

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 2

Constructions, façades
et cloisons légères

Groupe Spécialisé n° 6

Composants de baies,
vitrages

Vitrages extérieurs attachés (VEA) faisant l'objet d'un Avis Technique

Conditions générales de conception, de fabrication et de mise en œuvre

Ce document annule et remplace le cahier 3574, *e-Cahiers du CSTB*, octobre 2006.

Ce document a été entériné par le Groupe spécialisé n° 6 le 14 novembre 2011.

Ce document a été entériné par le Groupe spécialisé n° 2 le 22 novembre 2011.

Acteur public indépendant, au service de l'innovation dans le bâtiment, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) exerce quatre activités clés - recherche, expertise, évaluation, diffusion des connaissances - qui lui permettent de répondre aux objectifs du développement durable pour les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes. Le CSTB contribue de manière essentielle à la qualité et à la sécurité de la construction durable grâce aux compétences de ses 850 collaborateurs, de ses filiales et de ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux.

Membres du groupe d'élaboration du document

Rédacteurs :

M^{me} BAREILLE, CSTB
MM. COSSAVELLA, CSTB
DELSAHUT, CSTB

Membres :

M^{mes} ALLARD, SECM
CRIAUD, AGC
ORAND, CSTB
MM. CHAILLEUX, Laubeuf
NOEL, Glassolutions
GOAS, Bureau Veritas
DESSAIGNE, Hydro Building System
MARTIN, Dekra
POULICHET, Permasteelisa
SCHNEIDER, CSTB
TISSOT, SECM
VALEM, Socotec

Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur ou du Centre Français d'Exploitation du droit de copie (3, rue Hautefeuille, 75006 Paris), est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (Loi du 1er juillet 1992 - art. L 122-4 et L 122-5 et Code Pénal art. 425).

© CSTB 2012

Vitrages extérieurs attachés (VEA) faisant l'objet d'un Avis Technique

SOMMAIRE

1. Généralités	2	ANNEXE A	
1.1 Objet.....	2	Méthode de calcul des flèches, contraintes, rotations ou courbures, aux appuis des vitrages utilisant la technique VEA	22
1.2 Définition	2	ANNEXE B	
1.3 Domaine d'emploi	2	Justifications expérimentales	29
1.4 Terminologie	2		
2. Matériaux	3		
2.1 Produits verriers.....	3		
2.2 Fixations ponctuelles et attaches.....	5		
2.3 Garnitures d'étanchéité	5		
3. Conditions générales de conception	6		
3.1 Dispositions constructives	6		
3.2 Sécurité.....	11		
3.3 Dispositions relatives aux caractéristiques thermiques	17		
3.4 Règles relatives à la durabilité.....	17		
4. Conditions générales de fabrication	18		
4.1 Généralités	18		
4.2 Contrôles sur matières premières	19		
4.3 Contrôles en cours de fabrication / maîtrise du processus de fabrication	19		
4.4 Contrôles sur produits finis.....	19		
4.5 Transport – manutention – stockage	20		
4.6 Traitement des produits non conformes.....	20		
4.7 Marquage	20		
5. Conditions générales de mise en œuvre	21		
5.1 Respect des dispositions de conception.....	21		
5.2 Réception de l'ossature	21		
5.3 Stockage et manutention des vitrages.....	21		
5.4 Implantation des attaches	21		
5.5 Immobilisation des attaches	21		
5.6 Serrage des écrous	21		
5.7 Positionnement des vitrages	21		
5.8 Garnissage des joints	21		
5.9 Entretien et maintenance	21		

1. Généralités

1.1 Objet

Le présent document a pour objet de définir :

- les matériaux ;
- les conditions générales de conception, de fabrication et de mise en œuvre ;
- les règles de calcul ;
- les implications sur la conception de l'ossature ;
- les justifications expérimentales,

des ouvrages utilisant la technique dite VEA (Vitrages extérieurs attachés) telle que définie ci-après et considérée comme non traditionnelle.

Ce document sert de guide à l'établissement des évaluations, en l'occurrence : des Avis Techniques, des ATEX (Appréciation technique d'expérimentation) et des Avis de chantier. L'Avis Technique peut porter soit sur un système de vitrage isolant auquel cas il est délivré par le Groupe spécialisé n° 6, soit sur un système de façade ou verrière utilisant des vitrages attachés auquel cas il est délivré par le Groupe spécialisé n° 2 (vitrage simple) ou par les Groupes spécialisés n° 2 + 6 (système de façade avec vitrage isolant).

1.2 Définition

Le VEA est une technique de mise en œuvre de produits verriers constituant l'enveloppe extérieure de bâtiments et qui fait intervenir, pour ces éléments verriers, au moins un dispositif de fixation mécanique, ponctuelle, traversante ou non et un dispositif d'attache.

Le rôle de ce ou ces dispositifs est de transmettre à l'ossature secondaire et/ou à la structure de l'ouvrage tout ou partie des charges climatiques et éventuellement les sollicitations dynamiques (chocs) et le poids propre. D'une manière générale, ces dispositifs doivent permettre une certaine liberté de mouvement entre la paroi vitrée et l'ossature (certains supportent le poids propre des produits verriers, d'autres non), afin d'éviter toute sollicitation excessive préjudiciable au vitrage.

Ce document ne vise que les systèmes VEA dont les fixations traversent ou pincent tous les composants verriers.

Commentaire

La mise en œuvre de produits verriers selon la technique dite Installations en verre trempé (antérieurement dénommées Installations SECURIT), n'est pas visée par le présent document.

Cette technique fait l'objet de règles professionnelles spécifiques « Installations en verre trempé ».

1.3 Domaine d'emploi

Parois verticales ou inclinées constituant l'enveloppe partielle ou totale de locaux ou de bâtiments à usages divers. Par extension, les parois intérieures sont également visées. Elle ne participe pas à la stabilité du bâtiment laquelle incombe à la structure de celui-ci.

Bien que le présent document ne vise pas explicitement les portes, les vantaux ouvrants, les produits verriers constituant les éléments d'ossature ou raidisseurs, les garde-corps, les dalles de plancher et les marches d'escalier, et les parois extérieures isolées, qui utilisent la technique du VEA, les dispositions générales peuvent s'appliquer à ces ouvrages. Il convient de se référer en complément aux documents, aux normes et aux réglementations spécifiques à ces ouvrages, et le cas échéant aux évaluations spécifiques.

À défaut d'autres documents, les dispositions générales du présent document peuvent s'appliquer au vitrage pincé. Toutefois, la méthode de calcul donnée à l'Annexe A ne peut être utilisée sans vérifications complémentaires (voir Annexe A).

Commentaire

Bien que le document soit établi pour les vitrages plans, l'application pour des vitrages bombés est possible.

Il y aura lieu de vérifier au cas par cas la nécessité d'adaptations éventuelles.

La méthode de calcul présentée n'est applicable qu'aux vitrages plans ou assimilés (flèche de bombage $\leq \frac{1}{100}$ de la dimension considérée).

D'une façon générale, les garnitures d'étanchéité entre les vitrages sont constituées de cordons de mastic dont toute dégradation pourra être à l'origine d'infiltrations d'eau. En conséquence, ce type de garniture est utilisé pour des locaux dont la destination permet de considérer que d'éventuelles infiltrations d'eau ne sont pas préjudiciables.

Commentaire

Pour les pans inclinés (verrières), (paragraphe 3.2.1.7), l'attention des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des exploitants est attirée sur la pollution rapide (poussières, etc) des verrières à très faible pente ($\leq 5^\circ$), nécessitant un entretien périodique plus fréquent (paragraphe 5.9).

1.4 Terminologie

Les définitions relatives aux vitrages ne sont données ici qu'à titre de rappel. La terminologie détaillée est précisée dans les normes correspondantes citées au paragraphe 2.1.

- **Vitrage monolithique** : vitrage constitué d'une seule feuille de verre.
- **Vitrage feuilleté** : vitrage constitué par deux feuilles, ou plus, de verre liées entre elles par un ou plusieurs intercalaires plastiques.
- **Vitrage simple** : vitrage monolithique ou feuilleté.
- **Vitrage isolant double** : vitrage constitué de deux vitrages simples, assemblés à leur périphérie sur un intercalaire assurant l'écartement et délimitant un volume de gaz sec.
- **Verre trempé (thermiquement)** : verre de sécurité élaboré à partir d'une feuille de verre recuit soumise à un traitement thermique qui lui confère une résistance accrue aux contraintes d'origine mécanique ou thermique. En cas de bris, il se fragmente en petits éléments.
- **Verre durci (thermiquement)** : produit verrier élaboré à partir d'une feuille de verre recuit soumise à un traitement thermique qui lui confère :
 - une résistance aux contraintes d'origine mécanique supérieure à celle des verres recuits mais inférieure à celle des verres trempés ;
 - une résistance à des températures différentielles allant jusqu'à 100 °C.
- **Vitrage émaillé trempé** : verre de silicate sodocalcique trempé thermiquement dont la surface est couverte totalement ou partiellement par un procédé d'émaillage minéral à chaud. Après trempé, le frittage de céramique devient une partie intégrante du verre.
- **Vitrage sérigraphié** : la sérigraphie est un procédé d'émaillage partiel.

- **Vitrage imprimé** : verre silicate sodo-calcique plan, translucide, clair ou coloré, obtenu par coulée continue et laminage entre des rouleaux.
- **Traitement Heat Soak** : traitement thermique appliqué aux verres trempés thermiquement et destiné à réduire les risques de rupture due à des inclusions (composés métalliques ou autres) et à d'éventuelles faiblesses d'autres origines.
- **Vitrage bombé** : vitrage mis en forme, généralement cylindrique, par gravité ou par formage mécanique après ramollissement du verre par chauffage.
- **Fixation ponctuelle** : élément mécanique de petites dimensions, traversant ou non les vitrages et transmettant à l'ossature secondaire ou à la structure, généralement par l'intermédiaire de l'attache, tout ou partie des charges dues ou appliquées aux vitrages (vent, neige, poids propre, etc.).
- **Attache** : élément de liaison entre la fixation ponctuelle et l'ossature (parfois appelé ferrure, croix, étoile, etc.).
- **Ossature secondaire** : ensemble des éléments qui transmettent à la structure (ossature primaire) les efforts appliqués sur ou par les vitrages mais qui ne participent pas à la stabilité du bâtiment.
- **Vitrage pincé** : vitrage maintenu par des dispositifs ponctuels non traversants, assurant un maintien de part et d'autre.
- **Paroi inclinée** : paroi dont l'angle est supérieur à $\pm 5^\circ$ par rapport à la verticale.
- **Joint** : espace entre 2 éléments contigus.

2. Matériaux

2.1 Produits verriers

Un contrôle initial par un organisme tiers est requis pour les centres de production de vitrages simples (monolithique ou feuilleté).

Pour les vitrages isolants afin de maintenir un niveau de qualité équivalent à celui exigé jusqu'à présent par le marché, une certification de produit (inspection initiale, visite de suivi, prélèvement en usine) est requise. La certification CEKAL extension VEA permet de répondre à cette spécification.

La fabrication des vitrages isolants doit faire l'objet d'un suivi par un organisme tiers.

2.1.1 Vitrages monolithiques

Peuvent être utilisés :

- les glaces conformes à la norme NF EN 572 parties 1, 2 et 9 ;
- les verres à couche conformes à la norme NF EN 1096 ;
- les verres trempés émaillés ou non, conformes à la norme NF EN 12150 et traité Heat Soak (HST), conformément à la norme NF EN 14179. La valeur minimale de compression de surface (ou de contrainte caractéristique à rupture) doit être déclarée après traitement Heat Soak par le fabricant ;
- les verres durcis, émaillés ou non, conformes à la norme NF EN 1863. La valeur minimale de compression de surface (ou de contrainte caractéristique à rupture) doit être déclarée par le fabricant.

2.1.2 Vitrages feuilletés

Peuvent être utilisés les vitrages feuilletés de sécurité (conformes à la norme NF EN ISO 12543-1, 2, 4, 5, 6 et NF EN 14449 et classés 1B1 selon la norme NF EN 12600 et P1A selon la norme NF EN 356) réalisés à partir de produits verriers estimés utilisables en vitrages monolithiques définis au *paragraphe 2.1.1* :

- les éventuelles couches ou émaillages (sérigraphie), positionnées en contact avec l'intercalaire doivent avoir subi les essais de type de la norme NF EN ISO 12543-4 ;
- il y a lieu de s'assurer que les vitrages feuilletés sont aptes à l'emploi en VEA dans le cadre de l'instruction des Avis Techniques ou des ATE_x ;
- en l'absence de justification particulière suivant l'*Annexe B5*, la différence d'épaisseur entre les deux composants est limitée à deux classes d'épaisseur (6.10 ; 8.12 ; 10.15) et à une classe d'épaisseur pour le 19 mm (15.19).

2.1.3 Vitrages isolants

Peuvent être utilisés les vitrages isolants conformes à la norme NF EN 1279, réalisés à partir des vitrages simples définis ci-dessus, avec scellement silicone conforme au guide EOTA ETAG 002*.

L'évaluation spécifique pour l'utilisation en VEA (*Annexe B8*) concerne l'indice de pénétration d'humidité. L'exigence $i \leq 0,1$ ou $i \leq 0,2$ est précisée en *figure 5* au *paragraphe 3.4.3.2*.

2.1.4 Choix des composants verriers

Tous les bords des vitrages sont au moins en joint plat industriel (JPI).

Les vitrages recuits sont utilisables uniquement dans le cas de fixations ponctuelles non traversantes.

Dans les autres cas, les vitrages sont soit durcis, soit trempés traités Heat Soak.

Les vitrages recuits ou durcis présentent, en cas de bris, une fragmentation de forme et de dimension variables pouvant occasionner, lors de la chute, des blessures graves.

Le verre trempé thermiquement, de par sa fragmentation en petits éléments en cas de rupture, limite le risque de blessure des personnes. Cependant, il doit être considéré, compte tenu des épaisseurs nécessaires à l'emploi en VEA, que la décohésion en petits éléments n'est pas assurée (la chute d'éléments importants est même probable).

Il en résulte que le domaine d'utilisation des différentes natures de vitrages doit correspondre aux indications du *tableau 1* (page 4) et des dispositions particulières doivent être prises le cas échéant pour assurer la sécurité des personnes en cas de bris (cf. *paragraphe 3.2.2 Sécurité des usagers*).

(*) Le référentiel applicable aux mastics de scellement pour une utilisation en VEA est le guide EOTA ETAG 002 et la norme NF EN 15434. Le label SNJF VEC VI-VEC permet de répondre à cette exigence.

Tableau 1 – Choix des composants verriers

Type	Nature des composants		Paroi verticale	Paroi inclinée (?)
Monolithique	Trempe		Oui ⁽³⁾	Non ⁽⁴⁾
	Durci		Non ⁽⁴⁾	
	Recuit			
Feuilleté	Trempe/Trempe		Oui	
	Trempe/Durci		Oui	
	Trempe/Recuit ⁽¹⁾		Oui	
	Durci/Durci		Oui	Oui
	Durci/Recuit ⁽¹⁾			
	Recuit/Recuit ⁽¹⁾			
Vitrage isolant double	Composant a	Composant b	Oui ⁽³⁾	Oui si le composant inférieur est feuilleté
	Trempe	Trempe		
	Trempe	Durci feuilleté		
	Trempe	Recuit ⁽¹⁾ feuilleté	Oui ⁽³⁾	
	Durci feuilleté	Durci feuilleté	Oui	
	Durci feuilleté	Recuit ⁽¹⁾ feuilleté		
	Recuit ⁽¹⁾ feuilleté	Recuit ⁽¹⁾ feuilleté		

1. Dans le cas du verre recuit, la fixation ponctuelle est nécessairement pincée avec vérification aux chocs thermiques à prévoir dans tous les cas.
 2. Paroi inclinée de plus de 5° par rapport à la verticale et surplombant une zone d'activité.
 3. Cf. paragraphe 3.2.2.1 « Sécurité aux chutes des personnes » du présent document.
 4. Cette configuration n'est pas admise pour des raisons de sécurité en cas de bris.

Le Tableau 1 a été établi en considérant que, pour les vitrages feuilletés, leur résistance aux charges aux états limites de service et ultime ayant été vérifiée, il est a priori possible de considérer comme peu probable l'éventualité d'une rupture accidentelle simultanée des deux composants. L'Avis Technique ou l'ATEX indiquera si, dans le cas des parois inclinées, la stabilité du vitrage est conservée en cas de rupture de l'un quelconque de ses composants (procédure d'essai en *Annexe B5*).

Dans le cas des fixations ponctuelles de forme cylindro-conique sur l'un des vitrages (cf. *figure 1*), il est considéré que cette fixation intéresse l'autre vitrage (et donc les deux vitrages) si la relation suivante est respectée :

$$\varnothing_2 - \varnothing_1 \leq \text{MIN} \left(\frac{e_1}{2}, 6 \text{ m} \right)$$

avec :

- \varnothing_1 : diamètre extérieur en mm de la fixation ponctuelle
- \varnothing_2 : diamètre du percement en mm du vitrage intérieur
- e_1 : épaisseur en mm du vitrage extérieur

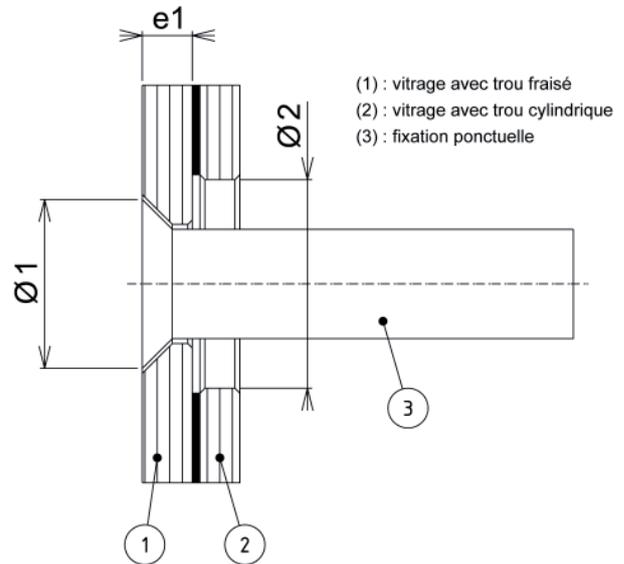


Figure 1 – Fixation ponctuelle de forme cylindro-conique sur le verre extérieur

Cas particuliers

Les verres et glaces armés sont exclus de l'emploi en VEA.

