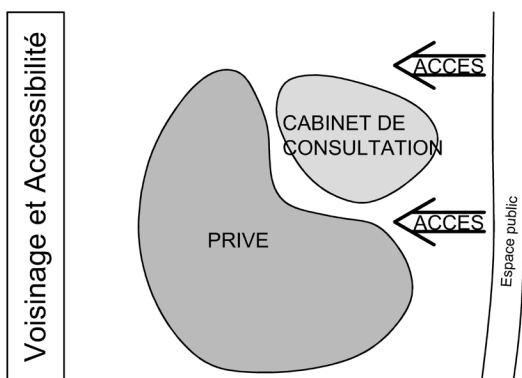
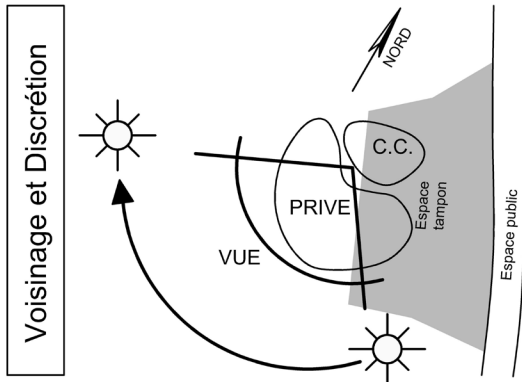
Les **différents aspects** sont les suivants :

- La situation
Située dans le fond d'une vallée fluviale, le terrain ne sait pas, à tout moment, profiter de l'ensemble des apports solaires puisque lorsque le soleil est bas sur l'horizon, à l'est et à l'ouest, il passe derrière les collines avoisinantes. Le terrain et les constructions sont sous l'influence directe du climat local et de l'environnement. Ils subissent et doivent se protéger ou lutter contre les vents dominants, les pluies, l'ensoleillement et les bruits mais ils doivent aussi tirer parti des aspects positifs du paysager et du soleil.
- L'implantation
En zone résidentielle et dans un environnement de constructions à 4 façades, c'est un grand terrain dont les avantages de situation sont :
 - d'une part que la fréquence de passage à proximité de la construction est moindre qu'en zone d'habitat groupé ;
 - d'autre part, que la distance vis-à-vis du voisinage est plus importante.



Remarque : l'implantation en fond de vallée permet de résoudre le problème du soleil bas.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"



- **L'orientation**
La pente est faible et le terrain rectangulaire est orienté nord-sud suivant sa diagonale.
- **Le voisinage et l'environnement**
Etant donné que le programme est la construction d'une habitation unifamiliale et d'une partie professionnelle, cela nécessite une certaine discrétion par rapport au passage en voirie et au voisinage.
Par contre, la dimension et la planéité du terrain et de ses environs immédiats n'ont pas d'incidence dans les vues directes ni dans les problèmes d'ombre portée.

D'autres aspects interviennent également :

- les vues ;
- les vents dominants ;
- les possibilités d'orientation ;
- le contexte : l'alignement, etc.

LES EXIGENCES PARTICULIÈRES

La construction d'une habitation et d'un cabinet de consultation nécessite la mise en place de certaines dispositions particulières, à savoir :

- accès aisé et séparé des parties professionnelle et privée ;
- discrétion par rapport au voisinage et par rapport à la fonction ;
- liaison entre le privé et le professionnel pour l'habitant : possibilité mais discrétion ;
- liaison entre le privé et le professionnel pour le client de la partie professionnelle : aucune liaison possible.

LA MANIÈRE DE VIVRE

D'une manière générale, il faut privilégier l'intimité des locaux privés vis-à-vis des locaux professionnels.

Les besoins en lumière naturelle, en soleil et en terme d'intimité peuvent se résumer de la façon suivante :

- **Pour les locaux professionnels**
 - **Salle d'attente** :
 - discrétion ;
 - accessibilité ;
 - détente ;
 - ventilation ;
 - lumière naturelle.
 - **Cabinet de consultation** :
 - discrétion ;
 - lumière naturelle ;
 - ventilation ;
 - éviter les contre-jours.
 - **Toilettes** :
 - intimité/discrétion ;
 - ventilation.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

PROGRAMME + EXIGENCES + MANIÈRE DE VIVRE

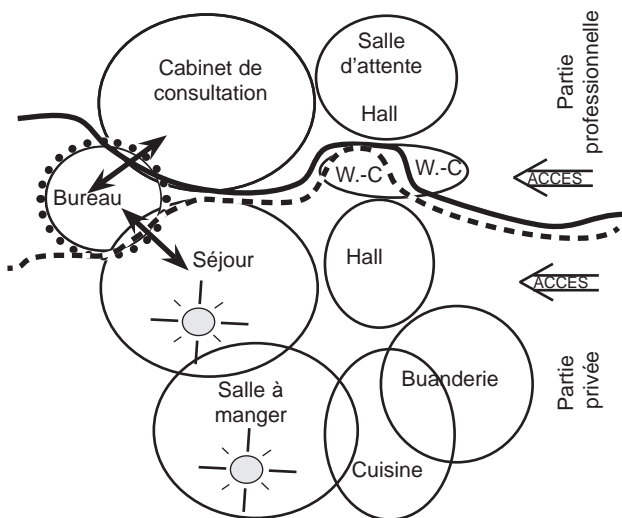
CHOIX DANS LA MANIÈRE DE DISPOSER LES PARTIES
SÉPARATION ET POSSIBILITÉ DE LIAISON "PRIVÉ / PUBLIC"

+
CHOIX DES IMPÉRATIFS DE CONCEPTION
DISCRÉTION, ACCESSIBILITÉ, VIE PRIVÉE
+
CHOIX TERRAIN ET ENVIRONNEMENT

SELON :

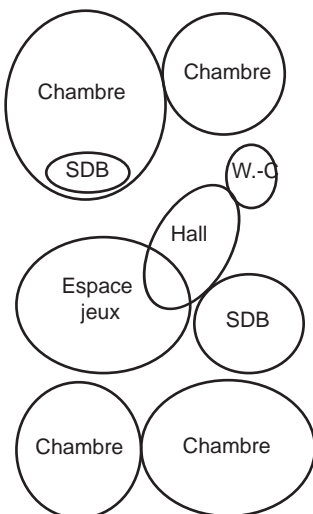
- le contexte : voirie, voisinage, environnement ;
- les exigences professionnelles : accessibilité aisée et discrétion ;
- la commodité d'utilisation : proximité et liaison entre les parties privée et professionnelle ;
- etc.

SCHÉMA 1 : ORGANIGRAMME



REZ-DE-CHAUSSÉE

- - - Limite de la partie privée
- Limite de la partie professionnelle
- Limite de la zone de transition privé / professionnel



ETAGE

• Pour les locaux privés

- Les locaux de jour

- Salon :

- voir et observer le paysage ;
- profiter de la chaleur bienfaisante du soleil sans en subir les inconvénients ;
- éviter les éblouissements ;
- pouvoir occulter (par exemple, pour la télévision) ;
- ventilation.

- Salle à manger :

- voir et observer le paysage ;
- éviter l'éblouissement et les surchauffes ;
- ventilation.

- Cuisine :

- voir ;
- ne pas être trop vu ;
- lumière sur le plan de travail ;
- possibilité de meubler ;
- ventilation.

- Les locaux de nuit

- Chambres :

- voir sans être vu ;
- possibilité d'occultation ;
- aménagement ;
- sécurité (allège) ;
- ne pas subir les inconvénients du soleil ;
- ventilation.

- Espace de jeux :

- voir et profiter du paysage ;
- ne pas subir les inconvénients du soleil ;
- sécurité (allège) ;
- ventilation.

- LES LOCAUX DE SERVICE

- Buanderie :

- en annexe de la cuisine ;
- ventilation ;
- mêmes exigences que pour la cuisine.

- Toilettes et salle de bain :

- intimité ;
- ventilation.

LE CONFORT ET LE BIEN-ÊTRE

Il est agréable de pouvoir profiter de certaines orientations en vue de capter l'énergie solaire sans subir les désagréments des surchauffes.

Il s'agit donc d'orienter judicieusement les différentes pièces de jour, de nuit, de service et professionnelles.

L'orientation des pièces en terme d'organigramme se fait comme suit :

- vers le soleil : pièces de jour, avec protections solaires adéquates si cela s'avère nécessaire ;
- au nord : situer les espaces tampons et ceux pour lesquels il n'est pas utile ou nécessaire d'avoir un ensoleillement direct ;
- les autres orientations : l'est et l'ouest sont les orientations les plus défavorables en ce qui concerne l'éblouissement et le problème d'apports solaires passifs.

CHOIX DE LA DISPOSITION DES LOCAUX

Etant donné l'implantation du terrain et du bâtiment et les orientations à privilégier de sud-est à sud-ouest, l'aile professionnelle (rez-de-chaussée) est implantée dans la zone nord du bâtiment et ce, tout en gardant, dans la mesure du possible, une légère orientation sud-ouest afin de profiter de l'ensoleillement et de la vue.

Pour les mêmes raisons, les locaux de vie sont tournés vers le sud-ouest.

- Côté professionnel
Pour des raisons de discrétion vis-à-vis de l'extérieur et de confort de travail, il faut prévoir :
 - des ouvertures hautes en bandeaux pour éclairer l'espace de travail mais assurer l'intimité ;
 - des locaux plus frais et moins ensoleillés
=> orientation O-N-O.
- Côté vie privée
Pour les baies de fenêtres, plusieurs principes sont retenus :
 - ouvertures en coin ;
 - fenêtres plus discrètes côté voisins et passage en voirie ;
 - véranda :
 - rôle d'accumulation et de captation mais aussi de gestion des apports solaires passifs
=> orientation SE - S - SO ;
 - réservoir de chaleur :
 - => possibilité de thermocirculation
 - => organiser la thermocirculation verticale grâce à des ouvertures telles des mezzanines, escaliers et halls ouverts sur plusieurs niveaux.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

ÉTUDE DU CONFORT ET DU BIEN-ÊTRE
+ VIE PRIVÉE / VIE PROFESSIONNELLE

CHOIX DANS LA MANIÈRE D'OUVRIR
+ CHOIX DE L'ORIENTATION DES OUVERTURES :
Pour privilégier les vues à partir des espaces intérieurs mais garder l'intimité de ces espaces par rapport à l'extérieur (discrétion des espaces professionnels essentiellement)
+
CHOIX DES DIMENSIONS DES OUVERTURES ET DE LEUR HAUTEUR D'ALLÈGE (EXTÉRIÈRE ET INTÉRIÈURE)

SELON :

- le contexte : voirie, voisinage, environnement ;
- les exigences professionnelles : discrétion mais lumière ;
- la commodité d'utilisation : nettoyage, déménagement, ouverture, aération, mais sécurité (hauteur d'allège, pénétration d'intrus...)
- etc.

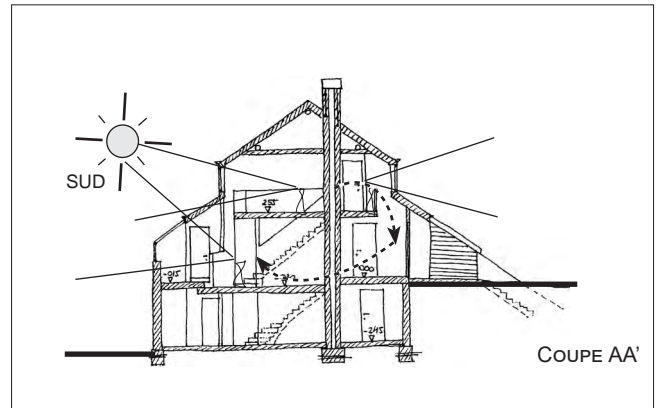


SCHÉMA 2 : ESQUISSE PLANS, COUPES ET FAÇADES

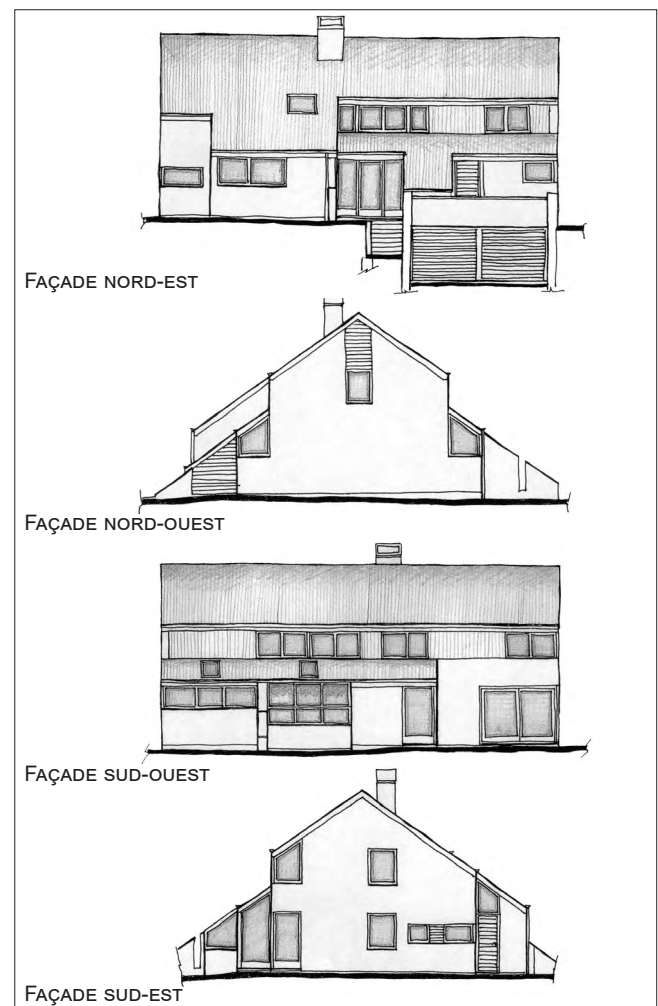
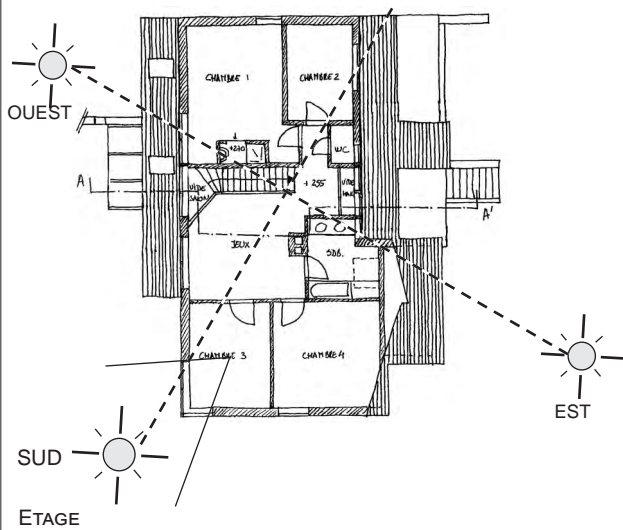
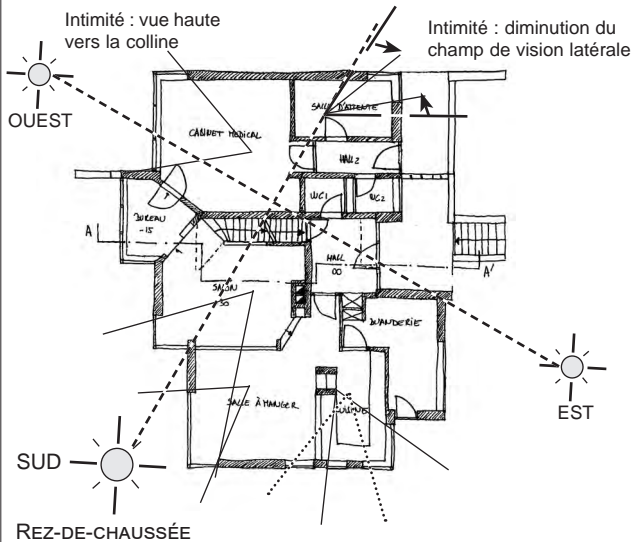


ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET

CHOIX DU SYSTÈME CONSTRUCTIF ET DES PERFORMANCES DE L'ENVELOPPE OPAQUE

MURS EXTÉRIEURS (voir [HAUG-17-2])

- Mur simple isolé crépi en surface extérieure et enduit à l'intérieur (rez et pignons) :
 - enduit de plâtre ;
 - bloc béton porteur 14 cm ;
 - isolant : polystyrène expansé 18 cm ;
 - crépi 0,5 cm.

$$\Rightarrow U_{\text{mur}} = 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Paroi isolée bardée d'ardoises (étage en façades NE et SO) :
 - enduit de plâtre ;
 - bloc de béton porteur 14 cm ;
 - structure en bois remplie d'isolant en laine minérale 20 cm ;
 - bardage en ardoises.

$$\Rightarrow U_{\text{mur}} = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

- Murs contre locaux non chauffés

- enduit de plâtre ;
- bloc de béton porteur 14 cm ;
- isolant : mousse de polyuréthane

$$\Rightarrow U_{\text{mur}} = 0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$$

TOITURES INCLINÉES (voir [HAUG-17-3])

- Pente : 35° ; les prescriptions urbanistiques imposent une pente comprise entre 30 à 40° pour la couverture et la toiture.
- Toiture d'ardoises + sous-toiture en fibre de bois de 22 mm d'épaisseur
- Charpente : en chevrons porteurs composés de poutres I en bois de 240 mm d'épaisseur sur poutres tubulaires en acier.
- Isolation : laine minérale intégrée entre les poutres I avec un remplissage complet épaisseur 24 cm.
- Pare-vapeur : membrane agrafée et rendue étanche à l'air grâce à des adhésifs adéquats (voir [HAUG-17-3]).
- Vide technique
- Finition inférieure : en lambris bois, par exemple.

$$\Rightarrow U_{\text{toitures}} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$$

PLANCHERS INFÉRIEURS SUR LOCAUX NON CHAUFFÉS

- Carrelage sur chape de béton lourd non armé : ép. 9 cm ;
- Isolation : mousse de polyuréthane ép. 9 cm ;
- Hourdis (sur caves) ou dalle (sur sol) de béton lourd : 12 cm.

$$\Rightarrow U_{\text{planchers}} = 0,23 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Remarque : il faut également calculer les dimensions minimales des fenêtres pour offrir un éclairage naturel suffisant, au moins conforme à la réglementation sur la salubrité des bâtiments : le critère minimal relatif à l'éclairage naturel est respecté si la surface totale des parties vitrées des baies vers l'extérieur de la pièce d'habitation atteint au moins 1/14 de la superficie au sol en cas de vitrage vertical et/ou 1/16 en cas de vitrage de toiture.

CHOIX DU SYSTÈME CONSTRUCTIF ET DES PERFORMANCES DE L'ENVELOPPE OPAQUE

L'ensemble du bâtiment s'inscrit dans un contexte urbanistique et paysager, tant par une logique de réponse aux conditions climatiques régionales, que par une volonté d'intégration dans le contexte existant.

Ainsi, le volume a été conçu avec une pente de toiture nécessitée par la couverture traditionnelle en ardoises naturelles. Une pente de 35° a été choisie, correspondant aux prescriptions urbanistiques locales qui imposent une toiture de 30 à 40° pour les volumes principaux.

La plupart des murs extérieurs sont constitués de blocs de béton porteurs plâtrés, d'une couche d'isolation thermique pouvant recevoir une finition crépie extérieure.

A l'étage, pour les façades est et ouest, le parement extérieur est constitué d'un bardage en ardoises naturelles. Les châssis sont en bois et munis de double vitrage à haut rendement.

L'ensemble de l'enveloppe extérieure du bâtiment répond à un bon niveau d'étanchéité à l'air qu'il faut veiller à maintenir lors de la construction, principalement au niveau des noeuds et jonctions du bâtiment.

FIXATION ET PRÉCISION DU POSITIONNEMENT, DU TYPE DE BAIES ET DES TYPES D'OUVRANT

Une vérification du bien-fondé des choix des hauteurs d'allèges, des dimensions des baies et de leur quantité, du type d'ouvrant, des possibilités de nettoyage aisé des baies est faite à ce stade.

Pour des raisons de qualité d'étanchéité et de continuité de la zone d'isolation thermique des murs extérieurs, les châssis de fenêtres seront placés dans l'épaisseur de l'isolant ; ils sont fixés au mur porteur grâce à des cadres en contre-plaqué permettant de réaliser l'étanchéité à l'air et la finition intérieure des baies lors de la pose des châssis.

PRÉCHOIX POUR LES MATÉRIAUX

Les châssis

Un premier choix pour les châssis se porte sur le bois comme matériau naturel, recyclable et se prêtant à un menuisage sur mesure pour des détails particuliers et aisément réalisables par les artisans du lieu.

De plus, ce matériau présente à la fois des qualités de résistance mécanique et d'isolation thermique.

Il est également choisi pour son esthétique.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

Les vitrages

Il est décidé de choisir des doubles vitrages à haut rendement avec lame remplie d'argon ($U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$).

PREMIÈRE ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES

Un calcul du niveau d'isolation thermique globale K selon la norme en vigueur, donne un niveau K31, ce qui satisfait à la réglementation (K35). L'approche solaire passive est à la base de la conception de cette maison.

Les caractéristiques de la maison sont les suivantes :

- **Superficie habitable** : 268 m²
- **Compacité volumique** : $V/A_v = 1,46 \text{ m}$
- **Fenestration** :
 - au nord-ouest : 7 %
 - au nord-est : 27 %
 - au sud-est : 23 %
 - au sud-ouest : 43 %

Nous avons donc un avant-projet satisfaisant la réglementation thermique grâce aux apports solaires.

CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION ET SON IMPACT SUR LES BAIES

La discussion comparative des quatre systèmes de ventilation contrôlée répondant à la NBN D50-001 et l'Annexe C2 VHR de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2] est détaillée pour ce même exemple dans le guide pratique pour les architectes "La ventilation et l'énergie" [HAUG-17-1].

Suite aux conclusions de cette analyse, le système D (alimentation mécanique et extraction mécanique) avec récupération de chaleur est celui que l'on choisit dès ce stade, que ce soit pour la partie maison unifamiliale ou pour la partie professionnelle.

Les schémas ci-contre reprennent le sens des flux d'air et leur débit respectif nécessaire pour assurer une bonne ventilation de base.

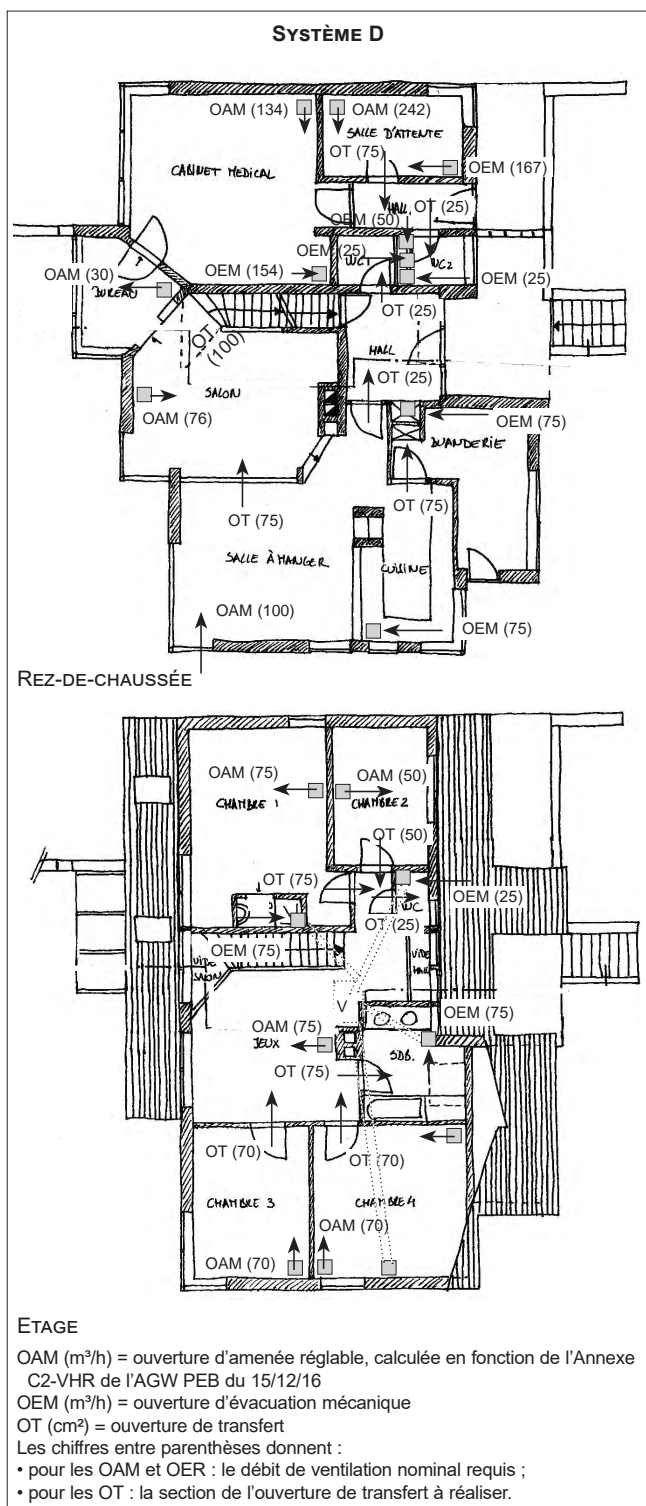
Le système D est composé d'un ventilateur d'alimentation et d'extraction ainsi que d'un réseau de conduites verticales et horizontales aboutissant à des bouches de type mural ou plafonnier.

Le premier ventilateur apporte l'air neuf dans les pièces dites sèches (salon, bureau, salle de jeux, chambre à coucher...), air qui parvient ensuite via des ouvertures de transfert dans des pièces dites humides (cuisine, salle-de-bain, buanderie...).

Le second ventilateur éjecte alors l'air vicié depuis ces pièces vers l'extérieur.

Les exigences légales en matière de ventilation sont fixées dans des réglementations régionales (les réglementations PEB), majoritairement basées sur la norme NBN D 50-001 pour ce qui concerne le résidentiel.

