



— II — Le verre

1 Introduction

- 1.1 Nomenclature et conventions
- 1.2 Rayonnement solaire

2 Propriétés du verre

- 2.1 Caractéristiques lumineuses et énergétiques
- 2.2 Protection contre les UV
- 2.3 Indice de rendu des couleurs
- 2.4 Protection contre le rayonnement infra-rouge
- 2.5 Confort lumineux
- 2.6 Isolation et confort thermique
- 2.7 Performances et confort acoustique
- 2.8 Sécurité
- 2.9 Comportement au feu
- 2.10 Phénomènes inhérents au verre
- 2.11 Façonnage du verre
- 2.12 Nettoyage du verre

3 Aperçu des produits verriers AGC

- 3.1 Float
- 3.2 Verre feuilleté de sécurité courant
- 3.3 Verre feuilleté de sécurité renforcée
- 3.4 Verre à couche
- 3.5 Verre laqué
- 3.6 Miroir
- 3.7 Verre imprimé à relief
- 3.8 Verre armé
- 3.9 Verre armé poli de sécurité
- 3.10 Verre dépoli acide
- 3.11 Vitrage isolant
- 3.12 Verre traité thermiquement
- 3.13 Emailage
- 3.14 Photovoltaïque intégré au bâti
- 3.15 Verre résistant au feu
- 3.16 Verre avec LEDS
- 3.17 Verre bombé
- 3.18 Verre facile à nettoyer

— 1 — INTRODUCTION



Ligne de float AGC

Les premiers vitrages appliqués à des bâtiments sont apparus il y a un peu plus de deux mille ans pour obturer les ouvertures des constructions. À l'époque déjà, le verre était utilisé pour ses principales fonctions : laisser pénétrer la lumière tout en offrant un certain niveau de protection contre le vent, le froid et la pluie.

Le verre ne s'est cependant généralisé dans les bâtiments que depuis quelques siècles, et ce n'est qu'au 20ème siècle que les performances du verre ont fortement évolué pour le résidentiel et le tertiaire.

À la fin des années 40, les doubles vitrages destinés à améliorer l'isolation thermique ont commencé à se développer ; leur essor définitif en Europe occidentale n'est cependant survenu qu'à la suite de la crise énergétique des années 70.

Par la suite, le développement des verres à couches, des verres feuilletés, d'autres produits verriers dérivés et des produits verriers actifs a apporté des solutions de qualité dans des domaines tels que l'amélioration du confort lumineux, la maîtrise de l'énergie solaire gratuite, l'isolation thermique accrue, la sécurité, la production d'énergie et le confort acoustique.

À l'heure actuelle, plusieurs fonctions dans les produits verriers destinés à des applications architecturales, sont cumulées systématiquement.

Ce chapitre consiste en :

- > une description des caractéristiques du verre,
- > une illustration des fonctionnalités de construction des produits verriers AGC,
- > un aperçu des produits verriers AGC.

1.1 – Nomenclature et conventions

Les normes [EN 410](#) et [EN 673](#) définissent les termes attribués aux caractéristiques énergétiques et lumineuses du vitrage.

EN 410

Caractéristique	Nom	Symbole
Facteur de réflexion lumineuse	RL	ρ_v
Facteur de transmission lumineuse	TL	τ_v
Transmission directe de l'énergie solaire	TED	τ_e
Absorption directe de l'énergie solaire	AE	α_e
Réflexion directe de l'énergie solaire	RE	ρ_e
Facteur solaire (hiver)	FS	g
Facteur de transmission UV		τ_{uv}

EN 673

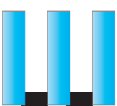
Caractéristique	Dénomination	Symbole
Transmission thermique (vertical)	U_{glass}	U_g

En outre la réglementation française a introduit l'usage :

- d'un facteur solaire "été" calculé avec des conditions aux limites différentes de celui d'"hiver" ([EN 410](#)),
- de coefficients de transmission thermique U_g représentatifs d'autres inclinaisons de vitrage (voir p. 566).

▼ Symboles

Symboles des vitrages

	Simple vitrage
	Simple vitrage d'épaisseur supérieure au précédent
	Double vitrage
	Triple vitrage
	Verre feuilleté avec (PVB ou PVB acoustique ou autre film / Pyrobel)
	Verre à couche
	Verre trempé thermiquement

Exemples

	Double vitrage composé d'un verre à couche #2 et d'un verre feuilleté
	Double vitrage dissymétrique dont le verre le moins épais a une couche en position #2

Nous utilisons également pour désigner une composition de vitrage isolant les symboles ":" ou "I".

Exemple :

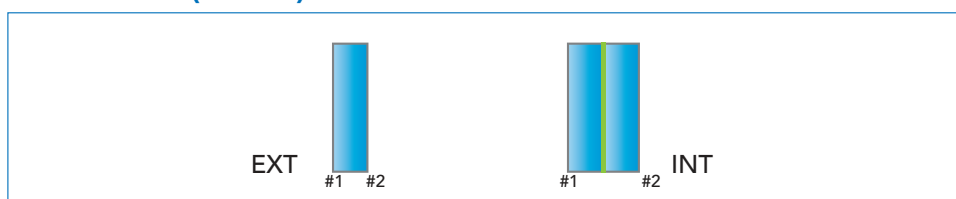
4/16/:4 ou 4-16-I4 pour un double vitrage avec une couche en face 3.

La numérotation des surfaces de verre et la position des couches pour différentes compositions sont données ci-après.

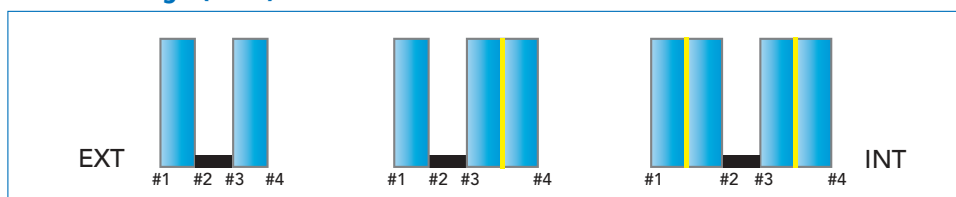
Verre monolithique (de 1 à 2)



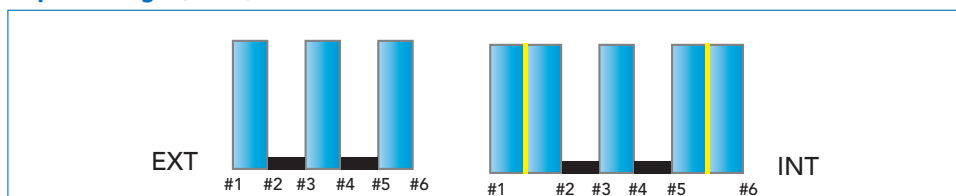
Verre feuilleté (de 1 à 2)



Double vitrage (1 à 4)



Triple vitrage (1 à 6)



Exemple : comment décrire le Stopsol Classic Green assemblé en verre feuilleté

Le rouge indique la position de la couche Stopsol



1.2 – Rayonnement solaire

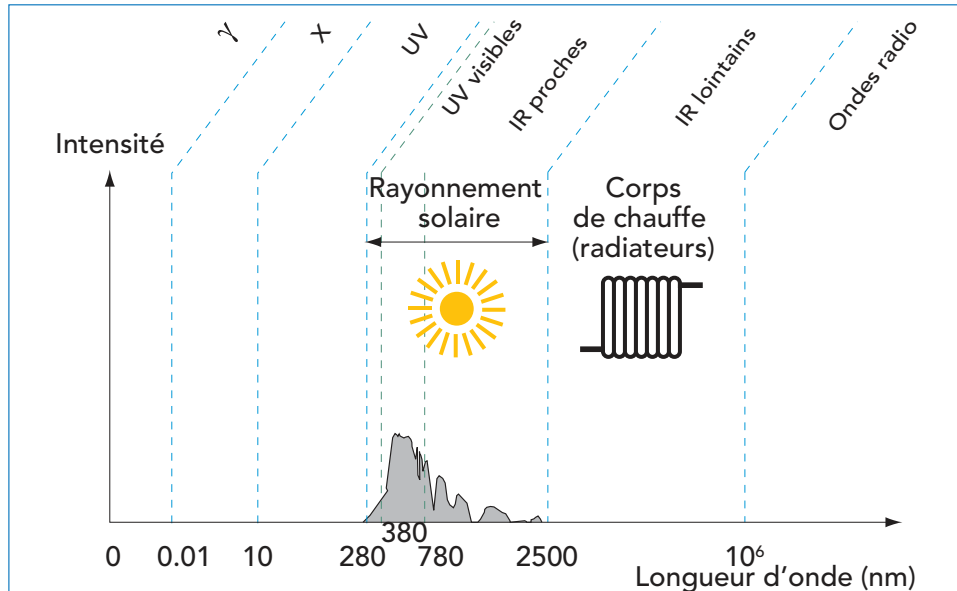
Nous sommes chaque jour soumis à différents types de rayonnements, provenant du soleil ou d'autres sources. Le tableau et la figure ci-après décrivent ces rayonnements.

Classification des rayonnements électromagnétiques en fonction de leur longueur d'onde

Type de rayonnement	Longueurs d'onde (nm) ⁽¹⁾
Rayons Gamma	de 0 à 0.01
Rayons X	de 0,01 à 10
Rayons ultraviolets (UV)	de 10 à 380
UV C	de 10 à 280
UV B	de 280 à 315
UV A	de 315 à 380
Rayons visibles	de 380 à 780
Rayons infrarouges (IR)	
proches IR A	de 780 à 1400
proches IR B	de 1400 à 3000
lointains IR C	de 3000 à 15 000
infrarouges lointains	de 15 000 à 1 000 000
Micro-ondes	de 1 mm à 1 m
Ondes radio	de 1 mm à 100 000 km

(1) 1 nm = 1 nanomètre = 10^{-9} m.

Les différents types d'ondes électromagnétiques



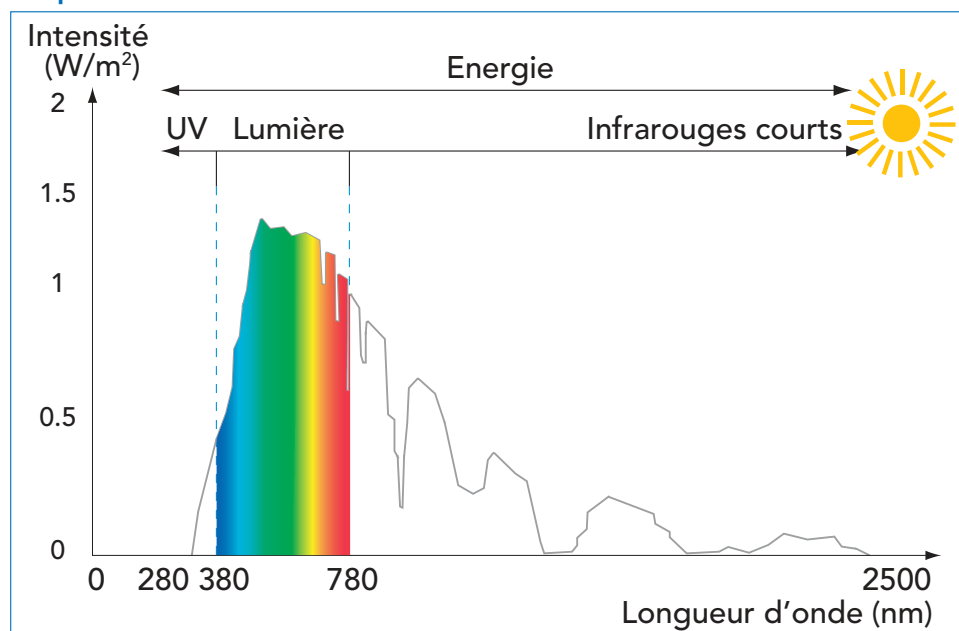
1.2.1 ENERGIE

Le rayonnement solaire ne correspond qu'à une petite partie du spectre des ondes électromagnétiques. Sa composition est donnée au tableau et à la figure ci-après.

Composition du spectre solaire

Type de rayonnement	Longueur d'onde (nm)	Fraction énergétique
UV	280 à 380	5 %
Visible	380 à 780	43 %
IR	780 à 2500	52 %

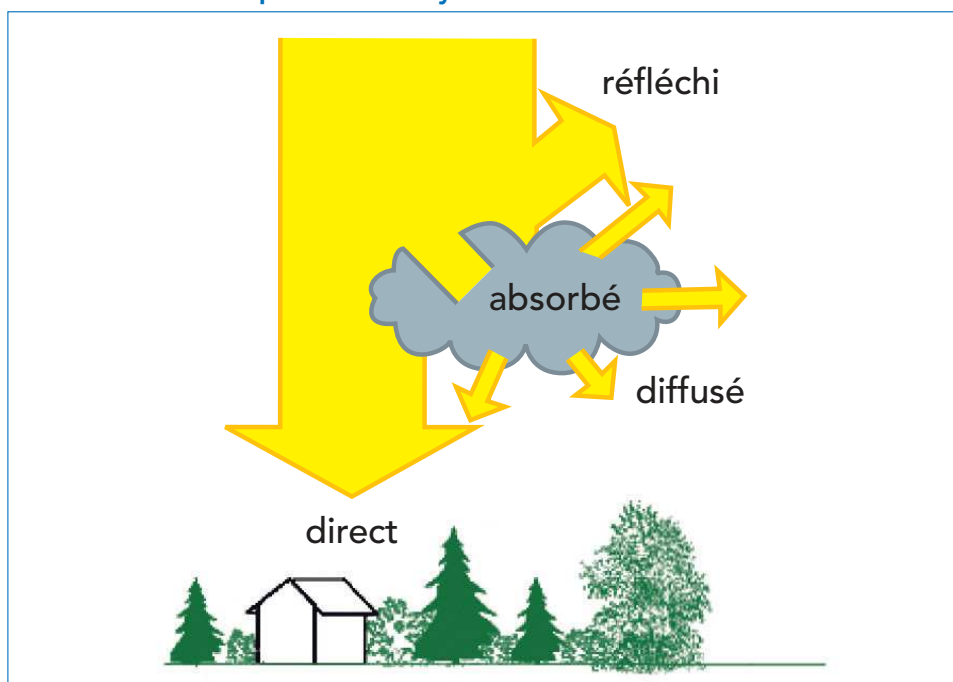
Le spectre solaire



Le soleil dégage autour de lui une énergie de 66 millions de W/m^2 , produite par des réactions nucléaires en chaîne. Seule une fraction de cette énergie atteint les limites de notre atmosphère. Cette fraction, d'une valeur de 1353 W/m^2 , est appelée Constante solaire.

L'énergie reçue au niveau du sol est plus faible que la Constante solaire, car l'atmosphère absorbe une partie du rayonnement solaire (environ 15%) et en réfléchit une autre vers l'espace (environ 6%). Le rayonnement global au niveau du sol se définit donc comme étant la somme des rayonnements directs et diffus.

Influence de l'atmosphère sur le rayonnement solaire



L'énergie reçue dépend en outre de la saison (angle d'incidence du soleil par rapport à la terre), de la latitude, des conditions météorologiques (nébulosité), du relief, de la pollution, de l'orientation de la façade, etc.

1.2.2 LUMIÈRE

La lumière est la partie du spectre solaire, de 380 nm à 780 nm, qui est perceptible par l'œil humain.

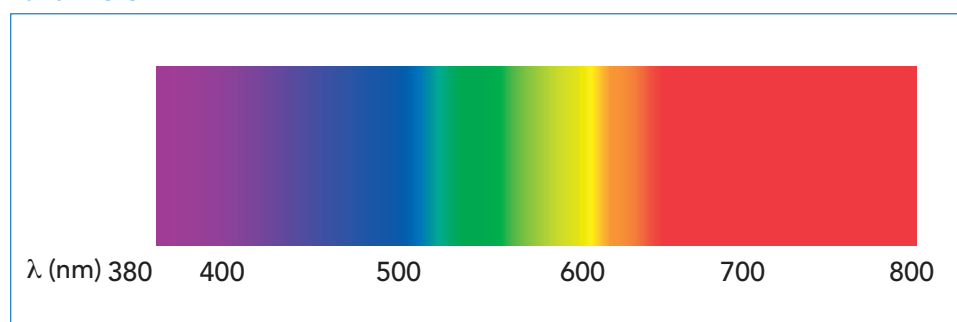
Sa composition est donnée ci-après.

Composition de la lumière

Couleur	Longueurs d'onde (nm) ⁽¹⁾
Violet	380 à 462
Bleu	462 à 500
Vert	500 à 577
Jaune	577 à 600
Orange	600 à 625
Rouge	625 à 780

(1) 1nm = 1 nanomètre = 10^{-9} m.

La lumière



1.2.3 MODÉLISATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE

L'illuminant normalisé selon [EN 410](#) est la référence D65.

Pour la simulation en laboratoire du comportement des vitrages soumis aux rayons du soleil, on utilise plusieurs types de lampes reproduisant certaines parties du rayonnement (par exemple, lampe à arc, à vapeur de mercure, lampe U.V...).

Pour les calculs thermiques des vitrages, tels que le risque de casse thermique ou pour calculer la production d'électricité produite par des cellules photovoltaïques, il existe nationalement des textes qui définissent les flux solaires à utiliser selon la région et l'exposition réelle (voir les annexes techniques).

— 2 — PROPRIÉTÉS DU VERRE



Porta Nuova - Milan, Italie - Architecte : Piarch - Stopray Vision-60^T

Le chapitre suivant décrit une série de caractéristiques de base des produits verriers :

- > caractéristiques lumineuses et confort,
- > caractéristiques énergétiques,
- > isolation thermique et confort,
- > performances acoustiques,
- > sécurité des personnes et des biens,
- > comportement au feu,
- > phénomènes optiques ou de surface,
- > finition des bords,
- > rendu des couleurs.

L'ensemble de ces caractéristiques peut être obtenue en quelques clics avec l'outil Glass Configurator de www.agc-yourglass.com pour un vitrage donné.

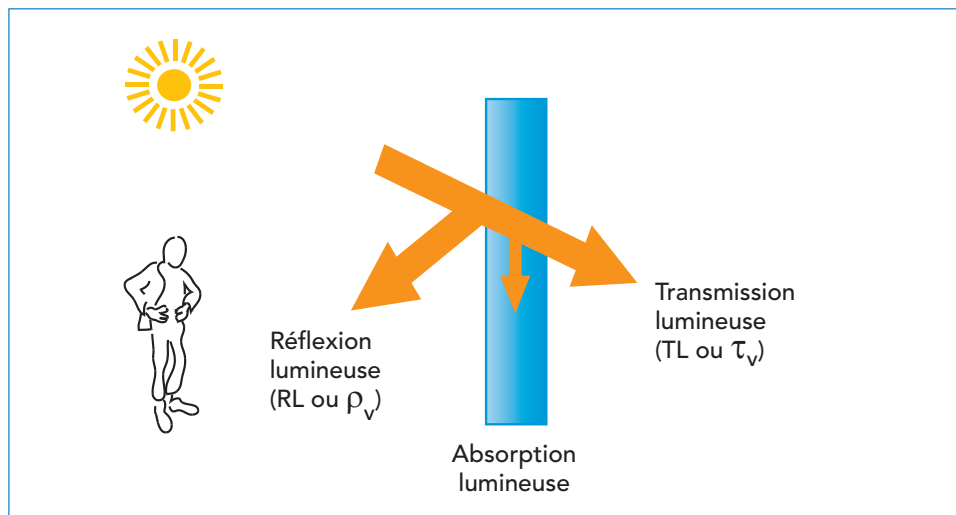
2.1 – Caractéristiques lumineuses et énergétiques

2.1.1 CARACTÉRISTIQUES LUMINEUSES

Les caractéristiques lumineuses sont définies en tenant seulement compte de la partie visible du spectre solaire (de 380 à 780 nm).

Les facteurs de transmission lumineuse τ_v (ou TL) et de réflexion lumineuse ρ_v / ρ'_v (RL / RL') sont définis comme étant respectivement les fractions de lumière visible transmise et réfléchie par le vitrage sur ses 2 faces.

Les facteurs lumineux



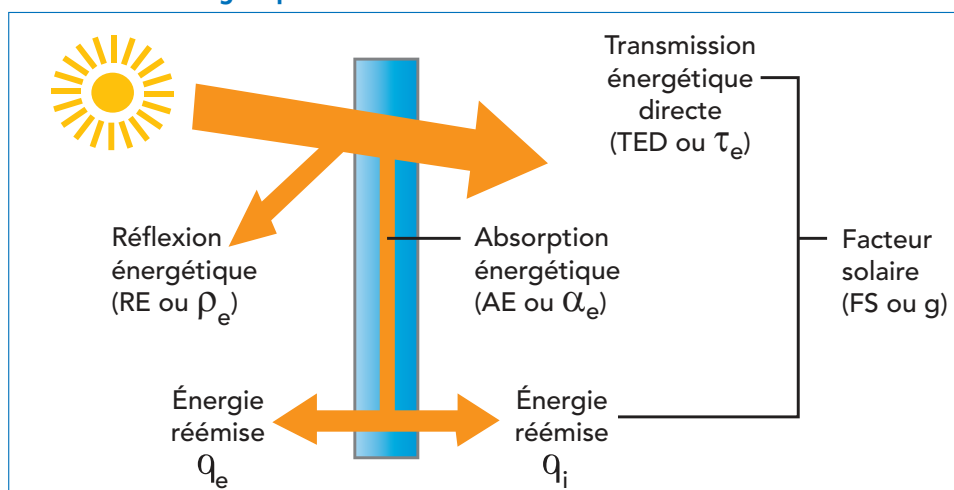
2.1.2 CARACTÉRISTIQUES ÉNERGÉTIQUES

Lorsque les rayons du soleil viennent frapper un vitrage, le rayonnement solaire total incident ϕ_e (de 280 à 2500 nm) est réparti entre :

- > une fraction $\rho_e \cdot \phi_e$ réfléchie vers l'extérieur, où ρ_e (ou RE) est le facteur de réflexion énergétique directe du vitrage ;
- > une fraction $\tau_e \cdot \phi_e$ transmise à travers le vitrage, où τ_e (ou TED) est le facteur de transmission énergétique directe du vitrage ;
- > une fraction $\alpha_e \cdot \phi_e$ absorbée par le vitrage, où α_e (ou AE) est le facteur d'absorption énergétique directe du vitrage ; l'énergie absorbée par le vitrage est ensuite partagée en :

- une fraction $q_i \cdot \phi_e$ réémise vers l'intérieur, où q_i est le facteur de réémission thermique vers l'intérieur ;
- une fraction $q_e \cdot \phi_e$ réémise vers l'extérieur, où q_e est le facteur de réémission thermique vers l'extérieur.

Les facteurs énergétiques



Ces différents facteurs sont liés par les relations

$$\rho_e + \tau_e + \alpha_e = 1 \quad \text{ou} \quad RE + TED + AE = 100$$

et

$$\alpha_e = q_i + q_e$$

Le facteur solaire g (ou FS) représente la transmission totale d'énergie à travers le vitrage ; il s'agit de la somme du rayonnement transmis directement et du rayonnement absorbé qui est réémis vers l'intérieur :

$$g = \tau_e + q_i$$

▼ En France

On définit :

$$g = Sg_1 + Sg_2$$

où Sg_1 est égal à τ_e

et où Sg_2 est égal à q_i

Ces caractéristiques sont utiles au calcul des caractéristiques complètes et réglementaires des baies vitrées.

Conventionnellement, g est suivant [EN 410](#) calculé pour des conditions d'hiver. Les règles de calcul associées à la réglementation thermique en France imposent également l'usage d'un facteur solaire en conditions d'été (voir p. 566).

2.1.3 SÉLECTIVITÉ

L'énergie solaire entrant dans un local provient des rayons ultra-violet, de la lumière visible et des infrarouges.

On peut limiter l'énergie solaire pénétrant dans le bâtiment, sans pour autant altérer la transmission lumineuse, en utilisant des verres à couches performants empêchant le passage des UV et des IR (rayons infrarouges), tout en permettant celui de la lumière visible. Ces verres sont dits "sélectifs".

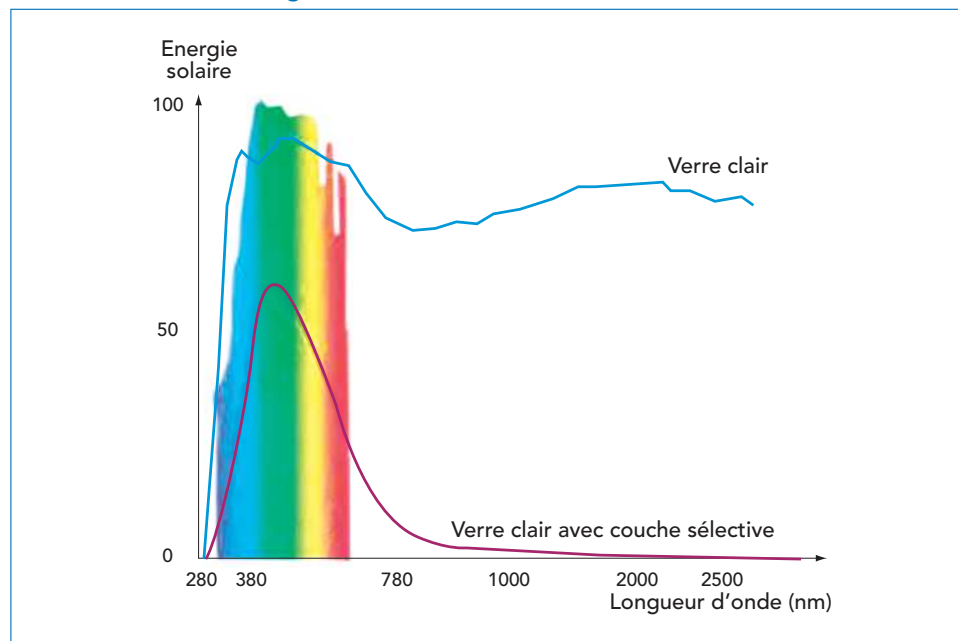
La sélectivité d'un vitrage est le rapport de sa transmission lumineuse (TL) et de son facteur solaire (FS) : sélectivité = $TL / FS = \tau_v / g$.