Les verres dépolis totalement ou partiellement pourront être utilisés sous réserve que :

- le dépolissage soit effectué avant traitement thermique si celui-ci est prévu ;
- des justifications expérimentales, au cas par cas, permettent de déterminer leurs caractéristiques mécaniques (NF EN 1288).

L'emploi de verre imprimé, étiré, coulé ou gravé, dans la technique VEA nécessite des évaluations complémentaires. En effet, les incertitudes relatives aux caractéristiques mécaniques de ces produits et aux reliefs de surface nécessitent de concevoir des dispositifs de fixation adaptés (flasques, pinces...).

2.2 Fixations ponctuelles et attaches

En règle générale, les matériaux composant les attaches et les fixations ponctuelles doivent être insensibles aux différentes formes de corrosion, et aux ultraviolets. Les pièces en contact direct avec les vitrages, doivent être inertes vis-à-vis des composants des produits verriers (intercalaires de vitrages feuilletés résines, mastic de scellement, couches diverses, etc.).

Les matériaux en contact avec les composants du vitrage peuvent être :

- métalliques : Alliage d'aluminium à l'état recuit (séries 1 000 et 5 000 pour la tôle, 6 000 pour de l'extrudé et les alliages de type AS et ASG pour de la fonderie) à l'exclusion des alliages au cuivre et au zinc (série 2 000 et 7 000...) selon les normes NF EN 573 et NF EN 1706 ;
- des matériaux de synthèse : PTFE, les silicones, caoutchouc (polychloroprène), MS polymères, polyamide, etc., en s'assurant de la compatibilité avec les composants du vitrage au niveau de l'assemblage et des différentes contraintes liées à l'utilisation envisagée.

L'étanchéité à l'eau des fixations ponctuelles sera évaluée selon les modalités définies en *Annexe B9*.

Il n'y a pas de prescription particulière pour les autres composants sous réserve de la vérification de la tenue mécanique selon le code de calculs applicable au matériau considéré et du niveau de sensibilité à la corrosion pour l'application envisagée.

Les aciers inoxydables étant cependant couramment utilisés dans le cadre d'applications VEA, il est rappelé les éléments suivants :

- à l'intérieur de chaque famille (définie par sa structure cristalline - austénitique, martensitique, austéno-ferritique, etc.), il existe plusieurs types d'aciers inoxydables qui se distinguent les uns des autres par de légères différences de composition chimique. D'une nuance à l'autre, les variations de composition chimique ont une influence notable sur les propriétés d'usage ou de mise en œuvre, par exemple généralement :
 - si la teneur en nickel est supérieure à 10 %, la nuance présente des facilités de déformation,
 - l'addition de molybdène (quelques %), permet d'obtenir des aciers plus résistants dans les milieux agressifs chargés en chlorures,
 - le niobium accroît la résistance au fluage,

- le titane améliore la résistance à certains types de corrosion, en particulier sur les assemblages soudés,
- une augmentation de la teneur en chrome améliore globalement la résistance à la corrosion ;
- les aciers inoxydables devront être conformes à la norme NF EN 10088 ;
- afin de limiter le risque de grippage d'une articulation intégralement en acier inoxydable, il est particulièrement recommandé d'utiliser des nuances ayant une identité cristalline différente entre la partie mâle et la partie femelle.

Le *Tableau 2* (page 6) donne des exemples de nuance d'aciers inoxydables utilisables.

L'Eurocode 1993-1-4 donne des nuances d'acier inoxydable en fonction du domaine d'emploi (*Tableau A1*).

2.3 Garnitures d'étanchéité

Entre vitrages, elles sont généralement constituées par un mastic silicone de classe G-25 E conforme à la norme NF DTU 44.1 et dont la compatibilité avec les profilés d'étanchéité périphériques et le cas échéant avec les intercalaires des vitrages feuilletés et/ou les mastics de scellement des vitrages isolants, avec les verres à couche et les différents accessoires (fond de joint, cales) aura été validée expérimentalement (voir *paragraphe 3.4.3 - Garniture d'étanchéité entre vitrages*).

Ces mastics doivent faire l'objet d'un suivi par un organisme tiers. Le label SNJF permet de répondre à cette exigence.

Commentaire

Dans le cas de support non visé par le label SNJF (autre que verre, aluminium anodisé, béton), l'adhérence du mastic sera vérifiée par un essai de convenance tel que défini dans le cahier 3488-V2 « Vitrages Extérieurs Collés », Annexe A.

En périphérie (pans de verre, angles bâtiments), les garnitures d'étanchéité sont généralement constituées par des profilés à soufflets en silicone extrudé ou en EPDM ou en élastomères thermoplastiques extrudés, comportant sur une ou deux rives longitudinales des lèvres souples formant rainure d'accueil du ou des chants de vitrages et destinés à réaliser le calfeutrement entre le vitrage et le gros œuvre adjacent ou entre les vitrages en l'angle sortant ou rentrant.

Les performances des profilés d'étanchéité devront être déclarées selon la norme NF EN 12365-1 et, en particulier, il devra être spécifié la catégorie d'utilisation (par exemple, type statique ou type dynamique), la plage de température de fonctionnement (par exemple, grade 5 = [-40 °C ; + 70 °C]) et la plage de travail (par exemple, grade 3 : > 2 mm à ≤ 4 mm).

Le matériau des garnitures d'étanchéité devra être compatible avec le matériau de synthèse constituant les intercalaires des vitrages feuilletés et avec les mastics de scellement des vitrages isolants. La compatibilité devra être vérifiée selon la norme française NF DTU 39.

Dans le cas où les garnitures d'étanchéité sont extrudées à partir de mélange à base d'élastomère thermoplastique (TPE dont les PVC-P, TPV-, TPZ-, TPO-, etc.), le matériau des garnitures d'étanchéité devra être homologué par un organisme tiers ou par le CSTB.

Pour les vitrages isolants, les garnitures devront permettre de respecter une aération des joints de scellement.

Tableau 2 – Exemples des nuances d’aciers inoxydables utilisables

Norme européenne EN 10088-3	Caractéristiques mécaniques	Résistance à la corrosion	Commentaires
Aciers inoxydables martensitiques			
1-4418 X4CrNiMo16-5-1	Rm 900/1 150 MPa Rp _{0,2} = 700 MPa	Comparable à des aciers austénitiques 18Cr – 10 Ni.	Bon compromis entre la résistance à la corrosion et la résistance mécanique. Emploi dans les industries marines nucléaires, et pétrolières.
1-4542 X5CrNiCuNb16-4	État H900 Rm ≥ 1 310 MPa Rp _{0,2} = 1 170 MPa		Possibilité d’atteindre des très hautes résistances mécaniques par revenu.
Aciers inoxydables austénitiques			
1-4301 X5CrNi18-10	Rm 500/700 MPa Rp _{0,2} ≥ 200 MPa A % ≥ 45	Excellente dans les milieux naturels.	Acier inoxydable 18-8 classique qui sert de référence dans la comparaison avec les autres aciers austénitiques.
1-4307 X2CrNi18-9	Rm 450/680 MPa Rp _{0,2} ≥ 175 MPa A % ≥ 45		Idem 1-4301 avec toutefois une résistance à la corrosion et une usinabilité améliorée. Industries alimentaire et mécanique.
1-4401 X5CrNiMo17-12-2	Rm 500/700 MPa Rp _{0,2} ≥ 200 MPa A % ≥ 40	L’addition de 2 % de Mo renforce la résistance à la corrosion en présence de chlorures.	Utilisation courante pour des produits de façades. Un état de surface soigné (polissage) améliore la tenue à la corrosion. On trouve également cette nuance dans les industries des explosifs, chimiques, et agro-alimentaires.
1-4404 X2CrNiMo17-12-2		L’addition de 2 % de Mo renforce la résistance à la corrosion.	
1-4539 X1NiCrMoCu25-20-5	Rm 530/730 MPa Rp _{0,2} ≥ 230 MPa A % ≥ 35	Excellente résistance à la corrosion dans les milieux les plus agressifs.	Recommandé dans des atmosphères polluées, ou encore les piscines, centres de thalassothérapie, ouvrages exposés aux embruns. Soudabilité délicate.
Aciers inoxydables austéno-ferritiques			
1-4507 X2CrNiMoCuN25-6-3	Rm 700/900 MPa Rp _{0,2} ≥ 500 MPa A % ≥ 25	Excellente résistance à la corrosion dans les milieux les plus agressifs.	Recommandé dans des atmosphères polluées, ou encore les piscines, centres de thalassothérapie, ouvrages exposés aux embruns. Soudabilité délicate.
Rm = résistance à la traction Rp _{0,2} = limite conventionnelle d’élasticité pour 0,2 % d’allongement rémanent A% = Allongement à rupture			

3. Conditions générales de conception

3.1 Dispositions constructives

3.1.1 Les principes généraux

- Les principes de conception des ouvrages en VEA reposent sur la liaison vitrages / ossature secondaire qui doit absorber : les tolérances d’ordre de grandeur différent, les mouvements différentiels entre les composants tout en transmettant les charges (poids propre, climatiques) vers la structure du bâtiment.

La faisabilité d’un ouvrage passe par la prise en considération dès la conception des tâches incombant à chacun des intervenants, à savoir :

- la maîtrise d’œuvre devra veiller en particulier à la compatibilité de l’ouvrage VEA avec la structure (mouvement différentiel, déformation, dilatation thermique, joint de dilatation, etc.) et à l’accessibilité de l’ouvrage tant lors de la mise en œuvre initiale des interventions ultérieures (maintenance, réparation, etc.),

- l’entreprise conceptrice de l’ouvrage VEA devra définir en particulier les déformations et les mouvements admissibles en tenant compte des tolérances de fabrication des composants et d’implantation de l’ossature ;

- l’entreprise en charge de la réalisation de l’ossature primaire devra prendre en compte ces critères.

- La conception d’un pan de verre VEA doit démarrer par l’adaptation des caractéristiques de l’ossature et des déformations prévisibles :

- sous charge permanente ;
- sous charge d’exploitation ;
- sous charges climatiques (vent, neige, effet de la température) ;
- sous charges dues au séisme, le cas échéant ;
- tassement différentiel d’appui prévisible ;
- mouvement différé dans le cas d’une structure béton (fluage).

Cette analyse doit permettre de s’assurer de la compatibilité entre les déformations de l’ossature et celles admises par le système VEA.

Cette analyse doit permettre de vérifier que les déformations de l'ossature, sous charges ELS et ELU, sont compatibles :

- soit avec les jeux fonctionnels permettant la libre déformation de l'ossature sans chargement parasite du système VEA ;
- soit avec la capacité du système VEA à reprendre les charges apportées par l'ossature ce qui implique alors que le système VEA est un composant de l'ossature.

Les résultats de cette analyse sont susceptibles de modifier le dimensionnement de l'ossature (limitation des flèches) par rapport aux règles applicables selon la nature de cette ossature.

- L'ossature doit permettre un fonctionnement homogène du pan de verre qu'elle supporte (désolidarisation de l'ossature primaire, sens des dilatations...).
- La stabilité du pan de verre, vertical ou incliné, doit être assurée en cas de rupture d'un des vitrages élémentaires. À ce titre, il apparaît que, pour les pans de verre verticaux dont les vitrages sont suspendus les uns aux autres (chaînette), il doit être prévu un dispositif propre à maintenir en place tous les vitrages d'une file verticale en cas de disparition de l'un d'entre eux et que, dans tous les cas, la diminution de charges résultant de la disparition d'un vitrage ne doit pas générer de mouvement de l'ossature risquant d'entraîner des ruptures en cascade.

Dans le cas des vitrages en chaînette, la validité de la solution retenue sera appréciée au cas par cas. Dans le cas général, les conséquences sur la stabilité de la paroi vitrée de la disparition éventuelle d'un vitrage seront examinées dans le cadre de l'évaluation sur l'ouvrage considéré.

3.1.2 Prise en compte des tolérances de fabrication des composants et d'implantation de l'ossature

La liste ci-dessous référence l'ensemble des écarts dimensionnels éventuels dus à la fabrication et au positionnement des éléments (vitrages, fixations ponctuelles, attaches et ossature). Les valeurs admissibles sont données dans les Avis Techniques.

3.1.2.1 Tolérances de fabrication sur le vitrage (voir Figure 2)

- Écart sur les dimensions des vitrages.
 - Les écarts par rapport à la géométrie théorique du vitrage peuvent résulter :
 - des écarts de dimensions ;
 - des écarts d'angles (faux équerrage...) ;
 - des défauts de rectitude des bords (interviennent essentiellement du point de vue esthétique et pour le comportement de l'étanchéité entre les vitrages).
- Écart sur la position des perçages entre eux (coaxialité pour les vitrages feuilletés ou isolants).
- Écart sur la position des perçages par rapport aux bords de référence des vitrages.
- Voilement du vitrage (défaut de planéité).

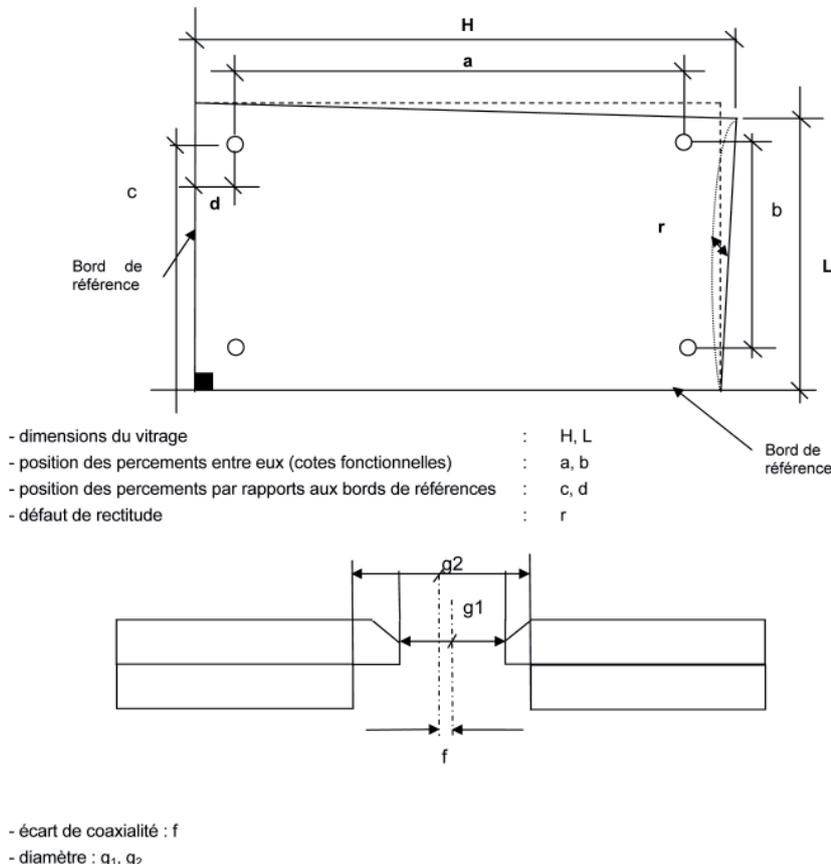
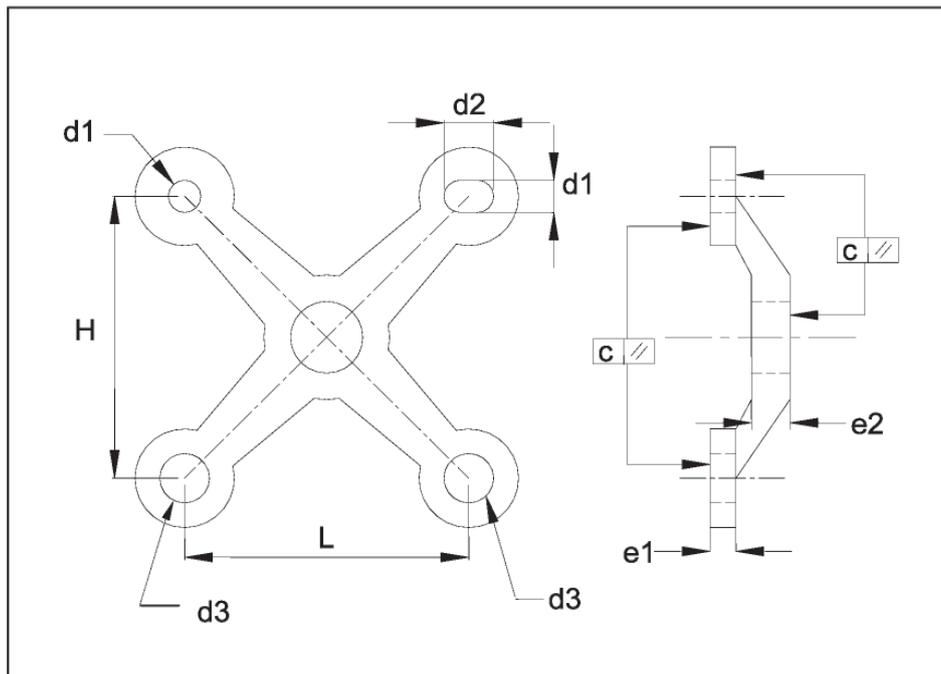


Figure 2 – Tolérances de fabrication sur le vitrage



- positions des trous	:	H, L
- dimensions des trous	:	d1, d2, d3
- coplanéité	:	C
- épaisseur	:	e1, e2

Figure 3 – Tolérances de fabrication des attaches

3.1.2.2 Tolérances de fabrication sur les fixations ponctuelles

On s'assurera de la compatibilité de l'interface verre / fixation ponctuelle.