SYSTÈMES DE VENTILATION SELON LA NORME NBN D50-001 [IBN -91]	PROCÉDÉS DE VENTILATION	
	AMENÉE D'AIR	EVACUATION D'AIR
A	naturelle	naturelle
B	mécanique	libre
C	libre	mécanique
D	mécanique	mécanique



LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

En Région wallonne, la réglementation PEB exige, dans chaque local, un débit de ventilation nominal d'au moins $3,6 \text{ m}^3/\text{h}$ par m^2 de plancher du local. Ce débit nominal est limité par un débit de conception minimum et maximum d'alimentation, de transfert ou d'évacuation selon les types de locaux. Dans certains cas, ces débits dépendent de la superficie du local.

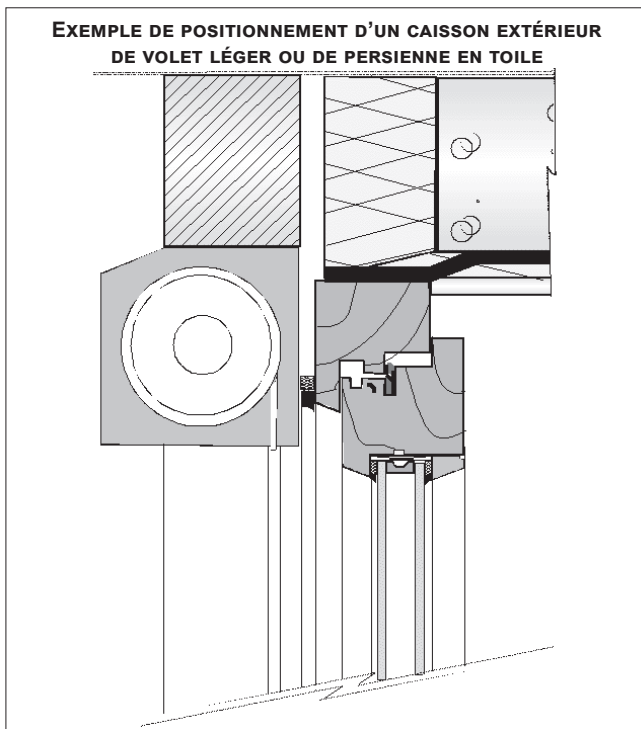
Dans le logiciel PEB, le bâtiment est découpé en zones de ventilation où chaque unité PEB possède au moins une zone. Si l'unité en possède deux, cela signifie qu'elle est équipée de deux systèmes indépendants (A, B, C ou D).

Durant la saison froide, une perte considérable d'énergie est engendrée lors de l'évacuation de l'air vicié. Un échangeur de chaleur permet toutefois à l'air vicié de la transmettre à l'air neuf via un échangeur (ou à l'eau chaude sanitaire via une pompe à chaleur). Un échangeur performant doté d'un récupérateur de chaleur réduit de manière significative la consommation d'énergie du bâtiment et assure une qualité de l'air hygiénique permanente. En choisissant un système D, l'impact sur les baies est nul et ce, contrairement, au choix d'un système C. A la fin de ce chapitre, cette solution est abordée avec une présentation de ses conséquences sur les baies.

CHOIX DU SYSTÈME DE PROTECTION SOLAIRE

Dans le cas de l'exemple, les protections solaires seront des stores ou des volets extérieurs au rez-de-chaussée et des stores à lamelles intérieurs à l'étage.

- Choix des protections extérieures pour le rez-de-chaussée :
 - *Pour les baies :* choix entre stores enroulables en toile ou volets.
Le choix se porte sur le volet qui, une fois fermé, permet d'assurer une certaine protection contre l'intrusion et l'effraction.
 - *Pour la verrière :* la toiture vitrée du bureau (véranda) sera protégée par un store extérieur dépliant automatique réglé par une sonde en fonction de la luminosité et du vent.
Son intégration est aisée sur le haut de la verrière.
- Choix des protections intérieures pour l'étage :
Les protections intérieures seront des stores à lamelles orientables verticales ou des stores en toiles enroulables. Il est en effet beaucoup plus difficile de placer des stores ou volets extérieurs à l'étage car les fenêtres présentent un bandeau continu de hauteur assez faible au sud-ouest et sont de forme trapézoïdale au sud-est.
La façade sud-ouest est la plus vitrée et la maison présente dès lors un problème réel de surchauffe. Dans le tableau ci-joint, l'indice de surchauffe calculé dans le cadre du logiciel PEB change sensiblement si les protections solaires ne sont pas installées.



SUITE DU CHOIX DES MATÉRIAUX

A ce stade, il faut choisir les matériaux composants les fenêtres, à savoir, le type de vitrage et de profilé.

LES VITRAGES

Etant donné le nombre impressionnant de types de vitrages qui existent sur le marché de la construction et leur évolution constante, ce guide pratique ne peut reprendre toutes les valeurs, dans tous les domaines, de tous les vitrages.

Pour choisir le vitrage le plus approprié aux besoins du maître d'ouvrage, l'architecte sera parfois amené à extrapoler les valeurs qu'il trouve dans les tableaux repris dans les parutions des fabricants.

Les exigences minimales seront reprises dans le cahier des charges et le fabricant de vitrages et de châssis sera invité à confirmer les prescriptions et les performances.

PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES VITRAGES CHOISIS [FIV -15] [FIV -17]				
Type de vitrage	Composition [mm]	Valeur U [W/m²K]	Facteur solaire absolu g	Facteur lumineux TL (%)
1. Double vitrage, 1 couche basse émissivité 3 %, lame d'argon	4 / 15 / 4	1,1	0,62	80
2. Double vitrage, 2 couches basse émissivité, krypton	6 / 10 / 4	0,8	0,47	68
3. Triple vitrage, 2 couches basse émissivité, 2 lames d'argon	4 / 15 / 4 / 15 / 4	0,6	0,50	70

• D'un point de vue thermique

Pour cette étude comparative, nous allons décider de limiter ce choix aux vitrages "haut rendement" dont les valeurs U_g sont celles reprises p. 12, à savoir :

- soit un double vitrage HR avec une lame d'argon présentant un $U_g = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire $g = 0,6$;
- soit un double vitrage THR avec une lame de krypton présentant un $U_g = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire $g = 0,5$;
- soit un triple vitrage HR avec deux lames d'argon présentant un $U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ avec un facteur solaire $g = 0,5$.

LES CHÂSSIS

• Matériau : Le choix des châssis a été réalisé en concordance avec la qualité du vitrage qu'ils doivent recevoir :

- $U_f = 1,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ (châssis en bois de type 2, ép. 120 mm) avec le premier vitrage ;
- $U_f = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ (châssis en aluminium dont la valeur U_f est déterminée par calcul) avec le second vitrage ;
- $U_f = 0,74 \text{ W/m}^2\text{K}$ (châssis PVC + PUR dans les chambres) avec le triple vitrage.

• Profils à 3 frappes avec joint souple sur les 2^e et 3^e frappes comme coupure à l'air et isolation acoustique pour :

- les ouvrants oscillo-battants ;
- les portes-fenêtres (avec traverse inférieure) ;
- les portes d'entrée (avec des seuils à coupure thermique) ;
- les coulissants à translation.

• Profils avec 2 frappes avec joint souple sur la 2^e frappe comme coupure à l'air pour :

- les coulissants (levants-coulissants).

GLOBALEMENT

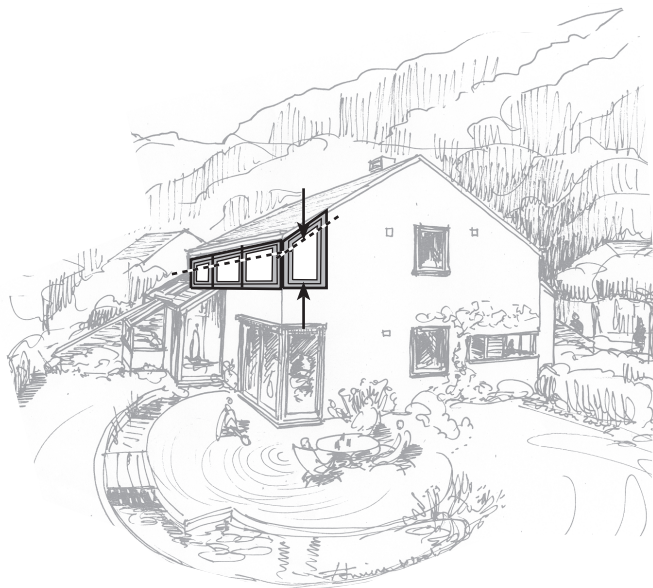
La combinaison de ces choix donne les résultats suivants :

- une valeur globale moyenne $U_w = 1,42 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour le châssis bois avec le premier vitrage, valeur qui devient $1,48 \text{ W/m}^2\text{K}$ si on ajoute une grille de ventilation ;
- une valeur globale moyenne $U_w = 1,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour le châssis alu avec le deuxième vitrage, valeur qui passe à $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ s'il y a une grille de ventilation ;
- une valeur globale moyenne $U_w = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$ pour le châssis PVC avec le triple vitrage, valeur qui devient $0,93 \text{ W/m}^2\text{K}$ s'il comporte une grille de ventilation.

Les 2^e et 3^e solutions paraissent beaucoup plus performantes ; il faut cependant noter l'écart important entre le Ug et le Uf de ces combinaisons. En effet, le châssis bois pourrait présenter des points de condensation assez rapidement s'il n'est pas correctement traité au moyen de film pare-vapeur (vernis) sur la face intérieure des profilés bois. Si le choix du triple vitrage s'avère judicieux, il serait également logique de s'orienter vers des profilés beaucoup plus performants d'un point de vue thermique.

Parce que la fenestration dans ce projet est importante, le choix d'un vitrage thermiquement performant va influencer très favorablement le niveau d'isolation thermique globale K et la consommation en énergie de chauffage.

Remarque : le choix de vitrages plus performants que des doubles vitrages peut entraîner un surcoût d'investissement.



Remarque : associer une protection solaire à une baie possédant une grille de ventilation peut mettre en doute la qualité de la ventilation.

• D'un point de vue acoustique

Actuellement, de nombreux nouveaux vitrages et châssis présentent des performances acoustiques valables. Dans le cadre de ce projet, des châssis bois de 68 mm d'épaisseur avec triple frappe avec joints souples et des vitrages doubles ou triples HR sont suffisants d'un point de vue acoustique pour cet environnement calme qu'est une vallée peu urbanisée.

Pour comparer des valeurs standard de vitrages d'un point de vue acoustique, il y a lieu de se référer au tableau de l'annexe 2 à la p. 104 de cet ouvrage.

• D'autres caractéristiques sont demandées par le maître d'ouvrage

- *des performances en terme de sécurité* : par le caractère de la construction et par l'activité professionnelle, le maître d'ouvrage souhaite accroître sa sécurité. Pour ce faire, il y a lieu de se référer au texte repris en annexe 3 concernant la sécurité des menuiseries extérieures.

• Choix de la mise en oeuvre

Dans le cadre de la mise en oeuvre, il n'y a pas beaucoup de choix possibles dans ce projet. Pour rappel, le châssis doit idéalement se situer dans l'épaisseur de l'isolant afin d'assurer la continuité de l'enveloppe thermique.

Dans le mur crépi, le châssis devra être placé dans un cadre ou être retenue par des pattes solides dans le mur porteur afin de pouvoir le suspendre au niveau de la couche d'isolant. Dans ce projet, on placera un cadre en panneau contreplaqué de 22 mm d'épaisseur qui permettra d'habiller directement l'encadrement de baie intérieur.

Au niveau du mur bardé, il y a une structure en bois extérieure entre laquelle les matelas semi-rigides de laine minérale sont insérés ; on peut dès lors choisir la mise en oeuvre en plaçant le châssis dans l'épaisseur de l'isolant soit en le posant sur les chevrons de façade ; soit, et ce comme expliqué précédemment, en le maintenant au mur porteur via un cadre en contreplaqué. Pour une raison esthétique d'homogénéité intérieure, on choisit pour ce projet de le placer également avec un cadre en contreplaqué.

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET

BILAN GLOBAL

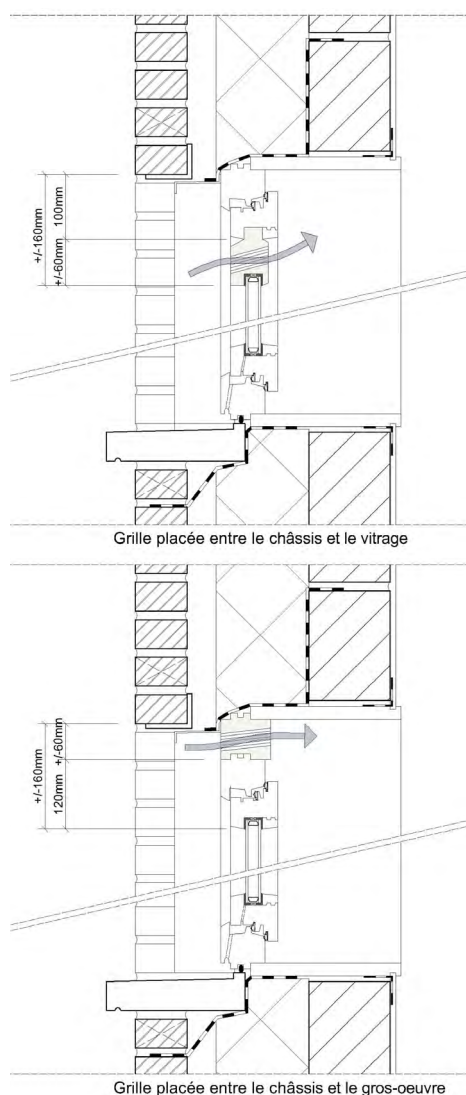
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES

Ce tableau récapitule les résultats obtenus avec les 3 choix de châssis / vitrages : niveau K, E_{SPEC} , consommation finale d'énergie de chauffage (avec ventilation D + récup.) et coût sur 30 ans (coût d'énergie + surinvestissement par rapport à la première solution $U_w = 1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$)

CHOIX DE CHÂSSIS ET VITRAGE => U_w [W/m ² K]	NIVEAU K	E_w [-]	E_{SPEC} [kWh/m ² .an]	CONSOMMATION CHAUFFAGE (ÉNERGIE FINALE) [kWh/an]	CONSOMMATION ÉLECTRICITÉ VENTILATION [kWh/an]	CONSOMMATION ÉNERGIE PRIMAIRE [kWh/an]	COÛT SUR 30 ANS (€ : SURINVESTISSEMENT + ...)		
							CONSO. GAZ	CONSO. PELLETS	CONSO. MAZOUT
1,42	30	61	96	15.302	1.405	18.714	38.896	32.335	32.335
1,13	28	56	88	13.454	1.405	16.966	37.564	33.528	33.528
0,85	25	54	85	11.955	1.405	15.467	36.781	33.194	33.194

PRINCIPE DU POSITIONNEMENT DES GRILLES DE VENTILATION

Les croquis ci-dessous nous montrent l'influence sur la partie "jour" des grilles de ventilation, qu'elles soient positionnées dans le châssis ou au-dessus de celui-ci, c'est-à-dire entre le châssis et le gros-oeuvre.



IMPACT AVEC LE CHOIX D'UN SYSTÈME DE VENTILATION DE TYPE C

Dans les nouvelles constructions, le choix du système de ventilation se pose et varie généralement entre le système C et D. Dans le cas présent, la présence d'un comble sur toute la longueur du bâtiment permet assez aisément de placer un système D mais le maître de l'ouvrage ne voudra pas forcément d'un système mécanique et demandera éventuellement une autre alternative. C'est pourquoi nous présentons ici le même bâtiment avec un système C et comparons les résultats entre les deux systèmes d'un point de vue énergétique et économique en fin de ce chapitre.

Le système C est composé d'un ventilateur (ou de plusieurs ventilateurs) d'extraction d'air vicié relié(s) à un réseau de conduites verticales et/ou horizontales aboutissant à des bouches de type mural ou plafonnier dans les pièces dites humides (cuisine, salles de bains, WC, buanderie) et de grilles de ventilation d'amenée d'air frais généralement placées en partie supérieure des châssis dans les pièces dites sèches (living, chambres, bureau, salle de jeux).

Quelques châssis pourraient donc être concernés pour les ouvertures d'amenées d'air réglables (OAR).

Nous avons ici un choix à faire sur la position des OAR :

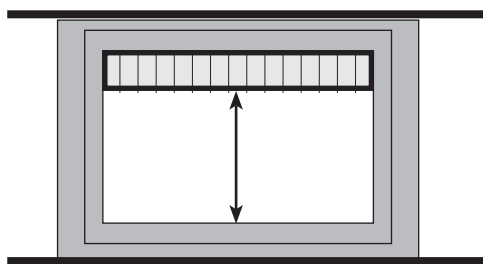
- soit en châssis ;
- soit au-dessus des châssis ;
- soit en parois verticales opaques ;
- ou encore combinant plusieurs situations.

Dans cet exemple, intégrer des grilles dans les châssis des fenêtres en bandeaux horizontaux comme celles de l'étage, du cabinet médical et du bureau ne nous semble pas être une solution esthétiquement valable.

En effet, quel que soit le système adopté, cela va, non seulement réduire la hauteur des vitrages et limiter l'arrivée de lumière mais aussi accuser l'horizontalité ; ce qui va "aplatir" le bâtiment (voir croquis page suivante).

LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

ILLUSTRATION DE LA DIMINUTION DU JOUR D'UNE FENÊTRE DUE À L'INTÉGRATION D'UNE GRILLE DE VENTILATION DANS LE CHÂSSIS.



Donc :

- dans les châssis en bandeaux, la présence de grille (intégrée au châssis ou à la baie) diminuerait considérablement la surface de jour ;
- dans le cas de vitrage trapézoïdal, la difficulté de réalisation amènera à placer l'OAR dans l'enveloppe opaque ;
- dans les grands châssis, on a le choix.

De plus, pour des questions d'homogénéité des solutions et pour éviter toute erreur de la part de l'entreprise, nous opterons en principe partout pour des OAR pratiquées dans l'enveloppe opaque.

Le tableau ci-dessous reprend les besoins en surfaces de fenêtres dans les locaux selon les exigences de salubrité (éclairage naturel).

LOCAL (PARTIE MAISON)	SURFACE AU SOL [m ²]	HAUTEUR SOUS PLAFOND [m]	SURFACE MINIMALE DES BAIES [m ²] selon l'AGW du 30/08/07 déterminant les critères minimaux de salubrité (éclairage naturel)			SURFACE RÉELLE DES BAIES [m ²]	ORIENTATION DES BAIES [m ²]
			pour logement existant	pour logement à créer	pour loge- ment fai- sant l'objet d'aides de la Région		
Bureau	7,27	2,5	0,52	0,61	0,73	12,43	SO 2,60 vert. + 7,81 incl. / SE 2,02
Salon	27,54	2,65	1,97	2,30	2,75	7,49	SO 3,14 / SE 4,35
Salle à manger	26,46	2,35	1,89	2,21	2,65	10,64	SO 6,45 / SE 4,19
Cuisine	15,92	2,35	1,14	1,33	1,59	2,96	NE 1,36 / SE 1,60
W.-C. rez	3,41	2,35	- (*)	- (*)	- (*)	0,00	-
Hall rez-de-chaussée	10,42	2,35	0,74	0,87	1,04	6,43	NE 6,43
Chambre 1	22,74	2,3	1,62	1,90	1,90	5,43	SO 4,00 + NO 1,43
Chambre 2	12,6	2,3	0,90	1,05	1,05	1,80	NE 1,80
Jeux	25,14	2,3	1,80	2,10	2,51	3,75	SO 2,00 / NE 1,75
Chambre 3	18,17	2,3	1,30	1,51	1,51	3,30	SO 2 + NO 1,30
Chambre 4	21,16	2,3	1,51	1,76	1,76	1,81	SE 1,81
Buanderie	13,55	2,3	0,97	1,13	1,36	4,46	NE 3,24 + SE 1,22
W.-C. étage	1,6	2,3	- (*)	- (*)	- (*)	0,88	NE 0,88
Salle de bain	9,49	2,3	0,68	0,68	0,79	2,26	NE 0,88 vert. + 1,38 incl.
Douche dans ch. 1	1,72	2,3	- (*)	- (*)	- (*)	0,00	0,00

(*) Pas considéré comme pièce d'habitation

En ce qui concerne les besoins en ventilation intensive, il faut se référer au tableau de la p. 68 de l'ouvrage pratique pour architectes "La ventilation et l'énergie" [HAUG-17-1]. On y constate que les surfaces réelles sont largement suffisantes par rapport aux besoins estimés en ventilation.

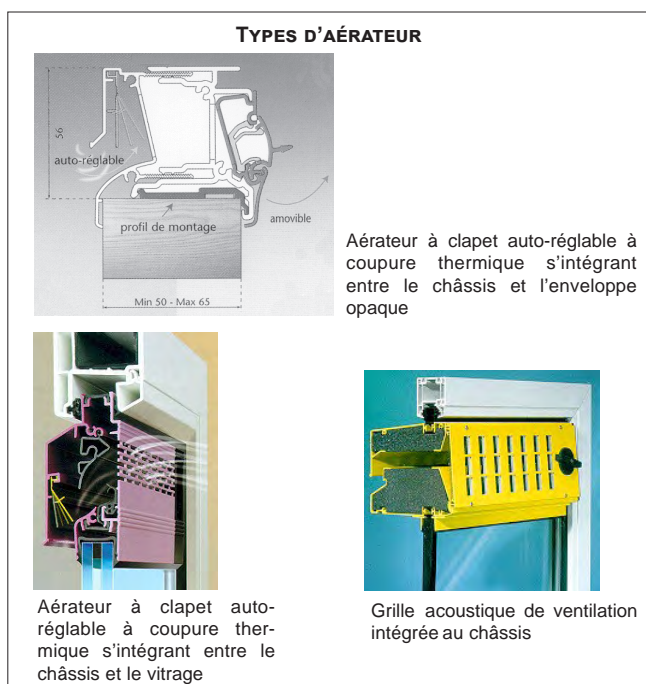
L'IMPACT DES GRILLES DE VENTILATION

Dans l'hypothèse d'un positionnement des OAR dans les châssis ou au-dessus de ceux-ci, le fabricant donne, en fonction des différentes grilles d'aération, le passage d'air par mètre courant d'aérateur (pour une différence de pression de 2 Pa). L'encombrement de la grille dépend du modèle choisi.

Le tableau ci-après donne, pour chaque pièce, le nombre de grilles nécessaires en fonction des débits d'air nominaux nécessaires et de la longueur des ouvertures.

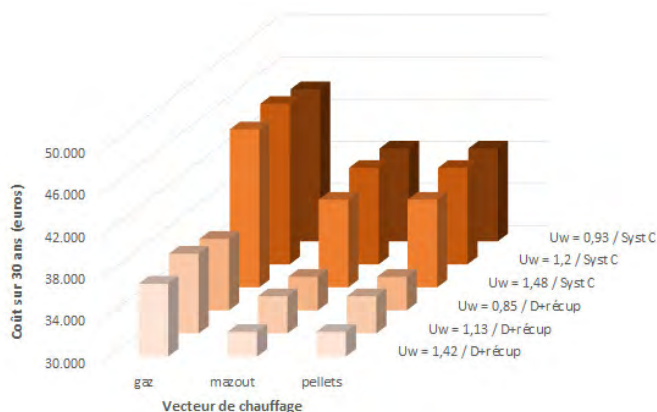
LA MÉTHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTÈME "BAIE"

LOCAUX	DÉBITS D'AIR NOMINAUX [m³/h]	LONGUEUR DES OUVERTURES [m]	PASSAGE D'AIR DE LA GRILLE [m³/hm]	DÉBIT D'AIR POUR UNE GRILLE [m³/h]	NOMBRE DE GRILLES	DÉBIT D'AIR TOTAL [m³/h]
Bureau	25	1	50	50	1	50
Salon	76	1,2	50	60	2	120
Salle à manger	75	1,1	50	55	2	110
Chambre 1	72	1	50	50	2	100
Chambre 2	35	0,9	50	45	1	45
Chambre 3	49	1,1	50	55	1	55
Chambre 4	72	1,1	50	50	2	100
Espace de jeux	50	1	50	50	1	50



Remarque : lorsque les grilles de ventilation sont placées dans les châssis, certaines garanties quant à la résistance à la compression des grilles et sur le type de calage du vitrage sont à prendre en considération.

COÛT GLOBAL SUR 30 ANS, EN FONCTION DU CHOIX DU VITRAGE, DU VECTEUR ÉNERGÉTIQUE ET DU SYSTÈME DE VENTILATION (SIMPLE FLUX OU DOUBLE FLUX AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR)



Le lecteur pourra trouver des explications complémentaires en consultant le guide pratique "La ventilation et l'énergie" [HAUG-17-1] .

Les grilles de ventilation sont caractérisées par des performances acoustiques faibles et inférieures aux aérateurs munis d'un absorbant acoustique. Leur usage est autorisé respectivement dans les situations où un isolement acoustique minimal D_{Atr} de 26 dB et un indice d'affaiblissement maximal R_{Atr} de 33 dB sont requis.

Pour obtenir un indice d'affaiblissement plus élevé, il est nécessaire d'effectuer un dimensionnement acoustique plus précis.

L'IMPACT DU CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION C SUR LE COÛT TOTAL

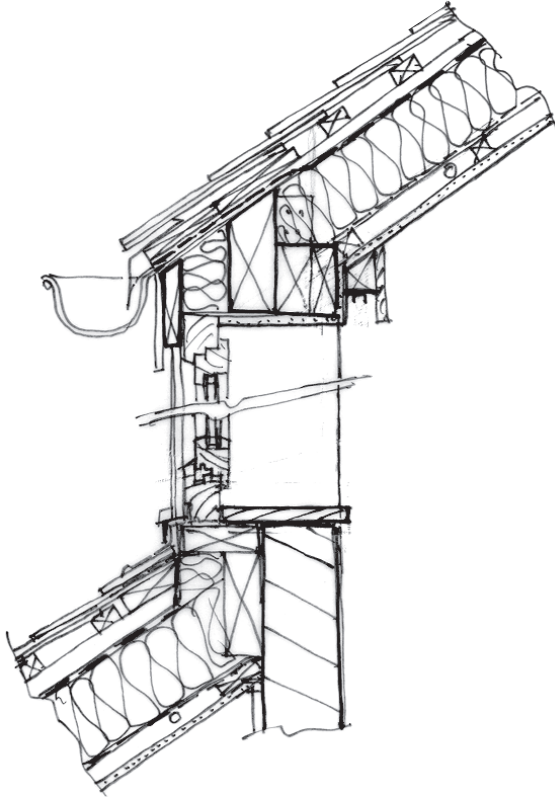
Considérant la consommation d'énergie résultant du vecteur énergétique de chauffage (mazout, gaz ou pellets), et du système de ventilation choisi (C ou D avec récupérateur de chaleur), le graphique ci-contre compare le coût global sur 30 ans, intégrant le surcoût du triple vitrage THR et du double vitrage THR, par rapport au double vitrage HR (voir figure ci-contre).