La sélectivité est toujours comprise entre 0,00 et 2,33 :

- > 0 correspond à un verre opaque qui a une transmission lumineuse nulle ;
- > 2,33 correspond à la meilleure sélectivité possible puisque la lumière représente 43% du spectre solaire.

Un vitrage sélectif laisse pénétrer la lumière pour un facteur solaire donné.

Transmission de l'énergie solaire



2.2 – Protection contre les UV

▼ Décoloration

Le rayonnement solaire est une forme d'énergie susceptible, dans certains cas, d'affadir les couleurs des objets qui lui sont exposés. Cette altération des couleurs résulte de la dégradation progressive des liaisons moléculaires sous l'action des photons de forte énergie. Les rayonnements à l'origine de cet effet sont les ultraviolets et, dans une moindre mesure, la lumière visible de courte longueur d'onde (violette et bleue). De plus, le rayonnement solaire engendre des élévations de température qui accélèrent ce phénomène.

Certains produits verriers permettent de lutter contre la décoloration :

- > les verres feuilletés avec intercalaires en PVB absorbent plus de 99% des UV. Le verre feuilleté PVB arrête 99,9% des UV arrivant sur la paroi vitrée. La protection augmente avec le nombre de filtres PVB ;
- > les verres colorés à dominante jaune-orangée absorbent en partie la lumière violette et bleue ;
- > les vitrages ayant un facteur solaire faible limitent les élévations de température.

Aucun produit verrier ne garantit cependant à 100% l'absence de phénomènes de décoloration.

L'éclairage intérieur artificiel peut entraîner globalement une décoloration.

Différents indices permettent de quantifier la protection contre les UV et le risque de décoloration et de dégradation chimique :

- > le taux de la transmission UV (entre 280 et 380 nm suivant [EN 410](#)) ;
- > le CIE damage factor : cet indice est défini dans [l'ISO 9050](#) et tient compte de la transmission du rayonnement pour des longueurs d'ondes de 300 à 600 nm (celles contribuant à la décoloration des objets).

▼ Risque pour la peau

L'exposition aux rayons ultraviolets est à l'origine de la grande majorité des cancers de la peau.

SPF - Skin Protector Factor : cet indice est défini dans *l'ISO 9050* et tient compte de la transmission du rayonnement pour des longueurs d'ondes de 300 à 400 nm (celles contribuant à la détérioration de la peau).

▼ Performance des vitrages

Dénomination	τ_{uv} %	Indice CIE	Indice SPF
Clearlite 4 mm	70	83,2	25,7
Clearvision 4 mm	86	89,6	62,4
Clearlite 44.2 Stratobel / Stratophone	0	49,9	0,3
Clearvision 44.2 Stratobel / Stratophone	0	51,7	0,8
iplus Top 1.1 on Clearlite 4 / 16 / 4 Clearlite	44	67,8	12,3
6 Stopray Vision 72 / 16 / 4 Clearlite	14	47,4	4,1

2.3 – Indice de rendu des couleurs

Les objets que nous voyons, qu'ils soient transparents, translucides ou opaques, ont une certaine couleur.

Cette couleur dépend de nombreux paramètres tels que :

- > la lumière incidente (type d'illuminant),
- > les propriétés de réflexion et de transmission de l'objet,
- > la sensibilité de l'œil de l'observateur,
- > l'environnement de l'objet observé et le contraste entre cet objet et ceux qui l'entourent.

Un observateur ne percevra pas forcément un objet de la même façon en fonction, par exemple, du moment de la journée ou du niveau de lumière naturelle.

La teinte en transmission inhérente au verre clair est légèrement verte en raison de sa composition chimique. Les propriétés optiques des verres colorés varient fortement en fonction de leur épaisseur. Les floats colorés bronze, gris, bleus et verts permettent de réduire la quantité d'énergie solaire et de lumière transmise.

La vue au travers d'un vitrage coloré est donc influencée par la couleur du verre.

L'indice de rendu des couleurs RD65 donne une évaluation quantitative de la différence de couleur entre 8 échantillons de couleur test éclairés directement par l'illuminant de référence D65 et la lumière provenant du même illuminant, transmise par le vitrage. Plus sa valeur est élevée, moins la couleur est modifiée par la vue au travers du vitrage.

Aperçu des valeurs TL, g, Ug et RD65

Dénomination du produit	Composition du verre	TL (%)	g (%)	U _g	RD65 (%)
Planibel Clearlite	4	90	86	5.8	99
Planibel Clearvision	4	92	91	5.8	100
Stratobel Clearlite	44.2	88	77	5.5	98
Stratobel Clearvision	44.2	91	84	5.5	100
Thermobel Advanced	4 / 16 / 4 (1)	76	55	1.0	97
Thermobel TG Top ⁽¹⁾	4 : / 14 / 4 / 14 / 4 (1)	72	51	0.6	96
Thermobel TG LS ^{(1) (2)}	4 : / 14 / 4 / 14 / 4 (2)	75	61	0.7	99

(1) Rempli à 90% d'Argon.

(2) Avec Clearvision comme feuille intermédiaire.

2.4 – Protection contre le rayonnement infrarouge

2.4.1 EMISSIVITÉ

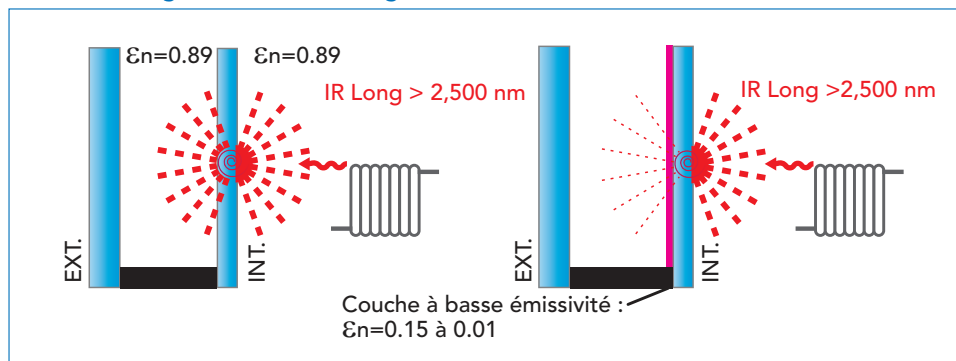
L'émissivité d'un matériau (généralement indiquée par ε ou e) est la capacité relative de sa surface à émettre de l'énergie par rayonnement. Il s'agit du rapport entre l'énergie émise par ce matériau et celle émise par un corps noir à la même température.

Un véritable corps noir présente une émissivité $\varepsilon = 1$ tandis que pour tout objet réel, $\varepsilon < 1$. L'émissivité est une grandeur sans dimension.

L'émissivité dépend de facteurs tels que la température, l'angle d'incidence et la longueur d'onde.

Afin d'améliorer les propriétés isolantes des vitrages, des revêtements en couches minces sont appliqués au verre brut par dépôt de vapeur chimique ou par technique magnétron sous vide.

Double vitrage et double vitrage à isolation renforcée (VIR)



Une émissivité de 0,03 signifie que 97% du flux de chaleur absorbé par le vitrage est réfléchi vers l'intérieur du bâtiment.

Une feuille de verre clair a une émissivité normale égale à 0,89 alors que les couches pyrolytiques permettent d'obtenir des valeurs de l'ordre de 0,15 à 0,30 et que les couches magnétron atteignent des valeurs de 0,01 à 0,04.

La norme [EN 12898](#) décrit la méthode de mesure de l'émissivité normale ε_n .

En pratique, dans les calculs de transfert thermique, on utilise la valeur de l'émissivité corrigée ε en multipliant l'émissivité normale par un facteur tenant compte de la distribution angulaire de l'émissivité.

2.4.2 IR COURTS

La protection contre les IR courts entrants (jusqu'à 2500 nm) ou contre la chaleur en général demande l'usage de verres de contrôle solaire ayant un facteur solaire adapté.

La surface des vitrages et leur facteur solaire influencent directement la performance et la capacité maximale du système de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment.

2.4.3 IR LONGS

Le contrôle des IR longs consiste à empêcher les ondes émises par des objets chauds, de quitter les bâtiments, afin d'en améliorer l'isolation thermique.

Ce contrôle s'obtient grâce à des verres à couches à basse émissivité.

Le niveau d'isolation thermique des vitrages (et du bâtiment en général) influence directement la consommation énergétique du bâtiment.

2.5 – Confort lumineux

La lumière entrant dans le bâtiment, qu'il s'agisse d'un immeuble résidentiel ou commercial, peut être maîtrisée au moyen de verre coloré ou de verre à couches.

La localisation d'un bâtiment influence fortement les exigences en termes de niveau de transmission lumineuse souhaitée. Dans les zones bénéficiant d'un fort ensoleillement, on essaye en général de limiter la transmission lumineuse et le facteur solaire. Par contre, dans les zones ayant peu d'ensoleillement, on essaiera au contraire de profiter de la lumière naturelle.

Les vitrages permettent de répondre à tous les types de demande puisque des transmissions lumineuses variant de quelques % (pour des applications visant à réduire l'éblouissement), jusqu'à plus de 90% (pour le verre extra-clair) peuvent être obtenues.

De plus, en fonction du type de couche ou de verre utilisé, ces niveaux de transmission lumineuse peuvent être combinés à des niveaux de facteur solaire faibles, moyens ou élevés.

La surface des vitrages et leur niveau de transmission lumineuse influencent directement le niveau d'éclairage artificiel nécessaire et le coût ultérieur en consommation.

L'éclairage naturel des locaux est une matière complexe. Nous ne donnerons ici que quelques règles générales pour les habitations privées et non pour les immeubles de bureaux pour lesquels un éclairage artificiel est presque toujours présent.

Pour chaque projet, l'architecte doit adapter la position et la dimension des fenêtres en fonction de l'orientation et de la localisation du bâtiment et faire le choix du vitrage adéquat.

▼ Éclairage naturel

La quantité de lumière disponible dépend des conditions météorologiques, de la saison et du moment de la journée ainsi que des obstacles éventuels proches des fenêtres (arbres, protections solaires, éléments architecturaux, voilages, rideaux, ...).

Tout comme les apports énergétiques, les apports lumineux dépendent de l'orientation de la fenêtre. L'orientation au nord ne bénéficiant pratiquement pas du soleil, l'éclairage naturel y est le plus constant. Les orientations est et ouest ainsi que sud en hiver bénéficient par contre d'apports lumineux directs et variables.

▼ La position des fenêtres

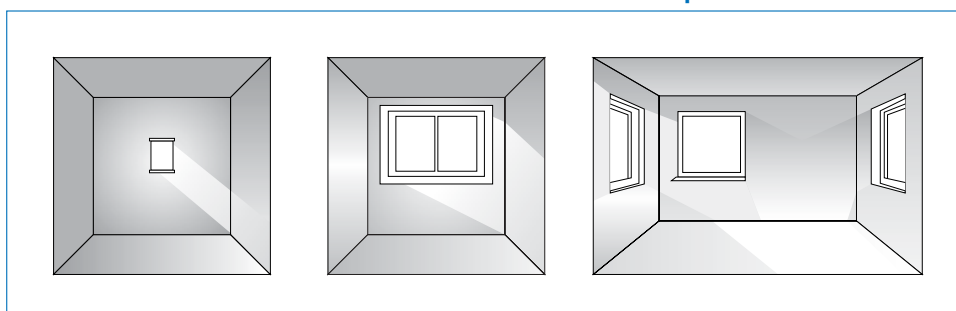
La lumière se propageant en ligne droite, ce sont les parties supérieures des fenêtres qui constituent la principale source de lumière de la pièce. Il est recommandé de disposer les vitrages de manière à ce que le bord supérieur se situe à une hauteur au moins égale à la moitié du mur.

Prévoir des fenêtres en toiture est un excellent moyen de laisser pénétrer la lumière du soleil.

La répartition de la lumière est également un facteur clef pour un éclairage de qualité. Il faut la distribuer harmonieusement. La lumière étant réfléchiée par les plafonds, les sols et les murs, on évitera les couleurs foncées qui absorbent la lumière.

Il est donc tout indiqué de placer des fenêtres dans les parties supérieures de plusieurs murs. Lorsque cela n'est pas possible, il convient de jouer sur la réflexion des murs intérieurs de la pièce, agissant comme autant de sources lumineuses secondaires. Un déséquilibre entre les intensités lumineuses de plusieurs sources sera avantageusement compensé par le choix de leur transmission lumineuse.

Diffusion de la lumière en fonction de la taille et de la position des fenêtres



Enfin, si une lumière abondante est agréable, il convient néanmoins d'éviter qu'une trop forte intensité ne provoque l'éblouissement ou ne gêne les activités ayant lieu dans le local. L'éblouissement est dû à la présence dans le champ visuel de sources lumineuses trop intenses. La diminution de la surface des fenêtres n'est pas une bonne solution car elle accentue le contraste entre la fenêtre et le mur dans lequel elle est percée, augmentant ainsi encore l'inconfort. Par contre, l'éblouissement peut être atténué par l'emploi de verres à couches à transmission lumineuse réduite.

▼ Dimensions des fenêtres

Les dimensions des fenêtres doivent être suffisantes et la proportion d'éléments non transparents (par exemple : les subdivisions des châssis) doit être limitée. En effet, la surface vitrée - encore appelée clair de baie - est toujours plus petite que la surface de la fenêtre.

▼ Protection de l'intimité

Pour renforcer l'intimité des locaux en empêchant la vue vers l'intérieur, plusieurs types de produits verriers apportent des solutions :

- > **verres à couches réfléchissantes** : ils abritent partiellement un local contre les regards extérieurs pour autant que le local intérieur soit moins éclairé que l'environnement extérieur (Stopsol Supersilver ou Classic) ;
- > **verres translucides et/ou colorés** : verre imprimé Imagin, verre feuilleté avec PVB mat ou coloré, verre maté, verre sablé, briques en verre ;
- > **verres sérigraphiés ou émaillés** ;
- > autres systèmes de protection visuelle comme **Thermobel Store** ;
- > **vitrages Halio**.

2.6 – Isolation et confort thermique

2.6.1 TRANSMISSION DE CHALEUR À TRAVERS UN VITRAGE

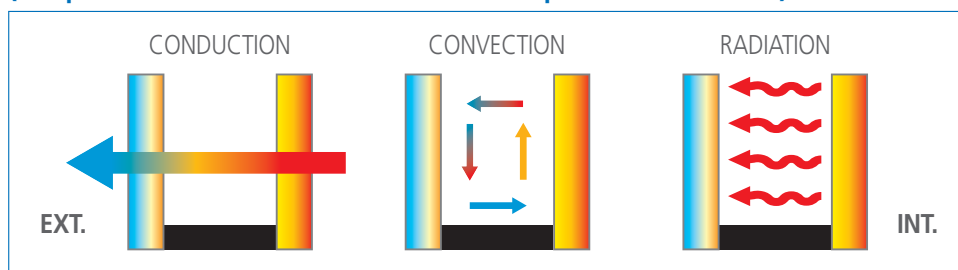
Une différence de température entre deux points d'un corps quel qu'il soit, entraîne un transfert de chaleur du point chaud vers le point froid.

Ce transfert peut s'opérer de différentes façons :

- > **par conduction**, c'est-à-dire au sein de la matière même ; la chaleur se transmet de molécule en molécule, sous l'influence d'une source de température. Il s'agit par exemple d'une barre métallique dont une extrémité est chauffée ;
- > **par convection dans les liquides et les gaz** : les différences de température provoquent des différences de densité qui mettent les molécules en mouvement puisque les molécules chaudes présentent une densité inférieure et se déplacent vers le haut alors que l'effet est inverse pour les molécules froides. C'est le cas de l'air chaud se dégageant d'un élément chauffant et se déplaçant vers le plafond d'une pièce, ces mouvements tendent à égaliser les températures ;
- > **par rayonnement** : tout corps chauffé émet de l'énergie sous forme de rayonnement électromagnétique.

Le verre isolant réduit le transfert de chaleur par conduction et convection grâce à sa lame étroite (généralement remplie d'un gaz thermique), combinée à une couche basse émissivité sur l'une des faces des feuilles de verre au moins.

Mécanismes fondamentaux de transmission de chaleur à travers un vitrage (température extérieure inférieure à la température intérieure)



En paroi inclinée, il est recommandé de limiter la convection et par conséquent la largeur de la lame gazeuse.

2.6.2 COEFFICIENT DE TRANSMISSION ET CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

▼ Coefficient de transmission thermique U_g

Il est défini comme la quantité de chaleur traversant le vitrage, en régime permanent et par unité de surface, pour une différence de température de 1 °K entre les ambiances.

Pour minimiser le transfert énergétique, il faut que le coefficient de transmission thermique (U_g) du vitrage isolant ait une valeur aussi faible que possible (c'est-à-dire que la résistance thermique du vitrage soit aussi élevée que possible).

La *norme EN 673* donne la méthode de calcul conventionnelle en position verticale. La valeur obtenue correspond à la valeur U_g au centre du vitrage. Les effets de bords dus à la présence de l'espaceur et du châssis, influencent le transfert de chaleur, mais ils sont évalués par le biais d'un coefficient ψ de transmission thermique linéique qui dépend du type d'intercalaire (aluminium ou synthétique "warm edge") et du châssis d'installation. Le coefficient de déperdition de la fenêtre U_w représente l'ensemble (profilés + intercalaire + vitrage).

Le tableau ci-après donne les valeurs du coefficient de transmission thermique des différents types de vitrage isolant. Les espaceurs les plus couramment utilisés ont une épaisseur de 12 à 20 mm.

Valeurs U_g pour différents types de vitrage [W/(mK)]

	iplus Advanced 1.0 (#3)			iplus Top 1.1 (#3)		
	Air	Argon 90%	Krypton 90%	Air	Argon 90%	Krypton 90%
4 / 16 / 4	1.3	1.0	1.0	1.4	1.1	1.1
4 / 20 / 4	1.3	1.1	1.1	1.4	1.1	1.1
	iplus Advanced 1.0 (#2 et #5)			iplus Top 1.1 (#2 et #5)		
	Air	Argon 85%	Krypton 90%	Air	Argon 85%	Krypton 90%
4 / 12 / 4 / 12 / 4	0.9	0.7	0.4	0.9	0.7	0.5
4 / 16 / 4 / 16 / 4	0.7	0.5	0.4	0.8	0.6	0.5

Le coefficient U_g peut également être calculé pour une paroi inclinée. Il est toujours supérieur au U_g conventionnel.

▼ Conductivité thermique λ

C'est la quantité de chaleur traversant en une seconde un panneau de 1 m d'épaisseur et d'une surface d' 1m^2 , lorsqu'il existe une différence de température de 1°K entre deux environnements.

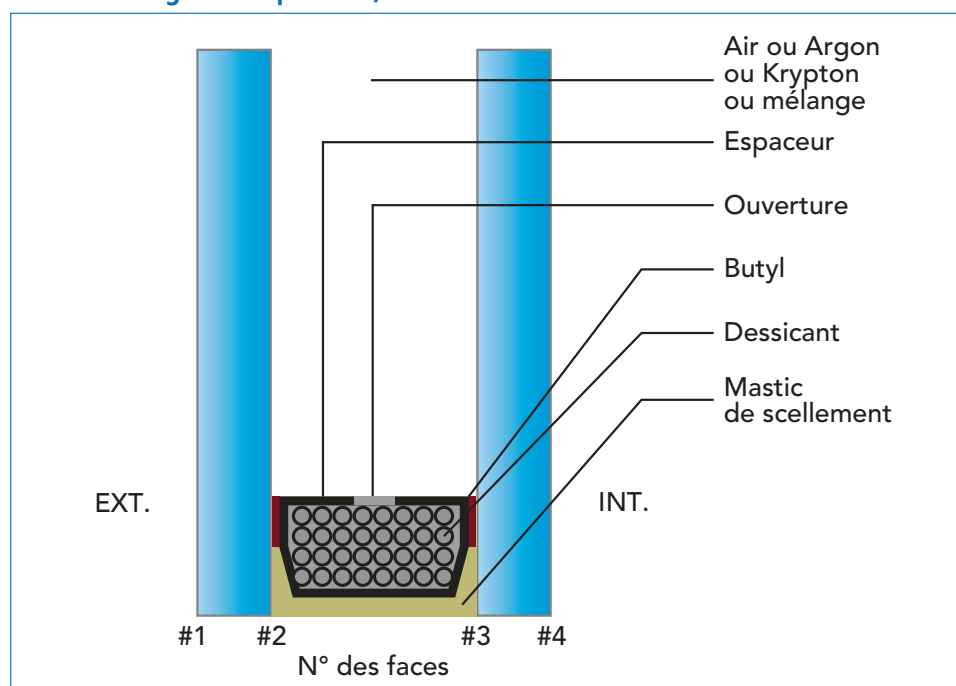
La conductivité thermique du verre vaut $1.0\text{ W}/(\text{mK})$. Les feuilles de verre monolithique ne peuvent donc pas être considérées comme un matériau isolant en soit puisque sont considérés comme tels des matériaux dont la conductivité thermique est inférieure à $0,065\text{ W}/(\text{mK})$.

2.6.3 DIFFÉRENTS TYPES DE VITRAGE ISOLANT

▼ Double vitrage traditionnel

Le double vitrage historique est constitué de deux feuilles de verre séparées par un espaceur. L'espace intérieur entre les 2 verres est rempli d'air déshydraté. Plus tard, la performance a été améliorée graduellement par le remplissage en Argon de cette cavité.

Double vitrage : composants, orientation et numérotation des faces



Ces produits ne sont généralement plus utilisés, compte tenu des exigences de performance énergétique requises.

▼ Vitrages isolants à isolation renforcée VIR

Quasiment tous les vitrages isolants sont aujourd'hui remplis d'Argon et comportent au moins une couche faiblement émissive ou "low ϵ " sur une des faces.

Il peut s'agir :

- > de couches "tendres" à basse émissivité produites par magnétron,
- > de couches dures pyrolytiques à basse émissivité.

Ces couches sont caractérisées par les éléments suivants :

- > aspect neutre en réflexion,
- > transparence en transmission,
- > préservation des couleurs en transmission,
- > transmission lumineuse importante et facteur solaire élevé.

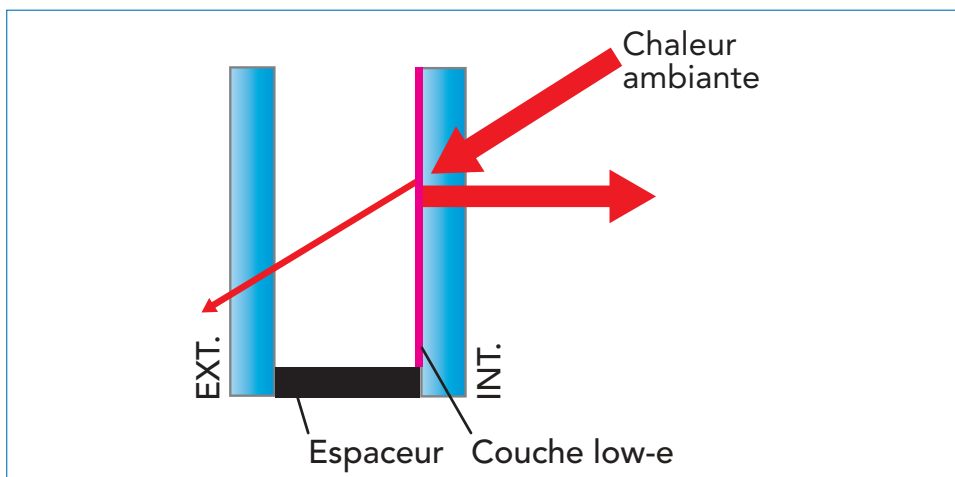
L'émissivité affecte le rayonnement d'IR longs générés par les objets, dont les sources de chaleur. En revanche, elle n'a pratiquement aucun effet sur le rayonnement solaire. L'utilisation des doubles vitrages favorise donc l'isolation thermique tout en permettant de conserver des apports solaires élevés.

Ces couches low ϵ sont positionnées en face 2 ou 3 d'un double vitrage, ou en face 2 et 5 d'un triple vitrage.

Il est toujours déconseillé de mettre en oeuvre de façon juxtaposée des vitrages isolants qui ne seraient pas fabriqués avec des couches de même provenance. Il peut en résulter une altération visuelle en réflexion.

Pour allier isolation thermique et contrôle solaire, il conviendra d'utiliser d'autres types de couches combinant ces deux fonctions (voir p. 62).

Vitrage à basse émissivité



L'espaceur métallique en aluminium ou en acier courant est souvent remplacé, sur demande, par un espaceur en matière plastique de type «Warm Edge» (éventuellement renforcé par une âme métallique). On diminue ainsi les déperditions thermiques en périphérie (vitrages et feuillures). La performance est caractérisée par un coefficient ψ_g qui est lié au type et à la géométrie du châssis.

