

# Commission chargée de formuler des Avis Techniques

---

Groupe spécialisé n° 2

Constructions  
façades et cloisons légères  
Composants de baie, vitrages

Groupe spécialisé n° 6

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

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

Ce document annule et remplace les cahiers du CSTB 2914, livraison 373 d'octobre 1996 et 3027, livraison 387 de mars 1998.



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

## SOMMAIRE

---

<b>1 Généralités</b> .....	5	5.6 Serrage des écrous .....	23
1.1 Objet.....	5	5.7 Positionnement des vitrages .....	23
1.2 Définition .....	5	5.8 Garnissage des joints .....	23
1.3 Domaine d'emploi .....	5	5.9 Entretien et maintenance .....	23
1.4 Terminologie .....	5	<b>Annexe 1 - Méthode de calcul des flèches, contraintes, rotations ou courbures, aux appuis des vitrages utilisant la technique VEA</b> .....	24
<b>2 Matériaux</b> .....	6	A1 Notations.....	24
2.1 Produits verriers.....	6	A2 Cas de vitrages comportant 1 à 4 appuis et pouvant comporter 1 ou 2 bords maintenus en feuillure.....	24
2.2 Fixations ponctuelles et attaches.....	7	A3 Cas des vitrages comportant 6 appuis articulés .....	29
2.3 Garnitures d'étanchéité .....	9	A4 Cas des vitrages comportant 4 appuis encastrés .....	30
<b>3 Conditions générales de conception</b> .....	9	<b>Annexe B - Justifications expérimentales</b> .....	31
3.1 Dispositions constructives .....	9	B1 Essais de détermination des déformations et de vérification de la résistance des vitrages sous charges climatiques et poids propre .....	31
3.2 Sécurité.....	13	B2 Essais de détermination des rayons de courbure admissibles.....	32
3.3 Dispositions relatives aux caractéristiques thermiques .....	19	B3 Essais de vérification de la résistance des vitrages sous les effets des moments de flexion induits par les fixations .....	33
3.4 Règles relatives à la durabilité.....	19	B4 Essais de choc .....	33
<b>4 Conditions générales de fabrication</b> .....	21	B5 Essais de vérification du comportement des vitrages feuilletés VEA avec rupture provoquée d'un composant verrier.....	34
4.1 Généralités .....	21	B6 Essais de résistance des attaches.....	34
4.2 Contrôles sur matières premières .....	21	B7 Essais de résistance des fixations ponctuelles.....	36
4.3 Contrôles en cours de fabrication / maîtrise du processus de fabrication .....	21	B8 Essais de résistances à la pénétration de l'humidité sur éprouvettes de vitrages isolants avec une fixation ponctuelle .....	36
4.4 Contrôles sur produits finis.....	21	B9 Essais d'étanchéité à l'eau des fixations.....	37
4.5 Transport – manutention - stockage.....	22		
4.6 Traitement des produits non conformes .....	22		
4.7 Marquage .....	22		
<b>5 Conditions générales de mise en œuvre</b> .....	23		
5.1 Respect des dispositions de conception.....	23		
5.2 Réception de l'ossature .....	23		
5.3 Stockage et manutention des vitrages.....	23		
5.4 Implantation des attaches .....	23		
5.5 Immobilisation des attaches .....	23		