Trois conclusions s'en déduisent :

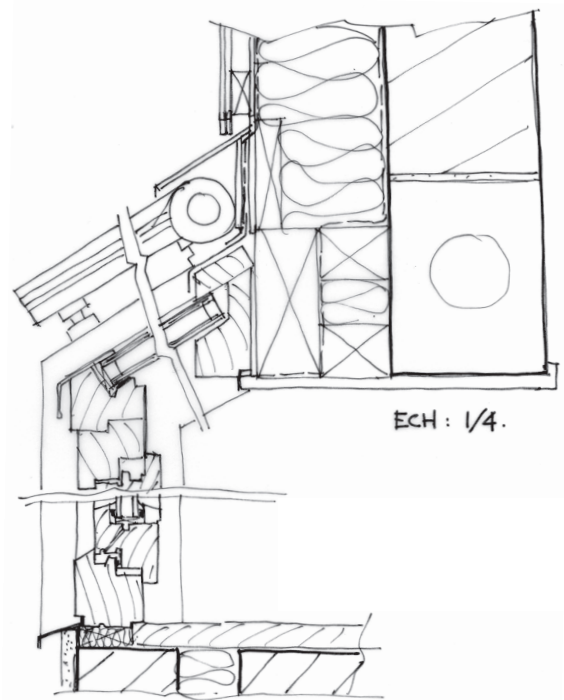
- Le surcoût du triple vitrage THR s'amortit largement, puisque ce choix se révèle largement moins cher que les deux autres choix de vitrage (à quasi-égalité), quel que soit le vecteur énergétique et quel que soit le système de ventilation ;
- Le système de ventilation simple flux entraîne un coût légèrement supérieur par rapport au système de ventilation double flux avec récupération de chaleur, pour tous les choix de vitrages et de systèmes de chauffage ;
- Si le chauffage au mazout apparaît un peu moins cher que les systèmes au gaz et aux pellets (au coût global quasi identique), il profite ici du prix actuellement (1/09/16) faible du mazout (0,049 €/kWh) par rapport au prix du gaz (0,059 €/kWh) ou à celui des pellets (0,049 €/kWh, identique au mazout, mais avec un rendement de chaudière plus faible (0,66) que les chaudières mazout ou gaz à condensation (0,79)). Cette classification est fort dépendante du prix, très fluctuant, des vecteurs énergétiques utilisés.

QUELQUES DÉTAILS

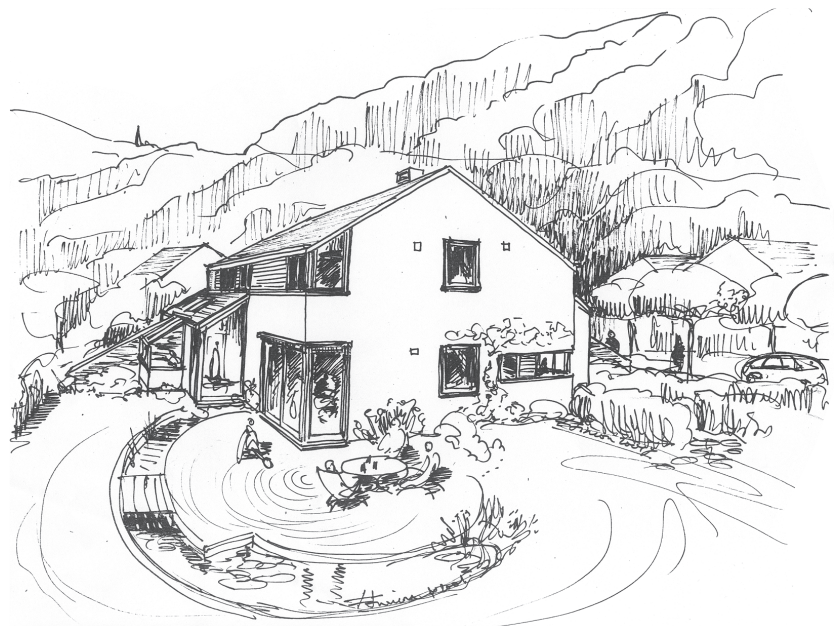
Quelques détails constructifs sont suggérés ci-dessous.



COUPE-PROFIL :
DÉTAIL CHÂSSIS VERTICAL SANS BATTÉE
Echelle +/- 1/10



COUPE-PROFIL :
DÉTAIL PROTECTION SOLAIRE DE LA VERRIÈRE
Echelle +/- 1/10



- [ARCH-97] ARCHITECTURE ET CLIMAT (1997), *Choisir une protection solaire*, Fascicule technique, UCL, SPW (DGO4)
- [CSTC-80] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1980), *NIT 133 Carnet d'entretien des menuiseries extérieures en bois*, Décembre 1980
- [CSTC-82] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1982), *NIT 143 Volets roulants pour habitations*
- [CSTC-89] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1989), *NIT 176 Le vitrage en toiture*
- [CSTC-93] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1993), *NIT 188 La pose des menuiseries extérieures*
- [CSTC-95] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1995), *Infiltration d'eau par la menuiserie extérieure*, CSTC-Magazine, 1er trim. 1995
- [CSTC-96] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1996), *Les menuiseries extérieures en bois*, CSTC-Magazine, 3^e trim. 1996
- [CSTC-97-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1997), *Parois extérieures en blocs de verre*, CSTC-Magazine, 3^e trim. 1997
- [CSTC-97-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1993), *NIT 206 Protection mécanique de la menuiserie et des vitrages contre l'effraction*
- [CSTC-98-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *Isolation acoustique des fenêtres (1)*, CSTC-Magazine, 1^e trim. 1998
- [CSTC-98-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1998), *Isolation acoustique des fenêtres (2)*, CSTC-Magazine, 3^e trim. 1998
- [CSTC-99] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (1999), *NIT 214 Le verre et les produits verriers - les fonctions des vitrages*
- [CSTC-01] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2001), *NIT 221 La pose des vitrages en feuillure*
- [CSTC-07] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) Division Energie et Climat (2007), *Base de données de produits dans le cadre de la réglementation PEB – Procédures générales*, Région de Bruxelles-Capitale, Région flamande, Région wallonne
- [CSTC-08-1] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) Division Energie et Climat (2008), *Base de données de produits dans le cadre de la réglementation PEB – Vitrage*, Région de Bruxelles-Capitale, Région flamande, Région wallonne
- [CSTC-08-2] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) Division Energie et Climat (2008), *Base de données de produits dans le cadre de la réglementation PEB – Protection solaire*, Région de Bruxelles-Capitale, Région flamande, Région wallonne
- [CSTC-09] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) Division Energie et Climat, BCCA (Belgian Construction Certification Association) (2009), *Base de données de produits dans le cadre de la réglementation PEB – Profilé d'encadrement*, Région de Bruxelles-Capitale, Région flamande, Région wallonne
- [CSTC-11] CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction) (2011), *Quels critères acoustiques pour les vitrages ?*, Les Dossiers du CSTC 2011/3.10
- [DE H-92] DE HERDE A., *Le manuel du Responsable Energie*, Ministère de la Région Wallonne - DGTRE, UCL
- [FIV -15] FIV (Fédération de l'Industrie du Verre) (2015), *Un regard éclairé sur les vitrages belges*
- [FIV -17] FIV (Fédération de l'Industrie du Verre) (2017), *Un autre regard sur les vitrages et leurs fonctions*, 2^e édition
- [GF -12] GF (Gouvernement Fédéral) (2012), *Arrêté Royal du 12 juillet 2012 modifiant l'Arrêté Royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire*, Moniteur belge du 21/09/2012
- [GLAC-89] GLACERIE SAINT-ROCH (1989), *Fenêtre ouverte sur les vitrages*
- [GW -07] GW (Gouvernement Wallon) (2007), *Arrêté du Gouvernement wallon du 30 août 2007 déterminant les critères minimaux de salubrité, les critères de surpeuplement et portant les définitions visées à l'article 1^{er}, 19° à 22° bis du Code wallon du Logement*, paru au Moniteur Belge le 30/10/2007, p. 55871

- [GW -14] GW (Gouvernement Wallon) (2014), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 mai 2014 déterminant la méthode de calcul et les exigences, les agréments et les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments*
- [GW -16-1] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 28 janvier 2016 modifiant l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [GW -16-2] GW (Gouvernement Wallon) (2016), *Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 décembre 2016 modifiant l'Arrêté du Gouvernement Wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*
- [HAUG-01] HAUGLUSTAIN J-M. (2001), *Méthode de conception optimisée de l'enveloppe de bâtiment, aux stades préliminaires du projet architectural - Recherche du meilleur projet, privilégiant les performances d'énergie et de coût*, ULg - Thèse de Doctorat
- [HAUG-17-1] HAUGLUSTAIN J-M., SIMON F. (2017), *La ventilation et l'énergie - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-2] HAUGLUSTAIN J-M., SIMON F. (2017), *L'isolation thermique des murs - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-3] HAUGLUSTAIN J-M., SIMON F. (2017), *L'isolation thermique des toitures - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [HAUG-17-4] HAUGLUSTAIN J-M., SIMON F. (2017), *La conception globale de l'enveloppe et l'énergie - Guide pratique pour les architectes, 2^e édition*, SPW - DGO4
- [IBN -91] IBN (Institut Belge de Normalisation) (1991), *NBN D50-001, Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation*
- [IBN -00-1] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2000), *NBN EN 12150-1, Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé thermiquement - Partie 1 : Définition et description*
- [IBN -00-2] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2000), *NBN EN 12207, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'air - Classification*
- [IBN -00-3] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2000), *NBN EN 12208, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'eau - Classification*
- [IBN -05] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2005), *NBN EN 12150-2, Verre dans la construction - Verre de silicate sodo-calcique de sécurité trempé thermiquement - Partie 2 : Evaluation de la conformité*
- [IBN -08] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2008), *NBN S01-400-1 Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation*
- [IBN -12] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2012), *NBN S01-400-2 Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires*
- [IBN -13-1] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2013), *NBN EN ISO 717-1 Acoustique - Évaluation de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1 : Isolement aux bruits aériens*
- [IBN -13-2] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2013), *NBN EN ISO 717-2 Acoustique - Évaluation de l'isolation acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 2 : Protection contre le bruit de choc*
- [IBN -16] IBN (Institut Belge de Normalisation) (2016), *NBN EN 1026, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'air - Méthode d'essai*
- [LAVE-99] LAVENU M., MATAOUCHEK V. (1999), *Dictionnaire d'architecture*, Editions JP Ginerot
- [SGG -14] SAINT-GOBAIN-GLASS (2014), *Mémento*
- [SGG -17] SAINT-GOBAIN-GLASS (2017), *Le Grand Mémento du vitrage*
- [SIMO-96] SIMON F. (1996), *Cours de Composition architectonique et d'Architecture civile*, UCL
- [SPFE-05] SPF Economie (Service Public Fédéral Economie, PME, Classes moyennes & Energie) (2005), *Spécifications techniques unifiées STS 52 Menuiseries extérieures 52.0 Généralités*, SPF Economie
- [WOUT-00] WOUTERS P. (2000), *Quality in Relation to Indoor Climate and Energie Efficiency - An analysis of trends, achievements and remaining challenges - Annex Report on Technologies*, UCL - Faculté des Sciences Appliquées - Thèse de doctorat

ANNEXE 1

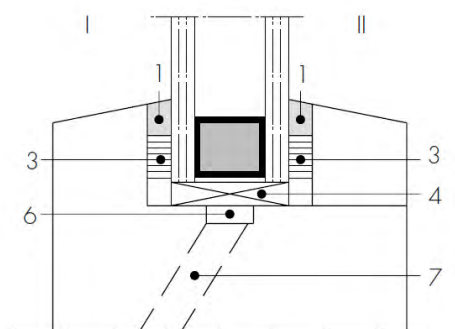
LES LIAISONS ENTRE VITRAGE ET CHÂSSIS

GÉNÉRALITÉS.....	96
TERMINOLOGIE.....	96
LES FEUILLURES.....	96
LES FEUILLURES FERMÉES.....	96
<i>Forme des feuillures.....</i>	<i>96</i>
<i>Feuillures avec parecloses.....</i>	<i>96</i>
<i>Equilibrage des pressions et drainage de feuillure.....</i>	<i>97</i>
<i>Dimensions des feuillures fermées.....</i>	<i>97</i>
LE CALAGE.....	98
PRINCIPE.....	98
LES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES CALES.....	98
<i>Les matériaux des cales à utiliser.....</i>	<i>98</i>
<i>Les différentes cales.....</i>	<i>98</i>
EMPLACEMENT DES CALES.....	99
<i>Cales d'assise (C1).....</i>	<i>99</i>
<i>Cales latérales ou d'espacement (C3).....</i>	<i>99</i>
LES GARNITURES D'ÉTANCHÉITÉ.....	100
LES MASTICS.....	100
LES PRÉFORMÉS DE BOURRAGE.....	100

GÉNÉRALITÉS [CSTC-01]

TERMINOLOGIE

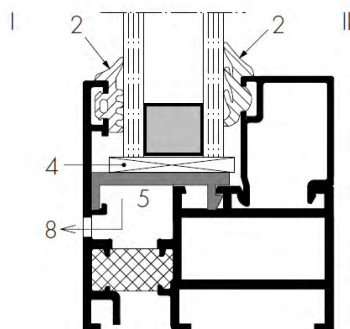
A. EXEMPLE DE POSE AVEC MASTIC DANS UN CHÂSSIS EN BOIS



I. EXTÉRIEUR
II. INTÉRIEUR

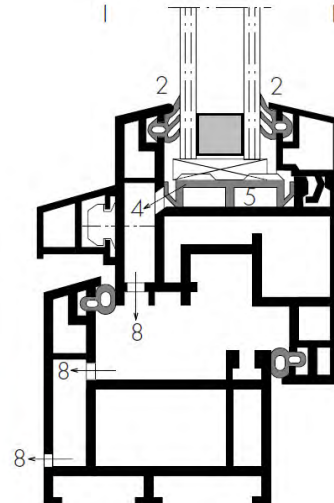
1. Mastic
2. Profilé d'étanchéité
3. Fond de joint
4. Cale

B. EXEMPLE DE POSE AVEC PROFILÉ D'ÉTANCHÉITÉ DANS UN CHÂSSIS MÉTALLIQUE



5. Sous-cale
6. Canal de récupération des eaux
7. Conduit de drainage
8. Exutoire de drainage

C. EXEMPLE DE POSE AVEC PROFILÉ D'ÉTANCHÉITÉ DANS UN CHÂSSIS EN MATIÈRE SYNTHÉTIQUE



LES FEUILLURES

LES FEUILLURES FERMÉES

Ce type de feuillure est obligatoire pour tous les vitrages autres que ceux mentionnés pour les feuillures ouvertes car elles assurent une meilleure tenue du vitrage et de ses garnitures d'étanchéité.

FORME DES FEUILLURES

Le fond de la feuillure doit permettre un positionnement correct des cales de support et, par leur intermédiaire, une assise stable du vitrage.

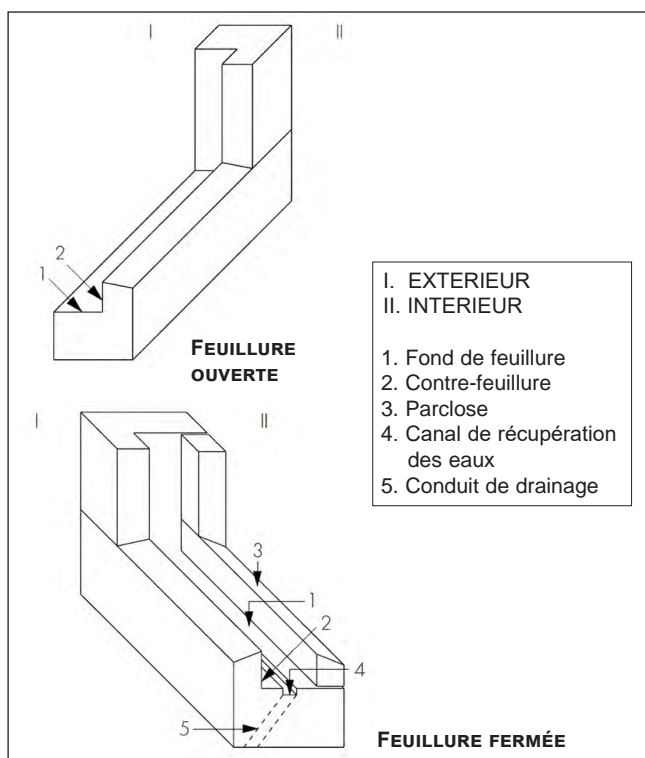
Les faces verticales des feuillures et des parcloses en vis-à-vis du vitrage doivent être parallèles aux faces du vitrage.

FEUILLURES AVEC PARCLOSES

La parclose amovible se situe du côté intérieur (de préférence) ou extérieur par rapport au vitrage et doit pouvoir se démonter pour permettre le remplacement de celui-ci. Sa hauteur doit raser celle de la feuillure.

Les systèmes de fixation des parcloses sont multiples :

- par pointage ou vissage ;
- par clipsage sur des boutons ;

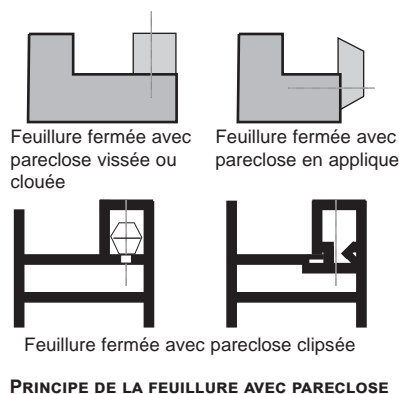


- I. EXTERIEUR
II. INTERIEUR
1. Fond de feuillure
 2. Contre-feuillure
 3. Parclose
 4. Canal de récupération des eaux
 5. Conduit de drainage

REMARQUE :

Anciennement, il existait des feuillures ouvertes mais ne répondant pas à la norme en matière d'isolation thermique ; ces feuillures ouvertes ne feront pas l'objet d'une attention particulière.

ANNEXE 1 : LES LIAISONS ENTRE VITRAGE ET CHÂSSIS



- par clipsage sur des ressorts ;
- par clipsage sur des rainures ;
- par vissage en applique permettant de comprimer les garnitures d'étanchéité.

Pour les châssis en bois, les parecloses sont principalement vissées ou clouées. Pour les châssis métalliques et en matière synthétique, elles sont fixées par clipsage, accompagné parfois d'un vissage supplémentaire.

EQUILIBRAGE DES PRESSIONS ET DRAINAGE DE FEUILLURE

Les feuillures doivent être drainées. Pour ce faire, il faut équilibrer la pression entre l'air extérieur et le fond de la feuillure, ce qui limite les possibilités d'infiltration d'eau, d'accumulation d'eau de condensation, tout en favorisant l'évacuation d'infiltrations éventuelles.

Ce drainage du fond de la feuillure est obligatoire pour les vitrages isolants.

L'auto-drainage est généralement obtenu en perçant le fond de la feuillure basse, de trous de 8 mm de diamètre ou d'entailles de dimensions minimales 20 mm x 5 mm, reliant le fond de la feuillure à une chambre de décompression ou d'égalisation de pression placée en-dessous de l'ouvrant ou, à défaut, directement vers l'extérieur (voir p. 40).

Pour les petits châssis (inférieurs à 1 mètre de large), il faut prévoir un trou ou une rainure près des angles du châssis.

Pour les châssis de plus de 1 mètre de large, il faut prévoir un trou ou une rainure tous les 50 cm supplémentaires (à répartir sur la largeur).

Tableau représentant les hauteurs utiles minimales (en mm) des feuillures mesurées à partir de la plus grande saillie présentée par le fond de la feuillure, en fonction de la surface S du vitrage exprimée en m² (extrait de [SGG -14]).

	Surface S du vitrage m ²			
	< 0,25	0,25 ≤ S < 2	2 ≤ S < 6	6 < S
Vitrage simple	10 mm	13 mm	18 mm	25 mm
Double vitrage	18 mm	8 mm	18 mm	25 mm
Vitrage triple	20 mm			

DIMENSIONS DES FEUILLURES FERMÉES

Se référer à la norme NBN S 23-002 qui donne les hauteurs utiles des feuillures.

Les hauteurs utiles des feuillures reprises dans le tableau ci-contre doivent être augmentées des déformations éventuelles des supports.

La largeur utile de la feuillure est mesurée entre les plus grandes saillies présentées par les flancs de la feuillure et de la pareclose côté vitrage, tout en tenant compte des types de joints et des tolérances d'épaisseurs des vitrages (voir pour ce faire [CSTC-99]).

LE CALAGE

PRINCIPE

Les vitrages reposent sur des cales.

Le bon comportement du vitrage et du châssis (étanchéité) dépendent du calage, dont la fonction est d'assurer le maintien correct du vitrage dans la feuillure.

Le calage est obtenu généralement au moyen de cales ponctuelles qui évitent le contact entre le vitrage et le châssis et permettent de reporter le poids du vitrage sur des points précis du châssis.

LES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES CALES

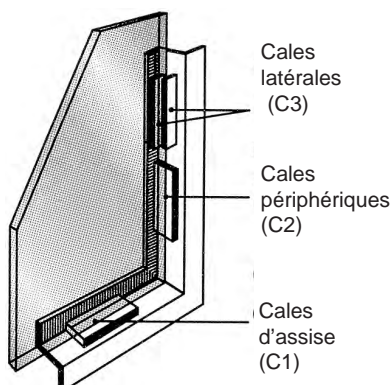
Les cales doivent être imputrescibles et compatibles avec les produits de calfeutrement choisis et avec les matériaux des châssis.

LES MATÉRIAUX DES CALES À UTILISER

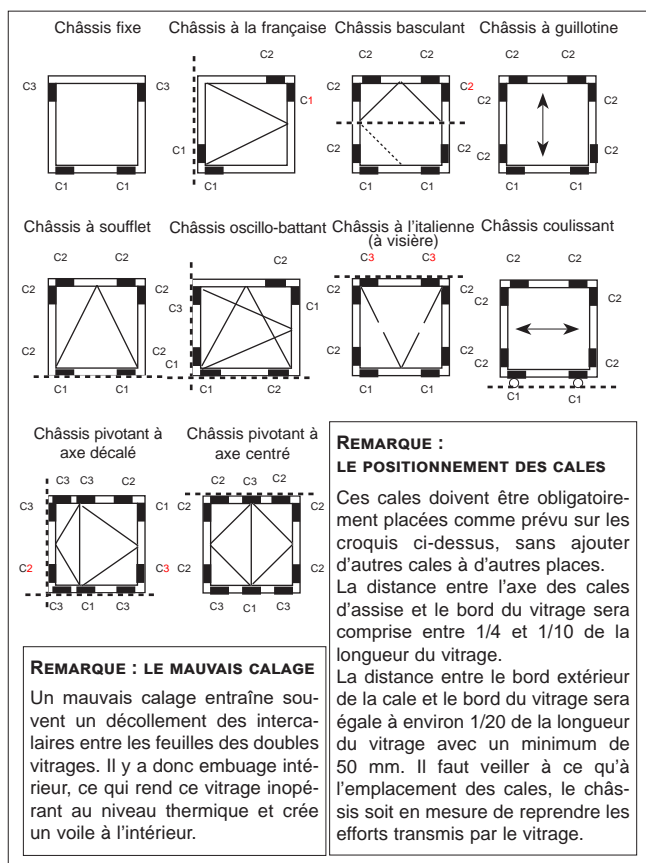
- Le bois : les cales doivent être préfabriquées en bois dur sans tanin (hêtre, sipo, teck, etc.), traitées contre la pourriture et pouvant supporter une pression d'environ 15 kg/cm².
 - Attention au risque de pourrissement en présence de beaucoup d'eau.
 - À conseiller pour les doubles vitrages collés sans cadre métallique périphérique.
- Le polychloroprène : à conseiller car imputrescible.
- Les élastomères tels que le butyl et ceux dont la dureté Shore A est au minimum de 70. Pour information, l'échelle de mesure Shore A mesure la dureté d'un matériau (de 30 à 90).
 - À utiliser pour les cales de support d'éléments dépassant une surface de 3 m².
- Le plomb : à rejeter de façon générale pour les châssis métalliques car il y a des risques de contact verre / métal.
- Le polystyrène : à proscrire pour le montage des vitrages isolants.

LES DIFFÉRENTES CALES

- Cales d'assise ou de support (C1) (inspiré de [CSTC-80] et [SGG -14])
Ces cales doivent avoir une largeur suffisante pour assurer un appui efficace sur toute l'épaisseur du vitrage car leur rôle est de transmettre le poids du vitrage au châssis. Leur épaisseur doit permettre la répartition équilibrée des chants du vitrage et des fonds de la feuillure.
- Cales périphériques ou de distance (C2)
Ces cales doivent permettre la libre dilatation du verre et,



ANNEXE 1 : LES LIAISONS ENTRE VITRAGE ET CHÂSSIS



pour ce faire, elles ne sont jamais placées à serrage (on laisse un léger jeu ou on utilise un matériau de dureté moindre que celui employé pour les cales d'appui). Les jeux minimaux périphériques à réserver en fond de feuillure sont fonction de la hauteur minimale utile de celle-ci.

• **Caes latérales ou d'espacement (C3)**

Ces cales empêchent les vitres de bouger.

Elles sont nécessaires pour éviter toute déformation pendant la période durant laquelle le mastic n'a pas encore acquis sa plasticité définitive et sont indispensables à proximité des cales de support et de distance mais avec un décalage de 4 à 5 cm pour éviter la rupture de la continuité dans le mastic.

Elles peuvent être remplacées par des espaceurs continus (profilés élastomères,...).