▼ Triple vitrage VIR

Les triples vitrages combinent deux espaces remplis d'Argon ou de Krypton et deux couches faiblement émissives. Ils sont également fabriqués avec des intercalaires Warm-Edge.

Le principal inconvénient du triple vitrage est son épaisseur et donc, son poids.

Etant donné l'isolation thermique accrue offerte par le triple vitrage, il est conseillé d'évaluer les risques de chocs thermiques, en particulier pour la feuille de verre centrale (voir p. 554). Ainsi nous déconseillons l'emploi de triples vitrages pour des châssis coulissants.

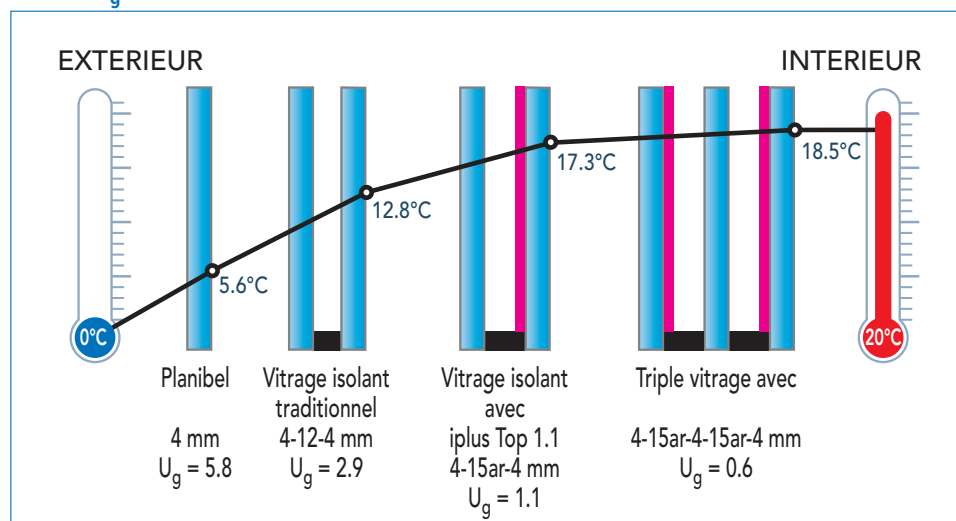
▼ Influence des croisillons

La présence de croisillons ne modifie pas le coefficient U_g du vitrage isolant. Par contre elle dégrade le coefficient U_w de la fenêtre de 0,1 à 0,2 W/m²/K.

2.6.4 TEMPÉRATURE DE SURFACE DU VITRAGE ISOLANT

L'évaluation du confort thermique dans un lieu donné ne dépend pas seulement de la température de l'air ambiant, mais également de la proximité éventuelle de surfaces froides. Lorsqu'il s'approche de telles surfaces, par exemple un simple vitrage, le corps humain, dont la température cutanée est de l'ordre de 28°C, se comporte comme un «radiateur». L'énergie ainsi dissipée se traduit par une désagréable sensation de froid. Comme l'indique la figure ci-après, l'utilisation de vitrage VIR permet non seulement de limiter les pertes énergétiques, mais aussi de supprimer la sensation d'inconfort engendrée par les parois froides.

Évolution de la température de la face intérieure du vitrage en fonction de la valeur U_g en hiver



Le coefficient U_g mesure la performance d'isolation du vitrage (g pour «glass» en anglais).

Ce coefficient de performance thermique se mesure en Watt (qui mesure l'énergie perdue), par m^2 de vitrage et par degré Kelvin (la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur).

Ce coefficient mesure la capacité d'un vitrage à garder les calories à l'intérieur du bâtiment.

Plus ce coefficient est bas, meilleure est l'isolation.

Exemple : U_g de 5,8 $W/m^2/K$. pour le Planibel Clearlite, U_g de 1,0 $W/m^2/K$. pour le Thermobel Advanced.

2.6.5 CONDENSATION SUR LA SURFACE DU VITRAGE ISOLANT

On note trois phénomènes de condensation susceptibles de survenir sur les vitrages.

- > La condensation superficielle sur la face intérieure (position 4 pour un double vitrage / position 6 pour un triple vitrage) : ce phénomène se produit si l'humidité relative intérieure est élevée et/ou la température de la face intérieure est basse. Pour des climats intérieurs normaux (bâtiments chauffés sans source d'humidité particulière), ce phénomène ne se présente que très rarement avec des vitrages isolants VIR.
- > La condensation superficielle sur la face extérieure (position 1 d'un double ou triple vitrage) et au centre du vitrage : ce phénomène se produit parfois à l'aube, pour des vitrages isolants VIR, et uniquement après des nuits sans nuages et (pratiquement) sans vent. Dans ces conditions, vu l'isolation thermique très performante du vitrage isolant, la feuille extérieure se refroidit à un point tel que de la condensation se forme à l'extérieur. Celle-ci est passagère.
- > La condensation à l'intérieur de la cavité d'un vitrage isolant indique une défaillance du vitrage isolant dont le scellement n'est plus hermétique à la vapeur et à l'humidité. Le vitrage isolant devra être remplacé.

Les connaissances d'AGC en la matière et l'utilisation de technologies de pointe garantissent une longue durée de vie des vitrages isolants Thermobel.

2.6.6 ÉCHAUFFEMENT DES LOCAUX - EFFET DE SERRE

Le confort thermique dépend de la situation, de la proportion de baies vitrées sur la façade et du type de verre utilisé. La température à l'intérieur de la pièce dépend de la chaleur du soleil qui pénètre à travers les fenêtres. L'énergie solaire vient frapper les murs, les sols et les meubles, qui vont l'absorber partiellement et s'échauffer. À leur tour, ils vont restituer cette énergie sous forme de rayonnement infrarouge calorifique de longueur d'onde supérieure à 3000 nm, qui reste contenu par le local.

La température intérieure s'élève alors progressivement : c'est l'effet de serre.

Un verre teinté dans la masse ou un verre à couche de contrôle solaire permet un passage de la chaleur moindre et donc un échauffement moindre.

▼ Énergie solaire gratuite

Durant les mois les plus froids, l'énergie solaire gratuite est recherchée tant en résidentiel qu'en tertiaire car elle permet de réaliser des économies d'énergie.

En revanche, durant les mois les plus chauds, cette énergie solaire gratuite conduit à une hausse de la température dans les pièces et espaces de travail, et donc des coûts liés au conditionnement d'air. De plus, dans les bâtiments tertiaires, la chaleur dégagée par les occupants, l'éclairage artificiel et les appareils électriques génèrent également une hausse de la température intérieure.

▼ Orientation des fenêtres

La quantité des apports solaires dépend de l'orientation de la fenêtre. Dans l'hémisphère nord, les fenêtres orientées au nord reçoivent peu. Les fenêtres orientées au sud bénéficient d'un large ensoleillement en hiver et de peu d'ensoleillement en été.

Les fenêtres orientées à l'ouest et à l'est bénéficient d'apports solaires toute l'année. Celles orientées à l'ouest présentent l'inconvénient de bénéficier d'apports en fin de journée alors que le bâtiment a déjà eu le temps de s'échauffer ; il s'agit donc de l'orientation la plus critique lorsqu'on essaie de se prémunir des apports énergétiques du soleil. Les vitrages de contrôle solaire sont recommandés à l'ouest et au sud-ouest.

▼ Performances souhaitables des vitrages

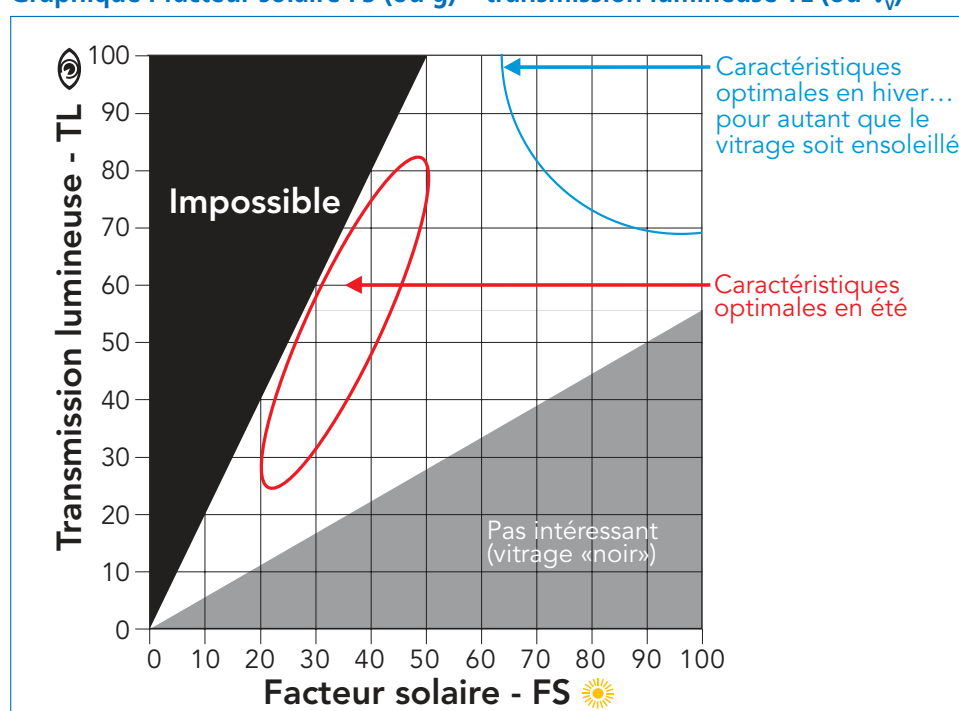
Le graphique ci-après montre les combinaisons de valeurs FS - TL :

- > le rayonnement visible représentant près de la moitié du spectre solaire, le facteur solaire ne peut pas être inférieur à la moitié de la transmission lumineuse. Cela correspond à la zone noire du graphique, dont les performances sont physiquement inatteignables ;
- > l'obtention d'un facteur solaire FS élevé (apports énergétiques

importants) avec une transmission lumineuse TL faible (peu d'apports lumineux) présente peu d'intérêt. Cela correspond à la zone inférieure grise du graphique.

La zone centrale claire du graphique correspond aux caractéristiques qu'il est possible d'atteindre. Selon le confort recherché, on cherchera des vitrages positionnés plutôt en haut ou en bas de cette zone.

Graphique : facteur solaire FS (ou g) – transmission lumineuse TL (ou τ_v)



- > Dans les bâtiments résidentiels :
 - en été, il est souhaitable d'avoir un facteur solaire faible combiné à une transmission lumineuse plus ou moins élevée (zone entourée en rouge) ;
 - en hiver, il est souhaitable d'avoir un facteur solaire et une transmission lumineuse élevés (zone entourée en bleu).
- > Dans les immeubles de bureaux, en revanche, il se peut qu'en hiver également on essaye de limiter les gains solaires si les apports thermiques internes sont élevés.

Les critères sélectionnés ne tiennent compte que de la transmission énergétique et lumineuse. Dans la pratique, lors du choix d'un vitrage, il convient de tenir compte également des impératifs en termes d'isolation thermique (U_g).

2.6.7 VERRES DE CONTRÔLE SOLAIRE

▼ Verres absorbants

Il s'agit de verres teintés dans la masse (bronze, gris, vert, bleu, ...) par adjonction d'oxydes métalliques lors de la fabrication du float. Selon la couleur et l'épaisseur du verre, le facteur solaire varie de 8% à 80%.

Ces verres absorbent une partie de l'énergie du rayonnement solaire avant de la réémettre vers l'intérieur et l'extérieur.

Verre absorbant



La quantité d'énergie émise vers l'extérieur et l'intérieur dépend de la vitesse du vent et des températures intérieures et extérieures. Pour évacuer au mieux la chaleur rayonnée vers l'extérieur, il convient de placer le verre absorbant le moins possible en retrait du plan de la façade.

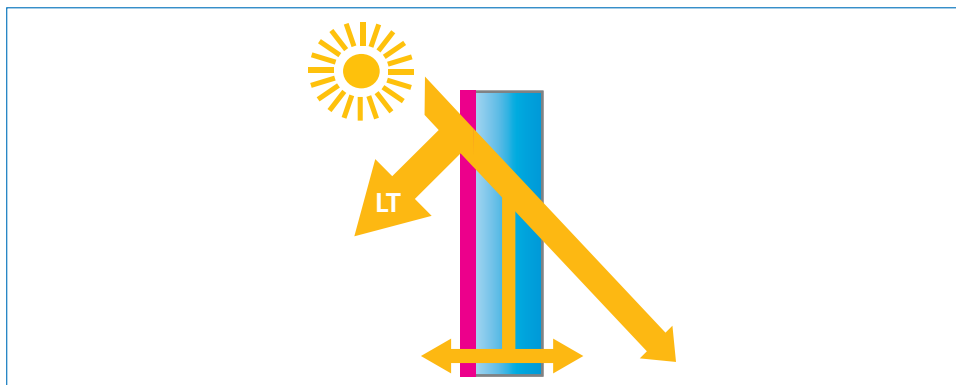
Les verres teintés et sans couche sont de moins en moins utilisés comme verres de contrôle solaire au profit des verres à couches performantes.

Les verres teintés s'échauffent plus rapidement que les verres classiques. Une étude du risque de bris par choc thermique doit être réalisée dans certains cas.

▼ Verres à couche

Il s'agit de verres dont la propriété est de réfléchir une partie de l'énergie solaire incidente.

Verre à couche



Il existe différents types de couches.

- > Couches pyrolytiques à base d'oxydes métalliques déposées sur un verre clair ou coloré sur la ligne de production du verre ; elles sont placées en position 1 ou 2, en simple ou double vitrage (Stopsol ou Sunergy) ;
- > Couches sous vide à base d'oxydes métalliques ou de métaux. Ces couches s'oxydant au contact de l'air, elles doivent toujours être placées à l'intérieur d'un double vitrage, en position 2 (orientées vers la cavité). Ces verres sont disponibles sur différents substrats colorés (Stopray, ipasol, Energy).

Une étude du risque de choc thermique doit être réalisée dans certains cas.

Remarques :

- > *Il est important pour l'uniformité d'une façade d'utiliser le même type de vitrages (épaisseur, couleur, couches, ...) côte à côte.*
- > *Les verres à couches réfléchissent la lumière provenant du milieu le plus «lumineux». Lorsqu'il fait nuit à l'extérieur et que l'éclairage artificiel fonctionne dans les locaux, c'est cette lumière qui sera réfléchiée vers l'intérieur et la vue vers l'extérieur est diminuée.*

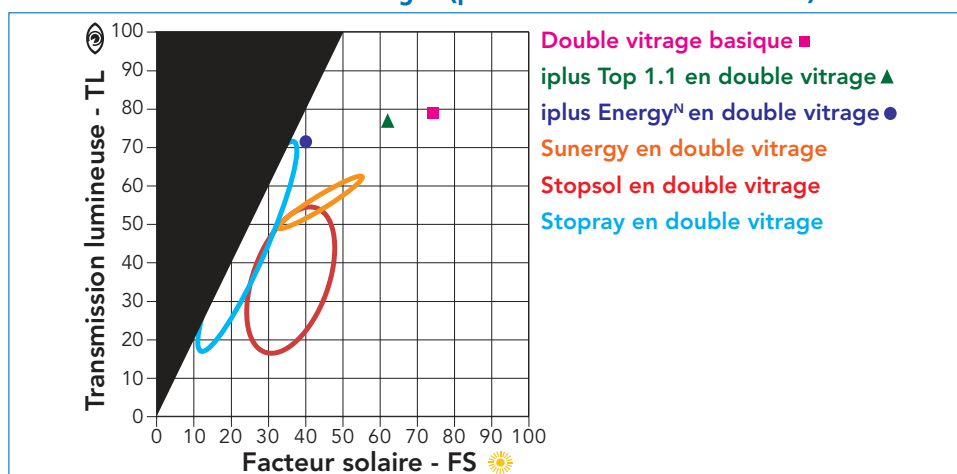
AGC propose une large gamme de verres de contrôle solaire : verres colorés, verres à couches pyrolytiques et verres à couches magnétron (les plus performantes) (voir p. 204).

Gamme de verres de contrôle solaire d'AGC

Verres colorés	Couche pyrolytique	Couche magnétron
Planibel Coloured	Stopsol - Sunergy	Stopray - ipasol - Energy

Le graphique ci-après illustre la position des différentes familles de verres de contrôle solaire d'AGC en double vitrage (configuration 6-12-6).

Performances des doubles vitrages (positions de contrôle solaire)



Le tableau ci-dessous résume les différentes possibilités de transformation ainsi que les propriétés des verres à couches de contrôle solaire d'AGC.

Utilisation et transformation des verres de contrôle solaire

	Verres à couches pyrolytiques		Verres à couches magnétron
	Stopsol	Sunergy	Stopray / ipasol / iplus Energy ^N
Utilisation en simple vitrage	# 1 or 2	# 2	-
Utilisation en vitrage isolant	# 1 or 2	# 2	# 2
Emargeage : en périphérie des vitrages la couche est enlevée afin de garantir la bonne adhérence des mastics de scellement des vitrages isolants	non	non	oui ⁽²⁾
Feuilletage ⁽¹⁾			
Transformations possibles ⁽³⁾	Trempe	Trempe	Trempe Emaillage Bombage iplus Energy ^{NT} Stopray ^T
	Emaillage	Emaillage	
	Bombage	Bombage	

(1) La couche ne peut pas entrer en contact avec le PVB dans le cas général, à l'exception de Stopsol.

(2) Les produits Stopray SMART n'ont pas besoin d'être émargés. Veuillez consulter le Guide de transformation sur www.agc-yourglass.com.

(3) Uniquement pour les versions trempables des couches Stopray et Energy^N (Stopray^T et iplus Energy^{NT}).

2.7 – Performances et confort acoustique

2.7.1 NOTIONS D'ACOUSTIQUE

▼ Son, pression et fréquence

Les mouvements d'un corps vibrant perturbent le milieu environnant. Ces perturbations se propagent de proche en proche dans toutes les directions, depuis la source jusqu'à l'organe de réception (l'oreille par exemple) à une vitesse qui dépend des propriétés physiques du milieu (dans l'air à 20°C : 340 m/s). Le son ne se transmet pas dans le vide.

Le son perçu par l'oreille correspond à une variation de pression sur le tympan transmise par la mise en mouvement d'un milieu, généralement l'air. Le système neuro-acoustique de l'oreille transforme ces vibrations en sensation sonore.

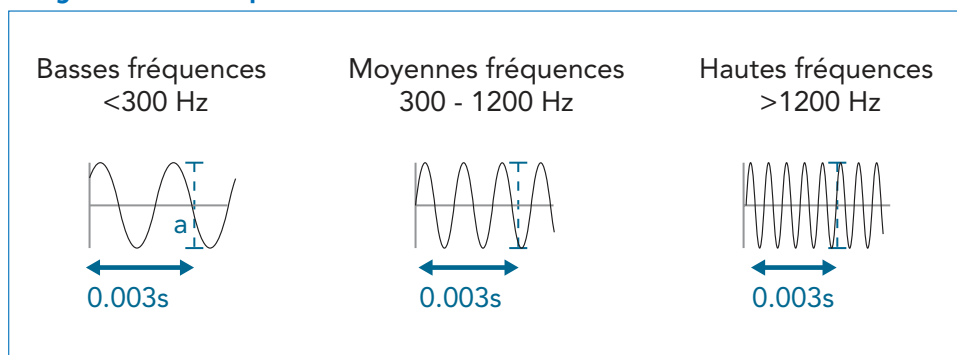
Pour caractériser un son, il faut le définir par deux grandeurs :

- > sa pression, exprimée en Pascal, ou plus généralement son niveau de pression acoustique, exprimé en décibels
- > sa fréquence, qui dépend de la durée d'une vibration complète, ou nombre de vibrations par seconde exprimée en Hertz (Hz).

Plus la fréquence d'un son est élevée, plus celui-ci paraît aigu. On distingue trois gammes de fréquences :

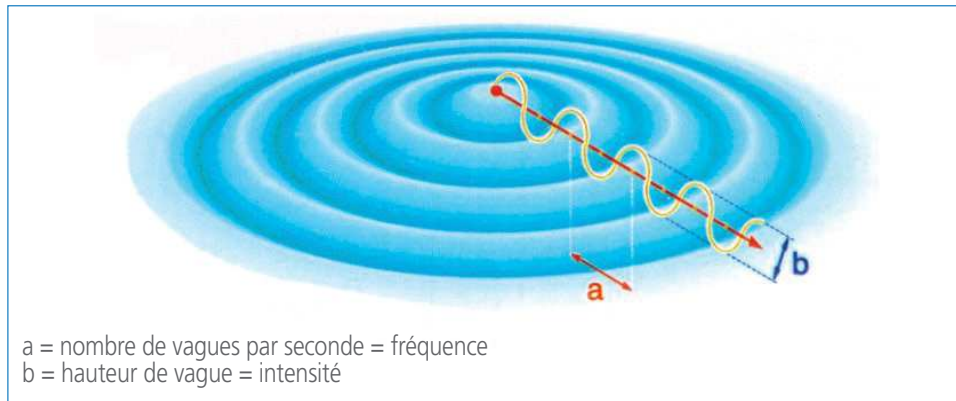
- les basses fréquences, inférieures à 300 Hz,
- les moyennes fréquences, de 300 à 1200 Hz,
- les hautes fréquences, supérieures à 1200 Hz.

Les gammes de fréquences



La propagation du son dans l'air peut être comparée à l'image laissée par les vagues à la surface de l'eau :

Fréquence et intensité



Le seuil d'audibilité de l'oreille humaine correspond à un niveau de pression de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Elle peut supporter sans dégradation des pressions jusqu'à 20 Pa, le seuil de douleur se situant environ à 200 Pa. La sensibilité de l'oreille humaine est donc telle que la variation de pression minimale audible est plus de 10 millions de fois inférieure à celle représentant le seuil de la douleur.

L'oreille peut en moyenne percevoir des sons allant d'environ 20 jusqu'à environ 16 000 à 20 000 Hz.

▼ Niveau de pression acoustique

En pratique, pour caractériser l'intensité d'un son, on n'utilise pas la pression acoustique car :

- > la gamme de pression est trop étendue : de $2 \cdot 10^{-5}$ à 20, voire 100 Pa ;
- > la relation entre l'oreille humaine et la pression acoustique n'est pas linéaire mais logarithmique.

On définit donc le niveau de pression acoustique L_p d'un son par la relation :

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ (dB)}$$

où p est la pression sonore (Pa) de l'onde acoustique considérée,

p_0 est la pression de référence correspondant au seuil d'audibilité, soit $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Cette grandeur est exprimée en décibels (dB).

Le tableau ci-après donne la correspondance entre les pressions acoustiques (Pa), les niveaux de pression acoustique (dB), et des exemples de bruits correspondants.

Pression sonore et niveau de pression acoustique

Effet	Exemple	Pression sonore P (Pa)	Pression acoustique L_p (dB)
Syncope		200 000	200
			190
		20 000	180
			170
		2 000	160
			150
Seuil de douleur		200	140
	Moteur d'avion		130
Danger	Klaxon	20	120
	Tondeuse à gazon		110
	Arrivée métro	2	100
	Grand orchestre		90
	Trafic intense	0.2	80
	Rue bruyante		70
	Voix fortes	0.02	60
	Appartement calme		50
	Voix normales	0.002	40
	Calme montagne		30
	Chuchotement	0.0002	20
	Silence du désert		10
Seuil d'audibilité	Calme total	0.00002	0

▼ Les décibels en pratique

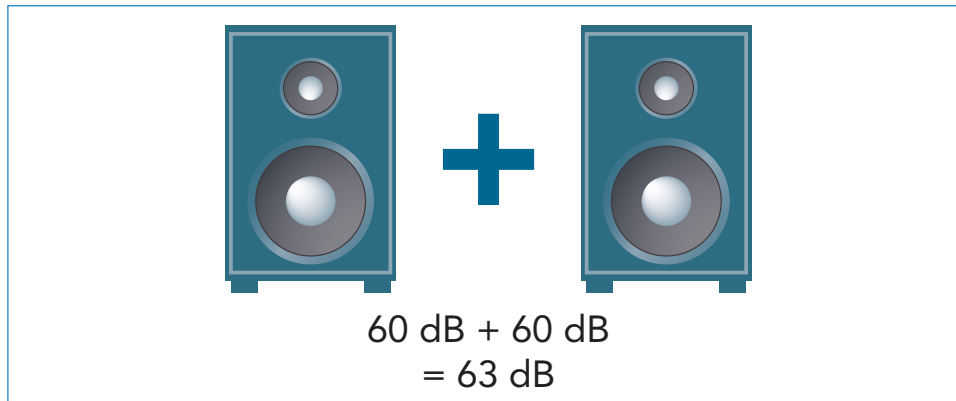
Lorsque plusieurs sources indépendantes produisent en un point des pressions acoustiques ($p_1, p_2, p_3, \dots$), la pression résultante p est déterminée par $p^2 = p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots$, et le niveau de pression acoustique résultant vaut :

$$L_p = 10 \log \frac{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + \dots}{p_0^2}$$

Les niveaux de pression acoustique ne doivent jamais être additionnés.

En effet, deux bruits de même niveau de pression résultent un bruit de niveau 3 dB plus élevé que celui de chacun des composants.

Exemple de combinaison de niveau de pression acoustique



Important : pour l'oreille, une différence de :

- > 1 dB est quasiment **inaudible** ;
- > 3 dB est à peine **perceptible** ;
- > 5 dB est **significative** ;
- > 10 dB correspond à une réduction de moitié de la perception de l'intensité sonore ;
- > 20 dB correspond à une **réduction de trois quarts** de la perception de l'intensité sonore.