3.1.2.3 Tolérances de fabrication sur les attaches (voir Figure 3)

- Écart sur la position des trous ou des appuis.
- Écart sur la dimension des trous ou des appuis.
- Défauts de coplanéité des surfaces d'appui.

3.1.2.4 Tolérances d'implantation des attaches

Outre les points précédents s'ajoutent les écarts au positionnement des attaches entre elles et par rapport à un point de référence :

- positionnement d'entraxe ;
- positionnement angulaire.

3.1.2.5 Tolérances d'implantation de l'ossature

- Écart d'entraxe à l'implantation ;
- Écart de positionnement par rapport au plan de référence.

- Écart de positionnement angulaire par rapport aux plans de référence.
- Écart d'altimétrie.
- Écart dû aux déformations différées inhérentes aux ouvrages en béton ou en bois (retrait, fluage sous poids propre).

3.1.3 Les jeux de montage

Compte tenu de l'inventaire des tolérances ci-dessus, les jeux de montage doivent être répartis sur les différents composants du système afin de permettre une mise en œuvre correcte. Cela concerne :

- l'absorption des tolérances d'implantation de l'ossature par réglage de l'attache ou de son support ;
- le réglage du plan théorique de la paroi soit par réglage de l'attache, soit par réglage de la fixation ponctuelle selon les cas ;
- l'absorption des tolérances de fabrication des vitrages par un jeu entre les fixations traversantes et les attaches ;
- la capacité de débattement angulaire lorsqu'une articulation est prévue dans le système et qui ne doit pas être utilisée au montage.

Pour pallier les risques de déplacement des attaches sous le poids des vitrages lors de la mise en œuvre ou en cas de rupture accidentelle d'un vitrage, lesdites attaches devront être immobilisées en rotation par tous moyens adéquats (par exemple : emploi de boulons haute résistance à serrage contrôlé, goupille, clavette, etc.) et dont la faisabilité aura été vérifiée.

3.1.4 Les jeux fonctionnels

Les jeux fonctionnels prévus tant au niveau des attaches qu'au niveau des fixations ponctuelles doivent permettre les mouvements des vitrages par rapport à leurs points de fixation sans création d'effort dans le plan du vitrage ou de moment d'encastrement sous :

- les effets du vent ou de la neige (raccourcissement de la distance entre trous des vitrages et déformation de l'ossature ;
- les dilatations thermiques différentielles de l'ossature support et des vitrage ;
- les déplacements différentiels des attaches.

Les vitrages sont soit supportés soit suspendus. Chaque vitrage est généralement maintenu par deux points porteurs (reprise du poids propre) permettant un jeu horizontal de dilatation tout en empêchant la reptation. Les autres points de fixation doivent permettre un jeu dans toutes les directions dans le plan du verre.

Quelles que soient les dispositions technologiques adoptées pour la réalisation des jeux fonctionnels, ceux-ci doivent rester opérationnels dans le temps (pas de grippages, arcs-boutements, coincements ou serrages non maîtrisés, etc.). Cela peut être réalisé par exemple par la mise en œuvre d'entretoises.

Outre la limitation des sollicitations sur les produits verriers induits par ces mouvements prévisibles, il convient que les mouvements relatifs entre vitrages permettent de conserver la fiabilité des dispositifs d'étanchéité.

L'évaluation indique l'ensemble des conditions permettant au système de fonctionner correctement.

3.1.5 Cas des ouvrants intégrés

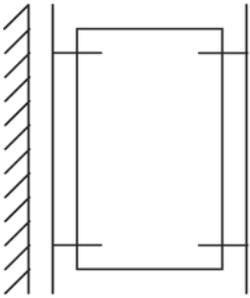
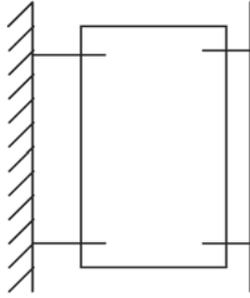
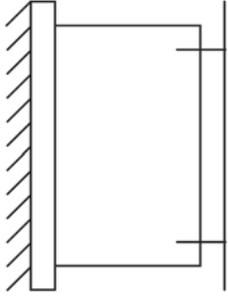
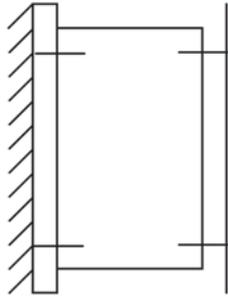
Bien que les portes et vantaux ne soient pas traités dans le présent document, l'attention est attirée sur le fait que leur éventuel assujettissement et leur manœuvre ne doivent pas générer de sollicitations sur les vitrages adjacents de nature à provoquer des désordres, et ceux-ci devront donc être justifiés en conséquence.

3.1.6 Traitement des rives (étanchéités, mises en drapeau)

La trame de rive d'un pan de verre nécessite généralement un traitement spécifique.

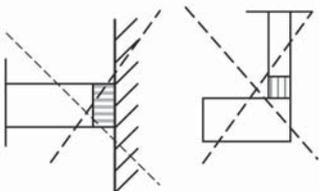
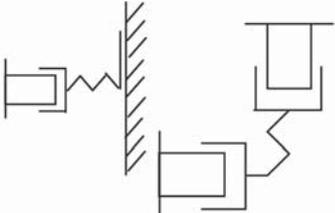
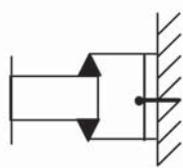
Du point de vue mécanique, les cas suivants sont à considérer :

Tableau 3 – Traitement des rives

	Liaison mécanique des vitrages de rive	Conséquences
	<p>Maintien des fixations ponctuelles avec ossature identique en rive.</p>	<p>Le vitrage de rive présente les mêmes déformations qu'en partie courante. Prévoir un dispositif adapté d'étanchéité à l'interface, vitrage de rive et support adjacent.</p>
	<p>Maintien des fixations ponctuelles avec liaison sur le gros œuvre adjacent.</p>	<p>Solution déconseillée</p> <p>—</p> <p>Le fonctionnement non homogène du pan de verre liaison à 2 supports différents nécessitant une étude particulière.</p>
	<p>Suppression des fixations ponctuelles. Prise en feuillure de la rive des vitrages.</p>	<p>La prise en feuillure permet de garantir l'étanchéité en rive.</p> <p>S'il s'agit d'une rive verticale, les vitrages sont mis en œuvre en drapeau avec une reprise du poids propre à étudier spécifiquement.</p>
	<p>Maintien des fixations ponctuelles. Prise en feuillure de la rive des vitrages.</p>	<p>Vérifier le fonctionnement mécanique d'ensemble.</p>

Du point de vue de l'étanchéité, les cas suivants se présentent également :

Tableau 4 – Étanchéité en rive

	Traitement de l'étanchéité en rive	Conséquences
 <p>Rive Angle</p>	Réalisation de l'étanchéité par mastic (rive et angle).	<p>Solution déconseillée</p> <p>—</p> <p>Cette disposition ne permet généralement pas de respecter les limitations d'élongation des mastics telles que spécifiées dans le DTU 44.1.</p>
 <p>Rive Angle</p>	Réalisation de l'étanchéité par profilé élastomère souple.	Cette disposition permet de respecter un fonctionnement homogène du pan de verre vis-à-vis des déformations hors plan (voir <i>paragraphe 3.3.3.2</i>).
	Prise en feuillure de la rive des vitrages.	<p>La prise en feuillure limite la déformation du vitrage de rive.</p> <p>Il y a lieu de vérifier les sollicitations attendues dans le cordon de mastic situé entre la trame de rive et la trame adjacente sous l'effet des flèches différentielles des vitrages.</p>

3.1.7 Remplacement d'un vitrage

Le remplacement isolément d'un vitrage accidenté doit être possible ou dans des cas particuliers ne nécessiter que le démontage au plus des volumes verriers adjacents. Cette éventualité doit être envisagée lors de la conception de l'ouvrage et doit tenir compte des dimensions, du poids des vitrages et de la possibilité d'accès en tout point du pan de verre ou de la verrière.

Le système d'étanchéité doit être à même d'absorber les écarts dimensionnels entre le vitrage détérioré et le vitrage de remplacement.

Il est conseillé de prévoir des vitrages de remplacement et leur stockage. Si cette disposition n'a pu être organisée, il conviendra de s'assurer que le vitrage de remplacement permet une mise en œuvre à l'identique du système d'étanchéité initial (vérification de la compatibilité des matériaux).

Les opérations de remplacement ne doivent pas générer de sollicitations non prévues et autres que celles générées par les charges normales d'exploitation et d'entretien. Dans le cas contraire, une étude particulière est nécessaire.

3.1.8 Cas des pans de verre inclinés (verrières)

Outre le choix des composants verriers, la particularité des verrières réside dans la fonction d'étanchéité.

Les pans de verre VEA ne permettent généralement pas de respecter, conformément aux règles de l'art, le principe d'étanchéité à double étage avec recueil et évacuation des eaux d'infiltration.

Pour ces dispositifs d'étanchéité, l'aptitude à l'emploi est donc liée non seulement à la qualité de la mise en œuvre (*paragraphe 5*), mais aussi à un entretien renforcé avec une fréquence d'autant plus importante que la verrière est à faible pente.

3.2 Sécurité

3.2.1 Stabilité et dimensionnement

Ce chapitre concerne le dimensionnement du système VEA. La compatibilité des déformations du pan de verre VEA avec la structure doit être vérifiée au préalable selon le *paragraphe 3.1.1*.

Dans l'attente des normes européennes applicables, les règles de calculs définies ci-après sont utilisées.

3.2.1.1 Définition des actions

Pour le dimensionnement, on aura recours à la théorie des états limites. On distingue :

- les États Limites de Service (ELS) qui correspondent à l'apparition de flèches ou de déformations considérées excessives affectant l'aspect ou l'exploitation normale de l'ouvrage.

Pour réduire le sentiment d'insécurité, les déformations de l'ouvrage sont limitées ;

- les États Limites Ultimes (ELU) associés à toute forme de ruine pouvant mettre en danger la sécurité des personnes.

La stabilité de l'ouvrage doit être assurée avec un coefficient de sécurité suffisant par rapport aux charges climatiques maximales prévisibles pour le site considéré.

Pour chaque état limite sont définies les **combinaisons des actions** (poids propre, vent, neige, etc.) sous lesquelles doivent être respectés les **critères** associés à cet état limite (flèche, contrainte maximale, etc.).

Les actions sont considérées avec leur **valeur caractéristique** correspondant à une probabilité acceptée de ne pas être dépassée pendant une certaine durée de référence, fonction de la durée de vie de l'ouvrage.

Les valeurs caractéristiques des actions envisagées sont données ci-après.

- Actions permanentes G

Elles sont déterminées selon les données de la norme NF EN 1991-1-1 :

Tableau 5 – Masses et poids volumiques

Matériau	Masse volumique	Poids volumique
Verre	2 500 kg/m ³	24,5 kN/m ³
Aluminium	2 700 kg/m ³	26,5 kN/m ³
Acier	7 850 kg/m ³	77,0 kN/m ³

La charge permanente due au poids propre du vitrage a pour valeur :

$$G = 24,5 \times \text{Surf} \times e$$

- G : charge en Newton
 Surf : surface du vitrage en m²
 e : épaisseur de verre en mm

- Actions variables : les valeurs caractéristiques des actions courantes sont indiquées dans le *Tableau 6*.

Tableau 6 – Charge de neige et de vent

Action variable considérée	Valeur caractéristique
Charge de neige : S	Eurocode NF EN 1991-1-3 et NF EN 1991-1-3/NA
Charge de vent : W	Action du vent caractéristique avec une période de retour de 50 ans selon l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et NF EN 1991-1-1/NA
<i>Nota : dans le cas d'essais en soufflerie à couche limite turbulente, les valeurs caractéristiques de charges de vent découlent des résultats d'essais.</i>	

- Charges d'exploitation

– Pour les chocs de conservations des performances et de sécurité, on se référera à la norme P08-302. La vérification de la sécurité contre les chutes des personnes sera effectuée selon les dispositions prévues au *paragraphe 3.2.2.1 Sécurité contre la chute des personnes*.

– Pour les actions liées aux nacelles et dispositifs de nettoyages, on se référera à la norme NF EN 1808. La vérification se fera en suivant les codes de calculs usuels ou à défaut par voie expérimentale.

- Actions des variations de température

– Sauf spécification particulière, les effets des dilata-tions sont à prendre en compte avec une variation de ± 50 °C.

– À défaut de valeur plus précise, les coefficients de dilatations thermiques suivants peuvent être pris en compte.

- verre : 9.10⁻⁶ par °C
- alu : 23.10⁻⁶ par °C
- acier : 12.10⁻⁶ par °C
- acier inoxydable : 18.10⁻⁶ par °C.

– La vérification de la compatibilité de ces actions avec le système est effectuée en respectant les dispositions prévues au *chapitre 3.1 Dispositions constructives*.

- Actions dues aux mouvements du bâtiment

– Ces actions sont des déplacements qui peuvent avoir des origines diverses (charges d'exploitation, charges climatiques, etc.).

– La vérification de la compatibilité de ces actions avec le système est effectuée en respectant les dispositions prévues au *chapitre 3.1 Dispositions Constructives*.

3.2.1.2 Combinaison des actions à l'ELS

La détermination des déformations sera faite en prenant en compte la charge q_s correspondant au cas le plus défavorable des combinaisons d'actions données dans les *Tableaux 7 et 8* ci-dessous.

Tableau 7 – Cas des parois verticales

(inclinées à moins de 5° par rapport à la verticale)

	Combinaisons	Charges
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Vent	$q_s = W$
Actions parallèles au plan du vitrage	Poids propre	$q_s = G$

Tableau 8 – Cas des parois inclinées (inclinées à plus de 5° par rapport à la verticale)

	Combinaisons	Charges
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Poids propre	$q_s = G \cos \alpha$
	Poids propre + neige	$q_s = (G + S \cos \alpha) \cdot \cos \alpha$
	Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_s = G \cos \alpha + W$ $q_s = G \cos \alpha - W$
	Poids propre + neige + vent	$q_s = G \cos \alpha + 0,9(S \cos^2 \alpha + W)$
	α est l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale	
Actions parallèles au plan	Poids propre + neige	$q_s = (G + S \cos \alpha) \cdot \sin \alpha$

3.2.1.3 Combinaison des actions à l'ELU

La vérification de la résistance sera faite en prenant en compte la charge q_u correspondant au cas le plus défavorable des combinaisons d'actions données dans les Tableaux 9 et 10 ci-après :

Tableau 9 – Cas des parois verticales (inclinées à moins de 5° par rapport à la verticale)

	Combinaisons	Charge
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Vent	$q_u = 1,5.W$
Actions verticales	Poids propre	$q_u = 1,35.G$

Tableau 10 – Cas des parois inclinées (inclinées à plus de 5° par rapport à la verticale)

	Combinaisons	Charges
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Poids propre	$q_u = 1,35 G \cos \alpha$
	Poids propre + neige	$q_u = (1,35 G + 1,5 S \cos \alpha) \cos \alpha$
	Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_u = 1,35.G \cos \alpha + 1,5.W$ $q_u = G \cos \alpha + 1,5.W$
	Poids propre + neige + vent Poids propre + vent + neige	$q_u = 1,35 G \cos \alpha + 1,5 S \cos^2 \alpha + 0,9 W$ $q_u = 1,35 G \cos \alpha + 1,5 W + 0,9 S \cos^2 \alpha$
	Poids propre + neige exceptionnelle	$q_u = (G + S_{ad} \cos \alpha) \cos \alpha$
Actions parallèles au plan des vitrages	Poids propre + neige	$q_u = (1,35 G + 1,5 S \cos \alpha) \sin \alpha$
	Poids propre + neige exceptionnelle	$q_u = (G + S_{ad} \cos \alpha) \sin \alpha$
α : est l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale S_{ad} : neige exceptionnelle		

3.2.1.4 Dimensionnement des produits verriers

- Critères à respecter à l'ELS

Sous les combinaisons des actions définies dans les *Tableaux 7 et 8*, les critères à respecter sont donnés dans le tableau suivant :

Tableau 11 – Déformations maximales

Type de vitrage	Critères ELS	
	Déformation entre 2 fixations consécutives	Déformation maximale*** (mm)
Simple vitrage	1/100*	50
Vitrage isolant	1/150**	
<p>(*) La déformation maximale d'un vitrage simple sous l'action du vent ou sous les combinaisons d'actions définies dans les <i>Tableaux 7 et 8</i> est estimée ne pas devoir dépasser 1/100 de la distance entre deux fixations consécutives correspondant au bord le plus déformé. Dans le cas des vitrages en porte-à-faux, le critère devient 1/50 de la longueur du porte-à-faux.</p> <p>(**) Dans le cas particulier des vitrages isolants, pour des raisons tenant à la durabilité de ces produits, la déformation maximale admissible entre points de fixation est généralement limitée au 1/150 de leur distance dans les mêmes conditions. Dans le cas des vitrages en porte-à-faux, le critère devient 1/75 de la longueur du porte-à-faux.</p> <p>(***) Dans le cas des verrières, il y a lieu de tenir compte du paragraphe 3.2.1.7.</p>		

- Critères à respecter à l'ELU

Sous les combinaisons des actions des *Tableaux 9 et 10*, les critères à respecter sont donnés dans les *Tableaux 12 et 13*.