Les jeux minimaux latéraux à réserver entre le vitrage et le flanc de feuillure sont fonction du système d'étanchéité retenu.

EMPLACEMENT DES CALES

L'emplacement des cales dépend de plusieurs paramètres tels que le type de châssis, le système de verrouillage et le système de suspension. La figure ci-contre reprend schématiquement l'emplacement à réserver pour les cales.

	C1 : CALES D'ASSISE	C2 : CALES PÉRIPHÉRIQUES	C3 : CALES LATÉRALES
LARGEUR [mm]	Telle que la totalité de l'épaisseur du vitrage repose sur ces cales. En pratique, au moins égale à l'épaisseur du vitrage, augmentée d'un jeu latéral.	Telle que la totalité de l'épaisseur du vitrage repose sur ces cales.	Telle que la cale n'engendre pas de discontinuité dans l'étanchéité du joint.
LONGUEUR [mm]	* en bois : $l = 10 \times S^{(*)}$ * en caoutchouc : $l = 30 \times S^{(*)}$ * en matériaux de synthèse : selon la résistance à la compression pour des températures comprises entre - 20° C et + 55° C mais au moins égale à 50 mm.	Au moins égale à 50 mm.	Au moins égale à 30 mm.
EPAISSEUR [mm]	Au moins égale au jeu minimal.	Au moins égale au jeu minimal.	Légèrement inférieure au jeu latéral.
DURETE	70 à 95 DIDC (**)	50 à 70 DIDC (**)	50 à 70 DIDC (**)
(*) S = surface du vitrage en m ² . (**) DIDC = degré international de dureté du caoutchouc.			

TABLEAU DES DIMENSIONS DES CALES [SGG -14]

CALES D'ASSISE (C1)

Pour les châssis à axe de rotation verticale, une seule cale d'assise sera nécessaire en feuillure basse.

Son emplacement dépendra du type d'ouverture :

- côté paumelle pour les châssis à la française ;
- au droit de l'axe du pivot pour les châssis pivotants. Un calage d'assise complémentaire sera nécessaire en fond de feuillures verticales.

Dans les autres cas, les 2 cales d'assise sont placées dans le fond de la feuillure basse, au droit des points de roulement pour les châssis coulissants horizontaux.

CALES LATÉRALES OU D'ESPACEMENT (C3)

Pour les châssis en bois, en général, les cales sont constituées de bandes de mousse servant aussi de fond de joint. Si elles ne sont pas continues, elles sont à placer :

- face à face ;
- à proximité des cales d'assise C1 et de périphérie C2 dont elles sont décalées de 40 à 50 mm pour éviter une discontinuité d'étanchéité ;
- tous les 400 à 500 mm (300 à 400 mm pour les pivotants horizontaux).

LES GARNITURES D'ÉTANCHÉITÉ

Les garnitures d'étanchéité doivent assurer l'étanchéité des feuillures à l'eau et à l'air, tout en compensant ou en absorbant les dilatations, les déformations et les vibrations, sans perdre leurs caractéristiques avec le temps. On distingue les mastics plasto-élastiques associés aux préformés de bourrage et les préformés élastiques.

LES MASTICS

Un mastic d'étanchéité est une masse pâteuse à la mise en oeuvre qui, après diverses réactions chimiques, assure l'étanchéité du joint rempli en formant un cadran lui-même étanche et adhérent aux éléments de construction à leurs surfaces de contact. Ils sont généralement associés à un fond de joint anti-adhérent de façon à garder une section proche d'un diabolos compris dans un carré avec 2 faces adhérentes.

LES PRÉFORMÉS DE BOURRAGE

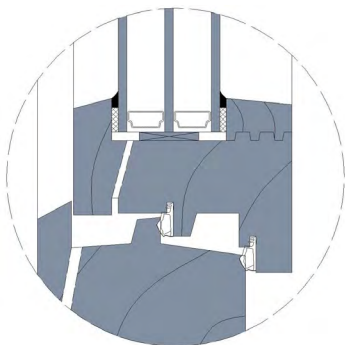
Ils peuvent remplacer les cales latérales. Il en existe 2 types : les préformés élastiques et les préformés d'étanchéité. Ce sont des produits en forme de bandes ou de profilés qui sont nécessairement associés à des feuillures drainées. L'étanchéité est assurée par la pression de contact existant entre le profil et la (ou les) surface(s) du vitrage d'une part, et les faces verticales de la feuillure d'autre part.

CLASSES DE MASTICS POUR VITRAGES + PERFORMANCES

voir Norme NBN EN ISO 11600 et STS 56.1

FOND DE JOINT :

Bande préformée anti-adhérente continue qui délimite la profondeur du mastic d'étanchéité et permet le serrage du mastic sur les faces d'adhérence.



ANNEXE 2

L'ACOUSTIQUE

LE BRUIT	102
DÉFINITION.....	102
<i>Niveaux de l'ambiance sonore résultant des activités</i>	102
<i>Bruit admissible et confort à l'intérieur</i>	102
L'ISOLATION ACOUSTIQUE	103
L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE PONDÉRÉ R_w	103
LA BAIE ET L'ISOLATION ACOUSTIQUE	103
LE VITRAGE.....	104
<i>Le simple vitrage</i>	104
<i>Le double vitrage</i>	104
<i>Les plastiques</i>	105
L'ÉTANCHÉITÉ.....	105
LE TYPE DE CHÂSSIS.....	106
LES "ACCESSOIRES" ET LES "COMPLÉMENTS".....	106
CONCLUSION.....	106
COMMENT AMÉLIORER L'ISOLATION ACOUSTIQUE ?	107

Pour tout complément, voir les magazines du CSTC concernant l'isolation acoustique des fenêtres :

- 1^{er} trimestre 1998 : application de la norme EN ISO 717 : 1996 - 1^{ère} partie [CSTC-98-1] qui reprend les performances acoustiques du vitrage ;
- 3^e trimestre 1998 : application de la norme EN ISO 717 : 1996 - 2^e partie [CSTC-98-2] qui reprend l'isolation aux bruits aériens des fenêtres, des blocs de verre et des différents types de plaques en polycarbonate + problématique des surfaces inclinées.

Se référer également aux normes :

- NBN EN ISO 717-1 « Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 1: Isolement aux bruits aériens » [IBN -13-1]
- NBN EN ISO 717-2 « Acoustique - Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction - Partie 2: Protection contre le bruit de choc » [IBN -13-2]
- NBN S 01-400-1 « Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation » [IBN -08]
- NBN S 01-400-2 « Critères acoustiques pour les bâtiments scolaires » [IBN -12]

LE BRUIT

DÉFINITION

Le bruit est un ensemble de sons. Chacun des bruits (souvent parasites) est caractérisé par un niveau et une tonalité.

Il existe différents types de bruits : les bruits aériens (par exemple: bruits de fond, bruits de trafic) et les bruits d'impact (particuliers aux vitrages inclinés).

D'un point de vue de la tonalité, le bruit émis par la circulation n'est pas partout le même.

En effet, un trafic à circulation rapide n'a pas la même tonalité que le bruit grave d'un moteur d'autobus ou du trafic urbain plus lent.

Ce paramètre a un rôle considérable car il est beaucoup plus difficile, dans la pratique, de réaliser une isolation aux sons graves.

NIVEAUX DE L'AMBIANCE SONORE RÉSULTANT DES ACTIVITÉS

- Selon le contexte urbanistique : c'est-à-dire selon qu'il s'agisse d'une zone rurale, d'une zone de séjour récréatif, d'une zone résidentielle, etc. et selon le moment de la journée, un certain niveau de bruit est habituellement rencontré (voir tableau ci-contre).

En effet, par exemple, une habitation implantée en pleine zone industrielle devra souffrir de conditions moins confortables que si elle était implantée en zone rurale.

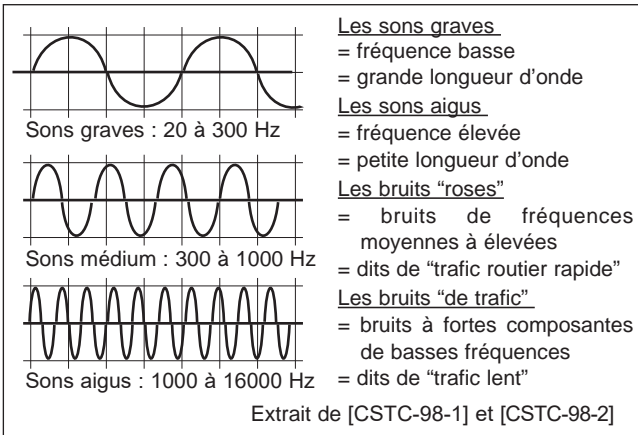
BRUIT ADMISSIBLE ET CONFORT À L'INTÉRIEUR

- Suivant le type d'activités intérieures : des niveaux sonores maxima résultant de l'interférence de différents bruits ont été établis comme limite supérieure acceptable pour le confort acoustique des occupants.

La nécessité de confort à l'intérieur dépend des fonctions des locaux (niveaux de pression acoustique à ne pas dépasser).

LOCAUX	NIVEAUX DE PRESSION ACOUSTIQUE [dB]
Chambres, bibliothèques	20 à 30
Appartements, locaux de séjour	20 à 40
Ecoles	25 à 40
Salles de cinéma et de conférences	30 à 40
Bureau individuel	30 à 45
Bureau collectif	40 à 50
Salle de dactylographie, grands magasins, restaurants	45 à 55

NIVEAUX DE PRESSIONS ACOUSTIQUES ADMISSIBLES À L'INTÉRIEUR DES LOCAUX



VALEURS INDICATIVES DE NIVEAU DE L'AMBIANCE SONORE MESURÉE A L'AIR LIBRE [dB(A)] (ZONES D'ACTIVITÉS EXTERIEURES)	de jour	en soirée	de nuit
1. Zones rurales et zones de séjour récréatif, à l'exception des zones reprises aux points 2, 3 et 8.	40	35	30
2. Zones résidentielles, zones rurales (excepté les zones tampons) et zones de loisirs situées à moins de 500 m d'une zone industrielle non citée au point 3 ou d'une zone d'équipements collectifs ou d'utilité publique.	50	45	45
3. Zones résidentielles, zones rurales (excepté les zones tampons), zones de séjour récréatif à moins de 500 m d'une zone d'activités artisanales, d'une zone de PME, d'une zone de services ou d'une zone d'exploitation pendant la période d'activité.	50	45	40
4. Zones résidentielles, excepté celles reprises aux points 2 et 3.	45	40	35
5. Zones industrielles, zones de services, zones d'équipements collectifs ou d'utilité publique et zones d'exploitation pendant la période d'activité.	60	55	55
6. Zones de loisirs, à l'exception de celles reprises au point 2, et zones de séjour récréatif.	50	45	40
7. Autres zones, à l'exception des zones tampons, domaines militaires et zones auxquelles s'appliquent des valeurs indicatives fixées par décret particulier.	45	40	35
8. Zones tampons.	55	50	50
VALEURS INDICATIVES DE NIVEAU DE L'AMBIANCE SONORE MESURÉE A L'INTÉRIEUR [dB(A)] (ZONES D'ACTIVITÉS INTÉRIEURES)	de jour	en soirée	de nuit
1. Zones rurales et zones de séjour récréatif.	30	25	25
2. Zones industrielles, zones de services, zones d'équipements collectifs ou d'utilité publique et zones d'exploitation pendant la période d'activité.	33	28	28
3. Zones résidentielles et autres zones, à l'exception de celles citées aux points 1 et 2.	33	28	28

VALEURS INDICATIVES DE NIVEAU DE L'AMBIANCE SONORE RÉSULTANT DES ACTIVITÉS

L'ISOLATION ACOUSTIQUE

Source de bruit	Type "trafic rapide" $R_W + C$	Type "trafic lent" $R_W + C_{tr}$
Jeux d'enfants		
Activités domestiques (conversations, musique, radio, télévision)		
Musique de discothèque		
Trafic routier rapide (> 80 km/h)		
Trafic routier lent (p.ex. : trafic urbain)		
Trafic ferroviaire de vitesse moyenne à rapide		
Trafic ferroviaire lent		
Trafic aérien (avions à réaction) de courte distance		
Trafic aérien (avions à réaction) de longue distance		
Avions à hélices		
Entreprises produisant un bruit de moyennes et hautes fréquences		
Entreprises produisant un bruit de moyennes et hautes fréquences		

TABLEAU PERMETTANT LE CHOIX DU TYPE DE BRUIT REPRÉSENTÉ PAR L'INDICATEUR À VALEUR UNIQUE ($R_W + C$ OU $R_W + C_{tr}$) SELON LA NORME EN ISO 717-1 [CSTC-98-1] [CSTC-98-2]

L'enveloppe doit présenter une résistance acoustique pour respecter le niveau de bruit admissible à l'intérieur.

La résistance d'un mètre carré d'un élément de construction contre le passage du bruit aérien se caractérise par un spectre d'indices d'affaiblissement.

L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE PONDÉRÉ R_W

Une information plus abrégée est donnée par l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré R_W (indicateur à valeur unique) et les termes d'adaptation spectrale (C ; C_{tr}) qui adaptent la performance en fonction du bruit à l'émission.

Ainsi, pour faire un tri de performances acoustiques entre différents éléments, il faut connaître le type de source dont on désire s'isoler.

Le classement se fera alors grâce au tableau ci-contre.

$R_W + C$ dans le cas où la source émet du bruit de moyennes et hautes fréquences comme, par exemple, celui du trafic routier rapide ;

$R_W + C_{tr}$ lorsqu'il provient d'une source de bruit de basses fréquences comme, par exemple, celui du trafic urbain lent.

Pour atténuer une trop forte transmission directe des bruits extérieurs aériens, l'enveloppe doit offrir le plus de résistance possible au passage d'air.

Pour éviter la vibration de l'air intérieur sous l'effet des bruits extérieurs, deux systèmes peuvent être utilisés :

- une masse importante de l'enveloppe ;
- une enveloppe, constituée de parties de masses (de préférence différentes) non-solidarisées ou solidarisées le moins possible (p.ex. par des attaches amortissant les vibrations), pouvant être complétée d'une matière absorbant les sons, interposée entre ses deux parties.

LA BAIE ET L'ISOLATION ACOUSTIQUE

Les fenêtres constituent en général un maillon faible dans l'isolation aux bruits aériens des façades et des toitures. Dès lors, l'isolement acoustique D_{Atr} connu peut être relié à la performance des composants de la façade et plus particulièrement, à celle des menuiseries (et des dispositifs de ventilation), parties dont l'indice d'affaiblissement acoustique R_{Atr} est inférieur à celui des parois opaques.

Leurs performances acoustiques dépendront :

- du type de vitrage ;
- de l'étanchéité acoustique entre ouvrant et dormant et entre menuiserie et façade ;
- du type de châssis, de leur montage et verrouillage ;
- des accessoires (grilles de ventilation, volets...) ;

NIVEAU DE BRUIT L_A (dB) DEVANT LE PAN DE FAÇADE	ISOLEMENT ACOUSTIQUE D_{Atr} (dB) NÉCESSAIRE	
	CONFORT ACOUSTIQUE NORMAL	CONFORT ACOUSTIQUE SUPÉRIEUR
50	26	30
55	26	30
60	26	30
65	31	35
70	36	40
75	41	45

REMARQUE

L'isolation acoustique à atteindre d'après la norme NBN S01-400-1 [IBN -08] concerne la performance de l'ensemble de la façade et non pas des matériaux mis en œuvre en tant que tels. Afin de respecter un confort acoustique normal ou supérieur, la norme impose l'isolement acoustique D_{Atr} qui est fonction du niveau de pression acoustique L_A pour chaque pan de façade (voir tableau ci-dessous). Les valeurs exigées pour l'isolement acoustique sont augmentées de 3 dB dans les cas de locaux soumis au bruit de deux pans de façades munis chacun de menuiseries extérieures.

- du type et de la qualité des raccords entre le vitrage, les grilles de ventilation, les panneaux opaques et la menuiserie, etc. ;
- de l'absorption et de l'amortissement aux bords du vitrage et du châssis ;
- de l'angle d'incidence du bruit ;
- du type de bruit.

LE VITRAGE

Les performances acoustiques R_{Atr} des vitrages sont données dans le tableau ci-contre.

TYPE DE VITRAGE	COMPOSITION	R_w (C ; C_{tr})	R_{Atr} ou $R_w + C_{tr}$
Simple	4	32 (-1; -2) dB	30 dB
	6	34 (-1; -2) dB	32 dB
	8	35 (-1; -3) dB	32 dB
	10	37 (-1; -2) dB	35 dB
Feuilleté non acoustique	33.2	33 (-1; -2) dB	31 dB
	44.2	35 (-1; -3) dB	32 dB
	66.2	39 (-1; -4) dB	35 dB
Feuilleté acoustique	33.2A	36 (0; -3) dB	33 dB
	44.2A	37 (0; -2) dB	35 dB
	66.2A	40 (-1; -3) dB	37 dB
Double symétrique	4-12-4	30 (0; -3)	27 dB
	4-15-4	29 (-1; -4) dB	25 dB
	4-16-4	30 (-1; -3) dB	27 dB
	6-12-6	33 (-1; -3) dB	30 dB
Double asymétrique	6-15-4	34 (-1; -4) dB	30 dB
	6-16-4	35 (-2; -5) dB	30 dB
	6-15-10	38 (-1; -4) dB	34 dB
	6-20-10	37 (-1; -2) dB	35 dB
Double feuilleté une face	6-15-55.02	39 (-1; -4) dB	35 dB
	4-16-44.2	37 (-2; -6) dB	31 dB
	6-20-55.2	42 (-1; -5) dB	37 dB
Double feuilleté acoustique	8-15-66.2A	43 (-2; -3) dB	39 dB
	8-15-44.2A	41 (-2; -6) dB	35 dB
	10-20-44.2A	45 (-1; -4) dB	41 dB
	12-20-66.2A	45 (-1; -3) dB	42 dB
Double 2x feuilleté acoustique	66.2A-20-44.2A	50 (-2; -8) dB	42 dB
	66.2A-15-88.2A	51 (-1; -4) dB	47 dB
Triple	4-16-4-16-4	32 (-2; -5) dB	27 dB
Triple feuilleté acoustique	6-12-4-12-44.1A	42 (-1; -5) dB	37 dB
Triple 2x feuilleté acoustique	44.1A-12-4-12-44.1A	47 (-2; -6) dB	41 dB
	66.1A-12-6-12-44.1A	50 (-2; -6) dB	44 dB

PERFORMANCES EN TERME D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE DE VITRAGES, EXPRIMÉS À L'AIDE DE L'INDICATEUR À VALEUR UNIQUE [CSTC-98-1] [CSTC-98-2]

LE SIMPLE VITRAGE

Les performances acoustiques obtenues en laboratoire augmentent généralement avec l'épaisseur du verre :

- pour les bruits de basse fréquence ($R_w + C_{tr}$) : l'isolation acoustique aux bruits aériens oscille entre 30 dB (verre 4 mm) et 37 dB (verre 19 mm) ;
- pour les autres bruits (moyenne et haute fréquence ($R_w + C$) : l'isolation acoustique atteint 31 dB et 39 dB (verre 4 et 19 mm) dépassant de 1 à 2 dB les valeurs $R_w + C_{tr}$.

LE DOUBLE VITRAGE

• Le double vitrage thermique standard présente une faible isolation acoustique dans le domaine des basses fréquences, car la fréquence de résonance du système masse-ressort-masse se situe autour de 200 Hz (domaine acoustique important).

Pour un double vitrage thermique standard :

- *Bruits de basse fréquence ($R_w + C_{tr}$)* : l'isolation acoustique aux bruits aériens oscille entre 26 dB (DV 4-12-4) et 34 dB (DV 10-15-6).
- *Bruits de moins basse fréquence ($R_w + C$)* : l'isolation acoustique atteint 31 dB (DV 4-12-4) et 37 dB (DV 10-15-6) dépassant de 1 à 3 dB les valeurs $R_w + C_{tr}$.

Le vitrage simple lourd présente des performances supérieures dans les basses fréquences (trafic de ville) ; le vitrage double est meilleur dans les moyennes fréquences et les fréquences aiguës (trafic rapide).

En effet, le double vitrage 4-12-4 possède l'indice d'affaiblissement acoustique corrigé R_{Atr} le plus faible du tableau ($R_{Atr} = 26$ dB), même s'il est comparé à un simple vitrage de 4 mm ($R_{Atr} = 30$ dB). L'origine de ce phénomène est la chute de l'isolement acoustique à la fréquence de résonance qui, pour le double vitrage, est située dans le domaine des fréquences sensibles à l'ouïe humaine. Augmenter l'épaisseur de la lame entre vitrages et des vitrages eux-mêmes réduit cette chute d'isolement acoustique.

L'isolement acoustique des vitrages chute également à une fréquence de vibration, appelée fréquence critique du verre. Elle est localisée dans le même domaine que

la fréquence de résonance. Une solution pour pallier à ce phénomène est d'utiliser des feuilles de verre asymétriques, c'est-à-dire d'épaisseurs différentes. Par exemple, on note une différence de 2 dB en passant d'un double vitrage 6-12-6 à un double vitrage 8-20-5.

- Le double vitrage avec gaz spécial présente une bonne isolation acoustique dans le domaine des fréquences moyennes et hautes. Par contre ce type de vitrage n'apporte aucun bénéfice supplémentaire et est même défavorable pour l'affaiblissement acoustique des bruits de basses fréquences.
- Le vitrage feuilleté (simple, double ou triple vitrage) à base de résine coulée ou de PVB acoustique (PVB(A)) présente des performances acoustiques supérieures à celles d'un vitrage feuilleté avec des feuilles de PVB type retardateur d'effraction. Le vitrage feuilleté acoustique limite la chute d'isolement à la fréquence critique.
- Le triple vitrage présente un avantage et un inconvénient d'un point de vue acoustique : il possède plus de masse de verre et une épaisseur de vide restreinte. L'indice d'affaiblissement acoustique d'un triple vitrage est faible (R_{Atr} vaut 27 dB pour le vitrage 4-16-4-16-4) sauf s'il est doté d'un film de type PVB(A) sur l'une des feuilles de verre ($R_{Atr} = 41$ dB pour le vitrage 44.1A-12-4-12-44.1A).
- Le vitrage Rf présente de bonnes performances acoustiques.

LES PLASTIQUES

Les plastiques (polycarbonates) ne présentent pas de bonnes performances en terme d'isolation acoustique. De plus, ils sont sujets au phénomène de dilatation pouvant occasionner des bruits de "craquement" et doivent être mis en oeuvre avec des types de joint adéquat.

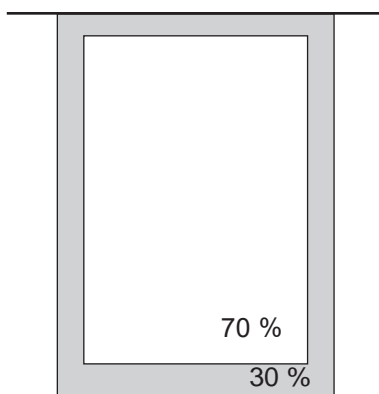
L'ÉTANCHÉITÉ

Sans une bonne étanchéité à l'air, les performances acoustiques chutent d'une façon remarquable.

Cela implique un soin tout particulier à la conception et à la réalisation des joints périphériques entre le châssis et le gros-oeuvre et des joints internes au châssis proprement dit ainsi qu'à ses protections éventuelles.

Les systèmes OAR tels que les grilles de ventilation présentes dans le châssis diminuent la performance acoustique de la fenêtre. Dans les situations où les performances acoustiques doivent être élevées, il est préférable d'éviter ce type de système. Par contre, des aérateurs munis d'un absorbant acoustique augmentent les performances acoustiques R_{Atr} .

LE TYPE DE CHÂSSIS



Pour des châssis traditionnels neufs (étanches à l'air), l'indice d'affaiblissement acoustique R_{Atr} de l'ensemble de la fenêtre est égal ou supérieur à celui du vitrage seul, jusqu'à une valeur d'environ 33 dB. Au-delà de cette valeur, le châssis peut détériorer l'indice d'affaiblissement acoustique de la fenêtre, et la valeur résultante de l'ensemble peut s'avérer plus faible que celle du vitrage seul. Il convient donc d'être certain que le profilé du châssis soit capable de maintenir la performance du vitrage, ce dont on peut s'assurer notamment par un rapport d'essai acoustique en laboratoire mentionnant la valeur du R_{Atr} de l'ensemble châssis-vitrage [CSTC-11].

LES "ACCESSOIRES" ET LES "COMPLÉMENTS"

L'influence d'un volet sur l'isolation acoustique de la fenêtre peut être aussi bien positive que négative.

En effet, le volet baissé apporte une protection supplémentaire qui constitue avec le vitrage une double barrière, augmentant ainsi l'isolation acoustique.

Cette amélioration en terme de performance acoustique est sensible d'autant plus que la distance entre le volet et la fenêtre est suffisamment grande.

En théorie une distance de 10 cm (au lieu des 5 cm habituels) entre les rails de guidage et la fenêtre permet de meilleures performances acoustiques.

Par contre, les caisses intérieures à volet sont sensibles au passage des bruits.