▼ Confort acoustique

Le tableau ci-après donne les niveaux indicatifs de pression acoustique à respecter en fonction du type ou de l'activité du local. Ils peuvent être réglementés.

Niveaux de pression acoustique à ne pas dépasser dans les locaux

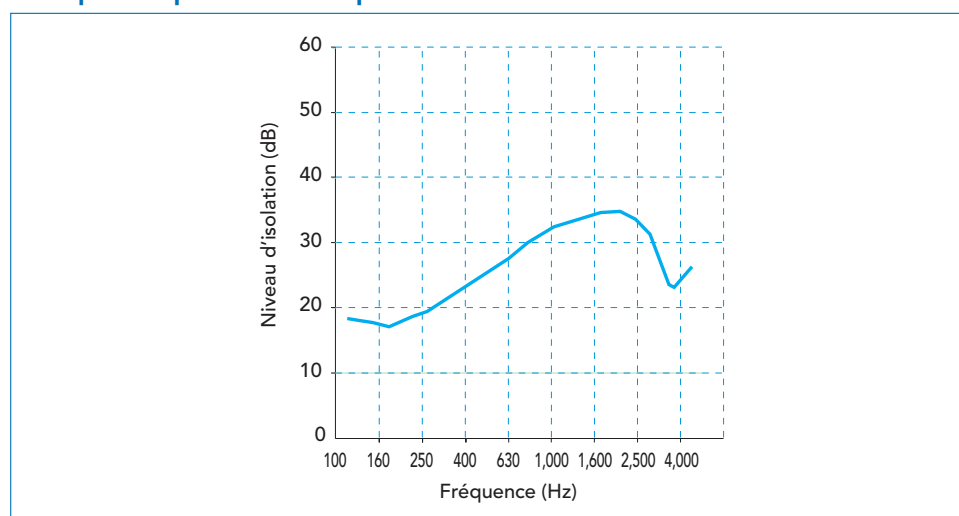
Locaux	Niveau de pression acoustique (dB)
Chambres, bibliothèques	20 à 30
Appartements, séjours	20 à 40
Écoles	25 à 40
Salles de cinéma et de conférences	30 à 40
Bureau individuel	30 à 45
Bureau collectif	40 à 50
Grands magasins, restaurants, cafés...	45 à 55

▼ Spectre acoustique

En réalité, les sons auxquels nous sommes confrontés sont formés par une superposition de sons, de fréquences et de pressions différentes, qui créent un spectre continu.

Le spectre acoustique exprime le niveau de pression (ou d'isolation acoustique) en fonction de la fréquence.

Exemple de spectre acoustique



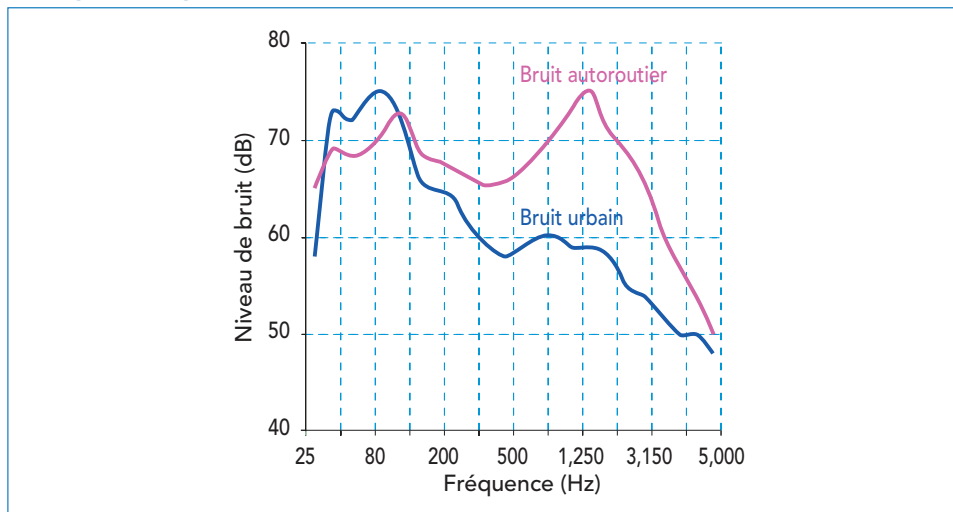
▼ Bruit extérieur

Le niveau et la tonalité des bruits de fond, de même que le niveau des bruits non identifiables sont des facteurs dont il faut tenir compte au stade de la conception si on veut isoler une façade correctement.

De plus, il est beaucoup plus difficile, dans la pratique, de réaliser une isolation aux sons graves.

Pour illustrer cela, la figure ci-après représente le spectre de deux types de sources sonores (trafic urbain et autoroutier).

Exemples de spectres des trafics urbain et autoroutier



Le bruit traversant le vitrage sera perçu comme plus irritant dans un environnement très calme que dans un centre urbain.

Plus grande est la différence entre le bruit d'une source spécifique reconnaissable venant de l'extérieur (passage d'un vélomoteur par exemple) et celui d'une source non reconnaissable (beaucoup plus élevé dans un centre-ville), plus le bruit est perçu comme gênant. Le concepteur doit tenir compte de ces données.

▼ Indices d'affaiblissement acoustique

> Introduction

Les spectres d'isolation acoustique sont traités suivant la norme [EN ISO 717-1](#) pour en faciliter l'usage, ainsi que le choix du vitrage adapté à chaque cas.

Les performances acoustiques sont indiquées par une valeur unique R_w (C ; C_{tr}) qui résume en quelque sorte le spectre d'isolation acoustique.

> Indicateur à valeur R_w (C ; C_{tr})

L'indicateur à valeur unique est défini de la manière suivante :

- R_w est l'indicateur à valeur unique appelé **indice pondéré d'affaiblissement acoustique** ;
- C est le facteur d'adaptation pour un bruit rose ou aérien (riche en sons plus aigus), **fréquences hautes et moyennes** ;
- C_{tr} est le facteur d'adaptation pour un bruit de trafic (riche en sons plus graves), **fréquences basses et moyennes**.

Pour classer des performances ou fixer des exigences, on additionne la valeur de l'indicateur unique et le facteur d'adaptation approprié, lequel est choisi selon la source de bruit (voir le tableau ci-dessous).

Les valeurs à considérer pour caractériser l'isolation acoustique d'un vitrage sont donc, selon les cas, $(R_w + C)$ ou $(R_w + C_{tr})$.

Exemple : un vitrage ayant un isolement acoustique R_w (C ; C_{tr}) de 38 (-2 ; -5) présentera :

- > vis-à-vis des bruits de haute fréquence :
un isolement $R_w + C = 38 - 2 = 36$ dB ;
- > vis-à-vis des bruits de basse fréquence :
un isolement $R_w + C_{tr} = 38 - 5 = 33$ dB.

Choix du terme d'adaptation pour déterminer l'indicateur à valeur unique à utiliser en fonction de l'origine du bruit

Source de bruit	$R_w + C$	$R_w + C_{tr}$
Jeux d'enfants	✓	
Activités domestiques (conversation, musique, radio, télévision)	✓	
Musique de discothèque		✓
Trafic routier rapide (> 80 km/h)	✓	
Trafic routier lent		✓
Trafic ferroviaire de vitesse moyenne à rapide	✓	
Trafic ferroviaire lent		✓
Trafic aérien (avions à réaction) proche	✓	
Trafic aérien (avions à réaction) lointain		✓
Avions à hélices		✓
Entreprises produisant un bruit de moyennes et hautes fréquences	✓	
Entreprises produisant un bruit de moyennes et basses fréquences		✓

Les valeurs d'indice d'affaiblissement acoustique ainsi obtenues correspondent aux mesures en laboratoire.

En pratique, le niveau d'affaiblissement acoustique est inférieur éventuellement au niveau attendu (aléas de mise en œuvre, dimensions, sources de bruits...).

Les indicateurs à valeur unique permettent cependant de classer conventionnellement les vitrages.

2.7.2 ISOLATION ACOUSTIQUE DES VITRAGES

Tout vitrage dans un châssis apporte une isolation acoustique. Cependant, certains feuilletés et certaines compositions de vitrage isolant permettent d'améliorer considérablement les performances acoustiques.

Le comportement des différents types de vitrages est décrit ci-dessous.

▼ Verre simple

Un verre simple se comporte au niveau acoustique comme une simple paroi ; il respecte dès lors deux lois acoustiques fondamentales :

- > la loi des fréquences,
- > la loi des masses.

La loi des fréquences exprime que, théoriquement, pour des parois minces de dimensions indéfinies, l'isolation acoustique croît de 6 dB par doublement de la fréquence moyenne.

En pratique, cette loi n'est pas parfaitement respectée, et sur un spectre, trois zones de fréquences peuvent être distinguées.

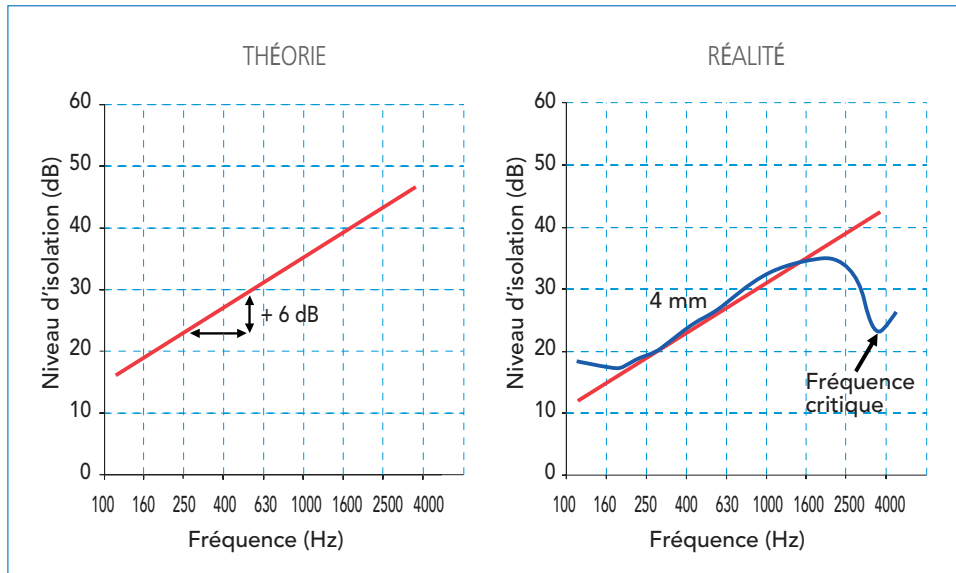
- > Dans une première zone, la loi des fréquences est assez bien respectée et l'isolation augmente avec la fréquence. Cependant, les parois ont des dimensions finies et produisent un certain amortissement, de sorte que les gains d'isolation atteints s'élèvent tout au plus à 4 ou 5 dB lorsqu'on double la fréquence moyenne, et ce jusque 800 Hz environ.
- > Dans une seconde zone, l'isolation acoustique marque un repli dû à la coïncidence autour de la fréquence critique de la feuille de verre. La fréquence critique d'une feuille de verre peu épaisse est la fréquence à laquelle une feuille de verre se met à vibrer spontanément suite à une onde.
- > Dans la troisième zone, après le phénomène de coïncidence, l'isolation est caractérisée par une croissance rapide.

A température ambiante, la fréquence critique correspond approximativement à :

$$f_{cr} = \frac{12,800}{e}$$

où : **e** est l'épaisseur de la feuille de verre exprimée en mm.
L'emplacement de cette zone est fonction de l'élasticité du matériau ; plus celui-ci est rigide, plus la zone de coïncidence est située vers les fréquences basses.

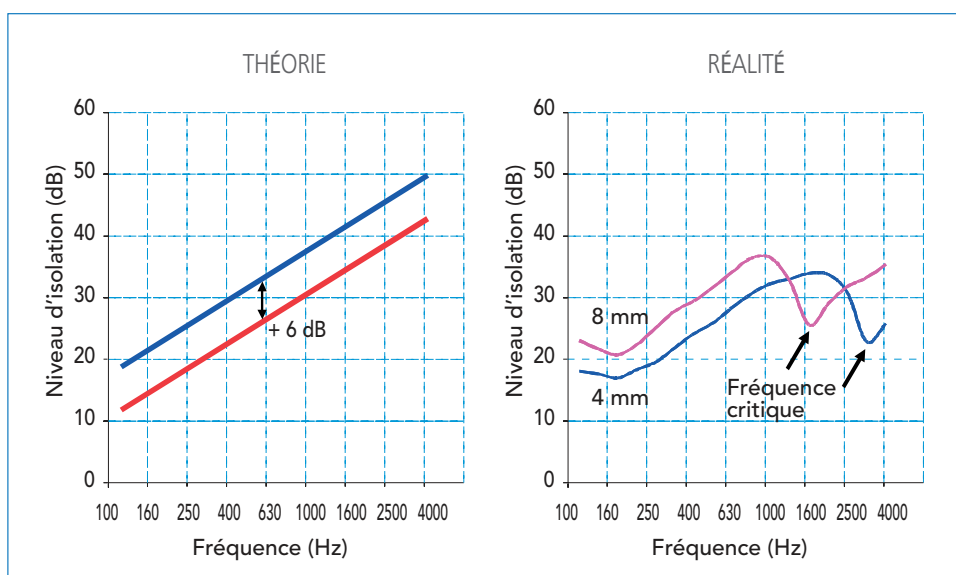
La loi des fréquences : théorie et réalité



La loi des masses exprime que, théoriquement, si la masse d'une paroi est doublée, son isolation acoustique croît de 6 dB à fréquence égale.

En pratique, cette loi est bien respectée sauf dans la zone de coïncidence. Néanmoins, l'augmentation de l'épaisseur d'un simple vitrage entraîne également le déplacement de la fréquence critique vers un domaine de fréquence situé plus bas (cf. loi des fréquences).

La loi des masses : théorie et réalité



Le tableau ci-après donne la fréquence critique des simples vitrages en fonction de leur épaisseur.

Fréquence critique (coïncidence) des simples vitrages

Épaisseur (mm)	Fréquence critique (Hz)
4	3200
5	2560
6	2133
8	1600
10	1280
12	1067
15	853
19	674

Conclusions.

- > Vu la loi des fréquences, tous les matériaux offrent naturellement une meilleure isolation acoustique aux hautes fréquences qu'aux basses fréquences. Cependant, les bruits dont il faut s'isoler en acoustique du bâtiment comportent souvent des basses fréquences.
- > L'augmentation de l'épaisseur d'un verre simple qui permet en théorie d'améliorer l'isolation acoustique est contrebalancée par le déplacement du puits de fréquence critique vers les basses fréquences et donc une dégradation de l'isolation aux bruits graves. Pour des basses fréquences, l'augmentation de l'épaisseur apporte des améliorations.
- > Les simples vitrages permettent d'obtenir un niveau d'isolation (R_w) allant de 29 dB pour une épaisseur de 4 mm jusqu'à 35 dB pour 12 mm.

▼ Verre feuilleté

On distingue deux types de verre feuilleté.

- > Le verre feuilleté de sécurité à intercalaire en PVB (butyral de polyvinyle) : la fonction première de ce type de vitrage est la protection contre l'effraction et le renforcement de la sécurité des personnes et des biens. Néanmoins, ces vitrages apportent également une amélioration acoustique.

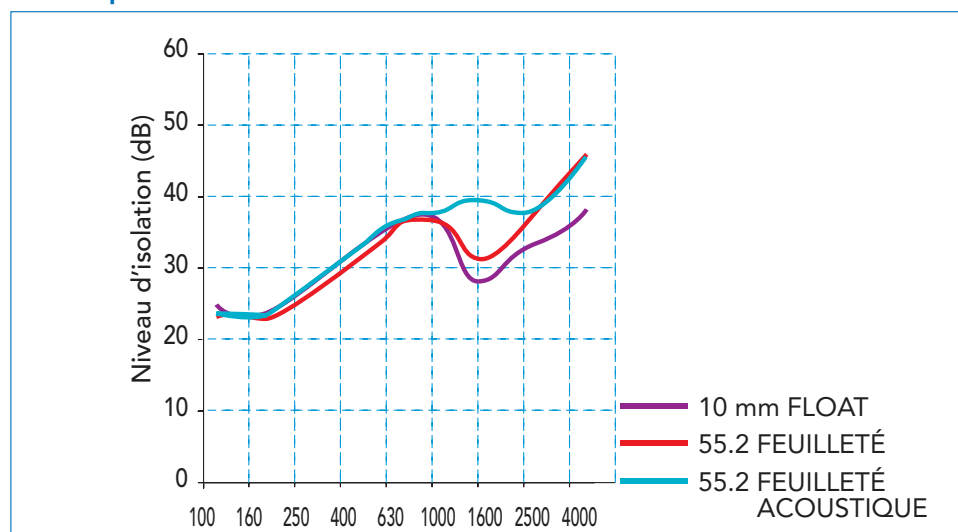
- > Le verre feuilleté de sécurité avec PVB acoustique. Ce PVB apporte une meilleure isolation acoustique.

Vu son élasticité, le PVB acoustique permet de désolidariser les deux feuilles de verre sur le plan acoustique. Le puits dû à la fréquence critique est à la fois amoindri et repoussé vers les hautes fréquences du fait de l'intercalaire.

Nota : la génération très récente des PVB dits rigides (tels que Stratobel Strong d'AGC) n'est pas destinée à l'amélioration des performances acoustiques.

Les spectres acoustiques d'un float et de ces deux types de verres feuilletés, de même épaisseur totale, sont représentés ci-après.

Spectres d'isolation acoustique d'un verre simple et de verres feuilletés de même épaisseur



- > Pour un verre feuilleté, à masse égale, l'isolation acoustique est surtout accrue dans la zone de coïncidence autour de la fréquence critique.

L'effet global est perceptible essentiellement pour $R_w + C$, moins pour $R_w + C_{tr}$.

- > Le verre feuilleté présente des performances R_w allant de 33 dB pour le 33.2 jusqu'à 39 dB pour le 88.2.
- > Le verre feuilleté à PVB acoustique présente des performances R_w allant de 36 dB pour le 33.2 jusqu'à 41 dB pour le 88.2.

▼ Vitrage isolant

Les performances d'un double vitrage symétrique sont souvent inférieures à celles d'un simple vitrage de même épaisseur totale de verre.

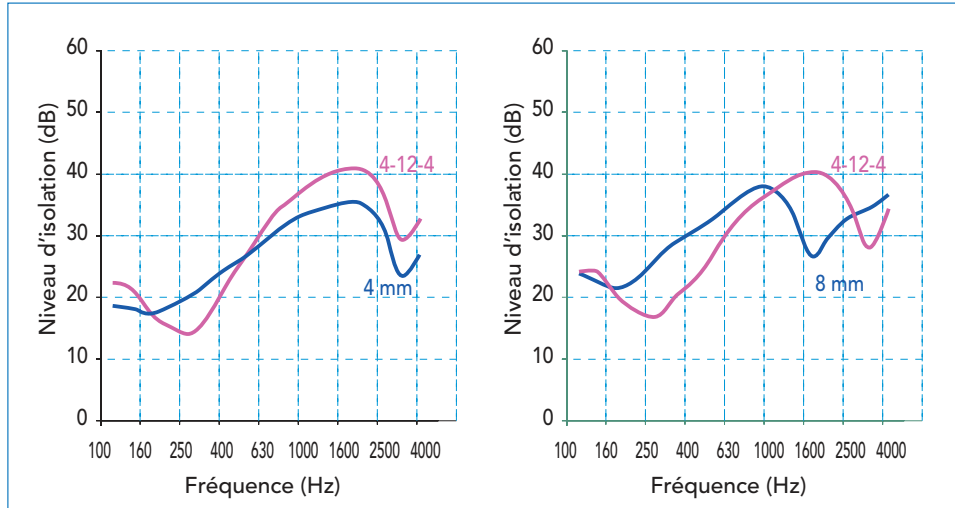
La figure suivante montre le spectre d'isolation acoustique d'un double vitrage 4-12-4 en comparaison avec des simples vitrages de 4 et 8 mm d'épaisseur.

On y constate.

- > Un affaiblissement de l'isolation acoustique aux alentours de 3200 Hz pour le double vitrage, correspondant à la fréquence critique des feuilles de verre de 4 mm.
- > Par rapport au simple vitrage, une isolation moins performante aux basses fréquences. Ce phénomène s'explique par le fait que le double vitrage se comporte comme un système acoustique de type masse – ressort – masse (m-r-m). Ce système m-r-m possède une fréquence de résonance située aux alentours de 200 à 300 Hz selon les épaisseurs ; l'isolation acoustique est fortement diminuée dans cette zone.
- > Entre le puits de résonance dû au système m-r-m et celui dû à la fréquence critique des feuilles de verre prises individuellement, l'isolation acoustique croît très vite.

L'isolation acoustique du double vitrage dans le domaine des basses et moyennes fréquences reste limitée lorsque les 2 composants ont la même épaisseur.

Spectre d'isolation acoustique d'un double vitrage 4-12-4 par rapport à des simples vitrages de 4 et 8 mm d'épaisseur



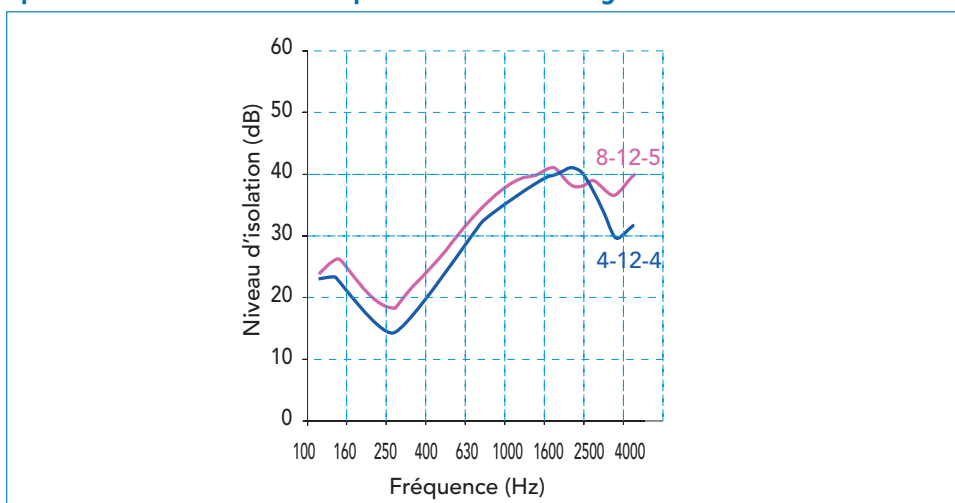
- > L'augmentation de la largeur de la lame d'air ou d'Argon présente par ailleurs d'autres inconvénients (largeur totale, dégradation de U_g ...).
- > L'isolation acoustique des doubles vitrages peut facilement être améliorée (voir ci-contre) en utilisant des compositions dissymétriques ou des verres feuilletés.
- > Les doubles vitrages symétriques ont des performances R_w allant de 29 dB pour le 4-12-4 jusqu'à 34 dB pour le 10-12-10.

▼ Double vitrage dissymétrique

Pour améliorer l'isolation acoustique d'un double vitrage, on doit utiliser deux verres d'épaisseurs suffisamment différentes, de sorte que chacun des deux verres puisse masquer les faiblesses de l'autre lorsqu'il atteint sa fréquence critique.

On a alors un puits de coïncidence dans un domaine de fréquence plus large mais dont les pics sont moins marqués (figure ci-après, le puits aux alentours de 3200 Hz disparaît). Dans ce cas, l'augmentation de la masse par rapport au vitrage 4-12-4 permet également de diminuer le puits aux basses fréquences.

Spectres d'isolation acoustique de doubles vitrages 4-12-4 et 8-12-5

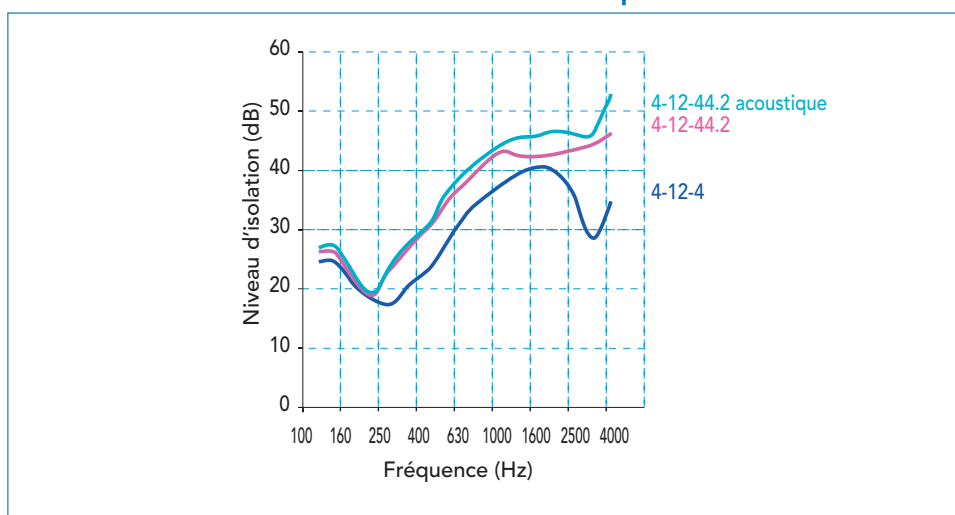


- > Les doubles vitrages dissymétriques ont des performances R_w allant de 34 dB pour le 6-15-4 jusqu'à 38 dB pour le 10-15-6.

▼ Double vitrage avec verres feuilletés

Le gain se marque principalement dans le domaine des hautes fréquences en permettant de gommer le puits dû aux fréquences critiques.