Tableau 12 – Contraintes de calculs (non applicables au niveau des appuis)

Contraintes* maximales de calcul en MPa					
Combinaisons	G	G+S ou G+S _{ad} ou G+W+S	G+W	W	K=W/(G+S)
Recuit	7	10	17	25	2,50
Trempé	50	50	60	65	1,30
Trempé émaillé	25	25	30	40	1,60
Durci	20	25	30	40	1,60
Durci émaillé	7	10	17	25	2,50
<p>* Les contraintes ont été calculées à partir du projet de la norme européenne prEN13474-3 d'octobre 2009 avec les coefficients suivants : $\gamma_{M,A} = 1,8$ pour le verre recuit, conformément à prEN13474-3 $\gamma_{M,V} = 1,8$ pour le verre trempé au lieu de 1,2 dans le prEN13474-3 $K_{mod} = 0,48$ pour la neige exceptionnelle Rapport de 4 entre la neige normale et le poids propre Rapport de 8 entre la neige exceptionnelle et le poids propre Applicable uniquement aux combinaisons poids propre et charges de neige des vitrages d'inclinaison inférieure ou égale à 60° par rapport à l'horizontale. Le coefficient K est utilisé pour déterminer le rayon de courbure en verrière à partir du rayon de courbure en façade.</p>					

Tableau 13 – Courbure minimale

Courbure sur appui intermédiaire pour vitrage comportant plus de 4 appuis	La courbure minimale est définie au cas par cas selon la procédure expérimentale définie en <i>Annexe B2</i> .
Courbure sur appui pour vitrage en porte-à-faux	Dans le cas des vitrages feuilletés et des vitrages isolants, le rayon calculé doit être supérieur au rayon admissible déterminé à partir des composants monolithiques.

- Vérification par le calcul

L'*Annexe A* donne, dans les cas courants, les éléments permettant de calculer :

- les flèches entre fixations ;
- les contraintes en partie courante des vitrages ;
- les courbures sur appuis, le cas échéant ;

pour :

- les vitrages rectangulaires, simples monolithiques ou feuilletés, ou les vitrages isolants, équipés de 1, 2 ou 4 dispositifs de fixations articulées et pouvant comporter 1 ou 2 bords maintenus en feuillure (*Tableaux 2 à 4*) ;
- les vitrages rectangulaires simples monolithiques ou feuilletés, ou les vitrages isolants équipés de 4 dispositifs de fixations constituant encastrement (*Tableau 6*) ou de 6 dispositifs de fixations articulées (*Tableau 5*).

Dans le cas de format non rectangulaire avec tous les angles $\geq 60^\circ$, le dimensionnement pourra être effectué sur la base du rectangle circonscrit.

L'utilisation de calculs aux éléments finis est possible à condition de justifier de la validation du code de calculs pour les vitrages VEA dans le cadre de l'instruction des Avis Techniques.

- Vérification par essai

Pour chaque nouveau système, une vérification par essais selon les modalités définies à l'*Annexe B*, est nécessaire pour :

- justifier que les contraintes locales aux droits des fixations ne provoquent pas de rupture du vitrage pour des actions correspondantes à deux fois celles obtenues à l'ELU ;
- déterminer les rayons de courbures admissibles ;
- justifier le dimensionnement des vitrages de façade de façon plus fine que par les méthodes de calculs définies à l'*Annexe A*.

3.2.1.5 Dimensionnement des dispositifs de fixations et des attaches

Les différents composants métalliques constituant les dispositifs de liaison à l'ossature, fixation ponctuelle et attaches, seront dimensionnés soit selon les règles de calcul habituellement utilisées, soit expérimentalement (selon modalités en *Annexe B*), à partir des actions définies au paragraphe ci-dessus.

Ils devront satisfaire aux conditions suivantes :

- À l'ELS :

Sous les différents chargements (cf. *Tableaux 7 et 8*), les déplacements des points d'attache des vitrages sont limités à 1 mm.

Un déplacement supérieur fera l'objet d'une étude spécifique visant à garantir le bon fonctionnement du système. Toutefois il est recommandé de limiter les déformations au centième de la portée de l'attache, $H/100$ (distance entre l'axe de l'attache sur l'ossature et l'axe de la fixation ponctuelle).

- À l'ELU :

Le critère de ruine retenu est la limite élastique du matériau. Sous les différents chargements (cf. *Tableaux 9 et 10*), les contraintes mécaniques dans les pièces composant les dispositifs de fixation seront inférieures aux limites élastiques des matériaux utilisés.

Les valeurs de référence $R_{p0,2}$ sont les valeurs minimales de la norme européenne couvrant le matériau intéressé ou celles garanties par le fournisseur et clairement précisées dans le certificat d'analyse chimique et mécanique du matériau. Dans tous les cas, la traçabilité des matériaux employés devra être assurée (voir *paragraphe 4.2*).

Nota : les filetages roulés sont plus adaptés au fonctionnement en flexion des tiges filetées que les filetages usinés.

Pour les pièces en acier, les justifications peuvent être effectuées selon l'Eurocode 3.

3.2.1.6 Dimensionnement des garnitures d'étanchéité

Les déformations dans le plan des pans de verre, dues aux mouvements différentiels des ossatures et à la dilatation des produits verriers, ne devront pas générer des compressions ou des tractions dans les garnitures entre vitrages adjacents supérieures à celles admissibles.

Les exigences sur la plage de travail des garnitures d'étanchéité devront prendre en compte les déformations éventuelles dans le plan des éléments verriers (sous les aspects de déformations de ces éléments) dues à des sollicitations mécaniques et/ou thermiques.

Dans le cas des mastics les déformations admissibles sont données dans le NF DTU 44.1 - paragraphe 5.3 (Étanchéité des joints de façade par mise en œuvre de mastic – NF P 85-210).

Dans le cas des profilés d'étanchéité, la détermination des performances est donnée au *paragraphe 2.3*.

3.2.1.7 Cas des pans de verre inclinés (verrières)

- Dans le cas des verrières à faible pente, il y a lieu de vérifier que sous combinaison, poids propre + neige, non pondérée ($G + S \cos \alpha$), les flèches cumulées du vitrage et des ossatures ne conduisent pas à une rétention d'eau : une pente supérieure à 2 % permet en général de satisfaire ce critère en tenant compte des tolérances de mise en œuvre.
- Outre les critères de déformations données au *Tableau 11*, l'attention est attirée sur les conséquences visuelles des déformations des vitrages sous poids propre.

3.2.2 Sécurité des usagers

3.2.2.1 Sécurité contre la chute des personnes

La composition des vitrages susceptibles d'assurer la résistance aux chocs de sécurité devra être conforme au NF DTU 39.

En outre, les vitrages monolithiques trempés résistant au choc de sécurité devront être associés à une protection résiduelle telle qu'indiquée dans la norme NF P 01-012.

La validation de cette composition devra être obtenue expérimentalement selon les dispositions prévues à l'*Annexe B*.

3.2.2.2 Cas des pans de verre traversés par une zone de circulation ou la surplombant

Il peut s'agir de pans de verres comportant des ouvertures munies ou non de portes et destinées aux passages des usagers ou de pans de verre dont l'aplomb est situé au-dessus de zones normales de circulation (voir *Figure 4*).

Pour limiter le risque de blessures des personnes en cas de rupture accidentelle ou provoquée entraînant la chute de vitrages trempés (monolithiques ou assemblés en vitrage isolant) situés au-dessus de ces ouvertures ou passages, des dispositifs de protection doivent être mis en place de part et d'autre du pan de verre.

Le débord des éléments de protection sera égal au dixième de la hauteur du pan de verre situé au-dessus des portes, passages ou zones de circulation sans être inférieur à 0,50 m et pourra être limité à 1,50 m.

Il doit être envisagé que ces dispositifs soient aptes à retenir le vitrage accidenté, ou favorisent sa fragmentation en petits éléments (selon les critères définis au NF DTU 39). L'aptitude de ces dispositifs à satisfaire aux exigences de sécurité et les conditions de vérification expérimentales peuvent être évaluées au cas par cas.

En l'absence de vérification expérimentale, ces dispositifs devront être dimensionnés pour résister à une charge accidentelle (ELU) uniformément répartie de 200 daN/m². De plus si le remplissage est un vitrage, il devra être en verre feuilleté de sécurité et classé au moins P5A selon la norme NF EN 356.

La mise en place de ces dispositifs n'est pas requise si le pan de verre est constitué par des vitrages feuilletés (sur les faces concernées dans le cas de doubles vitrages).

3.2.2.3 Visualisation

Les parties attenantes aux portes ou passages libres doivent être visualisées selon les spécifications définies au NF DTU 39.

3.2.3 Sécurité en cas d'incendie

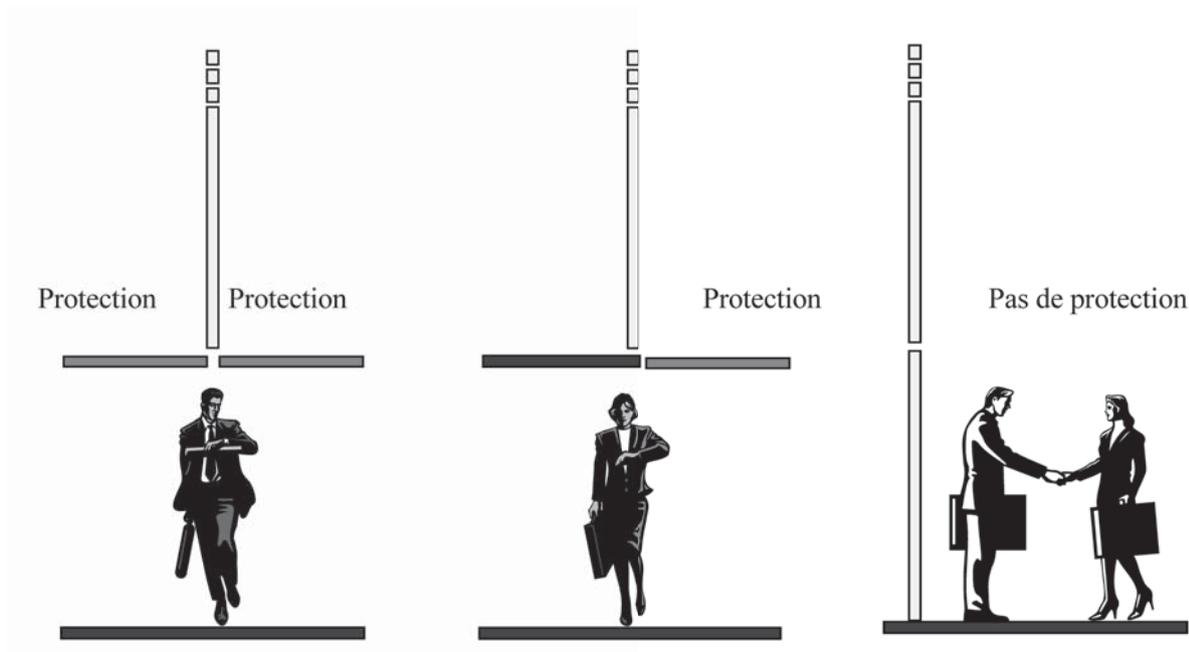
Compte tenu de la complexité du problème et des spécificités propres à la technique du VEA, la satisfaction aux exigences de sécurité en cas d'incendie doit être examinée au cas par cas en tenant compte des particularités de l'ouvrage.

Si le pan de verre doit intervenir dans la sécurité en cas d'incendie, les justifications devront être apportées par expérimentation sur paroi vraie grandeur.

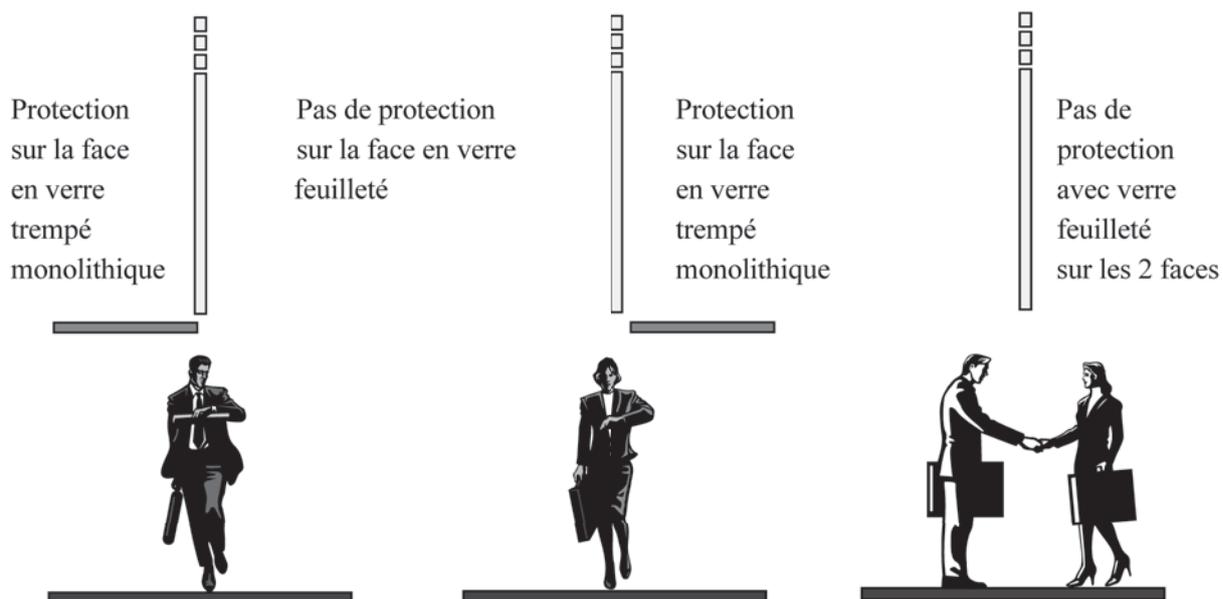
3.2.4 Sécurité en cas de séisme

La satisfaction aux exigences parasismiques doit être appréciée au cas par cas.

En l'absence de justification particulière et selon l'arrêté du 22 octobre 2010, le domaine d'emploi est limité à la zone 1 pour les catégories de bâtiments d'importance I, II, III et IV et zone 2 pour les catégories de bâtiments d'importance I et II.



Pan de verre en vitrage trempé monolithique



Pan de verre en vitrage isolant

Figure 4 – Exemples de protection suivant la nature des vitrages

3.2.5 Sécurité des intervenants

Les chants accessibles des vitrages ne doivent présenter ni arête vive ni état de surface susceptibles de causer des blessures.

En l'absence de dispositions permanentes et collectives contre les risques de chute, les parois inclinées en VEA seront intrinsèquement résistantes. Dans ce cas, il conviendra de vérifier que les vitrages résistent, compte tenu de leur mise en œuvre, au choc de corps mou M50 d'énergie 1200 J (voir *Annexe B4*).

La circulation des intervenants directement sur les vitrages sans élément de protection des produits verriers et de répartition des charges est prohibée.

3.3 Dispositions relatives aux caractéristiques thermiques

Les pans en vitrages simples ne permettent pas à eux seuls de répondre à la réglementation thermique Th-U en vigueur pour les locaux concernés.

Le coefficient U de transmission thermique des pans de verre est donné par la formule :

$$U = U_g + \frac{\Psi \cdot P}{A} + \frac{n\chi}{A}$$

dans laquelle :

U_g : Coefficient de transmission thermique en partie courante du vitrage (W/(m².K))

Ψ : Coefficient de transmission linéique périphérique (W/(m.K))

χ : Coefficient de transmission ponctuelle des fixations ponctuelles (W/K)

P : Périmètre du vitrage (m)

A : Surface du vitrage (m²)

n : Nombre de fixations ponctuelles du vitrage

Le facteur solaire S doit être déterminé suivant les règles thermiques Th-S en vigueur.

Pour les vitrages isolants à couches faiblement émissives, la valeur de l'émissivité ϵ à prendre en compte dans les calculs thermiques doit être déterminée selon les règles thermiques Th-U en vigueur, basée sur la méthode de calcul de la norme NF EN 673 et sur la détermination de l'émissivité à partir de la norme NF EN 12898.

D'autres spécifications sont précisées au *paragraphe 3.4 Règles relatives à la durabilité*.

3.4 Règles relatives à la durabilité

3.4.1 Durabilité des produits verriers

En ce qui concerne la nature et le type de produits verriers, on se reportera au *Chapitre 2*.

3.4.1.1 Limitation du risque de casse thermique pour les vitrages recuits

On pourra se référer au NF DTU 39-P3 en assimilant :

- les vitrages de partie courante à des vitrages pris en feuillure conductrice légère sur 4 côtés ;
- en considérant les conditions réelles de mise en œuvre des vitrages en rive.

3.4.1.2 Spécificités des vitrages feuilletés ou isolants

Les intercalaires et matériaux ou produits (élastomères, mastics, etc.) en contact ou situés à proximité (on entend

par proximité des espaces confinés dans lesquels peuvent être retenus des produits de réaction secondaire) doivent être chimiquement compatibles. L'Avis Technique du système VEA indique les conditions de satisfaction vis-à-vis de ce critère (voir *Annexe C* du *cahier CSTB* n° 3488-V2).