CONCLUSION

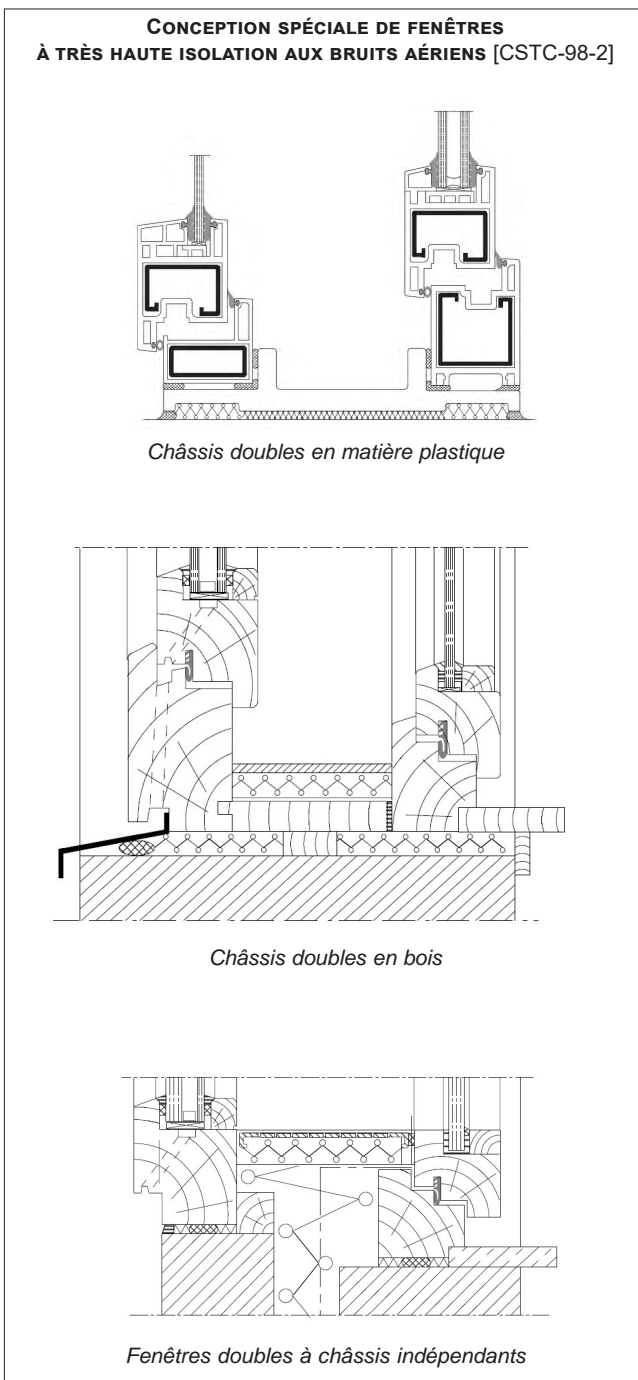
Les fenêtres (châssis et vitrages) dotées d'une haute isolation acoustique sont de plus en plus nombreuses sur le marché. L'isolation de ces dernières dépend fortement de l'élément le moins performant ; il est dès lors nécessaire de porter une attention particulière sur chaque constituant à savoir : le châssis, le vitrage et le caisson à volet.

Les points à étudier dans un caisson à volet sont les suivants : ouverture de passage du volet dans le coffre, l'utilisation de matériaux légers, le passage de la sangle et le raccord avec la structure souvent peu étanche à l'air. Ils sont fonction du matériau mis en œuvre pour la réalisation du châssis :

- Châssis en bois : un caisson en bois est généralement constitué de panneaux en bois légers. Pour atteindre des performances acoustiques élevées, une solution est d'alourdir les panneaux à l'aide d'autres panneaux plus lourds ou de les remplacer, de combler l'intérieur du caisson par de la laine minérale et de remplacer la sangle manuelle par un système motorisé.

- Châssis en aluminium et en PVC : les recommandations sont identiques aux châssis en bois. Une autre solution est la substitution du caisson existant par un caisson acoustique, qui est constitué de panneaux légers doublés à l'intérieur par des feuilles composés de matériaux lourds. Un absorbant souple tel que la mousse à cellules ouvertes est intégré dans le caisson dans le but de limiter l'effet de résonance. Le système motorisé évite l'emploi de la sangle manuelle et donc les risques de pont phonique.

COMMENT AMÉLIORER L'ISOLATION ACOUSTIQUE ?



L'isolation acoustique peut être améliorée par :

- l'utilisation de vitrages relativement épais avec une lame d'air importante : ceci est une des seules manières d'obtenir une très bonne isolation acoustique. Ce sont les vitrages asymétriques lourds, feuilletés avec un PVB(A) et séparés par un espace le plus grand possible qui possèdent la meilleure performance acoustique ;
- le choix judicieux des dispositifs de ventilation y compris les grilles de ventilation maîtrisée ;
- le recours aux fenêtres doubles, telles qu'illustrées ci-contre apporte une des meilleures réponses au niveau acoustique. Cette solution était préconisée il y a quelques années quand un indice d'affaiblissement élevé (de l'ordre de 45 dB) était requis. Actuellement, il existe des fenêtres ouvrantes atteignant ces valeurs évitant ainsi de devoir recourir à ces doubles châssis.

Concernant les bruits d'impact de pluie et de grêle, quel que soit le vitrage, il n'offre pas de protection phonique mais constitue une source de nuisance, car les feuilles de verre mises en vibration par l'impact de la pluie ou de la grêle rayonnent le bruit dans l'espace qu'elles surplombent. Pour y remédier, il faut doubler le vitrage en toiture (verre ou plastique) par une seconde paroi intérieure translucide.

ANNEXE 3

LA SÉCURITÉ

LE BESOIN DE SÉCURITÉ	108
LA SENSATION DE SÉCURITÉ	109
LES PRODUITS VERRIERS.....	109
LA SÉCURITÉ À L'EFFRACTION	109
LES REMÈDES.....	109
LES VITRAGES.....	110
LES OUVRANTS.....	110
LA SÉCURITÉ AU FEU	111
LE COMPORTEMENT DES PRODUITS VERRIERS	112
<i>Caractérisation de la résistance au feu</i>	112
LA PROTECTION CONTRE LES BLESSURES ET LES CHUTES	114
LE CHOIX DES VITRAGES.....	114

LE BESOIN DE SÉCURITÉ

Le besoin de sécurité est un des premiers motifs qui ont amené l'homme à construire. L'enveloppe externe lui fournit cette protection.

Les éléments de l'enveloppe doivent être suffisamment solides, résister à un démantèlement rapide ou silencieux et répondre à certaines conditions pour éviter certains dégâts en cas de bris.

Les ouvertures restent des points sensibles et propices à l'effraction. Leur implantation doit permettre un contrôle efficace et prévoir un éclairage naturel ou artificiel adéquat.

Dans ce cas, il faut :

- prévoir du verre feuilleté (si vitrage multiple : le verre intérieur est en verre feuilleté) ;
- prévoir du verre armé dans le cas d'un simple vitrage (le verre armé ne peut être utilisé dans un vitrage multiple car les contraintes thermiques induites par la composition peuvent provoquer le bris par choc thermique et la corrosion de l'armature). Ce type de vitrage devient de plus en plus rare car il ne présente pas de bonne performance thermique ;

- éviter le verre recuit et le verre trempé pour les vitrages simples et pour la feuille intérieure d'un vitrage double. Dans certains cas particuliers, on cherche également à protéger les locaux des regards en empêchant la vue vers l'intérieur. Pour ce faire, on modifie la transparence du vitrage par adjonction de films, par sablage ou par modification de la structure. Si la protection ne peut pas être permanente, on utilise des écrans amovibles (voir le chapitre sur les protections solaires).

LA SENSATION DE SÉCURITÉ [CSTC-93]

LES PRODUITS VERRIERS

De nombreux produits verriers offrent des possibilités dans ce domaine :

Lors d'un bris, le film PVB (ou polyvinyle de butyral) constitue une armature sur laquelle les éclats de verre sont retenus, permettant ainsi au vitrage d'assurer une protection résiduelle avant son remplacement.

- les verres translucides et/ou colorés : verre imprimé, verre feuilleté avec PVB mat ou coloré, briques en verre, verre maté à l'acide ou au sable, verre opalin (= verre teinté blanc dans la masse), verres émaillés ou sérigraphiés, verres teintés dans la masse, verres profilés en U translucides ;
- les doubles vitrages avec stores intégrés ;
- les verres réfléchissants : ils protègent partiellement un local contre la vue, pour autant que celui-ci soit moins éclairé que l'ambiance extérieure à ce local ;
- les vitrages chromogènes à cristaux liquides : il s'agit de vitrages comprenant des cristaux liquides dont l'orientation peut être modifiée sous l'action d'un champ électrique ; en fonction de cette orientation, la vue au travers du vitrage est possible ou non ;
- les miroirs-espions : ils permettent la vision dans un seul sens, dans le but d'observer sans être vu soi-même. De tels vitrages, qui présentent un aspect particulier, sont obtenus en utilisant un verre à couche à très faible transmission lumineuse et en veillant à ce que les sources de lumière soient nettement plus faibles et diffuses du côté "espion" que du côté à observer.

LA SÉCURITÉ À L'EFFRACTION

LES REMÈDES

Les remèdes pour lutter contre l'effraction sont multiples et peuvent même se compléter.

Il faut prévoir :

- un vitrage anti-effraction ou retardateur d'effraction ;
- des profilés de résistance et de rigidité adaptées aux sollicitations ;
- une fixation au gros-oeuvre adaptée et de caractéristiques suffisantes ;
- une fixation adaptée des parclofes ;
- une quincaillerie ralentissant l'effraction, c'est-à-dire qu'elle doit être résistante et ne pas être facilement accessible ni démontable de l'extérieur.

LES VITRAGES

Les aspects principaux du vitrage en ce qui concerne la protection contre l'effraction sont :

- le type de vitrage : épaisseur et nombre de films PVB ;
- la pose du vitrage : le vitrage feuilleté est placé du côté intérieur du bâtiment dans le but de protéger les occupants des bris de vitre ;
- la fixation des parcloles : ces parcloles doivent avoir une interface suffisamment grande avec le cadre et être placées du côté intérieur pour empêcher leur démontage par l'extérieur.

Les châssis fixes sont les plus sûrs en matière d'effraction.

Il faut également se référer à la NBN EN 356 « Verre dans la construction - Vitrage de sécurité - Mise à essai et classification de la résistance à l'attaque manuelle » qui spécifie les prescriptions et les méthodes d'essai relatives au vitrage de sécurité conçu pour résister aux attaques en retardant l'accès des objets et/ou des personnes à un espace protégé pendant une courte période.

Cette norme classe les produits verriers de sécurité en fonction de leur résistance aux agressions. Dans cette norme européenne, les catégories de résistance n'ont pas été attribuées à des applications particulières. Il convient que le choix des catégories soit effectué par l'utilisateur au cas par cas, après consultation d'un expert si nécessaire.

NOTE 1 : Il convient d'installer les produits verriers de sécurité dans un cadre qui peut présenter une résistance appropriée aux attaques et qui fournit également un support adapté au vitrage de sécurité.

NOTE 2 : Il convient d'éviter, si possible, les entailles et les trous dans les produits verriers de sécurité, dans la mesure où ceux-ci peuvent modifier la résistance du produit. La norme NBN EN 356 concerne uniquement la résistance mécanique aux attaques.

CLASSE DE RÉSISTANCE ENV 1627	TYPES D'ATTAQUE
1	Un cambrioleur occasionnel essaie d'ouvrir la fenêtre, la porte ou la fermeture en utilisant la violence physique, par exemple coup de pied, coup d'épaulé, soulèvement, arrachement.
2	Le cambrioleur occasionnel essaie en plus d'ouvrir la fenêtre, la porte ou la fermeture en utilisant des outils simples, par exemple tournevis, pince coins.
3	Le cambrioleur essaie d'entrer en utilisant 2 tournevis, ou plus, et un pied de biche.
4	Le cambrioleur expérimenté utilise en plus des outils tels que scie, marteau, hache, ciseau, burin, perceuse électrique portative à batterie.
5	Le cambrioleur expérimenté utilise en plus des outils électriques, par exemple perceuse, scie sauteuse et sabre, meuleuse d'angle avec disque de diamètre maximum 125 mm.
6	Le cambrioleur expérimenté utilise, en plus, des outils électriques puissants, par exemple, perceuse, scie sauteuse et sabre, meuleuse d'angle avec disque de diamètre maximum 230 mm.

Voir en p. 63 de ce ouvrage le tableau établissant les degrés de protection anti-effraction et les recommandations du nombre de couches PVB à utiliser, étant entendu que c'est l'ensemble vitrage et menuiserie qui assure la protection anti-effraction (épaisseur de chaque feuille de PVB : 0,38 mm).

LES OUVRANTS

Par contre, dans le cas des châssis ouvrants, il faut adopter certaines mesures particulières, qui varient en fonction des possibilités d'ouvertures :

- fenêtre à ouvrant traditionnel (simple ou double), oscillo-battant, porte-fenêtre : prévoir une poignée verrouillable, une protection antiforage, une quincaillerie freinant l'intrusion ;
- fenêtre à guillotine : nécessité de poser un verrou ;
- fenêtre pivotante et basculante : prévoir une fermeture centrale ;
- fenêtre tombante : prévoir un entrebâilleur, éventuellement à garniture classique ;
- porte-fenêtre : à protéger comme de grands oscillo-battants ;

- **fenêtre coulissante** : prévoir une poignée verrouillable, une protection antiforage, une quincaillerie freinant l'intrusion (comme un verrou, par exemple).

En règle générale, les premiers châssis fractionnés sont les portes et fenêtres ouvrantes à l'abri des regards. Les fenêtres coulissantes présentent une bonne résistance à l'effraction et ne sont pas souvent ciblées par les intrus.

LA SÉCURITÉ AU FEU

Le bâtiment est éventuellement divisé en compartiments, regroupant un ensemble de locaux et délimités par des parois dont la fonction est d'empêcher, pour une durée déterminée, la propagation d'un incendie au(x) compartiment(s) contigu(s).

L'enveloppe de chaque compartiment doit être conçue de façon à empêcher, durant une période définie, un incendie de se propager aux autres compartiments ou aux bâtiments voisins.

Ceci implique une bonne résistance au feu des parois (murs, planchers, plafonds) adjacentes aux autres compartiments et une bonne réaction au feu des matériaux de revêtement, pour limiter la vitesse de développement d'un incendie.

Il faut donc bien distinguer deux notions, à savoir la résistance au feu et la réaction au feu :

- **La résistance au feu (R_f)** d'un élément de construction est le temps exprimé en minutes pendant lequel un élément de construction satisfait simultanément aux critères suivants :
 - *Stabilité* : temps pendant lequel l'élément conserve sa fonction portante (pour les éléments à fonction portante).
 - *Étanchéité aux flammes* : temps pendant lequel il n'y a pas de flamme qui passe du côté de la paroi non exposée (pour les éléments à fonction de séparation).
 - *Isolation thermique* : temps pendant lequel la température n'augmente pas au-dessus d'un certain seuil thermique du côté non exposé.
- **La réaction au feu** est l'ensemble des propriétés d'un matériau de construction considérées en relation avec la naissance et le développement d'un incendie. Les matériaux peuvent être qualifiés d'inflammables (« tendance d'un matériau à dégager des gaz susceptibles de produire des flammes (suivant essai normalisé) »), de non-combustibles ou combustibles (« tendance d'un matériau à transmettre la chaleur en fonction de l'échauffement »). La réaction au feu porte sur un matériau qui compose un élément de construction, et caractérise son aptitude à alimenter le feu.

La nouvelle classification européenne de résistance au feu définit les 3 performances suivantes (selon la NBN EN 13501-2) :

R : capacité portante ;
E : étanchéité au feu ;
I : isolation thermique.

Les classes sont exprimées comme suit :

- Pour les éléments porteurs :
 - o REI t : t étant la période durant laquelle tous les critères (capacité portante, étanchéité et isolation) sont satisfaits ;
 - o RE t : t étant la période durant laquelle les critères de capacité portante et d'étanchéité sont satisfaits ;
 - o R t : t étant la période durant laquelle le critère de capacité portante est satisfait.
- Pour les éléments non-porteurs :
 - o EI t : t étant la période durant laquelle les critères d'étanchéité et d'isolation sont satisfaits ;
 - o E t : t étant la période durant laquelle le critère d'étanchéité est satisfait.

La période « t » est exprimée en minutes. Par exemple, un poteau stable au feu durant une heure sera dénommé R60.

LÉGISLATION : CE QU'IL FAUT SAVOIR

NORMES DE BASE (III) : BÂTIMENTS MOYENS ET ÉLEVÉS

Selon l'Arrêté royal du 12 juillet 2012 modifiant l'arrêté royal du 7 juillet 1994 fixant les normes de base en matière de prévention contre l'incendie et l'explosion, auxquelles les bâtiments nouveaux doivent satisfaire (Moniteur belge du 21 septembre 2012)

Si les façades vitrées du bâtiment dominant des constructions faisant ou non partie de ce bâtiment :

1. Soit les toitures de ces constructions satisfont aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

Les lanterneaux, aérateurs, exutoires de fumée ou ouvertures éventuels qui n'ont pas la résistance au feu requise, placés dans le toit sur une distance de 5 mètres, satisfont aux conditions suivantes :

- Leur superficie totale n'est pas plus grande que 100 cm².
- Lorsque leur superficie totale dépasse 100 cm², ces ouvertures sont séparées des ouvertures dans les façades par un élément de construction qui satisfait aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

2. Soit les façades du bâtiment satisfont aux conditions suivantes :

Hauteur mesurée à partir de la toiture, b	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
b < 3 m	EI 60 (i ← O)	EI 120 (i ← O)
3 m < b < 8 m	E 60 (i ← O)	E 120 (i ← O)

Si des fenêtres, aérateurs, exutoires de fumées ou ouvertures qui n'ont pas la résistance au feu requise sont aménagés dans la façade sur une hauteur de 8 m, il est satisfait aux conditions suivantes :

- Leur superficie totale n'est pas plus grande que 100 cm².
- Lorsque leur superficie totale dépasse 100 cm², ces ouvertures sont séparées des ouvertures dans la toiture par un élément de construction satisfaisant aux conditions suivantes :

Distance horizontale à partir des façades, a	Exigences en matière de résistance au feu	
	Bâtiments moyens BM	Bâtiments élevés BE
a < 1 m	EI 60	EI 120
1 m < a < 5 m	E 60	E 120

LE COMPORTEMENT DES PRODUITS VERRIERS

Les différents produits verriers vont se comporter de façon très différentes face au feu :

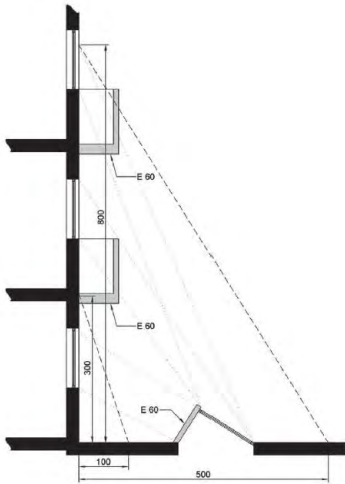
- Les vitrages simple, feuilleté avec PVB ou résine et les doubles vitrages
Ils n'offrent pas une résistance au feu correcte, car ils se brisent par choc thermique lors d'une hausse brusque de température (dès 30°C). Le taux de casse du verre recuit passe à environ 50 % si l'écart de température atteint 60°C.
- Le verre armé
Il se brise mais reste en place grâce au treillis métallique, et garde sa transparence ; les fissures en viennent même à se ressouder dès que la température de ramollissement est atteinte. Les flammes ne passent que lorsque le fluage est devenu tel que le verre sort de la battée supérieure.
- Le verre trempé
Il peut résister jusqu'à des températures de l'ordre de 200°C.
- Le verre feuilleté avec gel aqueux
En cas d'incendie, le gel aqueux se transforme sous l'action de la chaleur et libère de la vapeur d'eau ; le gel devient alors opaque et forme un écran isolant.
- Le verre feuilleté avec intercalaire intumescent
En cas d'incendie, l'intercalaire gonfle sous l'effet de la chaleur et se transforme en une mousse isolante opaque qui réduit les échanges par convection et absorbe quasi intégralement le rayonnement.

Plus le nombre de couches augmente, plus **la résistance au feu du vitrage** s'améliore.

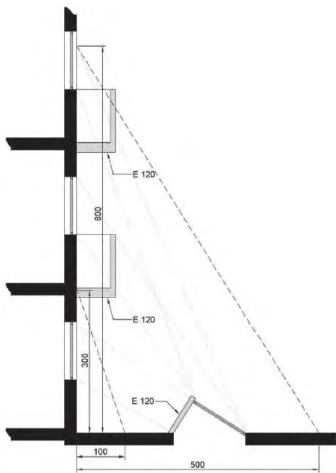
CARACTÉRISATION DE LA RÉSISTANCE AU FEU

La résistance au feu est définie en termes de :

- Capacité portante R : aptitude d'un élément de construction à résister à l'exposition au feu, sur une ou plusieurs faces, pour une période de temps, sans aucune perte de stabilité structurelle.
- Étanchéité E : aptitude d'un élément de construction remplissant une fonction de séparation, à résister à l'exposition au feu sur une face seulement, sans passage de feu au côté opposé au feu, causant par là l'inflammation de la surface opposée au feu ou de tout matériel adjacent à cette surface.
- Rayonnement W : aptitude d'un élément de construction remplissant une fonction de séparation, à résister à l'exposition au feu sur une face seulement, pour une période de temps durant laquelle la quantité de chaleur rayonnée, mesurée à la surface du vitrage, est inférieure à un niveau défini.
- Isolation I : aptitude d'un élément de construction rem-



BÂTIMENTS MOYENS



BÂTIMENTS ÉLEVÉS

plissant une fonction de séparation :

- d'une part, à résister à l'exposition au feu sur une face seulement, sans passage de feu résultant de la conduction significative de la chaleur, de la face exposée au feu vers la face non exposée au feu, causant de ce fait l'inflammation de la surface non exposée au feu ou de tout matériel en contact avec cette surface ;
- d'autre part, à procurer un bouclier suffisant contre la chaleur, pour protéger les personnes proches de l'élément de construction pendant la durée correspondant à celle définie pour la classe concernée.

- **Passage de fumée S** : aptitude d'un élément de construction à diminuer le passage de gaz chauds et/ou froids, ou de fumée d'une face à l'autre.
- **Fermeture automatique C** : aptitude d'un élément de construction à fermer automatiquement une ouverture en cas de feu et/ou de fumée.

Par ailleurs, la norme NBN EN 357 donne, d'une part, la liste des normes selon lesquelles les essais de résistance au feu doivent être réalisés et, d'autre part, les combinaisons de classes de résistance permises pour des ensembles vitrés placés dans des murs, planchers, toitures, cloisons, portes, façades-rideaux et murs extérieurs, portes palières d'ascenseurs, faux-plafonds et ensembles vitrés inclinés et horizontaux.

Sur la base des performances obtenues selon les essais normalisés sur des échantillons d'éléments vitrés, une ou plusieurs classes de résistance sont accordées à ces éléments vitrés ; les classes sont exprimées par la/les lettre(s) représentant la/les exigences(s) suivie(s) du temps de performance correspondant, exprimé en minutes (ou en fraction d'heure).

L'ancienne réglementation belge définissait 5 classes de **réaction au feu**, mettant l'accent sur l'inflammabilité et la vitesse de propagation du feu : classes A0 (matériaux incombustibles), A1, A2, A3 ou A4.

La nouvelle classification européenne distingue désormais 7 classes principales suivant la NBN EN 13501-1 :

- les classes A1 et A2 pour les produits incombustibles ou à combustion très limitée,
- les classes B, C, D et E pour les produits combustibles,
- la classe F pour les produits non classés ou produits qui ont échoué à l'essai le moins sévère.

Outre ces 7 classes principales, des indices complémentaires tels que la fumée des revêtements de sol (s1 et s2) et la formation de gouttelettes et particules en feu (d) sont définis.

LA PROTECTION CONTRE LES BLESSURES ET LES CHUTES

Lors du bris de verre, il faut être attentif à ce que les personnes soient protégées contre le risque de blessure par des morceaux coupants et veiller à ce qu'elles ne puissent chuter dans le vide suite à la disparition de ce verre.

Dans le cas où seul le risque de blessure doit être évité, c'est la fragmentation du verre qui est importante : il faut éviter que le bris du verre ne libère des morceaux susceptibles de provoquer des blessures ; si, en outre, la protection contre les chutes est exigée, il faut empêcher un effacement du vitrage.

LE CHOIX DES VITRAGES

Pour choisir un vitrage de sécurité visant à assurer la sécurité des personnes contre les blessures et les chutes, il convient de se référer à la norme NBN S23-002.

Cette norme spécifie, pour neuf cas d'application, les types de casse requis pour les verres situés dans les zones dites d'activité humaine afin d'éviter les blessures par contact ou la défenestration. De manière simplifiée, un verre trempé ou un verre feuilleté doit être utilisé aux endroits où il existe un risque de blessure par morceaux de verres libérés. En outre, seul le verre feuilleté convient en cas de risque de chute.

Les épaisseurs correspondant aux types de casse prescrits par la norme ne sont que des valeurs minimales. Les épaisseurs effectives à utiliser doivent être déterminées au cas par cas en fonction de la situation du projet (solllicitations, dimensions et mode de pose du verre). Cette norme cherche, par un choix judicieux de vitrage, à éviter des blessures graves suite à des impacts involontaires dans le verre et indique entre autre les circonstances, dans lesquelles l'utilisation de verre de sécurité est nécessaire. Elle a été publiée en avril 2007 et est considérée, depuis cette date de publication, comme un ensemble de règles de bonne pratique pour les professionnels du métier.

La norme s'applique à tous les bâtiments. Le choix du vitrage de sécurité dépend d'un certain nombre d'éléments, dont entre autres :

- le type de local dans lequel le vitrage est placé ;
- La situation du vitrage dans le local (par ex. la hauteur de l'allège par rapport au sol intérieur) ;
- la présence d'une hauteur de chute supérieure à 1,50 m ;
- le fait qu'il y ait ou pas une activité humaine de l'autre côté de l'impact.

On y trouve également les instructions quant aux vitrages en toitures, pour les aménagements intérieurs vitrés et les cloisons vitrées transparentes.

La NBN S 23-002 précise qu'en cas d'utilisation d'un vitrage isolant (double vitrage, triple vitrage) :

- un verre de sécurité doit être utilisé du (ou des) côté(s) où un choc risque de se produire et de présenter un danger ;
- dans le cas où un verre trempé est utilisé du côté de l'impact, le verre suivant (verre opposé à l'impact dans le cas d'un double vitrage ou verre intermédiaire dans le cas d'un triple vitrage) doit aussi être un verre de sécurité. Dans le cas particulier du triple vitrage, si le verre du côté de l'impact et le verre intermédiaire sont tous deux trempés thermiquement, le verre extrême du côté opposé au choc doit également présenter un verre de sécurité.

Un verre trempé est considéré comme un verre de sécurité s'il satisfait aux critères de fragmentation précisés dans la norme NBN EN 12150-2 qui décrit également le test à effectuer pour vérifier cette fragmentation [IBN -05].

Sur le site de la Fédération de l'Industrie du Verre (<http://www.vgi-fiv.be>), vous pouvez trouver une brochure explicative de la NBN S 23-002 intitulée « Note FIV 06 – Les différents types de verre de sécurité et leurs applications dans le bâtiment selon la NBN S 23-002 ».