Spectre d'isolation acoustique de doubles vitrages classiques 4-12-4, avec verre feuilleté 4-12-44.2 et verre feuilleté acoustique 4-12-44.2



Le sens de pose du double vitrage dissymétrique et/ou comprenant un verre feuilleté n'a pas d'influence sur les performances acoustiques du vitrage.

- > Les améliorations se marquent principalement au niveau des hautes fréquences, donc de l'indice $R_w + C$.
- > Avec du verre feuilleté, on atteint des performances R_w allant de 36 dB pour le 6-12-44.2 jusqu'à 41 dB pour le 10-12-66.2.
- > Avec du verre feuilleté acoustique, on atteint des performances R_w allant de 40 dB pour le 6-12-44.2 jusqu'à 44 dB pour le 10-12-66.2 et 50 dB pour un 44.2-20-66.2.

▼ Triple vitrage

Le triple vitrage affichera des résultats légèrement supérieurs à ceux du simple vitrage grâce à de meilleures performances acoustiques en-dessous de 250 Hz. Cependant, par rapport à du double vitrage, il présente deux fréquences de résonance à prendre en considération.

En général, le triple vitrage offre de meilleurs résultats pour de hautes fréquences.

▼ Conclusion

- > En simple vitrage :
 - augmentation de l'épaisseur,
 - utilisation de verre feuilleté et de verre feuilleté acoustique.
- > En vitrage isolant :
 - recours à un vitrage dissymétrique dans tous les cas,
 - utilisation d'une lame d'air importante,
 - utilisation de verres épais,
 - utilisation d'un verre feuilleté (PVB traditionnel ou sécurité) en remplacement d'un verre monolithique,
 - utilisation d'un verre feuilleté avec PVB acoustique pour des nuisances sonores importantes.

Sont sans influence :

- > le sens de pose du vitrage,
- > la présence de couches,
- > le recours à du verre trempé ou durci,
- > l'utilisation d'Argon (isolation thermique).

2.7.3 PERFORMANCES ACOUSTIQUES DES FENÊTRES ET FAÇADES

Les indices d'affaiblissement acoustique sont obtenus à l'issue de tests acoustiques effectués dans des laboratoires notifiés (conformément à la [norme EN ISO 140-3](#)).

Les performances d'isolement acoustique in situ peuvent différer en fonction de nombreux paramètres tels que :

- > les dimensions effectives du vitrage/châssis,
- > les types de châssis et d'assemblage,
- > l'étanchéité à l'air de la fenêtre,
- > l'environnement acoustique propre à l'application (type de source sonore, localisation par rapport à ces sources, ...),
- > la qualité acoustique des autres éléments de la construction.

Les dimensions testées sont toujours de 1,23 x 1,48 m. Une moindre performance est attendue en cas de vitrages nettement plus grands.

Cette perte est de l'ordre de 2 à 3 dB pour des dimensions atteignant 5-6 m². Il est indispensable d'en tenir compte lors du choix du vitrage.

Les fenêtres et les vitrages en particulier isolent des bruits aériens (transmis par l'air) et non des bruits de contact (choc) par les parois (bruits graves de basse fréquence se transmettant par les parois).

Il est indispensable que le châssis soit exempt de fuites par l'utilisation notamment de joints à double frappe. Un châssis bien étanche peut apporter une amélioration allant jusqu'à 2 dB par rapport aux valeurs annoncées pour le vitrage.

En revanche, des fuites trop importantes peuvent faire chuter le résultat annoncé de 10 dB.

- > Les fenêtres équipées de volets avec caisson extérieur nécessitent une isolation du caisson à l'aide de matériaux absorbants.
- > L'étanchéité entre le dormant du châssis et la maçonnerie devra faire l'objet du plus grand soin.
- > La présence de grilles de ventilation ou d'entrées d'air dégrade les performances acoustiques.
- > Les performances in situ des fenêtres dépendent également du type de bruit extérieur et de l'angle d'incidence du bruit sur la façade.
- > Pour des niveaux d'isolation élevés, il est conseillé de choisir un vitrage dont les performances sont légèrement plus élevées que le niveau requis.

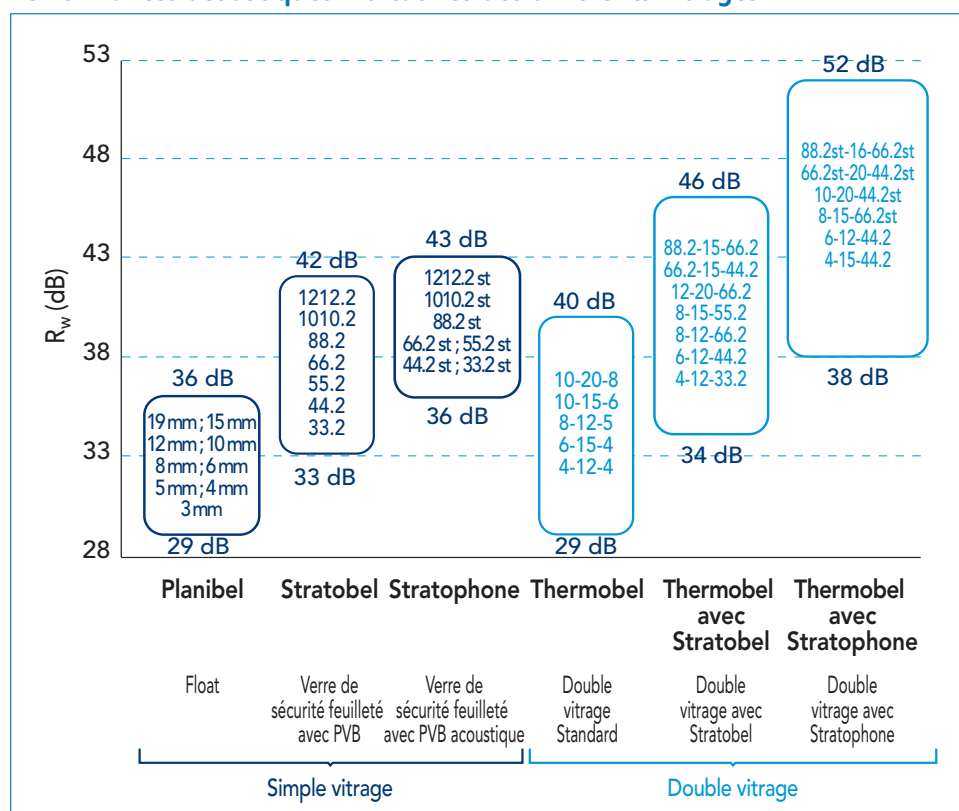
Bon à savoir : la norme EN 14351-1 (et son annexe B) informent comment évaluer dans ces cas R_w (fenêtre) à partir d'un R_w (vitrage).

Le bon indice d'affaiblissement $R_w + C$ ou $R_w + C_{tr}$ doit être choisi en fonction du type de bruit concerné.

Les vitrages monolithiques (float et feuilletés) permettent de couvrir une gamme de performances acoustiques (valeur R_w) allant de 29 à environ 43 dB.

Les vitrages isolants permettent de couvrir une gamme de performances acoustiques allant de R_w 32 dB jusqu'à environ 51 dB.

Performances acoustiques indicatives des différents vitrages



En simple vitrage, pour un niveau de performance équivalent, un Stratobel a une épaisseur moindre qu'un Planibel, et un Stratophone a une épaisseur moindre qu'un Stratobel.

Exemple : Le tableau ci-après indique les verres monolithiques à utiliser pour obtenir une performance R_w de 35 dB et les épaisseurs correspondantes.

Vitrage	Épaisseur totale	R _w
Planibel 12 mm	12 mm	35 dB
Stratobel 44.2	9 mm	35 dB
Stratophone 33.1	7 mm	35 dB

De même, en vitrage isolant, à performances égales, un double vitrage avec Stratobel a une épaisseur moindre qu'un double vitrage avec Planibel, et un double vitrage avec Stratophone a une épaisseur moindre qu'un double vitrage avec Stratobel.

2.8 – Sécurité

2.8.1 INTRODUCTION

La notion de sécurité est large et comporte plusieurs aspects.

- > Protection des personnes contre le risque de blessures provoquées par :
 - des morceaux de verre brisés et/ou coupants,
 - une chute (défenestration).

Dans le cas où seul le risque de blessure par coupure 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 une protection contre les chutes est exigée également, il faut que le verre reste en place.

- > Protection des biens et la sécurité contre l'effraction et le vandalisme des habitations privées, des magasins et des bureaux. Dans ce cas, le vitrage doit rester en place et retarder, voire empêcher la pénétration.
- > Protection contre les armes à feu.
- > Protection contre les explosions.

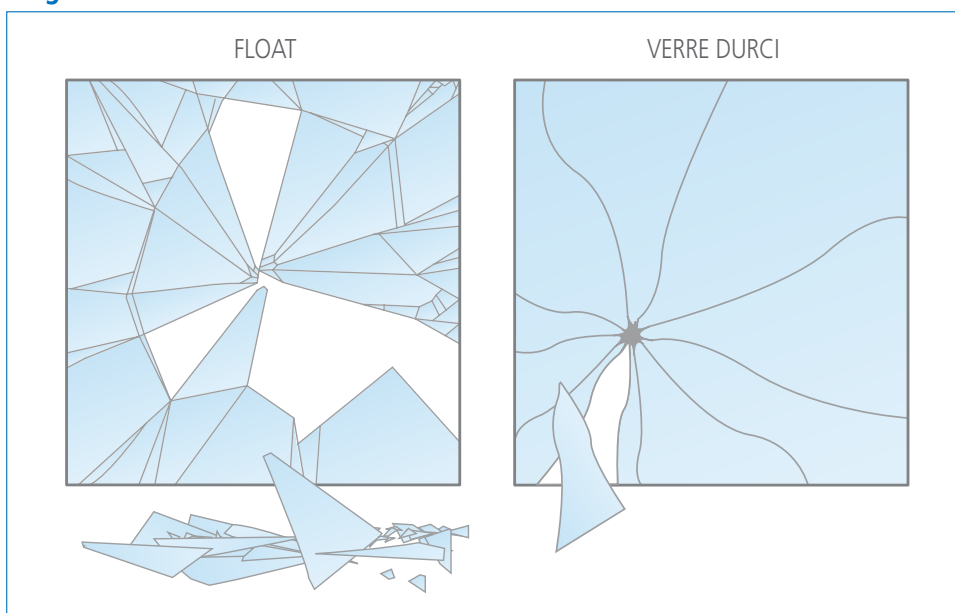
Les produits verriers satisfaisant aux exigences de fragmentation, de défenestration et de résistance évoquées ci-dessus, sont des verres trempés thermiquement et des verres feuilletés.

Les caractéristiques de ces produits sont brièvement rappelées ci-dessous.

▼ Float, verre durci, verre armé

Vu sa fragmentation en grands morceaux coupants, le float, dit aussi recuit (verre plat), ne peut pas être considéré comme un verre de sécurité. Il en va de même pour le verre durci dont la fragmentation est comparable à celle du float.

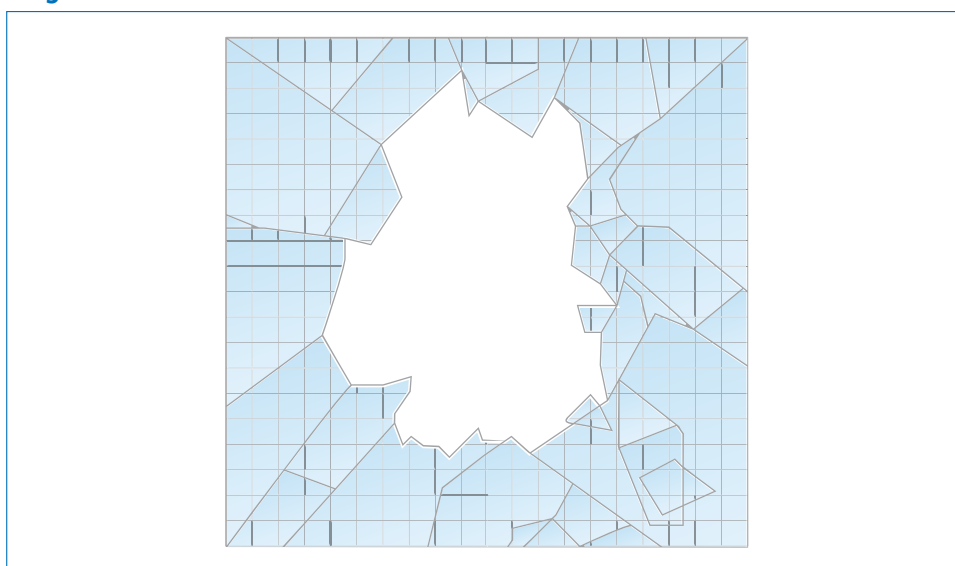
Fragmentation du float et du verre durci



Le verre armé (plat ou profilé) comporte des fils métalliques. Néanmoins, s'il est soumis à un impact, des morceaux de verre et le treillis métallique peuvent se libérer et présenter des risques de blessures.

Ce type de vitrage ne peut donc prétendre à éviter les blessures ou à résister à la chute d'un corps humain.

Fragmentation du verre armé

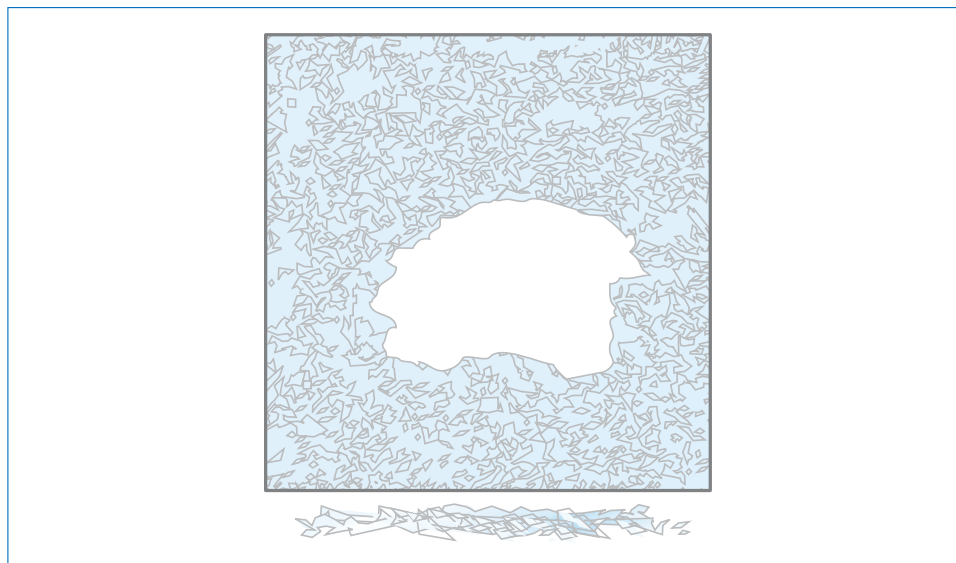


Son comportement dépend de son épaisseur et du maillage métallique.

▼ Verre trempé thermiquement

Les contraintes internes inhérentes à leur processus de fabrication, provoquent, en cas de choc, la fragmentation en petits morceaux peu coupants.

Fragmentation du verre trempé thermiquement



Des critères de fragmentation sont définis dans la [norme EN 12150](#), suivant un test normalisé sur échantillon 1 100 x 300 mm.

Le tableau suivant donne le nombre minimum de morceaux à compter dans une fenêtre de 50 mm x 50 mm de cet échantillon. La longueur du plus gros fragment ne peut dépasser 100 mm.

Nombre minimum de fragments à l'intérieur d'un carré de 50 mm x 50 mm exigé pour un float trempé thermiquement (selon EN 12150)

Épaisseur (mm)	Nombre minimum de morceaux
2 à 3	15
4 à 12	40
15 à 19	30

Le verre trempé conforme à [EN 14179](#) qui est traité Heat Soak, présente les mêmes caractéristiques de fragmentation.

Les vitrages émaillés totalement ou partiellement doivent également satisfaire à ces critères.

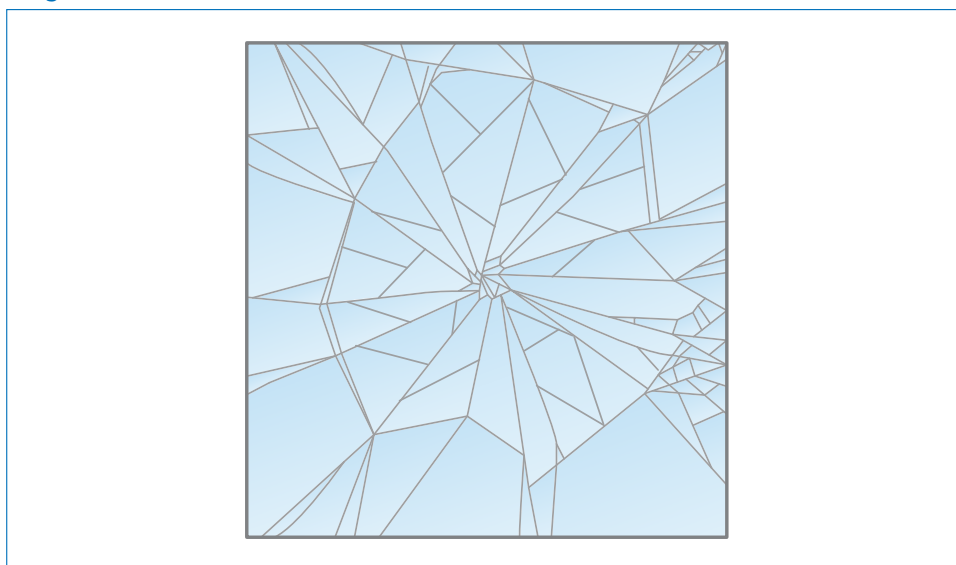
Le verre trempé pour les parois de douche ([EN 14448](#)) doit, en épaisseur 3 mm, produire également 40 morceaux au moins.

▼ Verre feuilleté de sécurité

Un verre feuilleté de sécurité est un assemblage constitué d'au moins deux feuilles de verre, collées entre elles sur toute leur surface par un intercalaire. L'intercalaire le plus couramment utilisé est un film plastique en PVB (butyral de polyvinyle). Des films polyuréthane ou EVA (éthylène vinyle acétate) peuvent également être utilisés. En cas de bris, l'adhérence entre le verre et l'intercalaire garantit le maintien des morceaux brisés du vitrage en place (tout au moins pendant un temps ou jusqu'à un niveau de charge déterminé).

Les intercalaires PVB dit rigides (Strong d'AGC) et les intercalaires ionomères (Sentry Glas) améliorent notablement la sécurité résiduelle après rupture d'un ou de deux composants d'un verre feuilleté.

Fragmentation du verre feuilleté



Les verres feuilletés de sécurité avec intercalaires (PVB, PVB acoustique, intercalaires Strong) sont décrits par deux (ou plusieurs) chiffres indiquant l'épaisseur des différentes feuilles de verre en mm, suivis d'un chiffre donnant le nombre (et non l'épaisseur) de films de PVB placés entre chaque feuille de verre.

Les films de PVB sont calculés avec une épaisseur de 0,38 mm.

Exemples.

- > Un vitrage 66.2 correspond à deux feuilles de verre (float) de 6 mm séparées par deux films de PVB de 0,38 mm d'épaisseur chacun. Certains pays décrivent également le verre feuilleté en donnant son épaisseur totale, à savoir 12,76 dans le cas du verre feuilleté 66.2.
- > Un double vitrage composé d'un verre simple de 4 mm, d'une lame d'air de 12 mm et d'un verre feuilleté 66.2 est noté 4-12-66.2 (composition indiquée de l'extérieur vers l'intérieur).

Selon la norme [EN ISO 12543-2](#), un verre feuilleté peut être considéré comme un verre feuilleté de sécurité s'il satisfait au moins à une classe de résistance 3B3 suite à l'essai pendulaire décrit dans la norme [EN 12600](#). Dans certains cas, on a recours à du verre trempé ou durci pour la fabrication de verre feuilleté. Le classement [EN 12600](#) n'en est pas affecté.

Les intercalaires EVA ont des épaisseurs variables selon les fournisseurs (0,40 mm environ par film). Les intercalaires ionomères ont des épaisseurs de 0,89 mm ou proportionnelles à 0,76 mm.

Dans les cas où le verre est soumis à d'importantes charges, on utilise parfois un verre feuilleté composé d'un verre trempé et d'un verre durci ou recuit. Le premier assure la résistance mécanique et le second donne une stabilité résiduelle suffisante en cas de bris du verre, jusqu'au moment du remplacement.

▼ Verre avec film collé

Un film autocollant peut être apposé sur un verre de manière à maintenir les morceaux en place en cas de bris. Les films à apposer en face arrière sont conformes à [EN 15752](#).

Ces films sont en général utilisés pour des applications telles que les miroirs ou les verres laqués opaques. Voir la disponibilité du film autocollant SAFE + pour les produits verriers décoratifs d'AGC.

Remarque : ces films ne sont utiles que s'ils sont apposés sur le vitrage avant sa pose en feuillure ; coller un film sur la partie apparente d'un vitrage déjà posé n'a en effet pas d'efficacité en cas de bris éventuel ; de plus, certains films posés in situ peuvent causer des problèmes de bris par choc thermique.

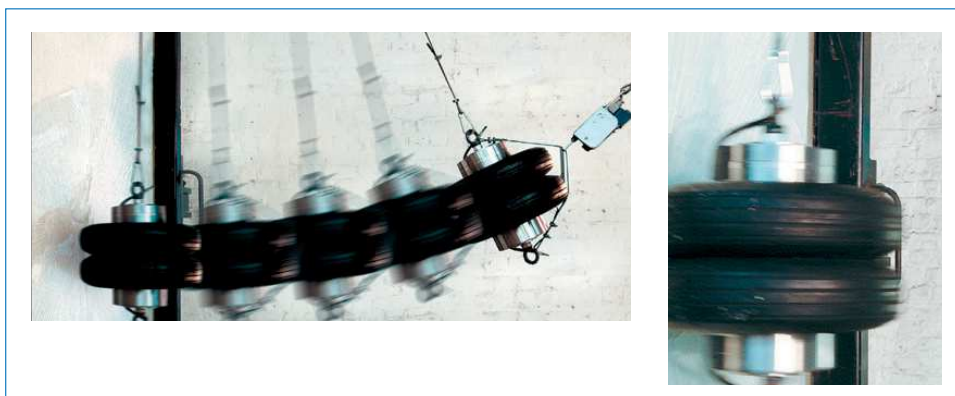
L'adhérence de film autocollant doit faire l'objet de tests de résistance. Les miroirs et verres laqués d'AGC (Mirox, Matelac et Lacobel) pourvus par AGC d'un film de sécurité SAFE + sont, selon l'épaisseur, classés 2B2, suivant la [norme européenne EN 12600](#). Le film est appliqué au dos du verre de décoration, côté peinture, en usine de production. Ce produit ne convient pas pour les applications extérieures. Le verre filmé doit être conforme à [EN 15755](#).

2.8.2 NORMES ET ESSAIS

▼ Résistance à l'impact - EN 12600

La norme [EN 12600](#) «Essai au pendule – Méthode d'essai d'impact et classification du verre plat» permet la classification des vitrages à l'impact d'un corps mou. Il s'agit d'un test avec un impacteur (2 pneus jumelés). Ce test s'applique à tous les produits verriers.

Essai d'impact



La classification distingue d'une part la hauteur de chute et d'autre part le type de fragmentation.

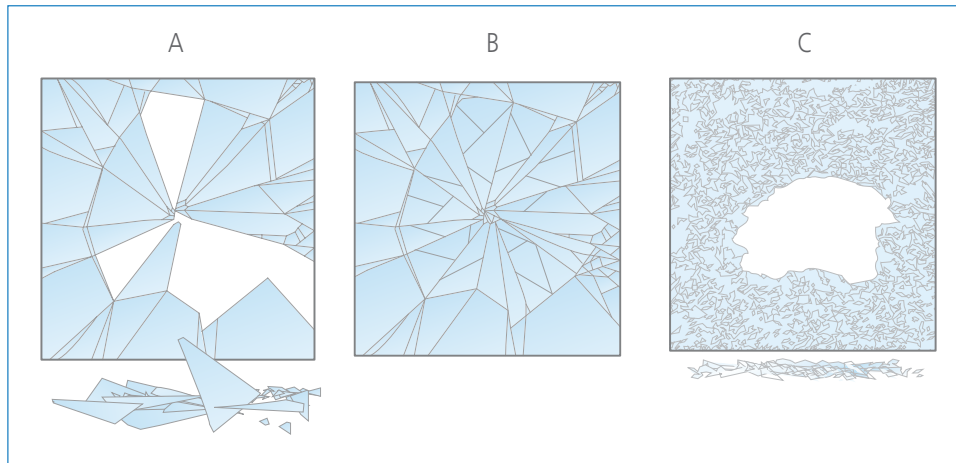
> Hauteur de chute :

- 1 : 1200 mm,
- 2 : 450 mm,
- 3 : 190 mm.

> Type de fragmentation :

- A : fissures avec fragments séparés (recuit, durci, trempé chimiquement),
- B : fissures avec fragments liés (feuilleté, film sur verre recuit),
- C : désintégration en petites particules (trempé thermiquement).

Types de fragmentation



La performance d'un produit verrier est exprimée au moyen de 2 chiffres et 1 lettre : α β Φ .

où :

- α est la plus grande hauteur de chute pour laquelle le verre ne se casse pas ou se casse selon un des deux modes de fragmentation B ou C définis ci-dessous ;
- β est le type de casse (A, B ou C) ;
- Φ est la plus grande hauteur de chute pour laquelle le verre ne se casse pas ou se casse sans permettre la pénétration (selon le mode B).