Les températures maximales à ne pas dépasser sur les joints de scellement des vitrages isolants et sur les intercalaires des vitrages feuilletés sont celles définies dans le *cahier du CSTB* n° 3242 « Conditions climatiques à considérer pour le calcul des températures maximales et minimales des vitrages ».

3.4.1.3 Spécificités des vitrages isolants

Outre la limitation des déformations des bords des vitrages tel qu'évoqué au *paragraphe 3.2.1.4*, il convient de justifier des efforts appliqués au système de scellement périphérique (qui doivent être inférieurs à 950 N/m de longueur de joint) résultant des variations de pression interne dues aux variations de température et aux variations de pression atmosphérique et tenant compte :

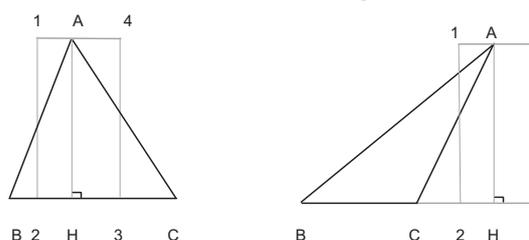
- des épaisseurs des produits verriers ;
- de leurs caractéristiques énergétiques ;
- de l'épaisseur de la lame d'air ;
- du rayonnement solaire ;
- des dimensions du vitrage ;
- des températures intérieure et extérieure ;
- de la température lors de la fabrication ;
- de l'altitude de fabrication et de mise en œuvre.

L'Avis Technique du système de vitrage indique les conditions de satisfaction vis-à-vis de ce critère.

En première approche, on pourra appliquer la méthode des vitrages sur appuis continus (voir *Cahier 3488-V2 – Annexe B*).

Vitrages triangulaires ou trapézoïdaux : à défaut d'une étude spécifique (modélisation par éléments finis), ces vitrages pourront être assimilés à un rectangle équivalent de même surface et dont le grand côté correspond à la plus grande hauteur géométrique.

Cas des triangles



AH = plus grande hauteur du triangle
Aire triangle ABC = aire rectangle 1234

Cas des trapèzes



Aire trapèze ABCD = aire rectangle 1234

3.4.2 Durabilité des fixations ponctuelles et des attaches

La durabilité des composants est un facteur devant être pris en compte en amont lors de la conception, au regard de la mise en œuvre et de l'exploitation de l'ouvrage.

Tant pour les attaches que pour les fixations ponctuelles, la notion de durabilité se résume principalement aux problèmes liés à l'altération des surfaces, à la corrosion et au grippage.

Dans certains cas, la notion de fluage revêt également une certaine importance (bagues tronconiques en matière plastique) et des justifications spécifiques devront être apportées.

Les principaux critères visant à assurer la durabilité de ces composants sont listés ci-dessous de manière non exhaustive :

- tenue des matériaux au brouillard salin (ISO 9227) ;
- couple galvanique ;
- traitement des surfaces (état de surface, polissage, anodisation) ;
- tenue aux UV (NF EN ISO 4892-1 et 2) ;
- notion de grippage sous charge (pour les fixations ponctuelles articulées) ;
- contamination lors de la mise en œuvre ;
- entretien et maintenance.

Dans le cas d'ouvrages situés en front de mer ou dans une atmosphère réputée agressive, il conviendra de prendre toutes les précautions visant à garantir l'intégrité des attaches et des fixations ponctuelles tant sur les plans mécanique qu'esthétique.

3.4.3 Garnitures d'étanchéité entre vitrages

On distingue :

- les mastics extrudés *in situ* ;
- les profilés en élastomère.

Dans les deux cas, on devra apporter la justification de compatibilité avec les mastics, profilés, intercalaires de feuilleté, films, couches, etc., situés au contact ou à proximité. Cette justification sera réalisée à partir des procédures définies dans la norme NF DTU 39.

3.4.3.1 Mastics

Ils devront être du type élastomère G 25E selon la norme EN ISO 11600 et bénéficier du label SNJF « Vitrage ». Les sollicitations en élongation, compression et cisaillement ne devront pas excéder les seuils admis dans le NF DTU 44.1 (paragraphe 5.3 Dimensionnement du produit de calfeutrement).

Dans le cas de vitrages isolants, le système d'étanchéité entre vitrages ou entre vitrage et gros œuvre doit être organisé de telle façon qu'il permette de réserver, à la périphérie du système de scellement, un espace mis en équilibre de pression de vapeur avec l'extérieur.

De plus, le fond de joint ne doit pas créer de plan de capillarité avec le mastic de scellement des vitrages (cf. figure 5).

Si l'étanchéité entre vitrages est disposée entre les composants verriers intérieurs des vitrages isolants, il devra être organisé, en rive horizontale supérieure, un lissage du mastic de scellements propre à limiter les risques de stagnation.

3.4.3.2 Profilés élastomères

En l'absence d'autres informations fournies par l'Avis Technique, les prescriptions ci-dessous sont applicables.

Ils doivent être conçus de façon à permettre les déplacements relatifs entre éléments adjacents et assurer de façon durable l'étanchéité à l'air et à l'eau.

À cet égard, les solutions ne faisant intervenir que le maintien par simple collage ou par simple emboîtement sur les chants des verres sont jugées insuffisantes ; par contre, la combinaison des deux modes de maintien est estimée pouvoir donner satisfaction.

Dans le cas des vitrages isolants, l'exigence de mise en équilibre de pression de vapeur du système de scellement avec l'ambiance extérieure est également applicable.

En l'absence d'indications contraires ou complémentaires précisées dans l'Avis Technique, on adoptera les dispositions ci-après.

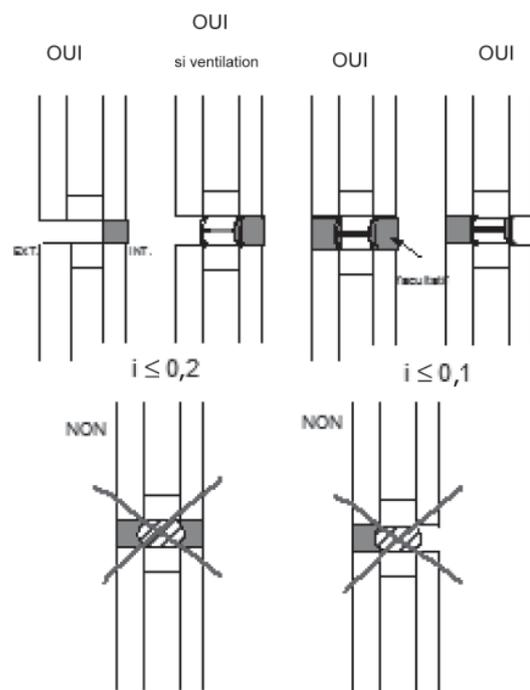


Figure 5 - Exemples de solutions

4. Conditions générales de fabrication

4.1 Généralités

Ce chapitre définit les règles de base des contrôles internes effectués par les fabricants pour la fabrication des VEA et sert également de base au contrôle externe.

Les principales dispositions à adopter par l'usine pour les contrôles (matières premières, en cours de fabrication et sur produits finis) doivent être consignées sous forme de documents qualité (plan qualité ou de contrôles, procédures, instructions, etc.) et concernent principalement les points développés dans les paragraphes ci-après.

4.2 Contrôles sur matières premières

Le fabricant doit définir des procédures et les critères appropriés d'acceptation des contrôles sur matières premières afin de garantir que ces critères sont respectés en tenant compte des dispositions qui suivent.

On s'assurera que les matières premières approvisionnées sont conformes aux normes européennes, au cahier des charges établi avec les fournisseurs et aux prescriptions de l'Avis Technique.

La traçabilité des lots de matières premières devra être assurée, il est recommandé de n'utiliser que des produits provenant d'un lot homogène de fabrication.

- Pour les vitrages feuilletés, on s'assurera que les intercalaires utilisés permettent de respecter les prescriptions de l'Avis Technique du VEA.
- Pour les systèmes de scellement et d'étanchéité des vitrages isolants, on s'assurera que les lots de mastics et les différents produits ou matériaux utilisés sont ceux prévus dans l'Avis Technique du système VEA.

4.3 Contrôles en cours de fabrication / maîtrise du processus de fabrication

Les opérations de fabrication doivent être décrites.

Les instructions de fabrication doivent couvrir les différentes phases de réalisation, définir les contrôles et les paramètres de fabrication pertinents.

La fréquence des contrôles en cours de fabrication doit tenir compte de la fiabilité du processus, de l'importance du lot de fabrication et du risque de non-conformité.

- Pour les vitrages :

Les moyens de découpe doivent permettre, d'une part, d'obtenir des vitrages dont la géométrie s'inscrit dans les tolérances prévues, d'autre part, de limiter, après façonnage des chants, les défauts locaux en tenant compte des aléas liés à la coupe des verres très épais.

Les bords des vitrages seront traités au minimum en joints plats industriels (JPI).

Il est rappelé que les verres doivent être coupés, sciés, percés et façonnés de façon complète et définitive avant l'éventuel traitement thermique de renforcement mécanique ou l'assemblage en feuilleté.

La distance d_2 entre la périphérie du trou et le bord du vitrage le plus proche est au minimum égale à deux fois l'épaisseur du vitrage.

La distance d_1 entre le bord du trou ou du fraisage et le sommet de l'angle du vitrage le plus proche (voir figure 6) est au minimum égale à :

- 4 fois l'épaisseur, pour les verres d'épaisseur supérieure ou égale à 15 mm,
- 6 fois l'épaisseur, pour les vitrages d'épaisseur inférieure ou égale à 12 mm.

Pour éviter l'existence d'écaillage aux débouchés des trous, les arêtes sont chanfreinées sur une hauteur minimale de 1 mm.

Lors du perçage du verre monolithique, l'écart de coaxialité sur un trou doit être inférieur à 0,5 mm.

Commentaire

Cas des dispositifs de fixation comportant des bagues intermédiaires

Pour permettre le montage de la bague cylindrique ou cylindro-conique interposée entre la fixation traversante et le verre ou pour assurer une étanchéité satisfaisante entre les surfaces coniques des bagues et des fraisages des verres, il est nécessaire que le diamètre maximal de la partie cylindrique de ces bagues soit inférieur au diamètre minimal des trous, diminué de l'écart de coaxialité.

Pour les trous comportant un fraisage, pour éviter la présence, sur le produit fini, d'un épaulement (dû à l'écart de coaxialité entre les deux perçages), le perçage est réalisé pour que l'éventuel épaulement soit localisé dans la zone qui disparaît au cours de l'opération de fraisage.

- Pour les vitrages isolants

Les contrôles sont réalisés conformément aux modalités et fréquences définies dans la norme NF EN 1279-6 complétée par les prescriptions définies dans les Avis Techniques relatives aux vitrages.

4.4 Contrôles sur produits finis

4.4.1 Généralités

Les contrôles sont effectués sur les produits prélevés en fin de chaîne et avant leur livraison afin de vérifier les tolérances de fabrication précisées dans l'Avis Technique.

Tous les résultats des contrôles doivent être enregistrés sur des registres ou fiches de contrôles conservés sur le lieu de fabrication.

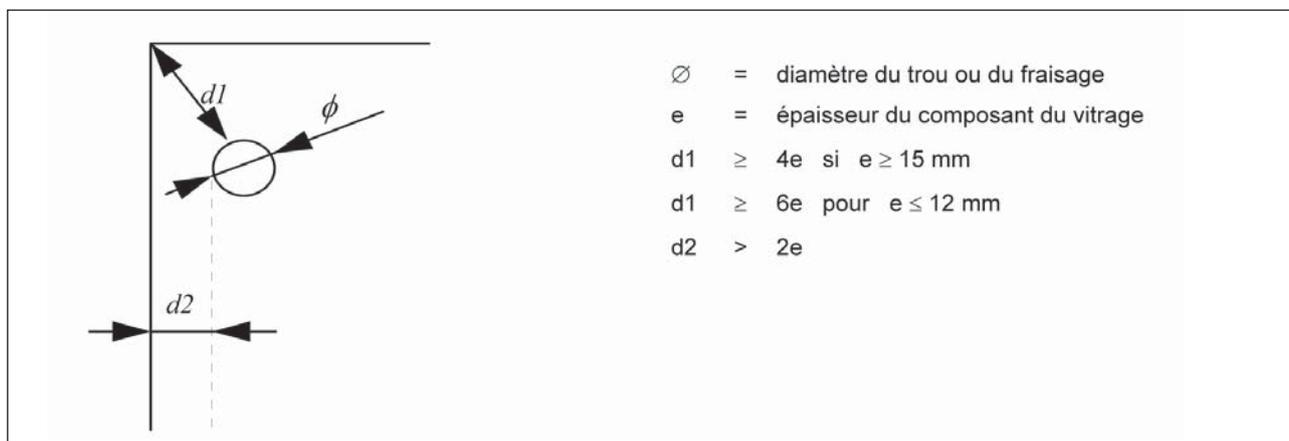


Figure 6 – Distances du trou aux bords du vitrage

4.4.2 Dispositions spécifiques pour les vitrages

Pour les vitrages, les contrôles à réaliser sont résumés dans le *Tableau 14*, et réalisés à des fréquences définies au *Tableau 15*.

Tableau 14 – Contrôles vitrages sur produits transformés

Vitrage monolithique	Dimensions*	
	Flèche des verres traités thermiquement	
	Diamètre des trous	
	Entraxe des trous	
	Position des trous par rapport aux bords de référence	Trou de passage des fixations supports de vitrages Autres trous
	Profondeur des fraisages à l'aide d'un gabarit	
Vitrage feuilleté ***	Dimensions**	
	Flèche des verres traités thermiquement et assemblés	
	Diamètre des trous	
	Co-axialité des trous	Transmission du poids par les 2 composants Transmission du poids aux attaches par une seule feuille de verre
Vitrage isolant ***	Dimensions**	
	Flèche des verres traités thermiquement et assemblés	
	Diamètre des trous	
	Co-axialité des trous	Transmission du poids par les 2 composants
(*) Cette valeur intègre les défauts d'équerrage des bords.		
(**) Cette valeur intègre les défauts d'équerrage et de décalage des bords des composants.		
(***) Les tolérances applicables aux vitrages monolithiques s'appliquent à chaque constituant des vitrages composés.		

Sur chaque volume, un contrôle d'aspect doit comprendre une vérification de l'état des chants et une vérification pour les vitrages feuilletés du débordement de l'intercalaire.

Pour les vitrages trempés, un contrôle de la contrainte de compression de surface après traitement Heat Soak est à réaliser selon les modalités de la norme NF EN 14179.

Tableau 15 – Fréquence des contrôles sur produits finis

Effectif du lot	Contrôle
1	1
2 à 15	2
16 à 25	3
26 à 90	5
91 à 150	8
151 à 280	13
281 à 500	20
501 à 1 200	32

Commentaires

Un lot correspond à la fourniture de vitrages de même épaisseur pour un chantier donné, élaboré en une journée ou en une période ininterrompue de fabrication. Le lot correspond à des vitrages de même format pour les contrôles dimensionnels.

Le contrôle périodique de la résistance à la pénétration d'humidité des vitrages isolants est à réaliser selon les modalités de l'Annexe B8.

4.4.3 Dispositions spécifiques aux pièces moulées

- Sur chaque début de série, contrôle mécanique (sur pièce entière, ou sur éprouvettes) et autres types de contrôles éventuels selon cahier des charges (radiographie, ultrason, etc.).
- Ensuite contrôle mécanique et dimensionnel sur au moins 2 % de la fabrication.

4.5 Transport – manutention – stockage

Les conditions de manutention, stockage, conditionnement et livraison doivent être définies et documentées.

Les dispositions particulières suivantes pour les vitrages sont à prendre en compte.

Comme pour tout ouvrage de miroiterie, le stockage des vitrages doit être réalisé, en conformité avec le NF DTU 39, verticalement, à l'abri de la pluie, du soleil, des chocs et dans un lieu aéré.

Une attention particulière doit être apportée à la manutention, au transport et au stockage pour éliminer les risques de dégradation des bords des vitrages. Les surfaces des agrès (utilisés pour le stockage et le transport des vitrages) en contact avec les vitrages doivent être garnies de matériaux souples en bon état, sans corps étranger dur, de façon à ne pas dégrader le verre.

Le stockage est réalisé dans des conditions qui évitent la condensation d'eau sur les vitrages et l'irisation consécutive. Des espaceurs doivent être mis en œuvre entre les vitrages.

En aucun cas, les fixations ponctuelles ne doivent être utilisées pour les manutentions des volumes verriers.

4.6 Traitement des produits non conformes

Une procédure de traitement des produits non conformes doit être consignée par écrit.

Les produits non conformes aux exigences doivent être isolés et repérés.

Le fabricant doit mener des actions correctives afin d'éviter toute récurrence de la non-conformité.

4.7 Marquage

Les vitrages (hors simple vitrage recuit), les fixations ponctuelles et les attaches devront être marqués. Ce marquage devra rester visible après mise en œuvre et comporter au moins une identification du fabricant ou du titulaire de l'Avis Technique.

5. Conditions générales de mise en œuvre

Sauf indications contraires ou complémentaires précisées dans l'Avis Technique, les prescriptions ci-après sont applicables.

5.1 Respect des dispositions de conception

La particularité des systèmes VEA est liée à une mise en œuvre généralement délicate pour le respect des jeux de montage et des jeux fonctionnels. Les dispositions de conception étant spécifiques à chaque système, le poseur doit en tenir compte avant de commencer la mise en œuvre.