ANNEXE 4

INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES

LE BOIS POUR LES MENUISERIES	117
LES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD.....	118
QUELLES SONT LES NORMES D'APPLICATION DANS LE CADRE DE LA PEB ?	120
LA MISE EN OEUVRE THERMIQUEMENT HARMONIEUSE DE LA FENÊTRE DANS SA PAROI OPAQUE	121
NOEUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 1 (ÉPAISSEUR DE CONTACT MINIMALE ENTRE COUCHES ISOLANTES	121
NOEUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 2 (INTERPOSITION D'ÉLÉMENTS ISOLANTS	122
Liste non exhaustive de normes concernant les menuiseries extérieures	123

ANNEXE 4 : INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES

LE BOIS POUR LES MENUISERIES

NOM COMMERCIAL	NOM BOTANIQUE	DURABILITÉ(1)	COULEUR	PRÉSERVATION(2)
Convient pour portes et fenêtres				
Acajout d'Afrique	<i>Khaya spp</i>	III	rose à rouge brun clair	1
Acajou d'Amérique	<i>Swietenia macrophylla</i>	II	rouge brun à brun clair	1
Afromosia	<i>Pericopsis elata</i>	I/II	brun doré	1
Afzelia Doussié	<i>Afzelia bipindensis</i>	I	ocre clair à rouge brun	1
Chanfuta, Lingué	<i>Afzelia spp.</i>	I	ocre clair à rouge brun	1
Chêne d'Europe	<i>Quercus robur et Q. petraea</i>	II/III	jaune à jaune brun pâle	2
Chêne blanc d'Amérique	<i>Quercus spp.</i>	II/III	clair à brun doré	2
Epicea	<i>Picea abies</i>	IV	jaune brun blanchâtre	3
Framiré	<i>Terminalia ivorensis</i>	II/III	jaune à jaune brun pâle	2/3
Hemlock	<i>Tsuga heterophylla</i>	IV	gris jaune à gris brun	3
Iroko (Kambala)	<i>Chlorophora excelsa et C. regia</i>	I/II	jaune doré à brun foncé	1
Jatoba	<i>Hymenaea courbaril</i>	II	rouge orangé à brun	1
Makoré	<i>Tieghemella hexkelii</i>	I	brun rosâtre à brun rouge	1
Mengkulang	<i>Heritiera spp.</i>	IV	brun rouge	3
Merandi, Red	<i>Shorea spp.</i>	II/IV	brun rouge à brun rosâtre	2/3
Merbeau	<i>Intsia spp</i>	I/II	brun clair à brun rouge	1
Moabi	<i>Baillonella toxisperma</i>	I	brun rosâtre à brun rouge	1
Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	III	jaune pâle à jaune	2
Niangon	<i>Heritiera utilis et H. densiflora</i>	III	brun rosâtre à brun rouge	1
Douglas (ou Oregon pine)	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	III	clair à brun clair	2/3
Padouk	<i>Pterocarpus soyauxii</i>	I	rouge à brun violacé	1
Panga-panga	<i>Millettia stuhlmannii</i>	II	brun noir	1
Pin des Landes	<i>Pinus penaster</i>	III/IV	brun rougeâtre strié	3
Pin du Nord	<i>Pinus sylvestris</i>	III/IV	clair à brun rouge jaunâtre	3
Pin sylvestre	<i>Pinus sylvestris</i>	III/V	clair à brun rouge jaunâtre	3
Pitch-pine	<i>Pinus caribea</i>	III	brun clair à brun rouge	2/3
Sapelli	<i>Entandrophragma cylindricum</i>	III	brun rouge	1
Sipo	<i>entandrophragma utile</i>	II/III	brun rouge	1
Southern Pine	<i>Pinus spp.</i>	III	brun jaune clair	3
Tatajuba	<i>bagassa quianensis</i>	I/II	brun doré brun	1
Teck	<i>Tectona grandis</i>	I	brun moyen à foncé	1
Tola	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>	II/III	brun jaune rosâtre	2
Tornillo	<i>Cedrelinga catenaeformis</i>	III	beige rose à brun havane	2
Wengé	<i>Millettia laurentii</i>	II	brun noir	1
Western pine	<i>Pinus spp.</i>	IV	jaune à brun rouge clair	3
Western red cedar	<i>thuya plicata</i>	II	brun	2
Convient moins pour portes et fenêtres				
Azobé	<i>Lophira alata</i>	I/II	rouge mauve	1
Balau, Red	<i>Shorea spp.</i>	III/IV	rouge brun à brun gris	2/3
Balau, Yellow/Bangkirai	<i>Shorea spp.</i>	II/III	brun jaune à brun rouge	1
Bilinga	<i>Nauclea diderrichii et N. gillettii</i>	I	jaune orangé à ocre	1
Jarra	<i>Eucalyptus marginata</i>	I	brun rouge	1
Kapur	<i>Dryobalanops spp.</i>	II	rouge brun à brun gris	1
Keruing	<i>Dipterocarpus spp.</i>	III	brun à brun rouge	1
Kosipo	<i>Entandrophragma candollei</i>	II/III	rouge violacé à brun	1
Mélèze	<i>Larix decidua</i>	III	brun rouge	2/3
Robinier	<i>Robinia pseudoacacia</i>	I/II	vert jaune à brun doré	1
Tiama	<i>Entandrophragma angolense</i>	III	rouge brun à brun gris	1

- (1) Les classes de durabilité naturelle (I à V) reprises dans le tableau sont CONVENTIONNELLES : elles sont relatives à la durée de service de piquets en duramen (100 mm x 100 mm) enfouis dans le sol (situation dans laquelle l'activité des champignons de la pourriture est particulièrement intense). En Belgique, on n'utilise, sans préservation profonde pour les menuiseries extérieures, que des bois de durabilité naturelle I, II ou III. Il en résulte que la durée de service du bois des menuiseries extérieures correctement entretenues est en réalité de l'ordre de grandeur de celle du bâtiment qui les reçoit.
- (2) Préservation du bois :
- 1 = pas nécessaire / l'aubier n'est pas admis en menuiserie extérieure.
 - 2 = finition comprenant ou précédée d'un traitement de surface C1 / l'aubier n'est pas admis, il n'est parfois pas possible d'éviter un petit restant d'aubier.
 - 3 = préservation en profondeur souhaitable / l'aubier est toléré.
 - 2/3 = préservation en profondeur souhaitable en cas de présence d'une part importante d'aubier ou de durabilité générale inférieure des éléments concernés. Ainsi, dans le cas du Red Meranti, une durabilité suffisante pour menuiseries extérieures ne peut être atteinte qu'à partie d'une masse volumique de 550 kg/m³ ; il s'agit de la préservation dans le sens strict du terme, à savoir la protection chimique du substrat ligneux au moyen de lasures ou de peinture. Les deux ensembles assurent la protection du bois contre la dégradation.
- (3) 1 MPa = 1 MN/mm²
- (4) La masse volumique doit pouvoir garantir une rigidité suffisante (pour le bois feuillu : une masse volumique ≥ 500 kg/m³). Il importe surtout de prendre ses précautions en cas d'utilisation pour fenêtres de grandes dimensions avec parties ouvrantes, où il faudra adapter la section des profils et les moyens de fixation.
- (5) La stabilité dimensionnelle est basée sur le "travail" d'une espèce de bois en cas de variations de l'humidité relative de l'air entre 60 et 90 %. Un séchage correct est d'autant plus important que le bois est moins stable.

LES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD

COEFFICIENT DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES ET PORTES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD

Dans son paragraphe « 9. Coefficient de transmission thermique des composants des fenêtres et des portes », l'Annexe B1 de l'AGW du 15 mai 2014 donne le détail du mode de calcul des coefficients de transmission thermique :

- du vitrage ;
- de l'encadrement ;
- du panneau de remplissage opaque ;
- de la grille de ventilation ;

ainsi que :

- le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement ;
- et le coefficient de transmission thermique linéique tenant compte des effets combinés du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement.

Le coefficient de transmission thermique d'une fenêtre U_w ou d'une porte U_D ayant des dimensions connues et pourvue de parties vitrées et/ou de panneaux de remplissage opaques et/ou de grilles de ventilation, est généralement calculé au moyen de la formule suivante :

$$U_w \text{ (ou } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + A_r U_r + I_g \Psi_g + I_p \Psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r}$$

où,

A [m²] = superficie du vitrage (A_g), du châssis (A_f), de la grille de ventilation (A_r) ou du panneau de remplissage (A_p)

U [W/m²K] = coefficient de transmission thermique du vitrage (U_g), du châssis (U_f), du panneau de remplissage opaque (U_p) ou de la grille de ventilation (U_r)

Ψ [W/mK] = coefficient de transmission linéique tenant compte des effets combinés

- du vitrage, de l'intercalaire et de l'encadrement (Ψ_g)
- du panneau de remplissage, de l'intercalaire et de l'encadrement (Ψ_p)

I [m] = longueur du raccordement entre l'encadrement et

- le vitrage (I_g)
- le panneau de remplissage (I_p)

Cette équation peut être utilisée pour les fenêtres constituées de plusieurs types de vitrages, encadrements ou panneaux de remplissage.

Les performances des châssis sont en évolution constante. Afin de vérifier les performances énergétiques des châssis prescrits, il est utile de consulter des bases de données régulièrement mises à jour.

Pour les vitrages, il existe un organisme belge qui regroupe toutes les entreprises belges qui ont, à l'échelle industrielle, une activité de production et/ou de transformation du verre : verre plat (bâtiment & automobile), verre creux (bouteille, gobeletterie, flaconnage) et verres spéciaux (fibre de verre, verre cellulaire, laine de verre, solaire et éclairage). C'est la Fédération de l'Industrie du Verre dont le site internet est <http://www.vgi-fiv.be>. Sur le site, une brochure reprenant les différents types de vitrages commercialisés en Belgique, intitulée « Un regard éclairé sur les vitrages belges – Septembre 2014 », est téléchargeable.

Pour les châssis, il n'existe pas à ce jour de base de données reconnues reprenant les valeurs U_f des différents profilés existant sur le marché.

Dans le cadre de la PEB, les valeurs U_f par défaut varient comme suit (voir tableau de la page suivante) :

- pour les châssis en bois plein, la valeur U_f varie en fonction de l'essence du bois et de l'épaisseur du profilé ;
- pour les châssis métalliques avec coupure thermique, la valeur U_f varie en fonction de la distance entre les profilés métalliques composant le châssis avec des encadrements présentant des aires projetées égales tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du châssis ;
- pour les châssis en matière synthétique (PVC), la valeur U_f varie en fonction du nombre de chambres et ce, avec ou sans renfort métallique.

De meilleures valeurs peuvent bien sûr être obtenues, à faire confirmer par un essai technique (selon la norme NBN EN ISO 12567-1 ou NBN EN ISO 12567-2 pour les fenêtres de toit) ou par le calcul (selon la norme EN ISO 10077-2). Le tableau intègre ainsi des valeurs U_f plus performantes obtenues technologiquement pour les fabricants de châssis.

ANNEXE 4 : INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des châssis actuellement disponibles sur le marché avec leurs valeurs U_f , U_g et U_w , ainsi que la valeur ψ du pont thermique dû à l'intercalaire situé entre les vitrages. Pour rappel, c'est un secteur en évolution permanente et les valeurs annoncées peuvent évoluer. Les jonctions entre profilés et vitrages sont pourvues d'un intercalaire «isolant» lorsque $U_g \leq 1,1 \text{ Wm}^2/\text{K}$ (voir tableau des ψ page suivante).

$U_{w,max} = 1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ $U_{g,max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$			VITRAGE DOUBLE				VITRAGE TRIPLE		
			air + 0 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/12/4	argon + 1 couche peu émissive 4/15/4	krypton + 2 couches peu émissives 6/10/4	argon + 2 couches peu émissives 4/15/4/15/4	argon + 2 couches peu émissives 4/18/4/18/4	
CHÂSSIS			$U_g = 2,9$	$U_g = 1,3$	$U_g = 1,1$	$U_g = 0,8$	$U_g = 0,6$	$U_g = 0,5$	
Type de châssis	U_f		$\psi_g = 0,06$	$\psi_g = 0,11$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	$\psi_g = 0,07$	
Métal (alu, acier...)	Coupure 20 mm	2,75	3,05	2,07	1,81	1,60	1,46	1,39	
	Coupure 28 mm	2,55	3,01	2,01	1,75	1,54	1,40	1,33	
	Coupure 36 mm	2,50	3,00	1,99	1,73	1,52	1,38	1,31	
	U_f déterminé par calcul selon norme EN ISO 10077-2, par le fabricant de châssis		1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04
			1,20	2,74	1,61	1,34	1,13	0,99	0,92
			0,90	2,68	1,55	1,27	1,04	0,90	0,83
	0,71 (2)	2,64	1,51	1,23	0,99	0,84	0,77		
PUR ép. ≥ 8 mm avec renfort métal.		2,80	3,06	2,08	1,82	1,61	1,47	1,40	
Bois type 1 : Afzelia, Merbau, Chêne...	ép. 60 mm	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	ép. 80 mm	1,96	2,89	1,83	1,57	1,36	1,22	1,15	
	ép. 120 mm	1,58	2,82	1,71	1,45	1,24	1,10	1,03	
Bois type 2 : Dark Red Meranti, Sapelli...	ép. 60 mm	2,10	2,92	2,87	1,61	1,40	1,26	1,19	
	ép. 80 mm	1,85	2,87	1,80	1,54	1,33	1,19	1,12	
	ép. 120 mm	1,48	2,80	1,68	1,42	1,21	1,07	1,00	
Bois type 3 : Pin sylvestre, Résineux...	ép. 60 mm	1,93	2,89	1,82	1,56	1,35	1,21	1,14	
	ép. 80 mm	1,67	2,83	1,74	1,48	1,27	1,13	1,06	
	ép. 120 mm	1,32	2,76	1,64	1,38	1,17	1,03	0,96	
Bois + PUR + capot alu (1)		0,66 (3)	2,63	1,50	1,22	0,98	0,83	0,76	
PVC avec ou sans renforts métalliques	2 chambres	2,20	2,94	1,90	1,64	1,43	1,29	1,22	
	3 chambres	2,00	2,90	1,84	1,58	1,37	1,23	1,16	
	4 chambres	1,80	2,86	1,78	1,52	1,31	1,17	1,10	
	5 chambres	1,60	2,82	1,72	1,46	1,25	1,11	1,04	
	+ PUR (1)	0,74 (4)	2,65	1,52	1,24	1,00	0,85	0,78	

REMARQUES :

- Les valeurs de coefficients de transmission thermique $U_{w,T}$ des fenêtres sont calculées d'après la procédure de détermination simplifiée de la valeur U des fenêtres (Annexe 3 de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2]). Celle-ci tient compte d'une proportion fixe entre l'aire du vitrage et l'aire du châssis ainsi que d'un périmètre fixe de la vitre ou des intercalaires. Pour des fenêtres sans grille de ventilation ni panneau de remplissage, le coefficient se calcule comme ceci :

$$\begin{aligned} \text{Si } U_g \leq U_f, \text{ alors : } U_{(w,T)} &= 0,7 U_g + 0,3 U_f + 3 \psi_{(f,g)} \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ \text{Si } U_g > U_f, \text{ alors : } U_{(w,T)} &= 0,8 U_g + 0,2 U_f + 3 \psi_{(f,g)} \text{ [W/m}^2\text{K]} \end{aligned}$$

Ces formules sont basées sur l'hypothèse de l'Annexe B1 de l'AGW que la proportion entre l'aire du vitrage et l'aire du châssis ainsi que le périmètre de la vitre ou des intercalaires sont fixes.

- Selon la réglementation énergétique wallonne en vigueur à partir du 1/01/2017 [GW -16-1], la valeur U_w ne peut être supérieure à $1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, et la valeur de U_g ne peut dépasser $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Les fenêtres ne respectant pas cette double condition sont grisées dans le tableau.

(1) Selon la fabricant de châssis, qui détermine la valeur de U_f par calcul, conformément à la norme EN ISO 10077-2

(2) Pour atteindre cette performance, les chambres en alu sont remplies de mousse isolante

(3) Pour atteindre cette performance, les cadres extérieurs du châssis en bois (dormant et ouvrant) sont recouverts d'une mousse isolante, elle-même protégée d'un capot en aluminium

(4) Pour atteindre cette performance, les chambres de PVC sont remplies de mousse isolante

ANNEXE 4 : INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES

PROFILÉ D'ENCADREMENT	SIMPLE VITRAGE	VITRAGE MULTIPLE			
		$U_g > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_g \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
		Intercalaire normal	Intercalaire isolant	Intercalaire normal	Intercalaire isolant
$U_i \geq 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_i < 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,06	0,05	0,11	0,07

QUELLES SONT LES NORMES D'APPLICATION DANS LE CADRE DE LA PEB ?

Dans le cadre de la PEB, il est utile de rappeler les quelques normes et textes qui sont d'application dans le cadre du calcul des déperditions thermiques des fenêtres et qui sont repris dans l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2].

Ce sont les normes NBN EN 673, 674 et 675 qui doivent être utilisées pour déterminer la valeur U_g des vitrages et les normes NBN EN ISO 10077-1, NBN EN ISO 10077-2, NBN EN 12412-2 pour déterminer la valeur U de la fenêtre et de ses composants (châssis U_f , grilles de ventilation U_r , intercalaires ψ , etc.) :

- NBN EN 673 : Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique, U - Méthode de calcul.
- NBN EN 674 : Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique, U - Méthode de l'anneau de garde.
- NBN EN 675 : Verre dans la construction - Détermination du coefficient de transmission thermique, U - Méthode du fluxmètre.
- NBN EN ISO 10077-1 : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1 : Généralités.
- NBN EN ISO 10077-2 : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 2 : Méthode numérique pour les profilés de menuiserie.
- NBN EN 12412-2 : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude - Partie 2: Encadrements.

Les fabricants doivent respecter ces normes (voir encadré ci-contre) pour déterminer les valeurs utiles au calcul de la PEB. Les Responsables PEB doivent s'assurer que les valeurs annoncées par les fabricants sont bien mesurées ou calculées selon ces normes.

PROCÉDURE DE RECONNAISSANCE, PAR LES 3 RÉGIONS, DE DONNÉES DE PRODUITS DANS LE CADRE DE LA PEB

La reconnaissance des données de produits PEB est un service par lequel les trois Régions (de Bruxelles-Capitale, flamande et wallonne) donnent accès à des données reconnues officiellement dans le cadre des calculs PEB. Ces données ne seront jamais contestées par les Régions lors de contrôles des déclarations PEB.

L'utilisation des **données de produit reconnues** de la base de données (par exemple vitrage, profilé de châssis) évite à la personne chargée des calculs PEB de devoir, pour chaque donnée de produit individuelle, obtenir une garantie directement du fabricant ou fournisseur.

La reconnaissance des données dans la base de données de produits PEB (www.epbd.be) est basée sur un certain nombre de procédures destinées à obtenir des données aussi fiables que possible. Cette reconnaissance n'implique pas que les Régions émettent un jugement sur la qualité du produit. Seules les caractéristiques considérées dans les réglementations PEB font l'objet de la reconnaissance.

Les **procédures générales** de reconnaissance [CSTC-07] concernent tous les types de produits (matériau isolant, grille de ventilation, etc.). Elles explicitent le contexte de la base de données de produits, la responsabilité des différents acteurs, les coûts associés, etc.

D'autre part, les **procédures spécifiques** de reconnaissance explicitent par type de produit les exigences auxquelles les données de produits doivent satisfaire afin de pouvoir être reconnues par les 3 Régions : de telles procédures existent pour le profilé d'encadrement [CSTC-09], pour le vitrage [CSTC-08-1] et pour les protections solaires [CSTC-08-2].

LA MISE EN OEUVRE THERMIQUEMENT HARMONIEUSE DE LA FENÊTRE DANS SA PAROI OPAQUE

L'insertion harmonieuse du châssis dans l'enveloppe dépend du matériau du châssis et de l'implantation de la baie vitrée dans sa paroi opaque. En fonction du type de profilé, la continuité thermique sera analysée différemment.

Dans le cadre de la PEB, quelques règles spécifiques à la mise en œuvre des châssis dans le gros-œuvre doivent être respectées : elle sera considérée comme un nœud constructif PEB conforme si elle respecte au moins l'une des 2 règles de base reprises ci-dessous.

NŒUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 1 (ÉPAISSEUR DE CONTACT MINIMALE ENTRE COUCHES ISOLANTES)

Le type de châssis est déterminant pour conclure si le nœud constructif est « PEB conforme » ou non. En effet, on considère deux cas :

1. Premier cas : le châssis ne présente pas de coupure thermique. Exemples de châssis : châssis en bois plein, châssis alu sans coupure thermique, châssis composé sans coupure thermique (p.e. bois-alu).

Dans ce cas, la règle de base 1 reste d'application, à savoir :

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

Avec :

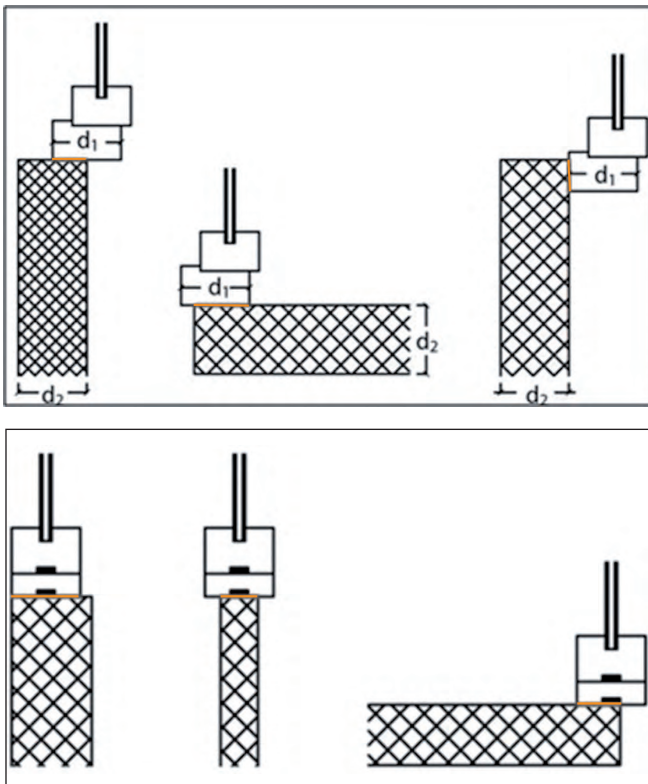
d_1 = épaisseur du cadre fixe [m]

d_2 = épaisseur de l'isolant [m]

d_{contact} = épaisseur de contact entre l'isolant et le châssis [m]

2. Second cas : le châssis présente une coupure thermique. Exemples de châssis : châssis alu avec coupure thermique, châssis bois avec une âme en liège, châssis composé avec coupure thermique (p.e. bois-alu avec isolant PUR). Dans le cas des châssis PVC à chambres multiples, on considère que la coupure thermique est apportée par sa découpe en chambres ; la couche isolante doit être en contact direct avec l'ensemble du châssis.

Dans ce cas, la couche isolante de la paroi doit obligatoirement être en contact direct avec la coupure thermique du châssis et ce, sur toute l'épaisseur de la coupure thermique.



NŒUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 2 (INTERPOSITION D'ÉLÉMENTS ISOLANTS)

Il existe deux particularités quand on insère un isolant entre le gros-œuvre et le châssis ; cet isolant est un **isolant interposé**.

1. Première particularité :

Pour pouvoir affirmer qu'un nœud constructif présentant un isolant interposé soit « PEB conforme », il existe une exigence concernant la valeur R de l'isolant interposé, à savoir : $R_{\text{isolant interposé}} \geq \min (R_{1/2} ; R_{2/2} ; 2)$.

Dans le cas de l'isolant interposé autour d'un châssis, la formule devient :

$$R_{\text{isolant interposé}} \geq \min (R_{1/2} ; R_{2/2} ; 1,5)$$

pour conclure que le nœud constructif est considéré comme « PEB conforme ».

2. Deuxième particularité :

Les fixations métalliques qui servent à accrocher les châssis au gros-œuvre, de conductivité thermique supérieure à 0,2 W/K (cas des pattes Z) et qui mettent en contact le côté chaud et le côté froid de l'isolant interposé entre châssis et gros-œuvre, ne peuvent présenter une section de plus de 1 cm² par mètre courant, sans quoi le nœud constructif de connexion périphérique entre le châssis et le gros-œuvre n'est plus « PEB conforme ».



Il est donc important de retenir que la continuité de la coupure thermique (= de l'isolation) est essentielle pour éviter la création de ponts thermiques dommageables autour des châssis.