Les 2 modes de fragmentation acceptés par la norme sont les suivants.

B : de nombreuses fissures apparaissent, mais aucune cassure ou fracture permettant la pénétration d'une sphère d'un diamètre de 76 mm à travers l'éprouvette sous l'application d'une force maximale de 25 N n'est autorisée (conformément à l'annexe A). De plus, le poids total des particules pouvant se détacher et leurs dimensions sont limités.

C : une désintégration est observée et le poids cumulé des 10 plus grandes particules exemptes de fissure recueillies dans un délai de 3 min après l'impact est limité.

Pour un verre de 4 mm, cela représente une masse de 65 grammes ; pour un verre de 19 mm, 309 grammes.

Le mode **A** est celui du verre recuit (grands fragments coupants).

Les produits feuilletés dissymétriques qui n'ont pas un sens unique d'utilisation doivent être testés dans les deux sens.

Exemples :

- > Un verre feuilleté est classé 1B1 s'il résiste à un impact d'une hauteur de chute de 1200 mm sans permettre la pénétration.
- > Un verre feuilleté est classé 2B2 s'il résiste à un impact d'une hauteur de chute de 450 mm sans permettre la pénétration
- > Un verre trempé est classé 1C1 s'il résiste à un impact d'une hauteur de chute de 1200 mm sans casser.
- > Un verre trempé est classé 1C2 s'il résiste à un impact d'une hauteur de chute de 450 mm sans casser et s'il casse à une hauteur de chute de 1200 mm avec une fragmentation conforme à un des deux modes autorisés par la norme.

Par extension, un vitrage 44.2 classé 1B1 permet de classer 1B1 tous les vitrages contenant le même intercalaire, ou plus épais, ou tous les vitrages plus épais. Exemples : 44.4 ou 55.2 sont automatiquement 1B1.

Le classement [EN 12600](#) n'est pas modifié si l'un des verres ou la totalité sont remplacés par un verre trempé ou durci. Le classement [EN 12600](#) dépend du type d'intercalaire utilisé, à épaisseurs de verre égales.

Attention : les vitrages feuilletés EVA ne présentent pas du tout les mêmes classements que les vitrages avec PVB.

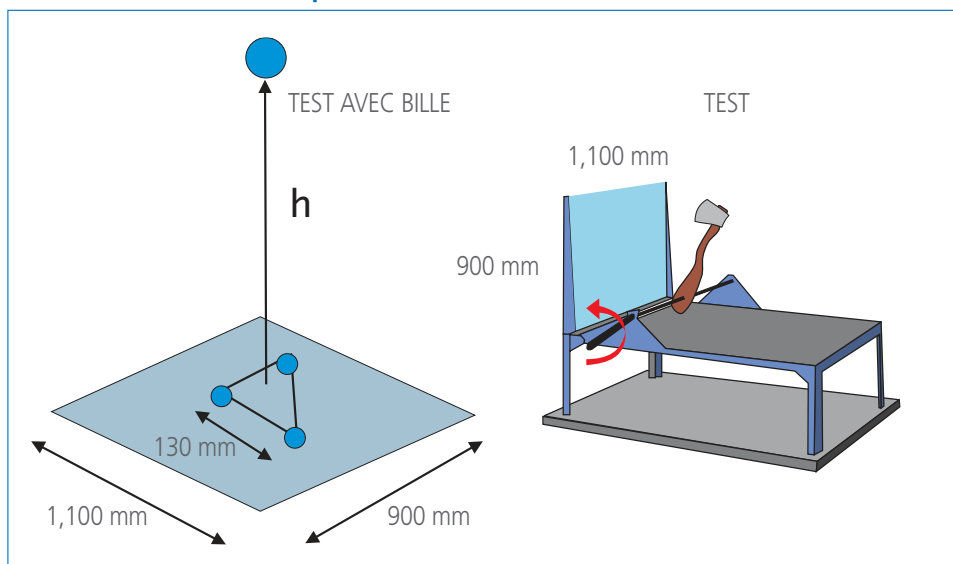
▼ Résistance à l'effraction - [EN 356](#)

La norme [EN 356](#) «Vitrage de sécurité – Mise à essai et classification de la résistance à l'attaque manuelle» définit des méthodes d'essais afin de classer les produits verriers en fonction de leur résistance à l'effraction. Huit classes sont définies par ordre croissant de résistance.

- > Les 5 premières classes, notées P1A à P5A, sont basées sur l'essai de chute de bille.

- > Les 3 classes suivantes, notées P6B à P8B, sont basées sur un essai à la hache.

Essai de résistance à l'impact



Pour les essais avec la bille, une éprouvette de 1100 mm x 900 mm est placée horizontalement et des impacts d'une bille de 4,1 kg sont réalisés en triangle au centre du vitrage (13 cm entre les impacts). Le nombre d'impacts et la hauteur de chute varient selon les classes.

Pour les essais à la hache, une éprouvette de 1100 mm x 900 mm est placée verticalement. Dans un premier temps, les différents verres de l'éprouvette sont brisés à l'aide de coups de marteaux (minimum 12) ; par la suite, on essaye de pratiquer une ouverture au centre du verre à l'aide de coups de hache.

Classes de résistance à l'effraction selon la norme EN 356

Essai	Classe	Hauteur de chute de la bille	Nombre de coups
Bille	P1A	1,5 m	3 en triangle
	P2A	3,0 m	3 en triangle
	P3A	6,0 m	3 en triangle
	P4A	9,0 m	3 en triangle
	P5A	9,0 m	3x3 en triangle
Hache	P6B	-	30 à 50
	P7B	-	51 à 70
	P8B	-	> 70

L'essai à la bille est considéré comme réussi si la bille ne traverse pas entièrement l'éprouvette dans les 5 secondes qui suivent le moment de l'impact.

L'essai à la hache est considéré comme réussi si la partie (de dimension 400 mm x 400 mm), sur laquelle ont été donnés les coups de hache n'est pas détachée totalement du reste de l'éprouvette.

Lorsqu'un verre bénéficie d'un test pour une certaine classe (par exemple 44.2 PVB = P1A), il est communément accepté que les produits verriers plus épais, ayant le même nombre de films PVB, sont de la même classe (dans ce cas, 55.2 et 66.2 sont également de classe P1A).

La norme [EN 1627 \(2011\)](#) définit une méthode de classification de résistance à l'effraction des fenêtres, portes et fermetures.

La norme donne également la classe de vitrage ([selon EN 356](#)) à utiliser en relation avec la classe de châssis pour obtenir une fenêtre «homogène» vis-à-vis de la résistance à l'effraction.

Classes de correspondance EN 1627 - EN 356

Classe de châssis	Classe de vitrage
CR2	P4A
CR3	P5A
CR4	P6B
CR5	P7B
CR6	P8B

La norme [EN 1627](#) prévoit des limitations quant aux dimensions d'utilisation par rapport aux dimensions d'essais.

CR1N et CR2N sont sans exigence.

Attention : les vitrages feuilletés EVA ne présentent pas du tout les mêmes classements que les vitrages avec PVB.

▼ Résistance aux armes à feu - EN 1063

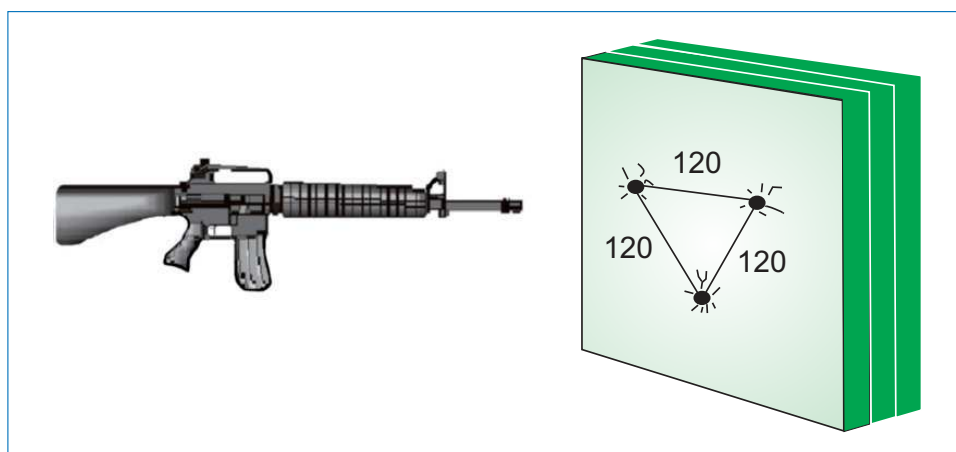
La norme [EN 1063](#) «Vitrage de sécurité – Mise à essai et classification de la résistance à l'attaque par balle» décrit une méthode de classification des produits verriers résistant aux armes à feu.

La norme distingue la résistance à deux types d'armes :

- > les pistolets et fusils (classe BR),
- > les fusils de chasse (classe SG).

Neuf classes sont définies. Le vitrage est classé comme résistant aux armes à feu, pour la catégorie d'arme essayée, s'il arrête toutes les balles sur trois éprouvettes testées (dimensions 500 mm x 500 mm). De plus, le procès-verbal indique s'il y a eu des éclats (S) ou non (NS) à l'arrière du vitrage.

Essai de résistance aux armes à feu



Les classes BR1 à BR7 sont classées par niveau croissant de protection offerte. Cela signifie qu'un verre satisfaisant aux exigences définies pour une classe donnée satisfait également aux classes inférieures.

Il n'y a pas de corrélation entre les classes SG et BR.

La même méthode d'essai et de classification s'applique aux portes et fenêtres ([EN 1522](#) et [EN 1523](#)). La classification est alors notée FB1 à FB7 et FSG (pour la classe SG2 de verre) ; il n'y a pas de correspondance pour la classe SG1.

AGC teste également les vitrages les plus adaptés dans le cas d'armes courantes (Kalashnikov), à ce jour non inclus dans [EN 1063](#).

▼ Résistance aux explosions - EN 13541

La norme [EN 13541](#) «Vitrage de sécurité - Mise à essai et classification de la résistance à la pression d'explosion» donne une classification des vitrages résistants à l'explosion (méthode dite du «tube à onde de choc»).

Le vitrage est placé à l'extrémité d'un tube. À l'autre extrémité, une charge est placée, puis explose de manière à créer une surpression.

Quatre classes sont définies de ER1 à ER4 pour les vitrages. De plus, le procès-verbal indique s'il y a eu des éclats (S) ou non (NS) à l'arrière du vitrage.

Classes de résistance à l'explosion selon la norme EN 13541

Classe	Pr Bar	Surpression positive maximale (kPa)	Impulsion positive spécifique i+ (kPa ms)	Durée de la période de pression positive t+ (ms)
ER1	$0,5 \leq Pr < 1$	$50 \leq Pr < 100$	$370 \leq i+ < 900$	≥ 20
ER2	$1 \leq Pr < 1,5$	$100 \leq Pr < 150$	$900 \leq i+ < 1,500$	≥ 20
ER3	$1,5 \leq Pr < 2$	$150 \leq Pr < 200$	$1,500 \leq i+ < 2,200$	≥ 20
ER4	$2 \leq Pr < 2,5$	$200 \leq Pr < 250$	$2,200 \leq i+ < 3,200$	≥ 20

L'essai est considéré comme réussi si, pour 3 éprouvettes, il n'y a aucune perforation «traversante» de la face exposée à la face arrière, ni aucune ouverture entre le cadre support du vitrage et les bords de l'éprouvette.

La résistance à l'explosion ne concerne que la protection des personnes situées dans un bâtiment contre une explosion se produisant à l'extérieur.

Les normes [EN 13123-1 & 2](#) et [13124-1 & 2](#) définissent des méthodes d'essais de résistance des châssis aux explosions. La partie 1 de chaque norme est basée sur un essai en tube ; les classes sont alors notées de EPR1 à EPR4. La partie 2 de chaque norme est basée sur un essai en plein air ; les classes sont alors notées de EXR1 à EXR5.

2.8.3 UTILISATION

Les paragraphes qui suivent donnent des indications générales quant à l'utilisation du verre de sécurité.

Ces notions doivent être complétées au cas par cas en fonction des spécificités des chantiers, des réglementations locales ou des exigences du maître d'ouvrage.

Dans tous les cas, les épaisseurs réelles à utiliser doivent être adaptées aux dimensions et aux sollicitations du vitrage ainsi qu'à son mode de mise en œuvre. Les épaisseurs correspondant à une classe ne constituent en effet qu'un minimum vis à vis de l'essai.

Les verres float recuits, bien que résistant aux impacts, ne sont pas considérés comme des verres de sécurité.

En France, le [DTU 39 P5](#) est d'application pour tous les usages de vitrages dans le Bâtiment. Le maître d'ouvrage ou son délégué doivent également définir les niveaux de protection souhaités pour les aménagements intérieurs (décoration, miroirs, etc...).

▼ Protection contre les blessures et les chutes

- > Risque de blessure par morceaux de verre coupants : utilisation possible de verre trempé ou feuilleté.
- > Risque de chute au travers du verre (défenestration) : seul le verre feuilleté 1B1 peut être utilisé.

Les épaisseurs effectives de verre à utiliser doivent être déterminées au cas par cas en fonction des sollicitations, des dimensions réelles du verre et de son mode de fixation.

▼ Protection contre les blessures

Pour limiter le risque de blessure par éclats, seuls conviennent des verres trempés classés 1C3 ou mieux ou des verres feuilletés classés 2B2 au moins. Les verres de ce type peuvent être utilisés dans les applications suivantes :

- > vitrines de magasin,
- > parois intérieures (si la base du verre est proche du niveau du sol) sans risque de chute dans le verre,
- > portes et fenêtres dans les lieux publics ou privés,

- > mobilier urbain : abribus, cabines téléphoniques, etc...,
- > cabines de douche, tablettes, mobilier, etc...,
- > revêtement mural ou revêtement de meubles.

Dans le cas de vitrages en toiture, du verre feuilleté de sécurité est obligatoire pour protéger les personnes se trouvant sous la paroi vitrée contre le risque de blessures par éclats détachés, notamment à la suite d'objets extérieurs tombant sur celle-ci.

La retenue de ces objets n'est par contre pas garantie ; elle ne sera effective que si les sollicitations engendrées par l'impact ne dépassent pas les performances offertes par le produit utilisé.

Lorsque les bords d'un verre sont accessibles, ceux-ci doivent être rôdés (et dans certains cas, il convient de tremper les verres).

▼ Protection contre les chutes de personnes dans le vide

Le verre feuilleté de sécurité classé 1B1 doit être utilisé dans les cas suivants, entre autres :

- > fenêtres et portes intérieures (si la base du verre est proche du niveau du sol) contigus à un vide,
- > garde-corps,
- > sols et escaliers.

▼ Protection contre les chutes de morceaux

Seul le verre feuilleté 2B2 au moins convient. Certains auvents (pour la prévention de chute de morceaux des étages supérieurs ou en prévention para-sismique) pourront être exigibles en P5A suivant [EN 356](#).

▼ Position du verre de sécurité

La réglementation locale fixe les exigences qui peuvent s'appliquer ([cf. DTU 39 P5 en France](#)).

On peut envisager l'utilisation de deux faces en verres de sécurité si le choc peut survenir de part et d'autre (par exemple dans le cas d'un double vitrage placé dans une porte dans un lieu public). Les combinaisons possibles en double vitrage sont dès lors trempé-trempé, trempé-feuilleté ou feuilleté-feuilleté.

Pour les doubles vitrages en toiture, c'est le verre en sous-face qui doit être feuilleté.

▼ Résistance à l'effraction

Le tableau ci-après renseigne sur la classe de produit à utiliser en fonction du niveau de protection souhaité.

Que le but soit d'offrir une protection contre le vandalisme ou de protéger les habitations et commerces contre le vol, il convient d'utiliser un verre feuilleté de sécurité composé d'au moins 2 feuilles de verre et d'un nombre croissant de films PVB selon le degré de sécurité recherché et/ou les exigences des compagnies d'assurance.

Pour de très hauts niveaux de sécurité, on optera pour du verre multi-feuilleté.

En vitrage isolant, il est conseillé de placer le verre feuilleté résistant à l'effraction de sécurité du côté intérieur.

Norme EN 356

	Degré de protection	Classe conseillée EN 356	Exemples d'application
Protection contre le vandalisme	Protection contre le vandalisme non organisé	P1A P2A P3A	Rez-de-chaussée d'habitation (vitrines de magasins présentant un risque limité ou contenant des objets de grandes dimensions)
Protection contre l'effraction	Protection contre l'effraction	P4A P5A	Rez-de-chaussée d'habitation (vitrines de magasins présentant un risque limité ou contenant des objets de grandes dimensions)
	Protection de haut niveau	P6B P8B	Vitrines de magasins présentant un risque élevé ou contenant de petits objets
	Très haut niveau de protection contre toutes formes d'agression à l'arme blanche		Vitrines de magasins présentant un risque très élevé ou contenant des objets de grande valeur

▼ Résistance aux armes à feu et aux explosions

Le verre de sécurité feuilleté ou multi-feuilleté PVB, résiste aux armes à feu et aux explosions. Un vitrage trempé chimiquement peut également être incorporé à un verre feuilleté PVB.

Il appartient à l'utilisateur de définir le niveau de protection spécifique souhaité et il est recommandé de consulter un spécialiste afin de déterminer les produits verriers répondant aux performances escomptées. Les vitrages sont classés sur [EN 13541](#) pour les risques d'explosion et [EN 1063](#) pour leur comportement vis à vis des armes à feu.

▼ Châssis et mise en œuvre des verres de sécurité

Dans tous les cas, l'utilisation de verre de sécurité n'a de sens que si la menuiserie présente les mêmes qualités de résistance car c'est le composant le plus faible qui déterminera la résistance de l'ensemble.

Lors de la mise en œuvre de verres de sécurité, les prescriptions générales ainsi que les prescriptions spécifiques au verre de sécurité doivent être respectées.

2.9 – Comportement au feu

2.9.1 INTRODUCTION

La protection contre l'incendie prend une part de plus en plus importante dans la conception des bâtiments et des façades.

Deux notions distinctes doivent être considérées : la réaction au feu et la résistance au feu.

- > **La réaction au feu** caractérise le comportement d'un matériau donné lorsqu'il est soumis au feu et sa contribution à la propagation de celui-ci.

On peut distinguer les matériaux non-combustibles (ne manifestant aucun dégagement notable de chaleur), les matériaux combustibles (matériaux ayant tendance à émettre de la chaleur en fonction de l'échauffement auquel ils sont soumis) et les matériaux inflammables (matériaux ayant tendance à dégager des gaz dont la nature et la quantité sont susceptibles de produire une combustion en phase gazeuse, c'est-à-dire de produire des flammes).

Chaque produit peut être caractérisé par une classe de réaction au feu ou une valeur caractéristique de son potentiel calorifique.

- > **La résistance au feu** d'un élément est le temps exprimé en minutes pendant lequel il satisfait à des critères de capacité portante et/ou d'étanchéité et/ou d'isolation. La résistance au feu porte sur l'ensemble verre-châssis et non sur le vitrage seul.

2.9.2 RÉACTION AU FEU

▼ Classification européenne

Les produits de construction sont hiérarchisés en 7 Euroclasses : A₁, A₂, B, C, D, E et F.

Les meilleurs matériaux du point de vue de la réaction au feu sont répertoriés dans les classes A₁ et A₂ et les plus mauvais dans la classe F.

Une distinction est opérée entre la classification des revêtements de sol et des autres matériaux. Ainsi, l'indice se complète des lettres FL (pour «floor») pour les revêtements de sol (par exemple A_{FL}, B_{FL}, etc.).

Le tableau ci-après résume les normes d'essais à considérer en fonction des cas.

Normes d'essais pour la réaction au feu

	Revêtements de sol	Autres produits
Niveau bas de sollicitation	Sollicitation par contact direct avec petite flamme (EN ISO 11925-2)	
Niveau moyen de sollicitation	Sollicitation radiative résultant d'un écoulement de gaz chauds sous plafond (EN ISO 9239-1)	Sollicitation par contact avec la flamme d'un objet isolé en feu (EN 13823)
Niveau élevé de sollicitation	Embrasement généralisé du contenu du combustible du local (EN ISO 1716 et EN ISO 1182)	

Ces 5 méthodes d'essais sont liées à deux autres qui traitent de la classification ([EN 13501-1](#)) et du conditionnement et du choix de supports ([EN ISO 13238](#)).

Des classifications additionnelles mettent en jeu deux aspects complémentaires.

Le premier aspect est relatif à la production de fumée («s») : s1, s2 et s3 ; s3 représentant l'élément n'ayant aucune performance particulière pour cet aspect.

Un second aspect est relatif à la production de gouttelettes («d») : d0 (pas de gouttelettes en feu dans les 600 secondes lors d'un test conformément à [EN 13823](#)), d1 (pas de gouttelettes en feu plus de 10 secondes dans les 600 secondes lors d'un test conformément à [EN 13823](#)) et d2 (si aucune performance n'est déclarée, ou si le produit n'est pas conforme aux critères de classification d0 et d1, ou enflamme le papier lors du test d'inflammabilité [EN 11925-2](#)).

Leur indication n'est pas obligatoire, contrairement aux Euroclasses. Un classement type est par exemple Bs, do.

▼ Classement sans essais

Le verre float, le verre imprimé, le verre durci, le verre trempé thermiquement, le verre trempé chimiquement, le verre à couches inorganiques et le verre armé sont repris dans la liste des matériaux considérés de **classe A1** sans devoir faire de test (*Journal Officiel des Communautés Européennes 96/603/CE et 2000/605/CE*).

Les autres types de verre doivent être testés s'ils contiennent une fraction organique supérieure à 0,1% de leur poids.

Voir "Classification of reaction to fire of glass product" - Glass For Europe, April 2015 - qui établit des généralités sur le classement des verres feuilletés.

▼ Pouvoir Calorifique Supérieur et masse combustible

Le pouvoir calorifique d'une substance est la quantité maximale de chaleur que peut dégager l'unité de masse de cette substance dans une combustion complète. Le PCS s'exprime en MJ/kg de façon générale.

La connaissance de l'ensemble des PCS de tous les matériaux entrant dans la composition d'une façade permet de calculer la masse combustible mobilisable et est nécessaire en ingénierie incendie. Le PCS des vitrages dépend de la quantité de matière organique qu'ils renferment. Il est évalué sur demande. Le PCS du verre (classé A1) float recuit ou trempé ou à couche inorganique est égal à 0.

2.9.3 RÉSISTANCE AU FEU

▼ Classification européenne

La résistance au feu d'un produit se mesure en minutes et avec trois performances principales.

- > R (capacité portante).
- > E (étanchéité).
- > I (isolation thermique).

En général, les classes sont exprimées comme suit.

- > Éléments porteurs :
 - REI tt : tt étant la période durant laquelle tous les critères (capacité portante, étanchéité et isolation) sont satisfaits ;
 - R tt : tt étant la période durant laquelle le critère de capacité portante est satisfait.
- > Éléments non porteurs :
 - EI tt : tt étant la période durant laquelle les critères d'étanchéité et d'isolation sont satisfaits ;
 - E tt : tt étant la période durant laquelle le critère d'étanchéité est satisfait.

▼ Application de la classification au verre

Pour le verre, on utilise les indices.

- > E : étanchéité ou capacité de l'élément à empêcher le passage de flammes et gaz chauds. Un transfert de chaleur est autorisé - exemple : E 30.
- > EW : étanchéité et faible rayonnement thermique ou capacité de l'élément à empêcher le passage de flammes et de gaz chauds et à limiter le niveau de transfert de chaleur à travers lui - exemple : EW 60.
- > EI : étanchéité et isolation thermique ou capacité de l'élément à empêcher le passage de flammes et de gaz chauds et à bloquer le transfert de chaleur à travers lui - exemple : EI 90.

▼ Essais de résistance au feu

Une série d'essais normalisés permet de couvrir tous les produits et plusieurs scénarios. Un essai par type d'éléments est nécessaire. Les conditions requises pour tester une porte coupe-feu sont très différentes de celles requises pour tester une poutre.

Les *Exigences Générales (EN 1363-1)* - éventuellement modifiées par d'autres modes opératoires - ainsi que la méthode d'essais propre à l'élément de construction à tester, notamment *EN 1364-1* et éventuellement des règles d'extension (*EN 15254-4*), s'appliquent.

> Description sommaire de l'essai

L'élément à tester est placé devant un four. Il est testé en taille réelle ou maximale possible.

Dispositif d'essai



La courbe température / temps standard est appliquée pendant toute la durée de l'essai et correspond à :

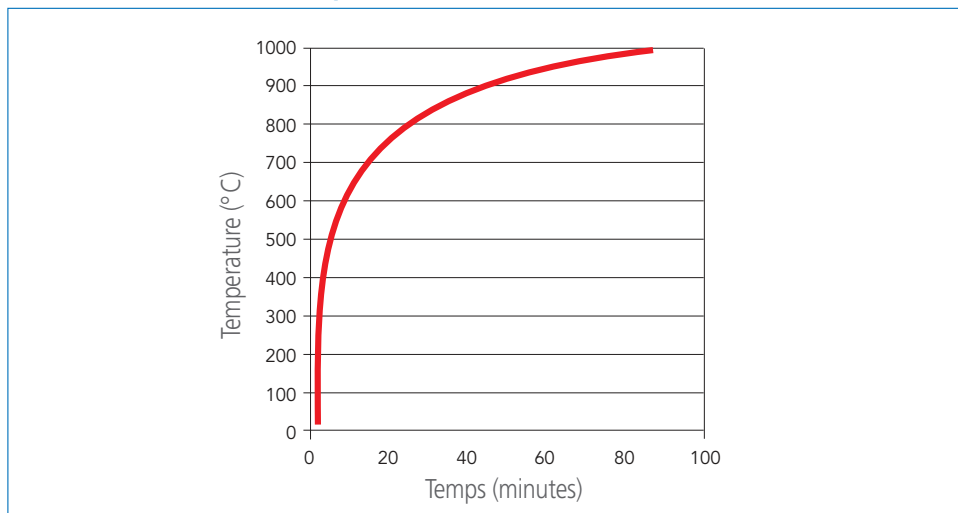
$$T = 345 \log_{10} (8\tau + 1) + 20$$

où :

- τ est le temps en minutes (min) à partir du début de l'essai,
- T est la température moyenne du four en degrés (°C) au temps τ .