L'entreprise titulaire du lot VEA devra s'assurer de la prise en compte des spécifications des critères de dimensionnement de l'ossature.

5.2 Réception de l'ossature

Il appartient à l'entreprise de mise en œuvre de s'assurer de l'aptitude de l'ossature à recevoir le pan de verre en prenant en compte les points suivants :

- écart d'entraxe à l'implantation ;
- écart de positionnement par rapport au plan de référence ;
- écart de positionnement angulaire par rapport au plan de référence ;
- écart de niveau.

Il appartient également à l'entreprise de s'assurer du positionnement correct et de la conformité des dimensions et des usinages des supports d'attache. Pour ce faire, il y a lieu de s'informer de l'état des charges de l'ouvrage et, dans le cas des structures en béton, de l'ampleur des mouvements différés.

5.3 Stockage et manutention des vitrages

Les dispositions indiquées au *paragraphe 4.5* sont applicables.

Les appareillages de levage doivent permettre le positionnement correct des fixations dans les attaches sans générer de sollicitation dynamique préjudiciable tant au niveau des attaches que des vitrages.

5.4 Implantation des attaches

Il devra être tenu compte des déplacements prévisibles des points d'attache sous le poids des vitrages. Pour ce faire, trois méthodes sont possibles :

- si ces déplacements peuvent être déterminés *a priori*, on tiendra compte de ce décalage lors du positionnement de la patte d'attache ;
- si la complexité de l'ouvrage ne permet pas cette détermination, un préchargement équivalent au poids des vitrages sera appliqué à l'ossature et éliminé au fur et à mesure de la pose des vitrages ;
- si le système le permet, la reprise des déplacements sera réalisée en charge.

Le contrôle de positionnement de pattes d'attache (± 1 mm par rapport à la position théorique) sera fait en tenant compte de l'une de ces solutions.

5.5 Immobilisation des attaches

Les attaches doivent être immobilisées en rotation après réglage conformément aux dispositions de conception (par exemple : emploi de boulons haute résistance à serrage contrôlé, goupille, clavette, etc.).

5.6 Serrage des écrous

Les écrous intervenant dans l'association des fixations ponctuelles avec les vitrages, pour lesquels un couple de serrage est spécifié par le concepteur, seront serrés, en respectant les spécifications du concepteur, à la clé dynamométrique en respectant les valeurs de couple indiquées dans l'évaluation.

Le mode de liaison entre les fixations traversantes et les pattes d'attache ne doit pas entraver les libertés de mouvements respectifs de ces deux éléments lorsque celles-ci sont prévues.

Ces dispositions de liaisons doivent être suffisantes pour résorber des jeux qui pourraient être nuisibles au comportement de la paroi vitrée.

Tous les écrous doivent être immobilisés.

L'emploi des écrous borgnes est vivement déconseillé, excepté dans le cas où une procédure de contrôle est mise en place pour s'assurer du serrage effectif.

5.7 Positionnement des vitrages

Lors du montage, on s'assurera du respect des jeux fonctionnels prévus dans le système et de la largeur des joints. De ce point de vue, la largeur du joint entre deux vitrages ne sera jamais inférieure à 6 mm.

5.8 Garnissage des joints

La mise en œuvre des garnitures d'étanchéité en mastic ou le collage de profilés élastomères doit se faire sur des supports dont la siccité est convenable et la surface propre selon les prescriptions du NF DTU 44.1, éventuellement complétées par celles du fabricant.

Aucune mise en œuvre ne doit être effectuée lorsque le support est à une température inférieure à 5 °C ou supérieure à 40 °C.

L'étanchéité de ces pans de verre résulte de la qualité de mise en œuvre de ces garnitures.

5.9 Entretien et maintenance

Les préconisations d'entretien et de maintenance devront être précisées par le façadier (sur la base des prescriptions du concepteur) et être transmises au maître d'œuvre, et au maître d'ouvrage.

La sécurité des intervenants est traitée au *paragraphe 3.2.5*.

Le remplacement d'un vitrage est traité au *paragraphe 3.1.7*.

L'entretien des vitrages VEA est à effectuer comme pour les vitrages mis en œuvre de façon traditionnelle selon la norme NF DTU 39 (CCT – *Annexe B*).

Pour les autres éléments, on pourra se reporter aux prescriptions définies dans la norme NF DTU 33.1.

Pour les verrières, la fréquence des entretiens est à renforcer (voir *paragraphes 1.3* et *3.1.8*).

ANNEXE A

Méthode de calcul des flèches, contraintes, rotations ou courbures, aux appuis des vitrages utilisant la technique VEA

Commentaire

Cette méthode de calcul s'applique aux vitrages munis de fixations traversantes. Dans le cas contraire, il y aura lieu de vérifier par une étude spécifique (modélisation aux éléments finis), et expérimentalement (voir Annexe B), que les critères de flèches, contraintes et rayons de courbure spécifiés au paragraphe 3.2.1.4 sont bien respectés.

A1. Notations

Symbole	Définition	Unité
a et b	distances entre appuis	m
e	épaisseur nominale de fabrication des vitrages monolithiques	mm
e_{eq}	épaisseur équivalente des vitrages feuilletés	mm
e_1 et e_2	épaisseur nominale de fabrication de chaque composant d'un vitrage feuilleté ou d'un vitrage isolant	mm
E	module d'élasticité du verre = $7 \cdot 10^{10}$	Pa
ν	coefficient de Poisson = 0,20	
q_s	charge uniformément répartie à l'État Limite de Service	Pa
q_u	charge uniformément répartie à l'État Limite Ultime	Pa
α	coefficient de flèche	
β	coefficient de contrainte	
δ	coefficient de moment	
γ	coefficient de rayon de courbure	
f_a	flèche maximale sur la portée « a »	mm
f_b	flèche maximale sur la portée « b »	mm
f_c	flèche maximale en partie courante de vitrage	mm
σ_a	contrainte maximale sur la portée « a »	MPa
σ_b	contrainte maximale sur la portée « b »	MPa
σ_c	contrainte maximale en partie courante de vitrage	MPa
M	moment de flexion sur appui	N.m/m
R	rayon de courbure aux appuis	m
D	rigidité du vitrage	N.m
I	module d'inertie	mm ⁴

A2. Cas de vitrages comportant 1 à 4 appuis et pouvant comporter 1 ou 2 bords maintenus en feuillure

La méthode de calcul précisée ci-après ne vaut que si :

- les rotations aux appuis sont dans la limite de l'amplitude de rotation permise par le système ;
- la distance entre l'axe des fixations et le bord des vitrages n'excède pas 10 % de la plus grande distance entre fixations successives.
- Pour un vitrage monolithique, l'épaisseur de calcul sera prise égale à l'épaisseur nominale de fabrication.
- Pour les vitrages feuilletés de sécurité, l'épaisseur équivalente de calcul est déterminée en utilisant les formules ci-après :
 - Cas des parois avec toutes combinaisons de charges sauf poids propre seul :

$$e_{eq1} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3 + 0,2 (e_1 + e_2)^3}^*$$

$$\text{si } e_1 = e_2 \text{ alors } e_{eq1} = 0,766(2e_1) = 1,53 e_1$$

- Cas des parois avec charge uniquement de poids propre :

$$e_{eq2} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3}$$

$$\text{si } e_1 = e_2 \text{ alors } e_{eq2} = 0,630 (2e_1) = 1,26e_1$$

- Pour les vitrages isolants, l'épaisseur équivalente de calcul est déterminée en utilisant la formule ci-après (la rigidité du scellement n'est pas prise en compte) :

$$e_{eq3} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3} \text{ avec } e_1 \text{ et } e_2 \text{ qui sont soit les épaisseurs nominales soit les épaisseurs équivalentes pour les verres feuilletés.}$$

Les flèches et les contraintes sont déterminées à partir des formules données dans le *Tableau T1*, page 23.

Commentaire

Les valeurs des coefficients données dans les Tableaux T2, T3, T4 ci-après sont issues des tables de BARES en tenant compte du coefficient de poisson, $\nu = 0,20$ et du module d'Young, $E = 7 \cdot 10^{10}$ Pa.

* Le coefficient 0,2 a été établi à partir d'intercalaire PVB et son application à d'autres films intercalaires doit être vérifiée.

Tableau T1 - Formules des flèches et des contraintes

	Vitrage monolithique	Vitrage feuilleté en façade $e_{eq} = e_{eq1}$	Vitrage feuilleté en verrière ($e_{eq} = e_{eq2}$) ou Vitrage isolant ($e_{eq} = e_{eq3}$)
Flèche	$f = \alpha \times q_s \frac{a^4}{e^3}$	$f = \alpha \times q_s \frac{a^4}{e_{eq}^3}$	$f = \alpha \times q_s \frac{a^4}{e_{eq}^3}$
Contrainte	$\sigma = \beta \times q_u \frac{a^2}{e^2}$	$\sigma_1 = \beta \times q_u \times a^2 \frac{e_1}{e_{eq}^3} \left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 \times e_1^2} \right)$ $\sigma_2 = \beta \times q_u \times a^2 \frac{e_2}{e_{eq}^3} \left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 \times e_2^2} \right)$ <p>Si $e_1 = e_2$, alors</p> $\sigma_1 = \sigma_2 = 1,41 \beta q_u \frac{a^2}{(2e_1)^2} = \frac{\beta q_u \cdot a^2}{(1,69 e_1)^2}$ $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,83 \sigma_{eq}$	$\sigma_1 = \beta \times q_u \frac{a^2}{e_{eq}^2} \left(\frac{e_1}{e_{eq}} \right)$ $\sigma_2 = \beta \times q_u \frac{a^2}{e_{eq}^2} \left(\frac{e_2}{e_{eq}} \right)$ <p>Si $e_1 = e_2$, alors</p> $\sigma_1 = \sigma_2 = 2 \beta q_u \frac{a^2}{(2e_1)^2} =$ $\frac{\beta q_u \cdot a^2}{(1,41 e_1)^2}$ $\sigma_1 = \sigma_2 = 2^{-(1/3)} \sigma_{eq} = 0,79 \sigma_{eq}$
Rotation sur appui	$\theta_a = \arctan \left(\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot f_a}{a} \right) \quad \theta_b = \arctan \left(\frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot f_b}{b} \right)$		
Les valeurs de α et β sont données dans les tableaux ci-après.			

- Plaque uniformément chargée sur 4 appuis ponctuels¹

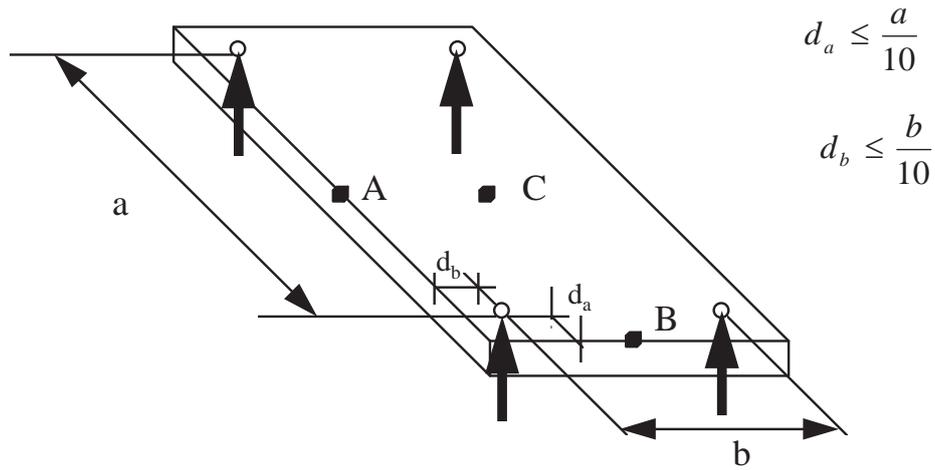
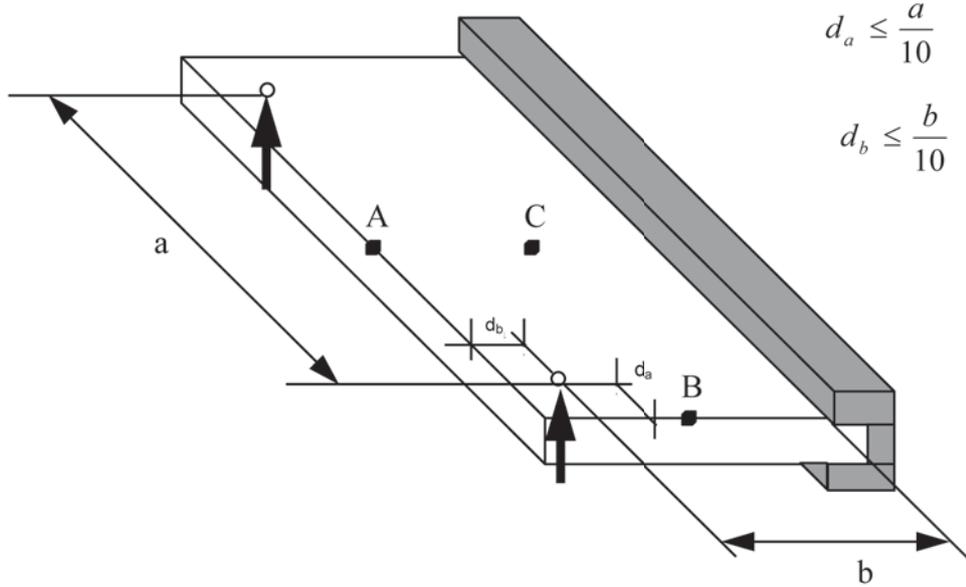


Tableau T2 – Valeurs de α et β

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	α pour f_a	α pour f_b	α pour f_c	β pour σ_a	β pour σ_b	β pour σ_c
0,10	2,172	0,014	2,175	0,754	0,072	0,750
0,20	2,178	0,042	2,182	0,758	0,144	0,750
0,30	2,188	0,083	2,194	0,764	0,222	0,750
0,40	2,201	0,167	2,218	0,771	0,300	0,750
0,50	2,221	0,286	2,268	0,780	0,393	0,751
0,55	2,253	0,396	2,363	0,793	0,438	0,755
0,60	2,300	0,507	2,458	0,807	0,486	0,759
0,65	2,347	0,650	2,569	0,821	0,536	0,764
0,70	2,394	0,825	2,713	0,837	0,587	0,768
0,75	2,458	1,047	2,903	0,855	0,641	0,773
0,80	2,522	1,300	3,125	0,875	0,699	0,777
0,85	2,585	1,601	3,394	0,896	0,759	0,780
0,90	2,649	1,935	3,696	0,919	0,824	0,780
0,95	2,713	2,332	4,044	0,941	0,890	0,781
1,00	2,775	2,775	4,472	0,962	0,962	0,782

1. Une fixation par rotule est assimilée à un appui ponctuel.

- Plaque uniformément chargée sur 2 appuis ponctuels² et 1 appui libre en feuillure



$$d_a \leq \frac{a}{10}$$

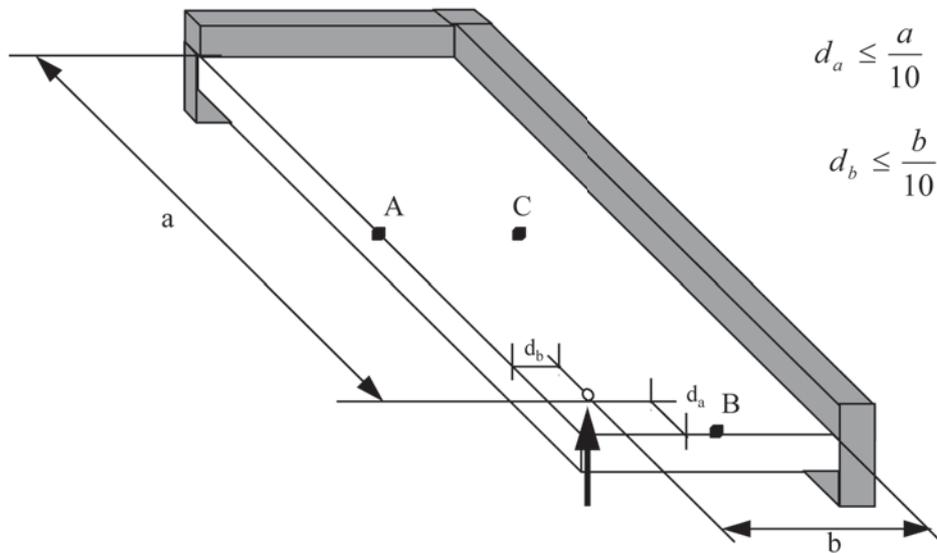
$$d_b \leq \frac{b}{10}$$

Tableau T3 – Valeurs de α et β

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	α pour f_a	α pour f_b	α pour f_c	β pour σ_a	β pour σ_b	β pour σ_c
0,5	0,904	0,159	0,571	0,310	0,231	0,203
0,6	1,185	0,331	0,845	0,402	0,326	0,285
0,7	1,452	0,708	1,181	0,493	0,433	0,381
0,8	1,614	0,995	1,634	0,585	0,554	0,492
0,9	1,685	1,569	2,267	0,673	0,689	0,617
1,0	2,220	2,363	3,061	0,768	0,836	0,759
1,1	2,448	3,395	4,104	0,845	0,996	0,917
1,2	2,682	4,716	5,453	0,923	1,191	1,090
1,3	2,907	6,406	7,129	1,000	1,357	1,278
1,4	3,127	8,548	9,189	1,078	1,558	1,478
1,5	3,382	11,189	11,76	1,157	1,773	1,694
1,6	3,357	14,35	14,87	1,236	2,004	1,925
1,7	3,900	18,12	18,62	1,315	2,251	2,170
1,8	4,136	22,66	23,18	1,393	2,508	2,430
1,9	4,404	28,01	28,54	1,473	2,780	2,704
2,0	4,560	34,26	34,78	1,544	3,068	2,996