LISTE NON EXHAUSTIVE DE NORMES CONCERNANT LES MENUISERIES EXTÉRIEURES

- NBN B 25-002-1 : Menuiserie extérieure - Partie 1 - Généralités (+ AC:2011)
- NBN B 62-002 : Performances thermiques de bâtiments - Calcul des coefficients de transmission thermique (valeurs U) des composants et éléments de bâtiments - Calcul des coefficients de transfert de chaleur par transmission (valeur HT) et par ventilation (valeur Hv)
- NBN B 62-004 : Calcul du coefficient k de transmission thermique des vitrages
- NBN L 13-002 : Eclairage naturel des bâtiments - Prédétermination de l'éclairement naturel pour des conditions de ciel couvert (méthode graphique approchée)
- NBN S 23-002 : Vitrierie (+ AC:2010)
- NBN EN 152 : Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité préventive d'un traitement de protection du bois mis en œuvre contre le bleuissement fongique - Méthode de laboratoire
- NBN EN 330 : Produits de préservation du bois - Détermination de l'efficacité protectrice d'un produit de préservation du bois pour emploi sous un revêtement et hors de contact avec le sol - Essai de champ: méthode avec un assemblage en L
- NBN EN 410 : Verre dans la construction - Détermination des caractéristiques lumineuses et solaires des vitrages
- NBN EN 942 : Bois dans les menuiseries - Exigences générales
- NBN EN 927-1, 2, 3, 5, 6 : Peintures et vernis - Produits de peinture et systèmes de peinture pour le bois extérieur
- NBN EN 1063 : Verre dans la construction - Vitrage de sécurité - Mise à essai et classification de la résistance à l'attaque par balle
- NBN EN 1096-1, 2, 3, 4 : Verre dans la construction - Verre à couche
- NBN EN 1279-1, 2, 3, 4, 5, 6 : Verre dans la construction - Vitrage isolant préfabriqué scellé
- NBN EN 1288-1, 2, 3, 4, 5 : Verre dans la construction - Détermination de la résistance du verre à la flexion
- NBN EN 1363-1 : Essais de résistance au feu - Partie 1: Exigences générales
- NBN EN 1999-1-1 ANB : Eurocode 9 : Calcul des structures en aluminium - Partie 1-1 : Règles générales - Annexe nationale
- NBN EN 12412-4 : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Détermination du coefficient de transmission thermique par la méthode de la boîte chaude - Partie 4: Coffres de volets roulants
- NBN EN 12464-1 : Lumière et éclairage - Eclairage des lieux de travail - Partie 1: Lieux de travail intérieurs
- NBN EN 12600 : Verre dans la construction - Essai au pendule - Méthode d'essai d'impact et classification du verre plat
- NBN EN 12758 : Verre dans la construction - Vitrages et isolement acoustique - Descriptions de produits et détermination des propriétés
- NBN EN 13022-1,2 : Verre dans la construction - Système de vitrage extérieur collé (VEC)
- NBN EN 13125 : Fermetures pour baies équipées de fenêtres, stores intérieurs et extérieurs - Résistance thermique additionnelle - Attribution d'une classe de perméabilité à l'air à un produit
- NBN EN 13307-1, 2 : Ebauches et profilés semi-finis en bois pour usages non structurels
- NBN EN 14220 : Bois et matériaux à base de bois dans les fenêtres extérieures, les vantaux de portes extérieures et les dormants de portes extérieures - Exigences et spécifications
- NBN EN 14221 : Bois et matériaux à base de bois dans les fenêtres intérieures, les vantaux et dormants de portes intérieures - Exigences et spécifications
- NBN EN 14351-1+A1 : Fenêtres et portes - Norme produit, caractéristiques de performance - Partie 1: Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons sans caractéristiques de résistance au feu et/ou dégagement de fumée
- NBN EN 14449 : Verre dans la construction - Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité - Evaluation de la conformité/Norme de produit (+ AC:2005)
- NBN EN 14963 : Eléments de couverture - Lanterneaux continus en matière plastique avec et sans costière

ANNEXE 4 : INFORMATIONS ET TABLEAUX PRATIQUES

Classification, spécifications et méthodes d'essais

- NBN EN 15254-4+A1 : Extension du champ d'application des résultats des essais de résistance au feu - Eléments non-porteurs - Partie 4: Constructions vitrées
- NBN EN 15434+A1 : Verre dans la construction - Norme de produits pour produit de collage et de scellement structurel et/ou résistants aux rayonnements ultraviolets (utilisé pour les vitrages extérieurs collés et/ou pour les vitrages isolants à bords exposés)
- NBN EN 15603 : Performance énergétique des bâtiments - Consommation globale d'énergie et définition des évaluations énergétiques
- NBN EN 16402 : Peintures et vernis - Évaluation des émissions de substances émanant des revêtements dans l'air intérieur - Échantillonnage, conditionnement et essais
- ALUMINIUM_GUIDE : Directives pour la construction en aluminium 2014 (également commercialisé par l'IBN)
- NBN CEN/TS 12037 : Produits de préservation du bois - Essais de champ pour déterminer l'efficacité protectrice d'un produit de préservation du bois hors de contact avec le sol - Méthode avec un assemblage à joint superposé
- CEN/TR 14723 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Essais de champ et de conditionnement accéléré (FACT) pour les produits de préservation du bois hors contact du sol
- CEN/TR 15003 : Durabilité du bois et des matériaux dérivés du bois - Critères s'appliquant aux procédés à air chaud à usages curatifs contre les organismes lignivores
- CEN/TS 15679 : Bois Modifié Thermiquement - Définitions et caractéristiques
- NBN EN ISO 10077-1 : Performance thermique des fenêtres, portes et fermetures - Calcul du coefficient de transmission thermique - Partie 1: Généralités (ISO 10077-1:2006) (+ AC:2009)
- NBN EN ISO 12543-1, 2, 3, 4, 5, 6 : Verre dans la construction - Verre feuilleté et verre feuilleté de sécurité
- NBN EN ISO 12567-1 : Isolation thermique des fenêtres et portes - Détermination de la transmission thermique par la méthode à la boîte chaude - Partie 1: Fenêtres et portes complètes (ISO 12567-1:2010) (+ AC:2010)
- NBN EN ISO 12567-2 : Isolation thermique des fenêtres et portes - Détermination de la transmission thermique par la méthode à la boîte chaude - Partie 2: Fenêtres de toit et autres fenêtres en saillie (ISO 12567-2:2005)
- NBN EN ISO 12631 : Performance thermique des façades-rideaux - Calcul du coefficient de transmission thermique (ISO 12631:2012)

ANNEXE 5

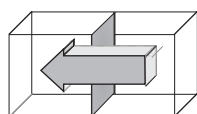
GLOSSAIRE

TERMINOLOGIE : LES ÉCHANGES DE CHALEUR	125
TERMINOLOGIE : ACOUSTIQUE	126
TERMINOLOGIE : ÉNERGIE ET COEFFICIENT U	127
SOLEIL ET ÉNERGIE : EFFET DE SERRE	128
SOLEIL ET ÉNERGIE : FACTEURS SOLAIRES	129
SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LE MUR TROMBE	130
SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LA SERRE ACCOLÉE	131
DIVERS	132

TERMINOLOGIE : LES ÉCHANGES DE CHALEUR

Les déperditions d'énergie [W/m²K] se font selon les trois modes de propagation de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

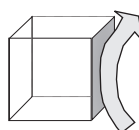
CONDUCTION



Mode de propagation de la chaleur à travers un corps ou entre deux corps en contact direct.

La quantité de chaleur qui va se propager par conduction, en un temps donné, est directement proportionnelle à la conductivité thermique des matériaux constituant la paroi et à la différence de température entre les deux faces ; elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur des lames constituant la paroi.

CONVECTION

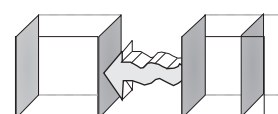


Transfert de chaleur de la surface d'un corps solide à un fluide et inversement.

L'intensité de l'échange dépend de la différence de température entre la paroi et l'air, de la vitesse de l'air et des caractéristiques géométriques des parois.

Par exemple, un vent froid et violent causera un important refroidissement.

RAYONNEMENT



Transfert de chaleur à travers le vide ou l'air.

Un corps chaud émet un rayonnement infrarouge qui se propage à travers le vide, un gaz ou un corps transparent aux infrarouges. La composition spectrale de ce rayonnement dépend de la nature et de la température de la surface du corps émetteur. La quantité de chaleur qu'un corps peut transmettre est fonction de son émissivité, de la température de sa surface et de la température de la surface du corps récepteur.

TERMINOLOGIE : ACOUSTIQUE

BRUIT AÉRIEN

Bruit prenant sa naissance dans l'air et s'y propageant sous forme d'ondes.

BRUIT ROSE

Ce mot est employé sous deux acceptions (le contexte les éclaire) :

- phénomène acoustique produisant une sensation auditive désagréable ;
- tout phénomène acoustique produisant une sensation auditive, désagréable ou non.

Il simule les bruits émis dans un bâtiment ; il est également utilisé pour représenter les bruits émis par le trafic aérien.

BRUIT D'IMPACT OU DE CHOC

Bruit produit par un choc dont l'énergie est rayonnée dans l'air avoisinant et dans le solide frappé. Habituellement, n'est prise en compte que la vibration se propageant dans le solide.

BRUIT ROUTIER

Il simule les bruits émis par le trafic routier. Ce bruit est plus riche en sons graves que le bruit rose.

INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE *R_w*

Indice caractérisant les qualités acoustiques d'une paroi, c'est-à-dire la différence de niveaux sonores qui règnent de part et d'autre de cette paroi pour un spectre de bruit donné en décibels [dB].

FRÉQUENCE

Nombre de fois qu'une grandeur périodique se produit identiquement à elle-même dans l'unité de temps. L'unité utilisée est le Hertz [Hz].

PUISSANCE ACOUSTIQUE D'UNE SOURCE

Puissance moyenne totale rayonnée par une source sonore dans toutes les directions. La puissance acoustique s'exprime en watts [W].

CONSULTER ÉGALEMENT...

- norme NBN EN ISO 16283-1 > indice d'affaiblissement acoustique
- norme EN ISO 717 - 1 > définit une courbe de «qualité acoustique»

TERMINOLOGIE : ÉNERGIE ET COEFFICIENT U

ABSORPTION ÉNERGÉTIQUE DU VITRAGE [SGG -14]

Pourcentage d'énergie absorbée par le vitrage.

BILAN ÉNERGÉTIQUE D'UNE FENÊTRE

Différence entre les apports et les déperditions thermiques au travers l'ensemble formé par le châssis, le(s) vitrage(s), le panneau éventuel, la grille de ventilation éventuelle et l'intercalaire (rempli de gaz ou non) situé entre les vitrages.

COEFFICIENT DE TRANSMISSION ÉNERGÉTIQUE U

Anciennement appelé "k", ce coefficient U [W/m²K] caractérise la transmission de chaleur à travers une paroi, de surface égale à 1 m², séparant deux ambiances dont les températures diffèrent de 1 degré Kelvin.

C'est la valeur donnée à l'isolation thermique. Elle s'évalue selon la norme NBN B62-002 ou selon l'Annexe 1 de l'AGW PEB du 15/12/16 [GW -16-2].

La valeur U_g d'un simple vitrage est calculée en fonction des résistances thermiques d'échange, de l'épaisseur du verre et de la conductivité thermique du verre.

La valeur U_g d'un vitrage multiple est calculée en faisant intervenir la résistance thermique R_s des différentes lames (d'air ou de gaz).

La valeur U centrale ne s'appliquant qu'à la partie centrale du vitrage, il faut également tenir compte de l'effet de pont thermique dû aux intercalaires à la périphérie du vitrage (valeur Ψ linéique).

La valeur U_w d'une fenêtre dépend non seulement de la valeur U_g au centre du vitrage, mais aussi de la valeur U_f du châssis, de la valeur Ψ linéique de l'intercalaire, ainsi que l' U_r pour une éventuelle grille de ventilation ou encore l' U_p pour un panneau de remplissage opaque.

CALCUL DU COEFFICIENT U DE LA FENÊTRE

- La valeur U d'un simple vitrage est calculée par :

$$U_g \text{ simple} = \frac{1}{R_i + \frac{d_{\text{glazing}}}{\lambda_{\text{glazing}}} + R_e} \quad \text{en [W/m}^2\text{K]}$$

- La valeur U d'un vitrage multiple est calculée en faisant intervenir la résistance thermique R_s des différentes lames :

$$U_g \text{ multiple} = \frac{1}{R_i + \sum \frac{d_{\text{glazing}}}{\lambda_{\text{glazing}}} + \sum R_s + R_e} \quad \text{en [W/m}^2\text{K]}$$

où :

- R_i et R_e : résistance thermique d'échange, respectivement, des surfaces intérieure et extérieure, selon la norme NBN B62-002 ;
- $R_i = 0,125$ et $R_e = 0,043$ m²K/W (pour fenêtres verticales) ;
- d_{glazing} : épaisseur du verre (simple) [m] ;
- λ_{glazing} : conductivité thermique du verre, égale à 1 W/mK selon la NBN B 62-002 ;
- R_s : résistance thermique de chaque lame d'air ou de gaz.

Remarque : il existe une méthode spécifique de calcul pour les verres à couche mais cette partie n'est pas abordée ici.

- La valeur U "globale" d'une fenêtre est calculée par :

$$U_w = \frac{(U_f * A_f + U_g * A_g + \Psi_g * I_g + U_p * A_p + \Psi_p * I_p + U_r * A_r)}{A_f + A_g + A_p + A_r} \quad \text{en [W/m}^2\text{K]}$$

où :

- U_f : coefficient de transmission de la partie centrale du vitrage [W/m²K] ;
- A_f : surface du vitrage [m²] - partie visible ;
- U_g : coefficient de transmission du châssis [W/m²K] ;
- A_g : surface (projetée) du châssis [m²] - partie visible ;

-
- Ψ_g : déperditions thermiques dues au pont thermique des intercalaires entre le vitrage et le châssis [W/mK] ;
 - I_g : longueur périphérique de l'intercalaire entre le vitrage et le châssis [m] ;
 - U_p : coefficient de transmission de l'éventuel panneau opaque [W/m²K] ;
 - A_p : superficie de l'éventuel panneau opaque [m²] - partie visible ;
 - Ψ_p : déperditions thermiques dues au pont thermique des intercalaires entre le vitrage et l'éventuel panneau opaque [W/mK] ;
 - I_p : longueur périphérique de l'intercalaire entre le vitrage et l'éventuel panneau opaque [m] ;
 - U_r : coefficient de transmission de l'éventuelle grille de ventilation [W/m²K] ;
 - A_r : surface de l'éventuelle grille de ventilation [m²] - partie visible.

Remarques :

- la valeur U_f peut être mesurée en laboratoire suivant la norme NBN EN 12412-2 ou déterminée numériquement suivant la NBN EN ISO 10077-2, ou encore à l'aide des tableaux repris dans l'Annexe D de l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2] ;
- la valeur Ψ_g de l'intercalaire peut être déterminée numériquement selon la norme NBN EN ISO 10077-2, ou en utilisant les valeurs forfaitaires fournies dans l'Annexe E de l'Annexe 3 de l'AGW du 15/12/16 [GW -16-2] ;
- la valeur de U_g est déterminée numériquement par les fabricants selon les normes NBN EN 673 ou NBN EN 674 ou NBN EN 675, ou selon les formules de calcul de $U_{g\text{simple}}$ et $U_{g\text{multiple}}$ ci-contre.

Simplification :

La valeur moyenne U_w des fenêtres peut être déterminée à l'aide de la formule simplifiée suivante :

Si $U_g \leq U_f$:

$$U_w = 0,7 * U_g + 0,3 * U_f + 3 * \Psi_g + (A_f * (U_f - U_g) / (A_f + A_g + A_p + A_r)) + (A_p * (U_p - U_g) / (A_f + A_g + A_p + A_r)) \quad \text{[W/m}^2\text{K]}$$

Si $U_g > U_f$:

$$U_w = 0,8 * U_g + 0,2 * U_f + 3 * \Psi_g + (A_f * (U_f - U_f) / (A_f + A_g + A_p + A_r)) + (A_p * (U_p - U_f) / (A_f + A_g + A_p + A_r)) \quad \text{[W/m}^2\text{K]}$$

SOLEIL ET ÉNERGIE : EFFET DE SERRE

Lorsque le rayonnement solaire frappe un bâtiment, il peut atteindre une paroi opaque ou une paroi translucide (et/ou transparente) telle que le polycarbonate, le chlorure de polyvinyle (PVC), le polyester renforcé de fibres de verre (PRV), le polyméthacrylate (PMMA) et le fluorure de polyvinyle (tedlar®).

Si le rayonnement solaire atteint :

- une paroi opaque : une partie de l'énergie rayonnée est absorbée tandis que le reste est réfléchi ; l'énergie absorbée est réémise en partie vers l'extérieur tandis que l'autre se diffuse progressivement vers l'intérieur ;
- une paroi translucide : cette paroi transmettra les rayonnements à courtes longueurs d'onde (rayonnements solaires) vers l'intérieur (τ) ; elle réfléchira directement une partie de l'énergie (ρ) (longueurs d'onde élevée) et elle absorbera puis réémettra une très faible partie de l'énergie (α).

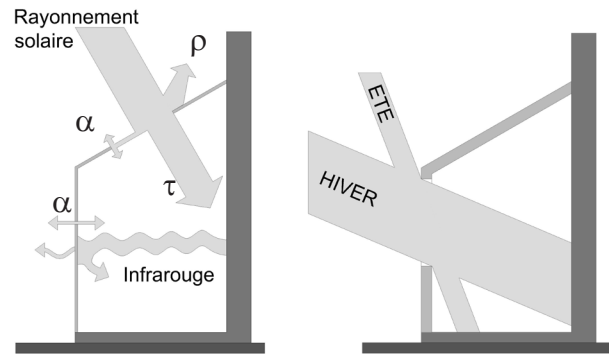
PRINCIPE DE L'EFFET DE SERRE

Le rayonnement solaire, dont les longueurs d'onde sont courtes, traverse, en partie, le vitrage.

Il atteint l'intérieur du local et en réchauffe les objets et les parois. Etant donné que le rayonnement réémis a des grandes longueurs

d'onde et que les objets et matériaux translucides des parois extérieures sont "pratiquement opaques" à ces longueurs d'onde, il s'ensuit une augmentation de la température du local.

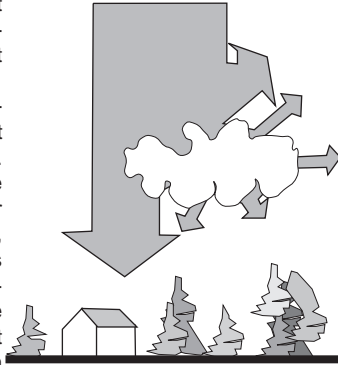
Ce phénomène, basé sur la captation de l'énergie solaire à travers les parois translucides, est appelé **l'effet de serre**.



SOLEIL ET ENERGIE : FACTEURS SOLAIRES

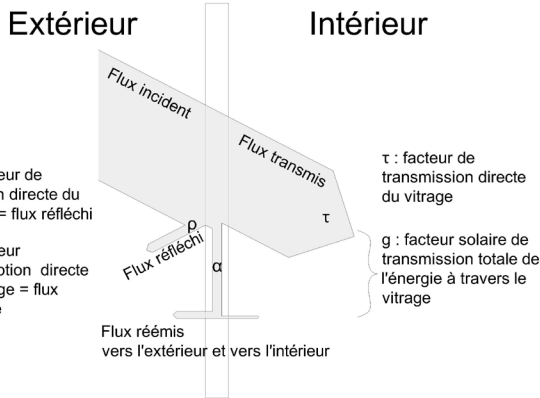
SPECTRE SOLAIRE

Il représente la distribution spectrale du rayonnement solaire direct et diffus, respectivement par temps clair et par temps nuageux. Environ 50 % du rayonnement solaire nous parvient sous forme de lumière visible. En matière d'éclairage, le soleil est très efficace : par watt de puissance calorifique, il fournit de 80 à 120 lumens de lumière directe, soit environ dix fois plus qu'une lampe à incandescence ordinaire et davantage qu'une installation d'éclairage à tubes fluorescents.



FACTEUR SOLAIRE g (selon la norme EN410)

Le facteur solaire (anciennement nommé FS) est le rapport entre l'énergie totale entrant dans le local à travers un vitrage et l'énergie solaire incidente. C'est la somme de l'énergie entrant par transmission directe, et de l'énergie cédée par le vitrage à l'ambiance intérieure, à la suite de son échauffement par absorption énergétique.



SCHEMA DES FACTEURS ENERGÉTIQUES [CSTC-99]

REMARQUES :

- Le coefficient " Shading Coefficient" est égal à 1 pour le verre clair de 3 mm d'épaisseur. Il s'obtient en divisant le facteur solaire g par 0,87. Shading Coefficient $SC_{En\ 410} = g_{EN410} / 0,87$.
- Pour les vitesses habituelles de l'air, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur, le coefficient d'échange du vitrage vers l'extérieur est de 23 W/m²K et de 8 W/m²K vers l'intérieur.

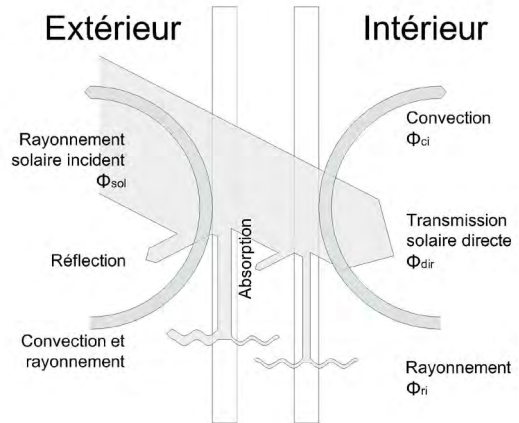
FACTEUR SOLAIRE ABSOLU OU FACTEUR DE TRANSMISSION SOLAIRE

Il indique la fraction du rayonnement solaire incident (irradiance) pénétrant dans l'ambiance intérieure sous forme de chaleur. Cette grandeur prend non seulement en compte les gains solaires directs (rayonnement à courte longueur d'onde = Φ_{dir}), mais aussi

la fraction du rayonnement incident absorbée par le vitrage et transmise à l'ambiance intérieure par échanges convectif et radiatif (Φ_{add}).

$$FSA = (\Phi_{dir} + \Phi_{add}) / \Phi_{sol}$$

c'est-à-dire que le FSA s'exprime comme le rapport de la densité du flux total de chaleur transmise, sur la densité du flux total de rayonnement solaire incident (Φ_{sol}).



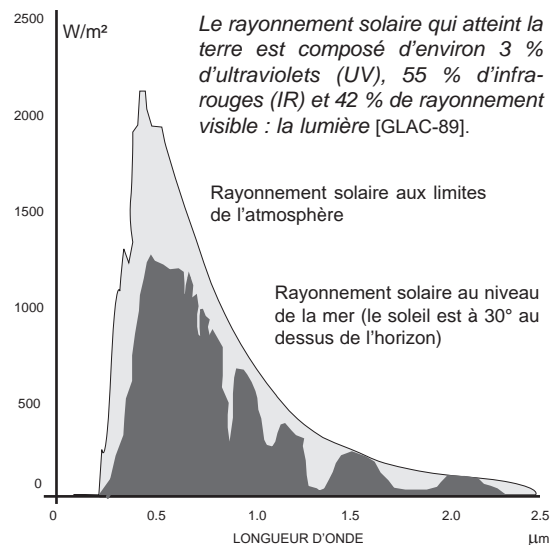
FACTEUR DE TRANSMISSION SOLAIRE RELATIF FSR

Il se définit comme étant le rapport entre le facteur solaire absolu FSA d'un vitrage considéré et le FSA d'un simple vitrage (soit 0,85).

FACTEUR LUMINEUX ABSOLU FLA

C'est la fraction de rayonnement lumineux incident qui traverse un vitrage dans la partie visible du spectre solaire, comprise entre 380 et 780 nanomètres.

Ce facteur prend non seulement en compte la distribution énergétique spectrale du rayonnement solaire mais aussi la sensibilité spectrale de l'oeil humain.



SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LE MUR TROMBE

MUR TROMBE OU MUR ACCUMULATEUR

PRINCIPE

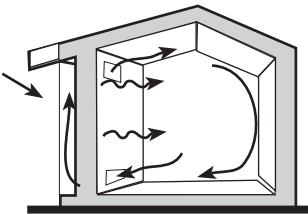
Dans nos régions, ce type de mur est principalement utilisé pour l'accumulation de chaleur en saison de chauffe.

Il s'agit d'un mur lourd devant lequel un vitrage a été posé, laissant un espace d'air minimal entre les deux.

Des éléments de contrôle le complètent.

PÉRIODE DE CHAUFFE

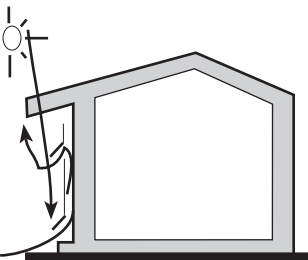
Le mur se réchauffe par effet de serre, la chaleur migrant progressivement vers l'intérieur si le mur n'est pas ventilé. Il est plus efficace cependant de ventiler l'espace d'air et de prévoir des ouvertures hautes et basses dans le mur pour permettre une thermocirculation naturelle et de réchauffer ainsi l'espace par le brassage de l'air intérieur.



PÉRIODE D'ÉTÉ

Il faut ombrager le mur capteur : les systèmes sont multiples et identiques à ceux abordés pour les fenêtres.

On peut également ventiler la lame d'air du système, de l'extérieur vers l'intérieur, pour éviter toute surchauffe néfaste au vitrage du mur Trombe.



AVANTAGES

- pas de dégradation ni de décoloration de l'intérieur du bâtiment due aux UV ;
- restitution, en fin de journée, de la chaleur accumulée pendant celle-ci ;
- dimensionnement possible de l'inertie thermique d'un tel mur en calculant la masse et le matériau adéquat.

DÉSAVANTAGES

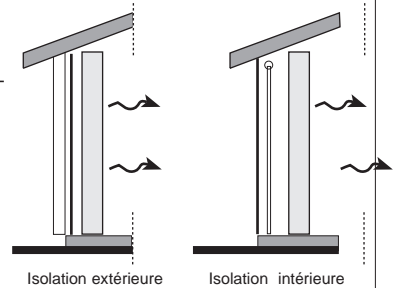
- rend opaque une partie de la face sud, occulte la vue et empêche la lumière d'entrer dans le bâtiment ; on peut toutefois y pratiquer certaines baies pour la vue ;
- prend de la place dans la surface habitée ;
- nécessite une isolation mobile côté extérieur ou dans l'espace d'air pour éviter des pertes de chaleur importantes vers l'extérieur, au travers de la vitre.

AUTRES ASPECTS

Le principe du mur Trombe (mur lourd + vitre) peut être appliqué de façon très variée.

RÈGLES DE CONCEPTION

- orientation : sud $\pm 20^\circ\text{C}$;
- architecture : un des murs de vie ;
- surface : surface vitrée = surface du mur de stockage ;
- espace d'air entre mur et châssis : variable de 5 à 15 cm (éventuellement jusqu'à 40 cm) suivant les besoins en isolation mobile ;
- matériau translucide : verre et brique de verre, ou plastique (acrylique, polycarbonate, polyéthylène) ;
- vitrage :
 - le double vitrage (espace de 12 mm minimum entre les verres) ou équivalent est intéressant si on veut limiter les déperditions thermiques du mur accumulateur ;
 - le simple vitrage doit être absolument associé avec une isolation mobile ;
- isolation mobile : destinée à éviter les pertes de calories accumulées. Elle peut aussi servir à refroidir le mur.
- isolation extérieure : elle est soumise aux intempéries et doit donc être bien étanche pour éviter les effets de bord.
- isolation intérieure dans l'espace d'air : elle doit laisser libres les mouvements de thermocirculation mais il faut prévoir une bonne conception du système mobile car il est difficile d'accéder dans cet espace.