Le rayonnement du côté non exposé est mesuré à l'aide d'un radiomètre et la température sur la surface non exposée, au moyen de thermocouples.

Courbe de montée en température du four



La réussite du test est évaluée de la manière suivante avec une durée en minutes (15, 30, 45, 60, ... mn).

- > Critère d'étanchéité : l'éprouvette continue à assurer sa fonction de séparation pendant le test sans provoquer l'embrasement d'un tampon de coton placé durant 30 secondes devant la paroi, sans permettre la pénétration d'un calibre à fourche, ni donner lieu à une inflammation soutenue du côté non exposé.
- > Critère de faible rayonnement thermique : le rayonnement, mesuré à un mètre de la surface non exposée, doit rester inférieur à 15 kW/m².
- > Critère d'isolation thermique : l'éprouvette continue à assurer sa fonction de séparation pendant le test sans engendrer, sur la surface non exposée, des conditions qui :
 - a) soit font augmenter la température moyenne de plus de 140 °C au-dessus de la température initiale ;
 - b) soit font augmenter, à n'importe quel endroit (y compris le thermocouple mobile), la température de plus de 180 °C au-dessus de la température moyenne initiale.

▼ Produits verriers résistants au feu

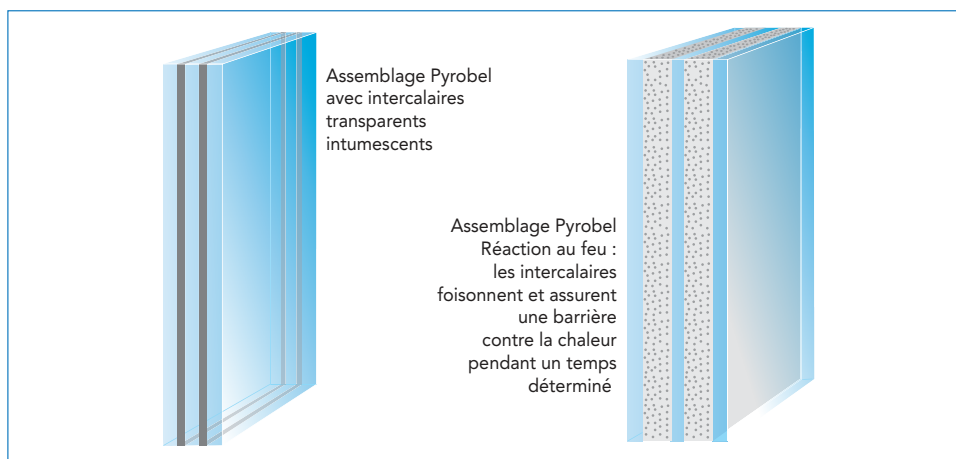
Certains produits verriers, tels que les verres simples recuits, les verres feuilletés (PVB, EVA, résine) et les doubles vitrages standard n'offrent pas une résistance valable au feu puisqu'ils se brisent par choc thermique dès que la température s'élève brusquement.

Les produits suivants peuvent être envisagés pour la résistance au feu.

- > Glace armée polie : en cas d'incendie, le verre se brise mais reste en place grâce au treillis métallique et garde sa transparence. De plus, dès que la température de ramollissement est atteinte, les fissures se ressoudent. Le passage des flammes ne se fait que lorsque le fluage est devenu tel qu'une ouverture se forme dans le vitrage.
- > Verre trempé thermiquement : la trempe thermique améliore la résistance du verre à la traction et aux chocs thermiques. Le procédé de trempe est spécifique aux produits résistant au feu afin d'obtenir des performances élevées. La présence d'une couche permet également de limiter le rayonnement. Les applications peuvent être en simple, double vitrage ou feuilleté.

- > Verre feuilleté avec intercalaire intumescent : il s'agit d'un verre feuilleté ou multi-feuilleté contenant un intercalaire solide qui foisonne en cas d'incendie.

Verre feuilleté avec intercalaire foisonnant



Dans des conditions normales, les intercalaires sont transparents. En cas d'incendie, ils se transforment en un écran pare-feu rigide, opaque et absorbant la chaleur.

Plus il y a de couches, plus la durée de résistance au feu du vitrage augmente.

Réaction d'un verre feuilleté avec intercalaires intumescents sous l'action du feu



Pour pouvoir être utilisés comme tels, les produits verriers et leur environnement doivent disposer d'un rapport d'essai attestant leurs performances.

AGC propose une gamme de produits en verre trempé (Pyropane) et en verre feuilleté à intercalaire intumescent (Pyrobelite et Pyrobel) offrant différents niveaux de résistance au feu.

Le tableau ci-dessous résume cette gamme.

Des informations plus détaillées sont disponibles sur le site www.yourpyrobel.fr.

	Verre feuilleté avec intercalaire intumescent	Verre trempé
E	Pyrobelite	Pyropane
EW	Pyrobelite	Pyropane
EI	Pyrobel	-
DH	-	Pyropane

▼ Verres Pyropane

Pyropane est la gamme de vitrages trempés résistant au feu d'AGC. Les vitrages de cette gamme s'obtiennent en traitant et en trempant, suivant [EN 14179](#), un verre revêtu ou non d'une couche métallique spéciale. La gamme Pyropane est conforme aux normes européennes spécifiques et dispose de classements après essais dans des systèmes de châssis adéquats jusqu'à EW 60.

Elle est adaptée à plusieurs usages :

- > double vitrage isolant résistant au feu (E/EW 30 et E/EW 60) pour façades ;
- > vitrage intérieur résistant au feu pour cloisons et portes (E 30/EW 20) ;
- > écran de cantonnement des fumées (DH 30).

En tant que vitrage trempé, Pyropane offre tous les avantages de la sécurité des personnes contre les blessures.

▼ Pyrobel et Pyrobelite

Les verres Pyrobel et Pyrobelite sont des verres feuilletés à intercalaires intumescents. En cas d'incendie, les intercalaires se dilatent lorsque la paroi atteint une température voisine de 120°C et forment un écran rigide qui constitue une barrière aux flammes, aux gaz chauds et au transfert de chaleur.

En cas d'incendie, le **Pyrobelite** permet d'atteindre des performances EW 30 et EW 60.

En cas d'incendie, le **Pyrobel** permet d'atteindre des performances allant de EI 15 jusqu'à EI 120.

2.10 – Phénomènes inhérents au verre

2.10.1 BRIS PAR CHOC THERMIQUE

Un bris par choc thermique peut se produire s'il existe entre deux zones d'un verre recuit une différence de température trop importante. En effet, si la température du verre augmente, celui-ci se dilate ; ce phénomène ne présente pas d'inconvénient si l'augmentation de température est uniforme sur tout le vitrage. Par contre, si une partie du vitrage reste froide, elle empêchera la partie chaude de se dilater librement.

Il en résulte des contraintes de traction qui sont susceptibles de dépasser la contrainte admissible dans le verre courant avec risque de casse. Si un tel risque existe, le verre doit être trempé ou durci.

Sauf étude préalable, les vitrages en allèges doivent être trempés ou durcis thermiquement. Pour ce qui est de la partie vision lorsque la température est proche de la limite, l'utilisation de verre Clearvision, à faible absorption énergétique, peut améliorer la situation.

2.10.2 DÉFORMATION DES IMAGES

La lame d'air entre les différentes feuilles de verre d'un vitrage isolant constitue un volume scellé hermétiquement, au sein duquel les lois universelles relatives aux gaz s'appliquent.

Le volume compris entre les feuilles se modifie au rythme des fluctuations de température et de pression.

Ceci se traduit par une déformation des images réfléchies.

En réalité, cette déformation est une preuve de la qualité du vitrage isolant dans la mesure où il démontre l'étanchéité de la lame d'air.

"L'effet verre isolant" dépend notamment des dimensions et de la géométrie des verres, de la largeur de la lame d'air et de l'épaisseur des verres, ainsi que du coefficient de réflexion du verre à couche.

Pour des vitrages posés en altitude, cet effet doit être correctement appréhendé pour éviter des casses de vitrages à cause d'une contrainte mécanique trop élevée dans le vitrage mécanique.

2.10.3 PHÉNOMÈNES D'INTERFÉRENCES DANS LE VITRAGE ISOLANT

Lorsque les deux surfaces d'un verre float sont très planes et parfaitement parallèles, des phénomènes optiques peuvent survenir sous certaines conditions d'éclairage.

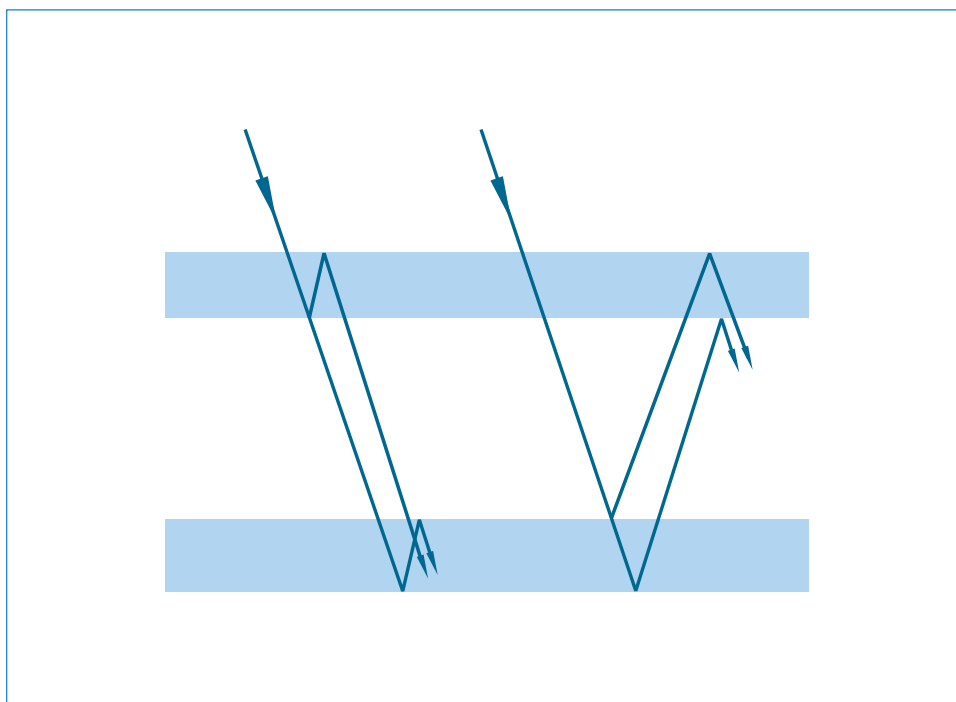
Ces phénomènes se manifestent à la surface du verre sous la forme de taches, de bandes ou de cercles aux couleurs de l'arc-en-ciel dont la position change lorsque l'on sollicite le vitrage par une légère pression.

Ces phénomènes purement physiques sont dus à une réfraction et une superposition.

La survenue de ces phénomènes dépendant des conditions d'éclairage, de la position des verres et de l'angle d'incidence de la lumière, ceux-ci ne se manifestent que très rarement, lorsque plusieurs conditions sont satisfaites simultanément. Par ailleurs, ils ne sont visibles que sous un certain angle de vue en réflexion, rarement en transmission.

Ces phénomènes d'interférences sont des manifestations physiques démontrant l'excellente planéité du verre float.

Phénomènes d'interférences pouvant survenir dans des vitrages isolants composés de feuilles d'une même épaisseur



2.10.4 ANISOTROPIE

Les anisotropies sont des phénomènes d'irisation pouvant apparaître sur des verres qui ont été traités thermiquement (verre de sécurité trempé thermiquement ou verre durci thermiquement).

Les procédés de fabrication de ces vitrages entraînent l'apparition de champs de tensions sur le vitrage, lesquels génèrent une biréfringence sous l'effet d'une lumière polarisée. Lorsque le verre est observé sous une lumière polarisée, les champs de contrainte deviennent visibles sous forme de motifs, appelés champs de polarisation.

La lumière naturelle est plus ou moins polarisée selon les conditions météorologiques et le moment de la journée.

2.10.5 CONDENSATION

Le point de rosée est la température à laquelle l'humidité relative atteint une valeur de 100%. Si la température est plus basse, alors que le taux d'humidité reste inchangé, on observe la formation de condensation.

La condensation peut apparaître à différents endroits.

▼ Condensation sur la vitre côté intérieur du local

- > L'air relativement frais est humide, par exemple cuisines, salles-de-bains, buanderies ou chambres. De la buée se forme alors rapidement et l'humidité contenue dans l'air se dépose sur les vitres froides.

La condensation sur le verre peut être nettement réduite en utilisant un vitrage à isolation thermique renforcée, comportant l'iplus Top 1.1 ou l'iplus Advanced 1.0.

Plus le coefficient U_g est bas, plus la température du verre sera élevée, et la condensation ne sera plus observée.

Pour faire face à un taux d'humidité important, un système de ventilation adapté sera installé.

▼ Condensation sur la vitre côté extérieur du local

Dans certains cas, de la condensation peut également apparaître sur la surface du vitrage isolant orientée vers l'extérieur du local.

Elle apparaît tôt le matin, lorsque le taux d'humidité de l'air extérieur est élevé, et généralement au centre du vitrage et non sur les bords.

À ce moment de la journée, la température de la vitre extérieure peut descendre en dessous de la température de rosée. Ceci s'explique par le fait que la surface extérieure du vitrage isolant en partie courante se refroidit sensiblement durant la nuit grâce à la bonne isolation thermique du vitrage.

La température de l'air extérieur peut augmenter plus rapidement que celle de la vitre et la condensation se forme. Elle disparaît toutefois rapidement, dès l'apparition des premiers rayons du soleil qui réchauffe la surface du verre.

La formation de condensation sur le vitrage, aussi bien du côté intérieur qu'extérieur, est déterminée par des facteurs physiques et climatiques.

AGC propose une gamme de vitrages à couche spécifique aux propriétés anti-condensation.

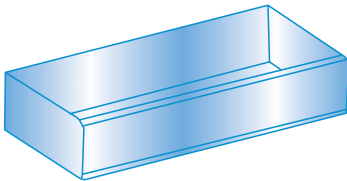
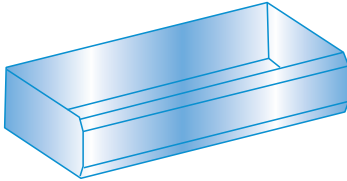
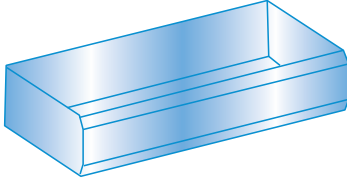
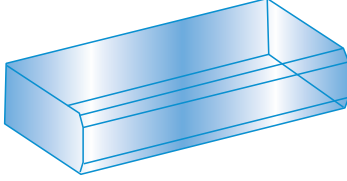
Il s'agit d'un float clair sur lequel est déposée une couche pyrolytique transparente. La couche à basse émissivité i plus AF est positionnée sur la face externe du verre (position 1). Elle permet d'élever la température externe du verre, ce qui aura pour conséquence de retarder le phénomène de condensation.

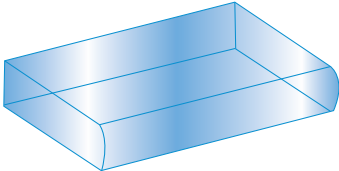
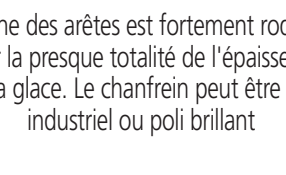
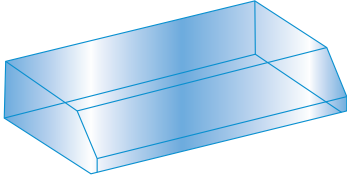
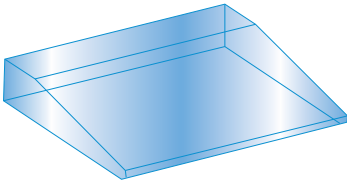
2.11 – Façonnage du verre

Par façonnage, on entend toute opération mécanique ou manuelle exécutée à froid sur un vitrage après découpe aux dimensions d'utilisation, pour traiter les bords du vitrage (joints), obtenir des formes particulières (découpes en forme), réaliser des perçages (trous et encoches) et répondre à des exigences pratiques ou esthétiques. Les façonnages ne peuvent être exécutés que sur des vitrages non traités thermiquement.

▼ Joints

Le façonnage des joints est réalisé par enlèvement de matière sur les bords du vitrage, par abrasion et polissage afin d'améliorer l'aspect des bords et la fonctionnalité du vitrage.

Désignation	Définition	Type de joint
AA	Simple élimination des angles coupants sur les bords du vitrage	Arêtes abattues 
JPI	Rodage grossier sur toute l'épaisseur du vitrage. Il ne doit rester aucune trace de la surface de découpe. Aspect dépoli, très légèrement rugueux	Joint plat industriel 
JPPi	Joint semblable au JPI mais avec un rodage fin. La tranche est mate, d'aspect satiné	Joint plat poli industriel 
JPP	Après satinage, la tranche est entièrement polie. Elle devient lisse, brillante et transparente comme le reste du verre	Joint plat poli 

Désignation	Définition	Type de joint
JAI	Equivalent du JPPI mais avec la tranche arrondie 	Joint arrondi industriel 
Chanfrein	L'une des arêtes est fortement rodée sur la presque totalité de l'épaisseur de la glace. Le chanfrein peut être poli industriel ou poli brillant 	
Biseau	Joint poli brillant avec bord oblique 	

2.12 – Nettoyage du verre

Par nature, le verre est un matériau durable, résistant et simple à maintenir propre. Pour garder les propriétés optiques des vitrages, il est recommandé de les nettoyer à une fréquence suffisante (deux fois par an, par exemple, pour les façades). Lisse et non poreux, le verre est facile à nettoyer avec un chiffon, de l'eau et /ou un produit ménager courant.

Les vitrages dont une couche est tournée vers l'intérieur d'un vitrage isolant ne demande aucun entretien.

Toutefois, les caractéristiques techniques des vitrages, telles que la transparence ou la réflexion, ne sont préservées que si les surfaces sont entretenues régulièrement. Consultez nos différents guides dans leur dernière version.

Guide de Nettoyage et d'Entretien des Façades en Verre :
https://www.agc-yourglass.com/sites/default/files/technical_documents/original/maintenance10503.pdf.

Guide pour les Verres Décoratifs pour Applications en Intérieur :
https://www.agc-yourglass.com/sites/default/files/technical_documents/original/cleaning10485.pdf.

▼ Entretien

Tous les produits contenant de l'acide fluorhydrique ou des dérivés fluorés sont interdits car ils risquent d'attaquer la surface du verre ou d'une couche. Les produits fortement acides et alcalins, et les produits ou matières abrasifs doivent être évités également.

Si possible, ne procédez pas au nettoyage en cas de températures trop froides ou trop élevées, ni lorsque le verre est directement exposé aux rayons du soleil.

Assurez-vous en permanence du bon état des chiffons, raclettes et autres outils utilisés. Nettoyez abondamment le verre à l'eau claire. De temps à autre, quelques gouttes de détergent neutre ou d'un produit de nettoyage approprié du commerce peuvent être ajoutées à l'eau. Rincer à l'eau claire et éliminez l'eau à l'aide d'une raclette.

Profitez du nettoyage pour inspecter les joints, la capacité d'écoulement de l'eau et le châssis.

La fréquence de nettoyage du verre dépend des conditions environnantes et des niveaux de pollution, elle peut être indiquée par un document contractuel : les [DTU 39](#) et [33](#) recommandent deux entretiens par an au moins.

▼ Fin de chantier ou nettoyage spécifique

Avant de commencer le processus de nettoyage spécial, procédez toujours à un essai sur une surface de quelques centimètres.

Un tel nettoyage peut être rendu nécessaire par la conséquence de laitances de béton, colle d'étiquettes, matériaux de séparation (pastilles) ou d'autres facteurs locaux.

L'identification de la nature de la salissure va guider le choix de la méthode et des produits adaptés en fonction du type de verre. Éliminer tout dépôt résiduel tel que du mastic d'étanchéité, du ciment, etc..., avec une extrême précaution, avec un grattoir spécial ou une lame de rasoir, sans griffer le verre. Les verres à couche, vitrages dépolis à l'acide ou sablés sont particulièrement sensibles.

Éliminez toute trace d'huile ou de pollution organique à l'aide de solvants tels que de l'alcool isopropylique ou de l'acétone appliqué au moyen d'un chiffon doux.

Les traces de doigts ainsi que les taches de graisse ou de mastic sont traitées à l'aide de solvants tels que l'acétone ou le méthyléthylcétone (MEC) qui n'attaquent pas les joints et pénètrent dans la feuillure.

L'ammoniac ne doit pas être utilisé avec des vitrages Lacobel ou Matelac. Les solvants ne doivent jamais atteindre la face arrière, peinte ou argentée, des verres décoratifs. Les vitrages dépolis Matelux doivent être nettoyés à l'eau.

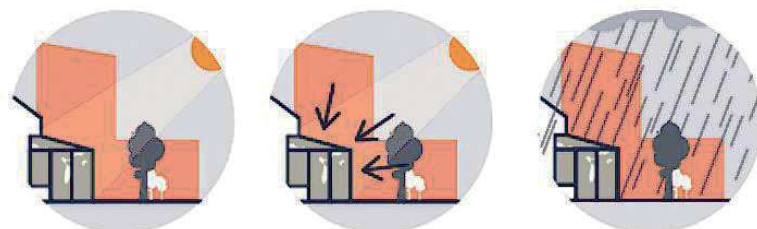
Rincez toujours abondamment afin d'éliminer un maximum de poussières.

D'autres résidus peuvent être enlevés en polissant légèrement à l'aide d'une suspension d'oxyde de cérium diluée dans de l'eau (entre 100 et 200 grammes par litre), avant rinçage soigneux puis lavage courant.

Les méthodes à haute pression ou nettoyages à vapeur sont possibles seulement après examen de la situation et tests.

▼ Verre facile à nettoyer

Comment la couche fonctionne-t-elle ?



Une couche pyrolytique invisible spécifique est déposée en face 1 : le revêtement aide à répartir les gouttes d'eau chargées de matières diverses sur le verre.

La couche réagit sous l'effet du rayonnement UV pour dégrader les matières organiques des salissures en une semaine environ.

La pluie ou une aspersion régulière permettent l'élimination des résidus, sous réserve qu'une pente suffisante ait été prévue pour l'ouvrage.

Le vitrage Planibel Easy est conforme à [EN 1096-5](#). Il est esthétiquement neutre, est transformable par trempe, feuilletage, bombage et assemblage en vitrage isolant.

▼ Nettoyage des verres dépolis

Concernant les vitrages dépolis (mats), tels que Matelux, Matelac, Matelac T, des solutions pratiques sont proposées par AGC dans un guide spécifique sous la rubrique "technical docs/ Short Cleaning Guide". [Notons également que des produits d'entretien dédiés sont disponibles en ligne sur \[www.agc-store.com\]\(http://www.agc-store.com\).](#)

— 3 —

APERÇU DES PRODUITS VERRIERS



Galeo - Issy les Moulineaux, France - Architecte : Christian de Portzamparc - Stratobel et Artlite

Le type de verre plat le plus communément utilisé dans le bâtiment est un silicate sodo-calcique obtenu par fusion du mélange de matières premières dans un four chauffé à environ 1550 °C.

Le verre silico-sodo-calcique de base est principalement constitué de :

- > silice [dioxyde de silicium ou sable de silice (SiO_2 pour 69% à 74%)], qui donne sa texture au verre. On l'appelle le vitrifiant ou formateur de réseau SiO_2 ;
- > soude [oxyde de sodium (Na_2O pour 10% à 16%)], utilisé comme fondant dans le but d'abaisser la température de fusion du dioxyde de silicium et comme affinant dans le but d'homogénéiser le mélange en fusion et d'en éliminer les bulles ;
- > calcium [oxyde de calcium (CaO pour 5% à 14%)], utilisé comme stabilisant donnant au verre sa résistance chimique ;
- > autres matières telles que :
 - des affnants, dont le rôle est de remuer le mélange en fusion de façon à provoquer un dégagement gazeux et à en uniformiser les qualités, ajustant ainsi les propriétés physiques et chimiques du verre ;
 - divers oxydes métalliques servant à améliorer les caractéristiques mécaniques du verre ainsi que sa résistance aux agents atmosphériques ;
 - des colorants.

Pour la fabrication de float, AGC utilise du verre recyclé à raison de 30%. La température de fusion s'en trouve abaissée.

3.1 FLOAT (EN 572-1 et 2)

Verre de silicate sodo-calciue plan, transparent, clair ou coloré (vert, gris, bronze, bleu).

Les épaisseurs standard pour des applications architecturales sont de 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 19 et 25 mm et les dimensions maximales standard sont de 6 m par 3,21 m.