2. Une fixation par rotule est assimilée à un appui ponctuel.

- Plaque uniformément chargée sur 1 appui ponctuel³ et 2 appuis libres en feuillure



$$d_a \leq \frac{a}{10}$$

$$d_b \leq \frac{b}{10}$$

Tableau T4 – Valeurs de α et β

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	α pour f_a	α pour f_b	α pour f_c	β pour σ_a	β pour σ_b	β pour σ_c
0,5	0,888	0,159	0,539	0,308	0,229	0,195
0,6	1,142	0,317	0,745	0,397	0,314	0,252
0,7	1,364	0,555	0,983	0,478	0,403	0,306
0,8	1,570	0,904	1,285	0,551	0,497	0,355
0,9	1,745	1,348	1,602	0,617	0,588	0,401
1,0	1,903	1,903	1,967	0,677	0,677	0,444
1,1	2,049	2,588	2,366	0,722	0,753	0,482
1,2	2,154	3,370	2,868	0,758	0,829	0,515
1,3	2,234	4,348	3,384	0,790	0,894	0,546
1,4	2,292	5,367	3,912	0,815	0,958	0,575
1,5	2,320	6,524	4,467	0,838	1,018	0,602
1,6	2,374	7,835	5,075	0,858	1,072	0,629
1,7	2,415	9,254	6,014	0,876	1,122	0,653
1,8	2,454	10,782	6,873	0,891	1,165	0,676
1,9	2,497	12,475	7,573	0,903	1,202	0,696
2,0	2,538	14,211	8,628	0,914	1,231	0,715

3. Une fixation par rotule est assimilée à un appui ponctuel.

A3. Cas des vitrages comportant 6⁽⁴⁾ appuis articulés

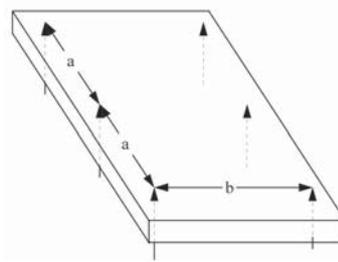
La méthode de calcul précisée ci-après ne vaut que :

- pour les vitrages monolithiques (pour les vitrages isolants ou feuilletés, une décomposition peut être effectuée en tenant compte des hypothèses énoncées au paragraphe A2) ;
- si les portées de part et d'autre de l'appui intermédiaire ont même valeur (dans le cas d'un vitrage dissymétrique avec $a_1 > a_2$ et à condition que $a_2 / a_1 \geq 1/2$ le calcul peut être réalisé avec un vitrage symétrique fictif reprenant la plus grande portée, $a = a_1$) ;
- si la distance entre l'axe des fixations et le bord des vitrages n'excède pas 10 % de la plus grande distance entre fixations successives.

Flèche $f = \alpha \times q_s \times \frac{a^4}{e^3}$

Moment sur appuis $M = \frac{1}{6} \delta \times q_u \times a^2$

Rayon de courbure $R = \gamma \frac{e^3}{q_u a^2}$



Les relations entre les formules sont les suivantes:

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{D} \text{ et } D = \frac{E \times e^3}{12 (1 - \nu^2)} \cdot 10^{-9} = \frac{\delta \cdot \gamma \cdot e^3}{6}$$

Les valeurs de α , β et γ sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau T5 – Valeur de α , δ et γ

b/a	f sur les côtés		f maxi	M sur appuis	R sur appuis
	α pour f_a	α pour f_b	α pour f_m	δ	γ
0,3	0,938	0,063	0,938	0,990	38,2
0,4	0,980	0,188	0,980	1,140	33,2
0,5	1,020	0,313	1,063	1,290	29,3
0,6	1,063	0,563	1,188	1,470	25,7
0,7	1,125	0,875	1,438	1,635	23,1
0,8	1,188	1,313	1,813	1,815	20,8
0,9	1,250	1,938	2,313	1,980	19,1
1,0	1,313	2,688	3,063	2,160	17,5
1,1	1,375	3,750	4,063	2,325	16,3
1,2	1,438	5,125	5,313	2,505	15,5
1,3	1,438	6,813	6,938	2,670	14,2
1,4	1,438	8,875	9,063	2,835	13,3
1,5	1,438	11,438	11,688	3,000	12,6

4. À défaut d'autres méthodes de dimensionnement, ce calcul simplifié permet de dimensionner les vitrages avec 8 points à portées symétriques (4 points le long de 2 bords opposés).

A4. Cas des vitrages comportant 4 appuis encastrés

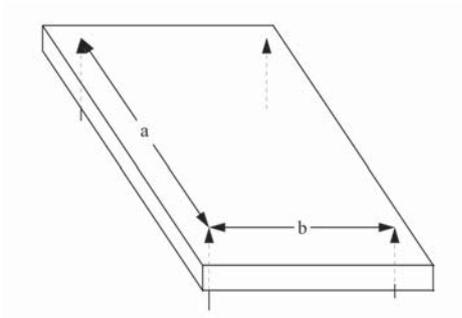
La méthode de calcul précisée ci-après ne vaut que :

- pour des vitrages monolithiques (pour les vitrages isolants ou feuilletés, une décomposition peut être effectuée en tenant compte des hypothèses énoncées au paragraphe A2) ;
- si la distance entre l'axe des fixations et le bord des vitrages n'excède pas 10 % de la plus grande distance entre fixations successives.

Flèche $f = \alpha \times q_s \times \frac{a^4}{e^3}$

Moment sur appuis $M = \frac{1}{6} \delta \times q_u \times a^2$

Rayon de courbure $R = \gamma \frac{e^3}{q_u a^2}$



Les valeurs de α , δ et γ sont données dans le *Tableau T6*.

Tableau T6 – Valeurs de α , δ et γ

b/a	f sur les côtés		f maxi	M sur appuis	R sur appuis
	α pour f_a	A pour f_b	α pour f_m	δ	γ
0,1	0,500	0,000	0,500	1,05	36,0
0,2	0,625	0,000	0,625	1,50	25,2
0,3	0,700	0,000	0,700	1,95	19,4
0,4	0,780	0,000	0,780	2,40	15,7
0,5	0,875	0,013	0,875	2,70	14,0
0,6	0,938	0,081	1,000	3,15	12,0
0,7	1,000	0,188	1,125	3,75	10,0
0,8	1,040	0,438	1,375	4,35	8,7
0,9	1,080	0,750	1,625	5,10	7,4
1,0	1,125	1,125	2,000	5,85	6,4

ANNEXE B

Justifications expérimentales

La liste des essais spécifiques aux systèmes VEA à effectuer est précisée ci-après :

Exigence		N°	Type d'essais	Vitrage simple	Vitrage isolant
Sécurité	Résistance aux charges climatiques et au poids propre	B1	Essai de détermination des déformations et de vérification de la résistance des vitrages sous charges climatiques et poids propre	X	X
		B2	Détermination des rayons de courbure admissible	X	X
	Résistance aux effets du poids propre	B3	Essai de vérification de la résistance des vitrages sous les effets des moments de flexion induits par les fixations	X	X
		B4	Essai de choc	X	X
	Résistance aux chocs	B5	Essai de comportement des vitrages feuilletés avec rupture provoquée d'un composant verrier	X	—
		B6	Essai de résistance des attaches	X	X
		B7	Essai de résistance des fixations ponctuelles	X	X
Durabilité	Limitation du risque d'embuage	B8	Essais d'appréciation de la résistance à la pénétration de l'humidité	—	X
Aptitude à l'emploi	Étanchéité des fixations	B9	Essai d'étanchéité à l'eau des fixations	X	X

B1. Essais de détermination des déformations et de vérification de la résistance des vitrages sous charges climatiques et poids propre

Ces essais sont à effectuer avec les objectifs ci-après :

- Pour les vitrages simples, monolithiques ou feuilletés et les vitrages isolants, en vue de vérifier que la conception du système de fixation permet l'utilisation des modèles de calcul proposés en *Annexe A*.
- Pour vérifier et valider, par sondage, la méthode de dimensionnement établie par le demandeur.
- Pour procéder à une vérification ponctuelle pour des applications particulières (forme, composition, position des fixations, etc.).

Selon les cas, le laboratoire et le demandeur déterminent le nombre de vitrages à essayer, leur format, leur composition.

B1.1 Définition du corps d'épreuve

Le vitrage à essayer, muni de ses fixations, est mis en œuvre dans un cadre rigide¹ comportant des dispositifs d'appui, platines ou goussets, percés de trous équivalents à ceux prévus dans le système pour le passage des fixations ou propres à recevoir les pattes d'attache du système.

1. Une solution consiste à utiliser des profilés en forme de U de largeur minimale 300 mm soudés en angles.

Un jeu de 10 mm environ doit être réservé à la périphérie entre vitrage et cadre. Ce jeu est partiellement obturé pour limiter le débit de fuite en vue d'obtenir les niveaux de pression requis et de laisser au vitrage toute liberté de déformation.

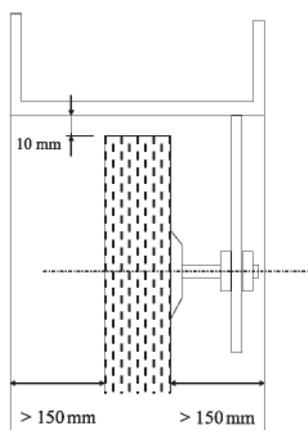
Le demandeur devra fournir une fiche de contrôle du niveau de trempe.

Le cadre et les dispositifs d'appui doivent permettre de positionner le vitrage dans le plan moyen du cadre et de maintenir le vitrage dans son état de plus grande déformation à l'intérieur de l'enveloppe du cadre.

La maquette d'essai est équipée de comparateurs ou capteurs de déplacement, avec une précision de mesure de 0,3 mm, disposés aux emplacements ci-après (tenant compte des symétries du corps d'épreuve) :

- au droit des fixations ;
- à mi-distance entre deux fixations consécutives sur chaque bord et entre fixations intermédiaires éventuelles ;
- au centre géométrique entre fixations, ou au point supposé être le plus déformé.

En tant que de besoin, dans le cas « c » précédemment défini, en tout endroit susceptible de présenter des déformations particulières dont la connaissance est utile à l'appréciation du comportement du vitrage.



Exemple de positionnement du VEA

B1.2 Modalité des essais

Les vitrages sont soumis aux séquences d'essais ci-après :

1. Mesure des déplacements aux points ci-avant précisés, par palier généralement de 100 Pa jusqu'à la pression ou à la dépression à l'état limite de service.
2. Application de pression et dépression statiques correspondant à l'état limite ultime : maintien en pression de 3 secondes minimum.

Applications de pressions et dépressions dynamiques (rafales) à l'état limite ultime et répétées 20 fois ; durée de montée en pression inférieure à 2 secondes et maintien en pression de 3 secondes minimum et vérification de l'absence de rupture.

3. Vérification de l'absence de toute rupture du vitrage, au-delà de l'état limite ultime par application de charges en pression et dépression correspondant à au moins deux fois les charges à l'ELU et éventuellement jusqu'à la ruine.

B1.3 Critères

- Aux charges correspondant à l'ELS, les flèches mesurées doivent respecter les critères définis au *paragraphe 3.2.1.4*.
- Pas de rupture du vitrage après application des phases 2 et 3.

B1.4 Expression des résultats

On indiquera :

- les valeurs de déplacements mesurés en chaque point, pour chaque palier de pression et après suppression des charges ;
- les valeurs des flèches entre fixations, calculées à partir des relevés précédents, jusqu'à l'ELS, et le respect des critères de déformations ;
- les résultats des différentes phases d'essais à l'ELU et à 2 fois l'ELU et le respect des critères ;
- la charge de ruine, éventuellement ;
- toute dégradation constatée en cours ou après essai.

B2 Essais de détermination des rayons de courbure admissibles

Cet essai a pour objectif de déterminer, sur un échantillonnage suffisant, le rayon de courbure admissible au voisinage d'un percement dans le verre destiné au passage d'une fixation intermédiaire articulée ou de toute fixation traversante de type encastré.

B2.1 Définition des corps d'épreuve

Pour chaque épaisseur de produit verrier, chaque diamètre et géométrie de trous (trous cylindriques et trous fraisés) et chaque type de traitement thermique, on fournira au laboratoire :

- 12 échantillons dans le cas de trous cylindriques ;
- 22 échantillons dans le cas de trous fraisés.

Le traitement thermique des échantillons doit correspondre aux spécifications minimales du fabricant.

Chaque échantillon a pour dimensions environ 20 x 80 cm avec bords façonnés JPI, le percement étant situé au centre de la plaque et équipé d'une fixation traversante avec ses garnitures et serrée au couple prévu par le demandeur.

On précisera pour chaque échantillon :

- la contrainte de compression superficielle indiquée par le demandeur ;
- la contrainte de compression superficielle mesurée par le laboratoire ;
- les dimensions (longueur, largeur, épaisseur) exactes des échantillons, le(s) diamètre(s) des percements, leur position par rapport aux bords.

B2.2 Modalité des essais

Avant essai les échantillons sont conditionnés pendant 24 heures \pm 4 heures dans une pièce à $T = 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ et à $HR = 50 \% \pm 5 \%$.

Les essais sont réalisés dans une pièce conditionnée à $T = 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ et à $HR = 50 \% \pm 5 \%$.

Chaque échantillon est soumis à une flexion avec charge concentrée sur la fixation traversante. La distance L entre appuis est de 600 mm sur toute la largeur de la plaque.

La charge est appliquée à la vitesse de 5 mm/min.

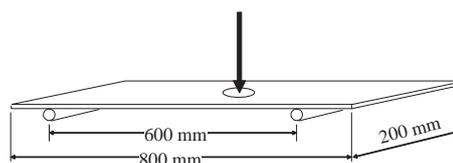


Schéma du dispositif

Optionnellement, des capteurs situés aux appuis et aux environs du centre peuvent permettre la mesure des déplacements du vitrage.

- Cas des vitrages monolithiques

Pour les plaques avec percement non cylindrique, l'essai est réalisé dans les deux sens.

- Cas des vitrages isolants et des vitrages feuilletés

On teste isolément chaque composant du vitrage isolant ou feuilleté.

L'essai est réalisé dans les deux sens, sauf en cas de symétrie parfaite (percement cylindrique, même épaisseur et même composition des deux vitrages).

B2.3 Expression des résultats

On fournira :

- le graphe charge-déformation (optionnel) ;
- la charge de rupture de chaque échantillon (F_{rup}) ;
- la force à rupture caractéristique F_K , calculée à partir de la force moyenne F_{moy} et de l'écart type t selon la formule : $F_K = F_{moy} - 2,1t$;
- le rayon de courbure caractéristique R_K (en mm) est calculé à partir de la formule suivante :

$R_K = EI / M = Ebe^3 / 3F_K L$	
Avec :	
- E, module d'élasticité du verre	E = 70 kN/mm ²
- L, portée	L = 600 mm
- b, largeur des éprouvettes	b = 200 mm
- e, épaisseur nominale	
- F_K , force à rupture en kN	
D'où $R_K = 7,8e^3 / F_K$	

- le rayon de courbure minimal admissible à l'ELU en façade. Il correspond au rayon de courbure caractéristique R_K et multiplié par 2, soit : $R_{fac} = 2R_K$;
- le rayon de courbure minimal admissible à l'ELU en verrière.

Ce rayon est obtenu en multipliant R_{fac} par le coefficient K établi au *Tableau 12* : $R_{ver} = K \cdot R_{fac}$.

Commentaire

Dans le cas où le nombre d'éprouvettes serait différent de 10, le coefficient multiplicateur de l'écart type peut être déterminé avec la norme Pr NF ISO 16269-6 en considérant un intervalle contenant (avec un niveau de confiance de 75 %) au moins 95 % des éprouvettes (voir *Tableau 1* à l'Annexe B6).

La valeur du rayon de courbure limite du vitrage feuilleté ou isolant assemblé sera donnée par les formules suivantes :

- Vitrage feuilleté $\epsilon = 0$; $R = \text{Max} (R_1, R_2, \dots)$
- Vitrage feuilleté $\epsilon = 0,2$; $R = \text{Max} (R_1 e_{eq} / e_1, R_2 e_{eq} / e_2, \dots)$
- Vitrage isolant ; $R = \text{Max} (R_1, R_2, \dots)$

Nota : les rayons de courbure sur vitrage émaillé peuvent être obtenus à partir des essais réalisés sur vitrage clair en appliquant le coefficient K' suivant :

	K' (façade)	K' (verrière)
Trempé → trempé émaillé	$\sigma_{trempé} / \sigma_{trempé\ émaillé}$ = 65/40 = 1,625	$K' \times K$ = 1,625 x 1,6 = 2,6
Durci → durci émaillé	$\sigma_{durci} / \sigma_{durci\ émaillé}$ = 40/25 = 1,6	$K' \times K$ = 1,6 x 2,5 = 4
- Les contraintes du trempé, trempé émaillé, durci et durci émaillé sont issues du <i>Tableau 12</i> . - Le coefficient K est issu du <i>Tableau 12</i> .		

B.3 Essais de vérification de la résistance des vitrages sous les effets des moments de flexion induits par les fixations

Cet essai a pour objectif de vérifier la limitation des moments induits dans les vitrages lorsque le système de fixation comporte une articulation excentrée par rapport au plan moyen des vitrages (centre de gravité).