REMARQUES

- éviter le contact de châssis métalliques, ou de bois non séché, avec le mur ;
- faire attention à la qualité des matériaux, des peintures et des vernis pour éviter les dégradations dues aux fortes températures (jusqu'à 70 à 95°C) que peut atteindre le mur ;
- faire attention à la dilatation (faible pour le verre, mais forte pour les plastiques) ;
- prévoir la possibilité d'un entretien et d'une réparation aisés (verre, creux et autres matériaux) ;
- attention à ne pas installer un même vitrage qui subirait des ambiances thermiques différentes => risques de rupture thermique.

SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LA SERRE ACCOLÉE

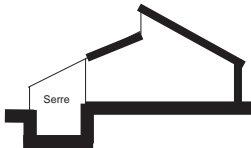
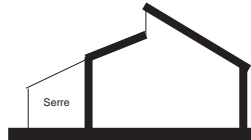
SERRE OU VERRIÈRE ACCOLÉE

EN FAÇADE SUD DE L'HABITATION, LA SERRE ATTACHÉE PRÉSENTE DIVERS INTÉRÊTS TELS QUE :

- limiter les déperditions de la maison et des espaces ensoleillés ;
- transférer facilement de la chaleur vers des espaces habitables moins bien exposés ;
- permettre le stockage de la chaleur dans une plus large quantité de matériaux.

DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS

- au niveau du sol intérieur ;
- plus bas que le sol intérieur ("en puits") : l'isolation du plancher du puits est inutile car elle peut bénéficier de la chaleur du sol.



MODES D'UTILISATION DE LA SERRE ACCOLÉE

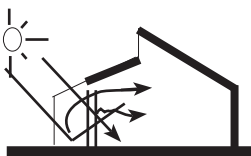
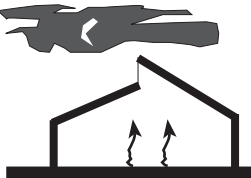
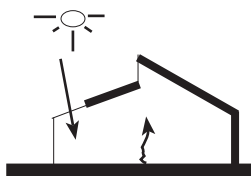
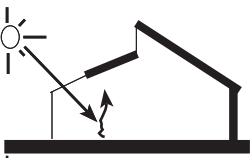
- **Extension du séjour** : pas de coupure thermique entre la serre et le séjour. Il est donc nécessaire de prévoir un chauffage d'appoint pour certaines périodes.
- **Espace séparé du séjour** : dans ce cas, on admet que la température peut y fluctuer beaucoup plus et l'isolation thermique entre les deux évite d'avoir à recourir à un système de chauffage.

La combinaison de ces configurations est évidemment possible.

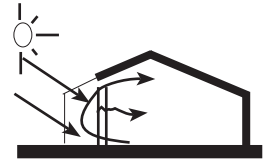
PÉRIODES DE CHAUFFE

L'effet de serre est général pour toutes ces configurations.

- **Extension du séjour** :
 - nécessité d'un chauffage complémentaire ;
 - besoin d'isolation nocturne et en dehors des périodes ensoleillées.
- **Système à gain direct** : par un mur vitré (double vitrage) dans les éléments assez froids. Cette paroi permet un réglage de la prise en compte ou non de la chaleur de la serre.
- **Système à échange d'air** : un mur sépare la serre, de l'habitation et, si on le désire, des bouches de ventilation hautes et basses permettent un échange par thermocirculation. La serre est donc espace tampon ou espace de chauffe. Il n'est pas nécessaire d'isoler ce mur intermédiaire.



- **Système à mur accumulateur** : il fonctionne comme un mur Trombe (séparation par un mur massif). La serre est un espace tampon. Une isolation mobile sur la serre peut rendre ce système très efficace en gardant la serre chaude, ce qui a pour effet de laisser le mur "rendre" sa chaleur vers l'intérieur du bâtiment.



Remarque : des bouches de ventilation peuvent aussi être pratiquées dans un tel mur.

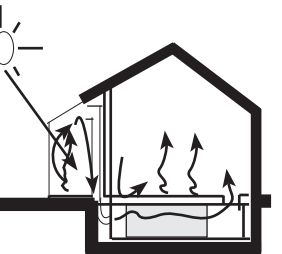
- **Système de stockage passif** : le mur séparateur n'a d'autre fonction que d'arrêter l'air chaud. Cet air est aspiré vers un stockage de graviers, de briques ou de produits à changement de phase. La diffusion de chaleur se fait naturellement à travers le plancher du séjour.

La température de l'air aspiré est d'environ 35 à 40°C. Le lit de gravier peut monter jusqu'à 25 à 30°C.

Il peut servir à échauffer l'air ambiant si on a installé un système à double flux.

Remarques :

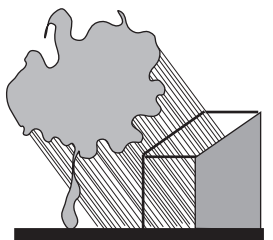
- le rendement de ventilation est plus efficace lorsque l'air est aspiré hors du stockage, que lorsqu'il y est pulsé ;
- il risque d'y avoir accumulation de poussières, de bactéries, etc. si la température de 40°C est dépassée.



PÉRIODES D'ÉTÉ

Sous nos latitudes, il faut, en été :

- empêcher le soleil d'atteindre la serre grâce, par exemple, à de la végétation à feuilles caduques ou des pare-soleil extérieurs placés sur la serre ;
- ventiler l'espace serre directement ;
- couper les espaces intérieurs, si nécessaire, du contact avec la serre.



CONSIDÉRATIONS ÉCONOMIQUES

CALCUL DE LA RENTABILITÉ D'UN INVESTISSEMENT

La rentabilité d'un investissement, par exemple le surcoût occasionné par le choix d'un double vitrage "haut rendement", peut être évaluée en comparant le montant de cet investissement, à l'économie qu'il permet de réaliser. Il convient toutefois de comparer l'investissement effectué aujourd'hui et les économies réalisées dans le futur sur une base économique équivalente.

L'économie réalisée pendant une période de N années se calcule :

$$\frac{\Delta C * E}{(t - i)} * \left[1 - \left(\frac{1+i}{1+t} \right)^N \right] \quad [€]$$

ou, si l'augmentation du coût de l'énergie et l'inflation sont égales au taux d'intérêts ($i = t$), l'économie réalisée équivaut à :

$$\Delta C * E * N * (1 + i) \quad [€]$$

où :

- ΔC : économie de chauffage [kWh/an] ;
- E : coût de l'énergie de chauffage au moment de l'investissement [€/kWh] ;
- i : inflation ou augmentation du coût de l'énergie [%] ;
- t : taux d'intérêt annuel de l'argent épargné [%] ;
- N : nombre d'années.

CASSE THERMIQUE [CSTC-97-2]

PRINCIPE :

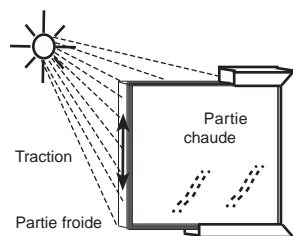
Lorsque la température du vitrage augmente, il se dilate.

Ce phénomène ne présente pas d'inconvénient si l'augmentation de température est uniforme sur tout le vitrage. Il arrive, parfois, qu'une partie de celui-ci reste froide, empêchant ainsi la partie chaude de se dilater librement : il se crée alors des contraintes de traction susceptibles de dépasser la contrainte de rupture du verre.

Un bris par choc thermique peut se produire s'il existe, entre deux zones d'un verre, une différence de température trop importante.

Cette différence de température peut être due, par exemple :

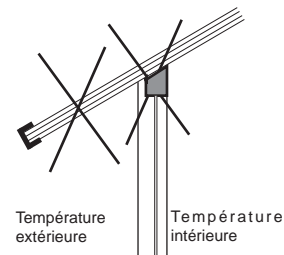
- à un écart de température entre la partie visible et la partie en feuillure du vitrage ; ce risque existe pour les verres de contrôle solaire et, principalement, pour les verres absorbants ;
- au fait qu'une partie d'un vitrage soit au soleil et que l'autre partie soit à l'ombre ;
- au fait qu'une partie d'un vitrage soit à l'extérieur et l'autre à l'intérieur.



PRINCIPE DE CASSE THERMIQUE

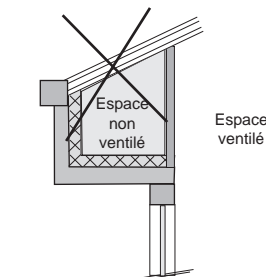


CASSE THERMIQUE DU VERRE



CASSE THERMIQUE DU VERRE

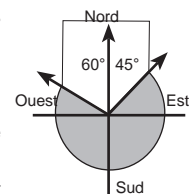
Proscrire tout dépassement du double vitrage en toiture sauf lorsque le verre intérieur est traité thermiquement.



CASSE THERMIQUE DU VERRE

DIFFÉRENTS FACTEURS PEUVENT INFLUENCER CETTE CASSE THERMIQUE, DONT NOTAMMENT :

- la position du vitrage :
 - *en façade* : la feuille extérieure d'un vitrage multiple possède un facteur d'absorption d'énergie solaire important, de telle manière que le traitement thermique du verre puisse s'avérer nécessaire.
 - *en toiture* : un vitrage partiellement enneigé présente un risque de bris par contrainte thermique ;
- la possibilité d'avoir des ombres portées uniquement sur une partie du vitrage ou le recouvrement des vitrages par les solins ;
- la présence d'un système de ventilation intérieure pulsant de l'air (chaud ou froid) sur le vitrage ;
- l'orientation des façades : les vitrages orientés entre -60° et $+45^\circ$ autour du nord, ne présentent aucun problème (figure ci-contre) ;
- la proximité d'un radiateur ;
- la proximité d'un objet sombre derrière le vitrage ;
- la nature, la forme et la couleur des châssis et le type de pose du vitrage dans la feuillure ;
- la pose du châssis en retrait du plan de la façade ;
- la nature du verre et ses dimensions ;
- l'état des bords du verre : les bords abîmés ou écaillés augmentent le risque de casse thermique ;
- les dépassements du vitrage en toiture peuvent être de 150 mm maximum pour le verre simple ; les doubles vitrages ne peuvent dépasser de la toiture ;
- les dilatations différentielles dues à une association "châssis foncé et verre clair", "châssis clair et verre absorbant" ou "châssis clair à coupure thermique et verre absorbant".



CASSE THERMIQUE DU VERRE : SECTEUR À CONSIDÉRER

SOMMAIRE	2
PREFACE	5
INTRODUCTION	6
ENJEUX	8
L'UTILISATION RATIONNELLE DE L'ÉNERGIE (U.R.E) ET LE RÔLE DE LA BAIE DE FENÊTRE	9
ISOLER THERMIQUEMENT C'EST.....	9
<i>Augmenter le confort</i>	9
<i>Economiser l'énergie, réduire les dépenses et protéger l'environnement</i>	9
GÉRER LES APPORTS SOLAIRES, C'EST.....	9
<i>Contribuer à réduire les dépenses</i>	9
<i>Augmenter le confort en été</i>	10
LE BILAN THERMIQUE DU LOGEMENT.....	10
LE BILAN EN CHIFFRES	10
<i>Hypothèses générales</i>	10
<i>Impact de l'orientation et de la fenestration</i>	11
<i>Impact de la qualité du vitrage</i>	12
<i>Impact combiné de l'orientation, de la fenestration et de la qualité du vitrage</i>	13
LA BAIE DE FENÊTRE ET L'U.R.E.	14
L'ÉVOLUTION HISTORIQUE DE LA FENÊTRE	15
LE CONTRÔLE DU CLIMAT LOCAL PAR L'ARCHITECTURE	16
LES PERFORMANCES DEMANDÉES	16
LE PRINCIPE	16
GAINS DE CHALEUR - GÉNÉRALITÉS.....	16
<i>Le principe</i>	16
<i>Le contrôle des apports solaires</i>	17
COMMENT GÉRER LES GAINS SOLAIRES ?	18
<i>Par la gestion de l'environnement et de l'orientation</i>	18
<i>Par l'architecture du bâtiment</i>	18
<i>Par les détails architecturaux</i>	19
<i>Par la qualité du vitrage</i>	19
COMMENT STOCKER LES GAINS DE CHALEUR ?	20
COMMENT CONTRÔLER ?	20
LA MAÎTRISE DES ÉLÉMENTS CLIMATIQUES	22
L'INFLUENCE DE L'EAU ET DE L'AIR	22
<i>L'eau, le vent</i>	22
<i>La neige</i>	23
<i>La vapeur d'eau</i>	23
<i>L'humidité relative</i>	24
L'INFLUENCE DE LA CHALEUR ET DU FROID	25
<i>L'isolation thermique et le rayonnement solaire</i>	25
COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES, DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD	26
LA VENTILATION	27
LA VENTILATION MAÎTRISÉE	27
LA VENTILATION INTENSIVE SELON LA NORME NBN D50-001	28
L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR	29
BUT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR.....	29

L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DES MENUISERIES.....	29
PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DES MENUISERIES.....	29
PERMÉABILITÉ À L'AIR AU NIVEAU DU RACCORD ENTRE LE CHÂSSIS ET LE SUPPORT.....	30
LES AUTRES FONCTIONS	32
LA FONCTION VISUELLE ET D'ÉCLAIREMENT	32
LA FONCTION STRUCTURALE.....	32
LA FONCTION ACOUSTIQUE	33
LA FONCTION DE SÉCURITÉ.....	34
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES PERFORMANCES DEMANDÉES AUX CONSTITUANTS DES PAROIS EXTÉRIEURES NON OPAQUES D'UN BÂTIMENT	34
LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE CHÂSSIS	36
SCHÉMA DE PRINCIPE D'UN CHÂSSIS EN BOIS	37
GÉNÉRALITÉS.....	38
LE RÔLE PRINCIPAL DU CHÂSSIS	38
L'ISOLATION THERMIQUE	38
L'ISOLATION ACOUSTIQUE	38
LES DIFFÉRENTES PARTIES D'UN CHÂSSIS.....	39
<i>Le dormant.....</i>	39
<i>L'ouvrant.....</i>	39
<i>La double barrière d'étanchéité à l'air et à l'eau.....</i>	39
<i>La chambre de décompression.....</i>	40
<i>Les exutoires de drainage de la chambre de décompression.....</i>	40
<i>La feuillure et la parclose.....</i>	40
LES DIFFÉRENTS TYPES DE CHÂSSIS	41
LES CHÂSSIS EN BOIS	41
LES TRAITEMENTS	42
<i>La protection.....</i>	42
<i>La finition.....</i>	42
LES CHÂSSIS EN ALUMINIUM	43
LES CHÂSSIS EN ACIER.....	43
LES CHÂSSIS EN PVC.....	44
LES CHÂSSIS EN FIBRES DE VERRE	44
LES CHÂSSIS EN POLYURÉTHANE	45
LES CHÂSSIS COMPOSITES	45
LES CHÂSSIS RECOMMANDÉS DANS LES BÂTIMENTS « PASSIFS ».....	46
LES QUINCAILLERIES ET TYPES D'OUVRANTS.....	46
RÉGLAGE DES QUINCAILLERIES	46
TABLEAU COMPARATIF DES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES TYPES D'OUVRANTS	47
TABLEAU RÉCAPITULATIF DES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES MATÉRIAUX DE CHÂSSIS.....	48
LA LIAISON AU GROS-OEUVRE	48
LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LE VITRAGE	50
LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE	51
LA COMPOSITION DU VERRE	51

LES DIFFÉRENTS TYPES DE VERRE ET DE VITRAGE.....	52
<i>Les produits de base</i>	52
<i>Les produits de base spéciaux</i>	52
<i>Les produits transformés</i>	53
LES EXIGENCES VIS-À-VIS DES PRODUITS VERRIERS	54
LES PERFORMANCES THERMIQUES ET LA LIMITATION DU TRANSFERT DE CHALEUR	55
LA TRANSMISSION DE CHALEUR.....	55
LE GAIN DE CHALEUR PAR EFFET DE SERRE.....	55
L'INFLUENCE DES DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA VALEUR U.....	56
<i>Les vitrages multiples</i>	57
<i>L'épaisseur du verre</i>	57
<i>L'épaisseur de la lame d'air ou de gaz</i>	57
<i>La composition de la lame entre les feuilles de verre</i>	57
<i>Les intercalaires</i>	58
LES AUTRES PERFORMANCES.....	59
LA FONCTION VISUELLE	59
<i>La transmission lumineuse</i>	59
LES PERFORMANCES PHYSICO-MÉCANIQUES.....	59
LE RÔLE ACOUSTIQUE.....	59
LA FONCTION SÉCURITÉ.....	60
LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES VITRAGES.....	61
LE VITRAGE.....	61
LES PRINCIPES GÉNÉRAUX DE LA MISE EN OEUVRE DES FENÊTRES.....	61
LES COMPOSANTS.....	61
LE CYCLE DE VIE.....	62
LES CONSTITUANTS DE LA BAIE DE FENÊTRE : LES PROTECTIONS.....	64
LES DIFFÉRENTS TYPES DE PROTECTION.....	64
LES PROTECTIONS SOLAIRES.....	65
PRINCIPE ET EFFICACITÉ.....	65
<i>Les objectifs</i>	65
<i>Les caractéristiques</i>	65
LES PROTECTIONS ET L'URE	65
<i>Limiter les surchauffes</i>	65
<i>Diminuer les déperditions thermiques</i>	66
<i>Gérer la lumière</i>	66
AUTRES CRITÈRES DE CHOIX DES PROTECTIONS SOLAIRES.....	66
DESCRIPTION DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES	66
LES PERFORMANCES DES PRINCIPALES PROTECTIONS SOLAIRES	68
METHODOLOGIE DE CONCEPTION DU SYSTEME «BAIE»	69
LES CHOIX DE L'AUTEUR DE PROJET.....	70
LES BAIES DANS L'ENVELOPPE EXTÉRIEURE	70
L'ARCHITECTE EN RÉPONSE À UN PROGRAMME, À UNE MANIÈRE DE VIVRE.....	70
LE CHOIX DE L'IMPLANTATION DU BÂTIMENT DANS LE SITE	70
L'ESQUISSE ET LES BAIES.....	71
<i>Les baies et leur orientation</i>	72
<i>La disposition des espaces et des baies et la thermocirculation</i>	72
L'AVANT-PROJET ET LES BAIES	73
LE PROJET ET LES BAIES	73

LES CRITÈRES DE CHOIX.....	74
LE CHOIX DU CHÂSSIS	75
LE CHOIX DU VITRAGE	76
ORGANIGRAMME DÉCISIONNEL.....	77
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'ESQUISSE	78
LE PROGRAMME	78
LE CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL.....	78
LES EXIGENCES PARTICULIÈRES.....	79
LA MANIÈRE DE VIVRE.....	79
LE CONFORT ET LE BIEN-ÊTRE.....	81
CHOIX DE LA DISPOSITION DES LOCAUX.....	81
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DE L'AVANT-PROJET	83
CHOIX DU SYSTÈME CONSTRUCTIF ET DES PERFORMANCES DE L'ENVELOPPE OPAQUE	83
FIXATION ET PRÉCISION DU POSITIONNEMENT, DU TYPE DE BAIES ET DES TYPES D'OUVRANT	83
PRÉCHOIX POUR LES MATÉRIAUX	83
PREMIÈRE ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES.....	84
CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION ET SON IMPACT SUR LES BAIES	84
CHOIX DU SYSTÈME DE PROTECTION SOLAIRE	85
SUITE DU CHOIX DES MATÉRIAUX	86
<i>Les vitrages.....</i>	86
<i>Les châssis</i>	86
<i>Globalement.....</i>	86
ILLUSTRATION PAR UN EXEMPLE : AU STADE DU PROJET.....	88
BILAN GLOBAL.....	88
IMPACT AVEC LE CHOIX D'UN SYSTÈME DE VENTILATION DE TYPE C	88
<i>L'impact des grilles de ventilation.....</i>	89
<i>L'impact du choix du système de ventilation C sur le coût total.....</i>	90
QUELQUES DÉTAILS	91
BIBLIOGRAPHIE.....	92
ANNEXE 1	95
GÉNÉRALITÉS.....	96
TERMINOLOGIE.....	96
LES FEUILLURES	96
LES FEUILLURES FERMÉES.....	96
<i>Forme des feuillures.....</i>	96
<i>Feuillures avec parecloses.....</i>	96
<i>Équilibrage des pressions et drainage de feuillure</i>	97
<i>Dimensions des feuillures fermées</i>	97
LE CALAGE.....	98
PRINCIPE	98
LES MATÉRIAUX CONSTITUTIFS DES CALES	98
<i>Les matériaux des cales à utiliser.....</i>	98
<i>Les différentes cales.....</i>	98
EMPLACEMENT DES CALES.....	99
<i>Cales d'assise (C1).....</i>	99
<i>Cales latérales ou d'espacement (C3).....</i>	99
LES GARNITURES D'ÉTANCHÉITÉ.....	100
LES MASTICS.....	100

LES PRÉFORMÉS DE BOURRAGE	100
ANNEXE 2	101
LE BRUIT.....	102
DÉFINITION.....	102
<i>Niveaux de l'ambiance sonore résultant des activités</i>	102
<i>Bruit admissible et confort à l'intérieur</i>	102
L'ISOLATION ACOUSTIQUE.....	103
L'INDICE D'AFFAIBLISSEMENT ACOUSTIQUE PONDÉRÉ R_w	103
LA BAIE ET L'ISOLATION ACOUSTIQUE.....	103
LE VITRAGE.....	104
<i>Le simple vitrage</i>	104
<i>Le double vitrage</i>	104
<i>Les plastiques</i>	105
L'ÉTANCHÉITÉ.....	105
LE TYPE DE CHÂSSIS.....	106
LES "ACCESSOIRES" ET LES "COMPLÉMENTS"	106
CONCLUSION.....	106
COMMENT AMÉLIORER L'ISOLATION ACOUSTIQUE ?	107
ANNEXE 3	108
LE BESOIN DE SÉCURITÉ	108
LA SENSATION DE SÉCURITÉ	109
LES PRODUITS VERRIERS.....	109
LA SÉCURITÉ À L'EFFRACTION	109
LES REMÈDES.....	109
LES VITRAGES.....	110
LES OUVRANTS.....	110
LA SÉCURITÉ AU FEU	111
LE COMPORTEMENT DES PRODUITS VERRIERS	112
<i>Caractérisation de la résistance au feu</i>	112
LA PROTECTION CONTRE LES BLESSURES ET LES CHUTES	114
LE CHOIX DES VITRAGES.....	114
ANNEXE 4	116
LE BOIS POUR LES MENUISERIES	117
LES COEFFICIENTS DE TRANSMISSION THERMIQUE DES FENÊTRES DE MATÉRIAUX ET DE DIMENSIONS STANDARD.....	118
QUELLES SONT LES NORMES D'APPLICATION DANS LE CADRE DE LA PEB ?	120
LA MISE EN OEUVRE THERMIQUEMENT HARMONIEUSE DE LA FENÊTRE DANS SA PAROI OPAQUE	121
NOEUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 1 (ÉPAISSEUR DE CONTACT MINIMALE ENTRE COUCHES ISOLANTES	121
NOEUDS CONSTRUCTIFS PEB CONFORMES : RÈGLE DE BASE 2 (INTERPOSITION D'ÉLÉMENTS ISOLANTS	122
LISTE NON EXHAUSTIVE DE NORMES CONCERNANT LES MENUISERIES EXTÉRIEURES.....	123

ANNEXE 5	125
TERMINOLOGIE : LES ÉCHANGES DE CHALEUR	125
TERMINOLOGIE : ACOUSTIQUE	126
TERMINOLOGIE : ÉNERGIE ET COEFFICIENT U	127
SOLEIL ET ÉNERGIE : EFFET DE SERRE	128
SOLEIL ET ÉNERGIE : FACTEURS SOLAIRES	129
SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LE MUR TROMBE	130
SOLEIL ET ÉNERGIE : GAIN DE CHALEUR : LA SERRE ACCOLÉE	131
DIVERS	132

La fenêtre et la gestion de l'énergie

Tout en étant accessible à tous, ce Guide pratique pour architectes « La fenêtre et la gestion de l'énergie » est destiné plus particulièrement aux concepteurs, et poursuit l'objectif de les aider à faire les choix les plus adaptés aux projets de bâtiments qu'ils développent, et cela dès les phases préliminaires de leur conception.

À l'heure où les réglementations thermiques deviennent de plus en plus contraignantes, il présente diverses techniques constructives pour composer la baie vitrée, et des outils permettant de gérer sa performance énergétique : ses déperditions thermiques et par infiltrations/exfiltrations, ses apports et protections solaires, ainsi que sa participation à la ventilation du bâtiment.

Il aborde les technologies classiques de la fenêtre, détaille les fonctions assurées par le châssis et le vitrage. Il rappelle les notions fondamentales de physique du bâtiment à l'aide de définitions, descriptions et tableaux faciles à comprendre, et par une mise en application dans un exemple concret, illustré de nombreux détails techniques.

En plus des aspects liés à la performance thermique, ce guide aborde également l'étanchéité à l'air, à l'eau, le cycle de vie..., notions tout aussi essentielles pour garantir une construction durable.

Dans leur carrière professionnelle, Jean-Marie Hauglustaine et Francys Simon fusionnent les facettes de l'architecte auteur de projet, du chercheur scientifique et du professeur de techniques de construction conduisant à une excellente performance énergétique et environnementale des bâtiments, tant nouveaux que rénovés.

Jean-Marie Hauglustaine est aujourd'hui chargé de cours au Département des Sciences et Gestion de l'Environnement, en Faculté des Sciences de l'Université de Liège. Son équipe de recherche EnergySuD développe des outils livresques (guides pratiques) et informatiques pour aider les concepteurs à intégrer le souci énergétique et environnemental dans le processus de conception de leurs projets. Elle est également impliquée dans l'accompagnement scientifique de la transposition, en Wallonie, des Directives PEB.

Francys Simon est professeur émérite de l'Université Catholique de Louvain, et continue à appliquer les principes qu'il a enseignés, dans ses projets d'architecture.