Le float est le composant de base utilisé dans toutes les opérations ultérieures de transformation du verre.

La feuille de verre finale est obtenue au moyen d'un processus de production en ligne, dit «float», où les matières premières sont mélangées selon un procédé discontinu, alimentant, avec le calcin (déchets de verre) adéquat, ajouté dans des proportions contrôlées, un four chauffé à environ 1550 °C.

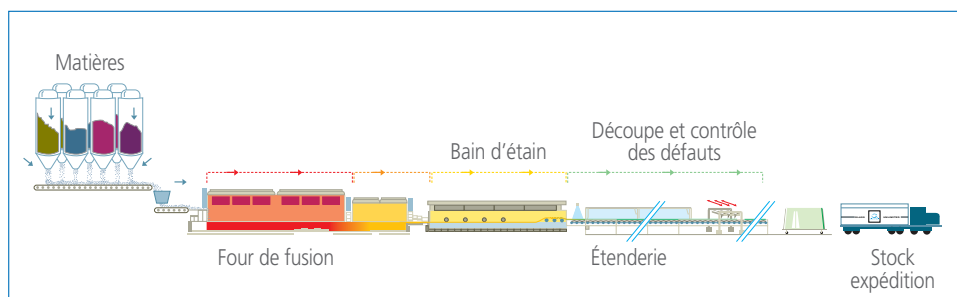
Une fois fondu, la température du verre est stabilisée à environ 1200 °C afin de garantir une masse de verre homogène.

Le verre fondu est versé, grâce à un canal de distribution, sur un «bain d'étain» liquide sur lequel il «flotte» et forme une feuille de verre. Le réglage de la vitesse d'écoulement détermine l'épaisseur de la feuille de verre finale.

La température est progressivement réduite jusqu'à environ 600 °C tandis que le ruban de verre se déplace le long du bain d'étain, jusqu'à pouvoir le soulever sur des rouleaux. La température du ruban de verre est abaissée, de façon contrôlée, jusqu'à environ 50 °C ; il peut alors être découpé en feuilles de verre plat par des machines et est stocké avant expédition.

AGC peut produire du float Planibel Clearlite ou Clearvision jusqu'à 16 mètres de long.

Procédé float



Valeurs des caractéristiques générales
Les principales propriétés du verre silico-sodo-calcique

Caractéristiques	Symbole	Valeur numérique et unité
Densité (à 18 °C)	ρ	2500 kg/m ³
Dureté (Knoop)	HK _{0.1/20}	6 GPa
Module de Young (module d'élasticité)	E	7 x 10 ¹⁰ Pa
Module de cisaillement	G	2,92 x 10 ¹⁰ Pa
Coefficient de Poisson	μ	0.2
Résistance caractéristique à la rupture par flexion	f	45 x 10 ⁶ Pa
Capacité thermique massique	C	0.72 x 10 ³ J / (kg.K)
Coefficient moyen de dilatation linéaire entre 20 °C et 30 °C	α	9 x 10 ⁻⁶ K ⁻¹
Résistance à des différences et à des changements soudains de température		40 K
Conductivité thermique	λ	1 W/(mK)
Indice de réfraction moyen au rayonnement visible (380nm à 780nm)	N	1.5
Température de fusion		≈ 1550 °C
Température de transition vitreuse		≈ 630 °C
Transmission lumineuse (float clair 4mm)	τ_v	90%
Facteur solaire (float clair 4mm)	g	87%
Émissivité normale	ϵ_n	0.89

Principales gammes AGC : Planibel Clearlite, Planibel Clearvision, Planibel Linea Azzurra, Planibel Coloured.

3.2 VERRE FEUILLETÉ DE SÉCURITÉ COURANT (EN ISO 12543-1 à 2)

Ensemble constitué d'au moins deux feuilles de verre, assemblées sur toute leur surface par un intercalaire de sécurité. L'intercalaire peut être un (ou plusieurs) film(s) plastique(s) (PVB, Strong, EVA, ...), une résine, un silicate ou un gel. Il a pour fonction de coller les feuilles de verre tout en conférant des performances supplémentaires au produit fini.

Ces performances peuvent être :

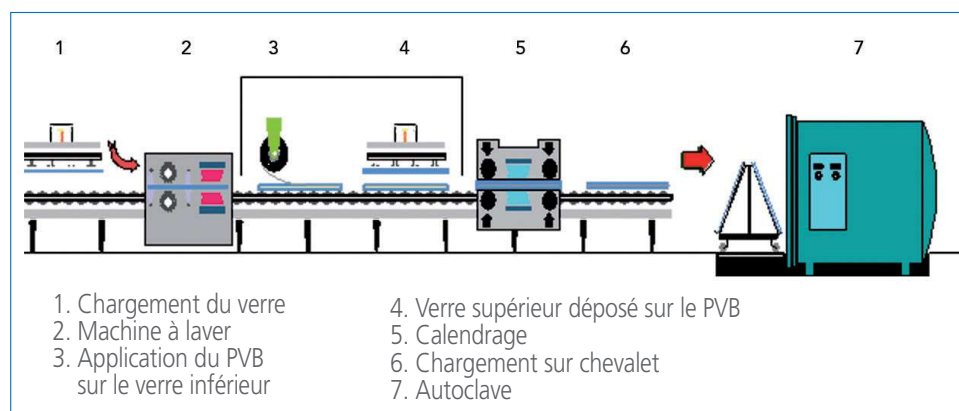
- > la sécurité des personnes et des biens (limitation du risque de blessure en cas de bris, protection contre la défenestration, le vandalisme et l'effraction, etc.) ;
- > la protection contre les armes à feu et les explosions ;
- > la protection contre l'incendie ;
- > l'isolation acoustique ;
- > la décoration.

Principales gammes AGC : Stratobel, Stratophone.

La méthode de fabrication du verre feuilleté avec intercalaires en PVB ou Strong comprend les étapes suivantes.

- > Le(s) film(s) est/sont déposé(s) sur le premier verre, puis le second verre est à son tour déposé sur le(s) film(s).
- > Le verre passe dans une calandreuse : à température élevée, un rouleau passe sur le verre de manière à éliminer les bulles d'air incluses et à assurer un début de collage entre le verre et le PVB ou Strong.
- > Passage dans un autoclave pour le traitement final de l'intercalaire en PVB ou Strong.

Procédé feuilleté



3.3 VERRE FEUILLETÉ DE SÉCURITÉ RENFORCÉE (EN 356, EN 14351, EN 1063)

Ensemble constitué de plusieurs feuilles de verre assemblées en PVB. Ces vitrages multicouches sont destinés à la protection contre les attaques à main armée, les effractions lourdes ou les explosions. Il existe des versions compatibles avec une excellente isolation thermique.

▼ Protection contre les effractions

Verre feuilleté de sécurité classé P6B ou P7B ou P8B suivant [EN 356](#).

Principale gamme AGC : Stratobel Security Burglary.

▼ Protection contre une attaque armée

Verre feuilleté de sécurité capable de résister aux balles. La classe est définie selon le type d'arme et de munitions.

Principale gamme AGC : Stratobel Security Bullet.

▼ Protection contre une explosion

Verre feuilleté de sécurité capable de résister à une explosion.

Principale gamme AGC : Stratobel Security Explosion.

3.4 VERRE À COUCHE (EN 1096-1 à 3)

Verre obtenu par dépôt d'une couche inorganique afin d'en modifier les propriétés électromagnétiques (propriétés lumineuses et énergétiques, facteur solaire, émissivité et couleur).

Le verre à couche peut être classé selon les critères suivants.

- > le procédé industriel utilisé pour déposer la couche :
 - magnétron (hors ligne),
 - pyrolytique (en ligne).
- > la fonctionnalité de la couche :
 - isolation thermique,
 - contrôle solaire,
 - isolation thermique et contrôle solaire,
 - etc... (anticondensation, AB).

La norme [EN 1096-1](#) définit différentes classes de verres à couches en fonction de leur usage et de leurs propriétés.

- > Classe A : le verre à couche peut être utilisé en face extérieure ou intérieure de l'immeuble.
- > Classe B : le verre à couche peut être utilisé en vitrage monolithique mais le côté couche doit être à l'intérieur du bâtiment.
- > Classe C : le verre à couche ne peut être utilisé qu'en vitrage isolant, la couche étant du côté de l'espaceur.
- > Classe D : le verre à couche ne peut être utilisé qu'en vitrage isolant, la couche étant du côté de l'espaceur. De plus, l'assemblage en vitrage isolant doit se faire immédiatement après la fabrication de la couche. Ces couches ne sont donc pas disponibles en vitrages monolithiques.
- > Classe S : le verre à couche peut être utilisé en surface extérieure ou intérieure de l'immeuble, mais seulement pour certaines applications bien définies (par exemple devantures de magasins).

▼ Verres à couches pyrolytiques

Les couches à base d'oxydes métalliques sont déposées sur un float clair ou coloré lors de la production du verre (processus en ligne). Ces feuilles de verre à couches présentent la particularité de pouvoir être installées en simple vitrage et peuvent également être traitées thermiquement, émaillées ou sérigraphiées et bombées.

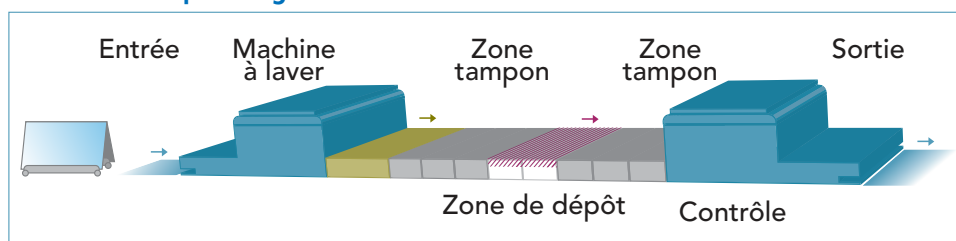
Principales gammes AGC : iplus AF (anti-condensation), Stopsol (contrôle solaire), Sunergy (isolation thermique et contrôle solaire).

▼ Verres à couches magnétron

Couches à base d'oxydes métalliques ou de métaux déposées sur un float clair ou coloré dans une ligne sous vide (processus de dépôt hors ligne). Cette ligne est constituée de plusieurs chambres de dépôt permettant de réaliser des produits multicouches haute performance.

Ce procédé de dépôt magnétron est également appelé «dépôt par pulvérisation sous vide».

Procédé de dépôt magnétron



Principales gammes AGC : iplus (isolation thermique), ipasol bright (contrôle solaire), Stopray et ipasol (isolation thermique et contrôle solaire).

3.5 VERRE LAQUÉ (EN 16477-1)

Verre dont une des faces est revêtue d'une peinture laquée de grande qualité. La peinture est appliquée de façon homogène sur le verre grâce à un processus «d'application par rideau» qui lui confère une apparence uniforme.

La gamme de verres laqués est disponible dans une large palette de couleurs standard, proposant 20 couleurs brillantes, 20 variantes mates et 10 versions à tremper mates ou brillantes.

L'option MyColour by Lacobel / Matelac permet également de créer une couleur sur mesure.

Principales gammes AGC : Lacobel, Lacobel T, Matelac, Matelac T.

Les produits susmentionnés sont également disponibles en version SAFE+ : l'arrière du verre est revêtu d'un film PET (polyéthylène téréphtalate) afin d'offrir une protection contre le risque de blessure. Si le verre se brise, les fragments ne sont pas dispersés mais restent collés au film ([EN 12600, classe 2B2 en 4 mm](#)).

Lacobel T et Matelac T sont conformes à [EN 12150](#) après trempe.

3.6 MIROIR (EN 1036-1)

Verre sur lequel est déposée une couche d'argent afin de permettre la réflexion du miroir. Cette couche d'argent est elle-même protégée par une peinture.

Le procédé de fabrication des miroirs est appelé l'argenture.

Principales gammes AGC : Mirox MNGE (Miroir New Generation Ecological), Mirolid Morena.

Les produits susmentionnés sont également disponibles en version SAFE+ : l'arrière du verre est revêtu d'un film PET afin d'offrir une protection contre le risque de blessure. Si le verre se brise, les fragments ne sont pas dispersés mais restent collés au film (*EN 12600, classe 2B2 en 4 mm*).

3.7 VERRE IMPRIMÉ À RELIEF (EN 572-1 et 5)

Verre comportant un dessin en relief sur une ou deux faces, obtenu en faisant passer la feuille de verre entre des rouleaux texturés durant le processus de fabrication.

Une ligne de fabrication de verre imprimé (parfois appelé coulé) est proche d'une ligne float, si ce n'est que le flottage sur un bain d'étain est remplacé par un formage entre 2 rouleaux.

Principales gammes AGC : Imagin, Oltreluce.

3.8 VERRE ARMÉ (EN 572-1 et 6)

Verre imprimé dans lequel un treillis de fils métalliques est incorporé juste avant le formage. L'armature a pour but de maintenir les morceaux de verre en place en cas de bris mais améliore également la résistance mécanique. Ce n'est pas un verre de sécurité.

Principale gamme AGC : Imagin armé (wired).

3.9 VERRE ARMÉ POLI DE SÉCURITÉ (EN 572-1 et 3)

Le verre armé poli de sécurité est un verre armé et imprimé avec un très léger dessin. Ce dessin est ensuite adouci et poli de manière à obtenir la transparence et la clarté d'un float.

Principale gamme AGC : verre armé poli (voir Imagin wired). Il est classé 3B3 en 7 mm (anti-blessures, anti-éclats).

3.10 VERRE DÉPOLI ACIDE

L'acide attaque la surface du verre et lui confère un aspect mat translucide et un toucher lisse et mat. Il a la même résistance mécanique que le verre de base.

Principales gammes AGC : Matelux, Matobel One Side, Matelac, Matelac T.

3.11 VITRAGE ISOLANT (EN 1279-1 à 6)

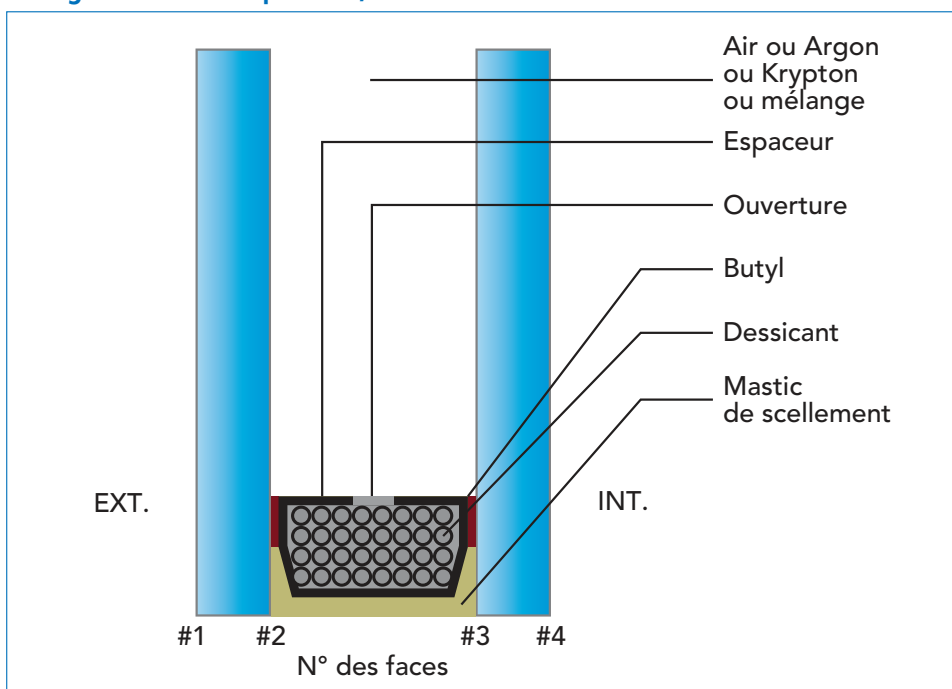
Vitrage isolant scellé sur son périmètre et constitué de deux (double vitrage) ou trois (triple vitrage) feuilles de verre séparées par un/des espaceur(s) remplis d'air déshydraté ou de gaz (Argon ou Krypton ou mélange).

Il est possible de combiner l'isolation thermique du vitrage isolant à des fonctions de contrôle solaire, d'isolation acoustique ou de sécurité en utilisant les produits verriers adéquats comme composants du vitrage isolant.

De plus, les vitrages isolants sont fabriqués à la demande avec des intercalaires dits "Warm-Edge" qui limitent les échanges thermiques en périphérie.

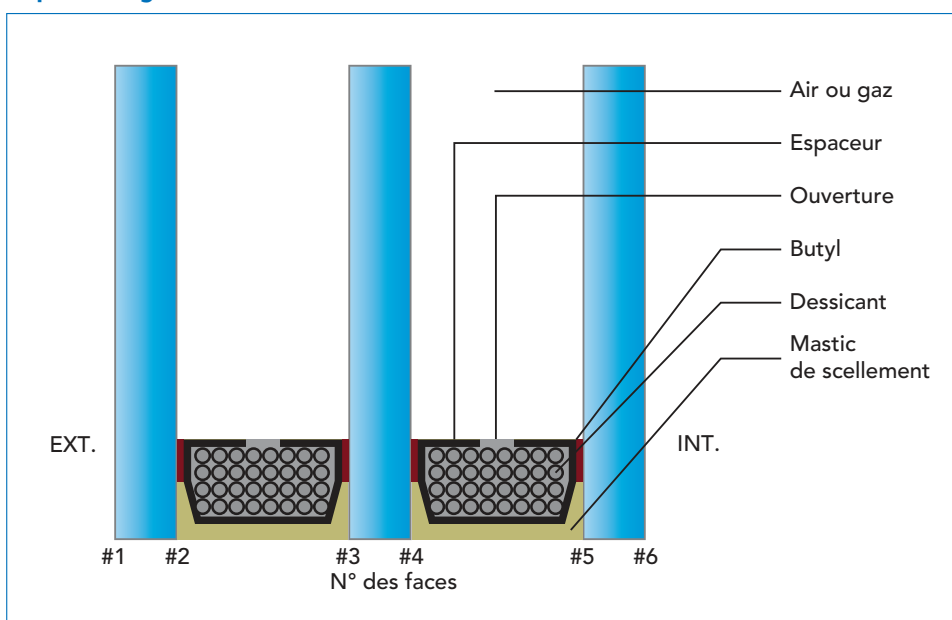
La codification habituelle des surfaces en double et triple vitrage est donnée ci-après.

Vitrage isolant : composants, orientation et numérotation des faces



Principale gamme AGC : Thermobel.

Triple vitrage



Principale gamme AGC : Thermobel TG.

▼ Vitrage isolant avec stores intégrés

Les stores sont intégrés entre deux feuilles de verre.

Principale gamme AGC : Thermobel Store.

3.12 VERRE TRAITÉ THERMIQUEMENT (EN 1863, EN 12150, EN 14179)

▼ Verre durci (EN 1863-1)

Verre qui a subi un traitement thermique consistant à le réchauffer à environ 650°C puis à le refroidir de manière contrôlée par jets d'air, plus lentement que dans le cas du verre trempé thermiquement. De la sorte, une contrainte superficielle permanente en compression est induite dans le verre, ce qui lui procure une résistance accrue aux contraintes mécaniques et thermiques et des caractéristiques de fragmentation prescrites.

En cas de bris, le verre durci se casse en grands morceaux coupants comme le float et n'est dès lors pas considéré comme un produit verrier de sécurité.

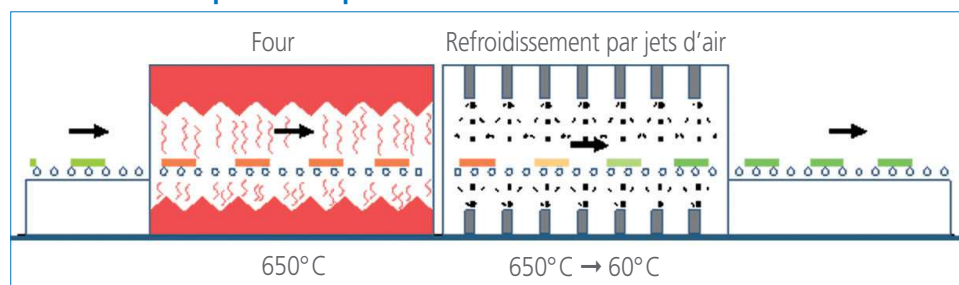
Le verre durci ne nécessite pas de traitement Heat Soak.

Principale gamme AGC : verre durci.

▼ Verre de sécurité trempé thermiquement (EN 12150-1)

Verre qui a subi un traitement thermique consistant à le réchauffer à environ 600°C puis à le refroidir rapidement.

Procédé de trempé thermique



Une contrainte superficielle permanente en compression est dès lors induite dans le verre. Ceci lui procure une résistance accrue aux contraintes mécaniques et thermiques et des caractéristiques de fragmentation prescrites. En cas de bris, le verre se fragmente en morceaux peu coupants et plus petits que le verre recuit, ce qui limite les risques de coupure. Le verre trempé est dès lors considéré comme un verre de sécurité offrant une protection contre les blessures pour certaines applications (cabines de douches, cloisons, etc.).

Principale gamme AGC : verre Securit de sécurité trempé thermiquement.

▼ Verre de sécurité trempé thermiquement et testé Heat Soak (EN 14179-1)

Un traitement thermique supplémentaire est appliqué au verre trempé afin d'éliminer au maximum les éventuelles inclusions de sulfure de nickel non stables, empêchant ainsi les ruptures spontanées.

Principales gammes AGC : verre Securit de sécurité trempé thermiquement et testé Heat Soak ; verre Structaflex, de haute résistance à la flexion et spécialement fabriqué pour les applications structurelles.

3.13 ÉMAILLAGE

▼ Verre émaillé (EN 1863-1, EN 12150-1, EN 14179-1)

Verre recouvert sur toute sa surface d'une couche d'émail et vitrifié durant le traitement thermique. Le verre émaillé est très souvent utilisé en allège

Principales gammes AGC : Colorbel, Lacobel T, Matelac T.

▼ Verre sérigraphié (EN 1863-1, EN 12150-1, EN 14179-1)

Procédé apparenté à l'émaillage qui consiste à déposer un émail sur une partie d'un verre au travers d'un écran ou par impression numérique et à le vitrifier par une opération de trempe ou de durcissement.

Principales gammes AGC : Artlite, Artlite Digital.

3.14 PHOTOVOLTAÏQUE INTÉGRÉ AU BÂTI

Constitué de cellules photovoltaïques encapsulées dans un vitrage feuilleté de sécurité.

En mêlant le matériau verre à des cellules photovoltaïques, AGC combine le design architectural à la production d'électricité.

Les modules photovoltaïques BIPV d'AGC répondent aux exigences esthétiques et fonctionnelles nécessaires à leur parfaite intégration dans les bâtiments. Ils sont utilisés en lieu et place des matériaux conventionnels et satisfont à la fois aux normes relatives aux produits du bâtiment et aux produits photovoltaïques. Chaque module BIPV d'AGC est fabriqué sur mesure et ainsi adaptable à chaque projet.

Ce produit offre aux architectes une multitude de possibilités intégrant la production d'électricité à des façades, verrières, brise-soleil, balustrades, ventelles, allèges, etc.

L'assemblage est réalisé entre deux feuilles de verre trempé, le verre extérieur étant un verre extra-clair afin de maximiser la production d'électricité. La face intérieure peut, quant à elle, être un verre clair, extra-clair, coloré, sérigraphié ou de tout autre type.

Les modules BIPV peuvent être assemblés en vitrage isolant (Thermobel) afin d'offrir l'isolation thermique nécessaire.

La mise en œuvre des modules BIPV d'AGC améliore la performance énergétique du bâtiment et renforce son image environnementale.

Principales gammes AGC : SunEwat XL, Thermobel SunEwat XL.

3.15 VERRE RÉSISTANT AU FEU

Principales gammes AGC :

- > **Pyrobel - Pyrobelite** : verres résistants au feu composés de deux ou plusieurs intercalaires intumescents qui se dilatent en cas d'incendie.
- > **Pyropane** : verre de sécurité trempé thermiquement et résistant au feu.

Ces vitrages sont assemblés le cas échéant en vitrage isolant pour répondre aux exigences courantes dans les bâtiments d'aujourd'hui.

3.16 VERRE AVEC LEDS

Glassiled offre une nouvelle dimension à la créativité, grâce à l'intégration de LEDs (Light-emitting diodes) dans un verre feuilleté de sécurité ou un vitrage isolant.

Monochromes ou RGB (Red, Green, Blue), les LEDs sont alimentées grâce à une couche conductrice transparente haute performance. La vision n'est pas obstruée et le verre conserve sa fonction première : la transparence. Et quand vous le souhaitez, votre support s'illumine et se transforme selon vos envies.

Principales gammes AGC : Glassiled Motion, Glassiled Sign, Glassiled Uni.

3.17 VERRE BOMBÉ (EN ISO 11485-1 ET -2)

Verre auquel on donne, par déformation à chaud, la courbure du moule sur lequel il repose.

Procédé de bombage du verre



Il peut comporter une couche faiblement émissive ou de contrôle solaire.

Il est conforme à [EN ISO 11485-1](#) et [EN ISO 11485-2](#).

Principales gammes AGC : verre bombé recuit simple ou feuilleté, vitrage isolant Thermobel.

3.18 VERRE FACILE À NETTOYER

Verre float recouvert d'une couche pyrolytique très résistante et invisible, qui, activée par le rayonnement UV, détruit les dépôts organiques. Ceux-ci seront emportés par la pluie.

Principales gammes AGC : Planibel Easy Clear, Planibel Easy Blue.