B3.1 Définition du corps d'épreuve

Les essais sont réalisés sur des éléments verriers de dimensions 500 x 500 mm comportant sur deux angles et le long d'un même côté, deux fixations situées à la distance minimale des chants prévue par le procédé.

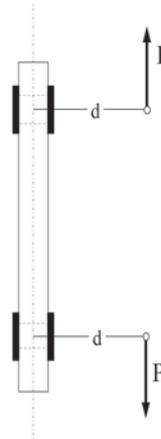
Dix éprouvettes par type de fixation et pour les épaisseurs minimales et maximales de vitrage seront soumises aux essais.

L'essai est réalisé à une température de $T = 23 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$.

B3.2 Modalité des essais

Des essais de traction sont réalisés par l'intermédiaire des fixations prévues dans le système, en appliquant, sur chacune d'entre elles, la charge P jusqu'à rupture avec une vitesse de 25 daN/min.

Pour le bon déroulement des essais, on prendra la longueur « d » maximale et la section minimale de la tige de fixation.



B3.3 Expression des résultats

On indiquera les valeurs de déformations au cours du chargement et la charge de ruine P en fonction de la distance « d ». Le moment de flexion induit dans le vitrage est donné par la formule :

$$\overline{M} = P \times d$$

Le moment maximal admissible sous charge non pondérée correspond à la valeur moyenne diminuée de 2,1 fois l'écart type et divisé par 2,70 (2 x 1,35).

$$M_{\max,ELS} = \frac{\overline{M} - 2,1t}{2,70}$$

Commentaires

① Soient d et d' les distances maximales et minimales permises par le système entre l'attache et le plan comportant le centre de gravité du vitrage (longueur de la tige de la fixation).

Les dimensions maximales du vitrage, déterminées à partir du critère de déformation et/ou critère de résistance, correspondent à un poids maximal de vitrage Q_{\max} (non pondéré) pour une épaisseur donnée.

Le moment calculé induit par cette charge devra rester inférieur au moment maximal admissible :

$$M_{cal} = \left(\frac{Q_{\max}}{2} \right) \cdot d_o \leq M_{\max,ELS} \text{ avec } d' \leq d_o \leq d$$

② La conception du système devra tenir compte du déplacement obtenu sous les charges à l'ELS.

B4 Essais de choc

B4.1 Définition du corps d'épreuve

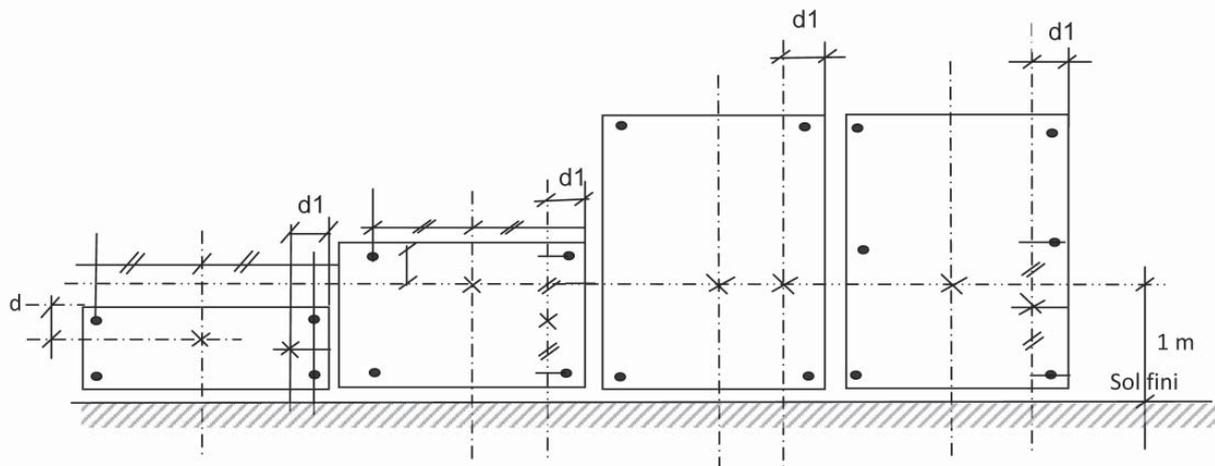
B4.1.1 Définition du corps d'épreuve

Il est déterminé au cas par cas par le demandeur.

B4.1.2 Modalités des essais

Les essais de chocs de sécurité sont réalisés sur les vitrages situés tout ou partiellement dans la zone de 0 à 1 m par rapport au sol fini conformément à la norme NF P08-301 et P08-302 avec les énergies et les emplacements suivants :

- M50 / 900 J :
 - à mi-largeur entre 2 fixations, à 1 m de hauteur du sol fini à moins qu'une rive horizontale se situe à moins de 25 cm du point d'impact, auquel cas le point d'impact est déplacé à 25 cm de la rive horizontale ;
 - dans le cas des vitrages dont la rive haute horizontale est située à moins de 1 m du sol fini, le choc est à réaliser à 25 cm de la rive haute horizontale. L'énergie de choc peut être réduite à 700 J, si le vitrage supérieur résiste à 900 J ;
 - et à 50 cm d'un bord latéral et à mi-distance entre fixations sans dépasser 1 m de hauteur.
- D1 / 10 J :
 - à mi-largeur entre 2 fixations et à 0,5 m de hauteur maximum ;
 - et à proximité des angles.



- X : Point d'impact pour choc M50/900 (choc M50/700J à condition que l'élément situé à 1,0 m de hauteur résiste à 900 J)
- : Fixation ponctuelle du vitrage
- d = 250 mm
- d1 = 500 mm.

Position des points d'impact

B4.1.2 Critères

Les critères de résistance sont satisfaits si :

- le vitrage n'est ni traversé, ni emporté ;
- le choc ne produit aucune chute de débris ou d'éléments dangereux.

B4.2 Cas des pans de verre inclinés

Les essais sont réalisés selon les modalités définies au cahier CSTB n° 3228.

B5 Essais de vérification du comportement des vitrages feuilletés VEA avec rupture provoquée d'un composant verrier

Ces essais ont pour objet de vérifier que la rupture provoquée d'un composant verrier ne provoque pas la rupture de l'autre composant.

Ces essais doivent être réalisés pour des vitrages répondant à au moins l'une des configurations suivantes :

- Vitrages dont la différence d'épaisseur entre les deux composants est de plus de 2 classes d'épaisseur (6.12 ; 8.15) ou de plus de 1 classe avec un verre de 19 mm (12.19 ; 10.19 ; ...).
- Vitrages dont les deux composants n'ont pas le même traitement thermique.
- Vitrages dont le couple de serrage de la fixation ponctuelle sur l'un des verres est supérieur à 20 N.m.

B5.1 Modalités des essais

Les vitrages doivent être montés dans des cadres d'essai restituant les conditions de mise en œuvre prévues.

Dans le cas de vitrages inclinés, l'essai pourra être réalisé à l'inclinaison prévue ou à l'horizontale.

La rupture du composant verrier le plus épais ou bien de celui comportant les trous fraisés est provoquée à l'aide d'un pointeau.

On observe le comportement du deuxième composant verrier (rupture ou non).

B5.2 Critères

Les essais sont considérés satisfaisants si la rupture provoquée d'un composant verrier ne provoque pas la rupture du deuxième composant.

B6 Essais de résistance des attaches

Ces essais sont à effectuer pour déterminer ou valider la résistance mécanique aux charges parallèles et perpendiculaires au plan du vitrage sur des attaches VEA.

B6.1 Définition des corps d'épreuve

Les attaches testées doivent être représentatives de la fabrication du fournisseur

Pour chaque sens de chargement, trois attaches au moins doivent être testées.

Le demandeur devra fournir au laboratoire :

- le plan détaillé et coté des attaches ;
- la ou les nuances des matériaux, composition chimique et caractéristiques mécaniques ;
- le ou les modes de fabrication.

B6.2 Modalités des essais

L'attache est disposée sur un support supposé indéformable.

La vitesse de mise en charge est de 1 mm/min.

Un capteur de déplacement est disposé au droit de la branche testée (cas du chargement parallèle au plan du vitrage, cf. Figure 1a) ou dans l'axe perpendiculaire des branches testées (cas du chargement perpendiculaire au plan du vitrage, cf. Figure 1b), afin de mesurer précisément les déplacements.

Dans le cas des essais avec les charges parallèles au vitrage, la force F pourra être appliquée avec une excentricité e d'environ 50 mm pour définir si nécessaire la résistance en torsion. Un capteur supplémentaire devra être disposé pour mesurer le déplacement horizontal au droit de l'axe d'excentricité.

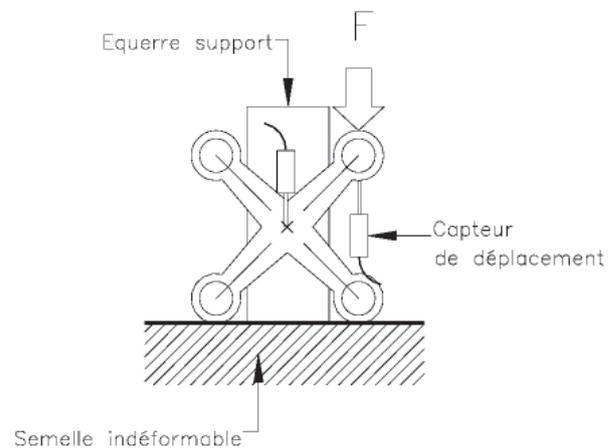


Figure 1a – Exemple de chargement parallèle¹ au plan du vitrage sur l'échantillon à 4 branches disposé verticalement

(1) Si nécessaire, un deuxième capteur est disposé à l'axe de l'attache afin de déduire les déplacements de l'axe de ceux de la branche testée.

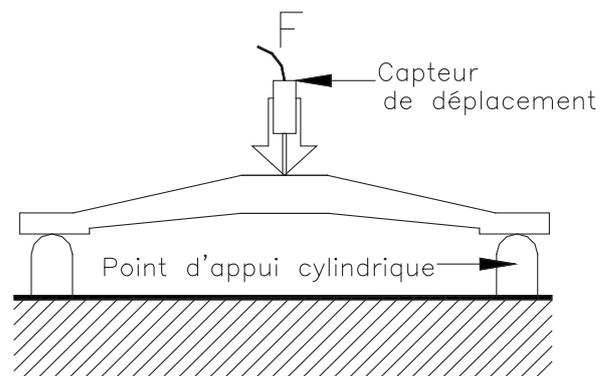
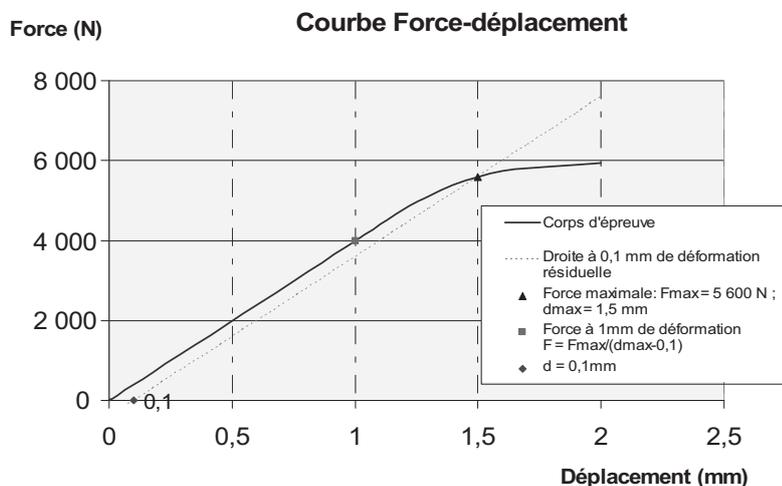


Figure 1b – Exemple de chargement perpendiculaire² au plan du vitrage sur l'échantillon disposé horizontalement

(2) L'effort F s'exerçant sur deux branches de l'attache, l'effort admissible sur une branche est donc F/2.

Les essais permettent de déterminer pour chaque attache testée :

- la force et le déplacement dans un bras de l'attache correspondant à un déplacement résiduel de 0,1 mm ;
- la force dans un bras de l'attache correspondant à un déplacement de 1 mm ou à des déplacements autres si le système l'autorise.



B6.3 Expression des résultats

Pour chaque sens de chargement, il sera indiqué :

- la force et le déplacement pour un déplacement résiduel de 0,1 mm et la force à 1 mm de déplacement ou au déplacement autorisé par le système ;
- les distances entre appuis et les points d'application des forces ;
- la moyenne de ces forces ;
- l'incertitude élargie sur les forces.

À défaut, il sera calculé l'écart type s multiplié par un coefficient k déterminé avec la norme NF ISO 16269-6 en considérant un intervalle contenant (avec un niveau de confiance de 75 %) au moins 95 % des éprouvettes (voir tableau ci-après).

Tableau 1 – Valeur de k en fonction du nombre d'éprouvettes (voir NF ISO 16269-6)

Nombre d'éprouvettes	3	5	6	7	8	9	10	15	30	∞
k	3,15	2,46	2,34	2,25	2,19	2,14	2,10	1,99	1,87	1,64

Exemple de tableau de résultats

Essai	Effort F pour un déplacement résiduel de 0,1 mm	Déplacement à l'effort F	Effort F1* pour un déplacement de 1 mm
1			
2			
3			
Moyenne : m			
Incertitude élargie : e			
(m-e) ou (m-ks)			
(*) F1 = F/(d - 0,1) si d > 1 mm F1 = F si d ≤ 1 mm			

B7 Essais de résistance des fixations ponctuelles

Ces essais sont à effectuer pour déterminer ou valider la résistance mécanique aux charges de traction, de compression ou de flexion dans les fixations ponctuelles.

B7.1 Définition des corps d'épreuves

Les fixations ponctuelles testées doivent être représentatives de la fabrication du fournisseur.

Trois fixations ponctuelles au moins doivent être testées.

Les corps d'épreuve devront être identifiés par :

- le plan détaillé et coté des fixations ponctuelles,
- la ou les nuances des matériaux, composition chimique et caractéristiques mécaniques,
- le ou les modes de fabrication.

B7.2 Modalités des essais

La tête ou la queue de la fixation est fixée sur une platine en acier et solidarisée au bâti de la machine d'essai.

La courbe force-déplacement est relevée.

B7.3 Expression des résultats

Pour chaque sens de chargement, il sera indiqué :

- La force et le déplacement pour un déplacement résiduel de 0.1 mm et la force à 1 mm de déplacement ou au déplacement autorisé par le système,
- la force maximale atteinte (option),
- la moyenne de ces forces.

L'incertitude élargie sur les résultats (ou à défaut k fois l'écart type défini au *Tableau 1* de l'*Annexe B6*).

B8 Essais de résistances à la pénétration de l'humidité sur éprouvettes de vitrages isolants avec une fixation ponctuelle

Ces essais sont destinés à valider le système de scellement périphérique et le scellement au niveau de la fixation.

B8.1 Définition des corps d'épreuve

Les éprouvettes sont constituées de neuf vitrages avec un trou au centre équipé de sa fixation ponctuelle, comportant le même système de scellement périphérique que celui retenu dans le système VEA. Les épaisseurs de vitrage devront correspondre aux épaisseurs minimales prévues par le système. Les dimensions seront déterminées pour obtenir un effort dans le joint de scellement de l'ordre de 0,95 daN/cm (sans tenir compte de la fixation traversante).

- 2 éprouvettes pour mesure initiale (avec remplissage Argon)
- 3 éprouvettes vieilles pour mesure d'indice (avec remplissage Argon)
- 2 éprouvettes pour mesure d'indice à l'initial
- 2 éprouvettes témoins

B8.2 Modalités des essais

Les modalités des essais sont celles décrites dans la norme NF EN 1279-2 avec la dérogation suivante :

Le nombre de cycles de climat variable passe de 56 à 168.

Commentaires

- *Les 7 semaines en haute humidité ne sont pas modifiées.*
- *La mesure du point de rosée n'est pas modifiée.*
- *Les produits utilisés devront être réputés résistants aux UV et/ou être testés comme tels (voir paragraphe 2.1.3).*

Les essais réalisés selon l'ancienne norme française NF P 78-451 de juillet 1986 « Essais de résistance à la pénétration de l'humidité » sont recevables.

B8.3 Expression des résultats

La résistance à la pénétration de l'humidité sera définie par l'indice de pénétration de l'humidité dont les modalités de détermination sont précisées dans la norme NF EN 1279-2.

Dans le cas des remplissages Argon, il est requis d'avoir des taux initiaux supérieurs ou égaux à 85 % et après essais la moyenne du taux de remplissage résiduel doit être supérieure ou égale à 80 %, sans aucune valeur inférieure ou égale à 75 %.

Commentaire

Les mesures réalisées selon les normes NF P 78-456 d'avril 1986 et NF P 78-452 de juin 1982 sont recevables.

B9 Essais d'étanchéité à l'eau des fixations

B9.1 Définition des corps d'épreuve

L'essai est réalisé sur un vitrage comportant une fixation ponctuelle.

B9.2 Modalité des essais

Le vitrage est disposé horizontalement avec le côté extérieur de la fixation sur la face supérieure. À l'aide d'un dispositif adéquat, il est appliqué une colonne d'eau de 100 mm, à température ambiante, pendant 24 heures sur la fixation et son interface avec le vitrage.

B9.3 Expression des résultats

On notera les fuites, les infiltrations et les dégradations éventuelles observées à l'issue de l'essai.

SIÈGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA ANTIPOLIS