## Membres du groupe d'élaboration du document

### Rédacteurs :

Melle **MORCANT**, CSTB  
MM. **COSSAVELLA**, CSTB  
**DELSAHUT**, CSTB  
**GALEA**, CSTB

### Membres :

Mme **COPPIS**, Macocco  
**CRIAUD**, Glaverbel  
**DURAND**, Socotec

MM. **AUBERT**, Expert  
**BRIDIER**, SNFA  
**CALLOCH**, VMT  
**CHAILLEUX**, Laubeuf  
**DE LA ROCHEFOUCAULD**, Vertal Sud Est  
**DOUARD**, FFPV  
**ERNEWEIN**, Saint Gobain  
**ESCAICH**, Consultant  
**FOUCAL**, Bureau Veritas  
**FROMENTIN**, Hydro Building System  
**GRELL**, Pilkington  
**HATT**, Permasteelisa  
**HENAULT**, Socotec  
**HEY René**, Sofabin  
**HEY Thierry**, Sofabin  
**JOURDAN**, SFJF  
**LECOUPANEC**, Norisko  
**LOPPIN**, SNFA  
**LOROTTE**, Batiplus  
**MAROZEAU**, Vertal Sud Est  
**MARTIN**, Norisko  
**MOOS**, Sadev  
**PHILIPPON**, Eiffel  
**POULICHET**, Bel Alu  
**SASSOT**, Consultant  
**SAVINEAU**, Solutia  
**SOULIE**, SECM  
**SZEZYGIEL**, Consultant  
**TISSOT**, SECM  
**VALEM**, LAUBEUF

# 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, ATEX (Appréciation technique d'expérimentation) et 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, ponctuel, traversant ou non.

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 sollicitations dynamiques (chocs) et de poids propre. D'une manière générale, ces dispositifs doivent permettre une certaine liberté de mouvement entre paroi vitrée et ossature (certains supportent le poids des produits verriers, d'autres non), afin d'éviter toute sollicitation excessive préjudiciable au vitrage.

### 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.

Bien que le présent document ne vise pas explicitement les portes, les vantaux ouvrants, les produits verriers constituant éléments d'ossature ou raidisseurs, les garde-corps, les dalles de plancher et 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, normes et réglementations spécifiques à ces ouvrages, et le cas échéant aux évaluations spécifiques.

A défaut d'autre document, 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  $\leq 1/100$  de la dimension considérée).*

D'une façon générale, les garnitures d'étanchéité entre 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), (§ 3.2.1.7), l'attention des maîtres d'ouvrage, des maîtres d'œuvre et des exploitants est attirée sur la pollution rapide (poussières, ...) des verrières à très faible pente ( $\leq 5^\circ$ ), nécessitant un entretien périodique plus fréquent (§ 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 § 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.
- *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, ...).
- *Attache* : élément de liaison entre la fixation ponctuelle et l'ossature (parfois appelé ferrure, croix, étoile, ...).
- *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

#### 2.1.1 Vitrages monolithiques

Peuvent être utilisés :

- la glace conforme 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, soit conformes à la norme NF EN 12150 et traité Heat Soak (HST) selon la norme XP P 78-280, soit conformes 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 § 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 14449.
- 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 ATEX.
- En l'absence de justification particulière, 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(\*) et ayant fait l'objet d'une évaluation spécifique pour l'utilisation en VEA (voir annexe B8).

Sauf cas particulier, l'indice de pénétration d'humidité devra être  $I \leq 0,1$ .

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

#### 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, est déconseillé dans la technique VEA. Les incertitudes relatives aux caractéristiques mécaniques de ces produits et aux reliefs de surface nécessitent de concevoir des dispositifs de fixation adaptés (flasques, pinces, ...).

### 2.1.4 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 décohesion 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 ci-dessous et des dispositions particulières doivent être prises le cas échéant pour assurer la sécurité des personnes en cas de bris (cf. Sécurité des usagers § 3.2.2.).

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).

\* Le référentiel applicable aux mastics de scellement pour une utilisation en VEA est le guide EOTA ETAG 002 dans l'attente de la finalisation du projet de norme EN 15434, ainsi que le référentiel SNJF VEC VI-VEC.

**Tableau 1 – Choix des composants verriers**

Type	Nature des composants		Paroi verticale	Paroi inclinée (²)	
Monolithique	Trempe		Oui (³)	Non	
	Durci Recuit		Non		
Feuilleté	Trempe /Trempe		Oui, si la fixation intéresse les 2 composants		
	Trempe /Durci Trempe/ Recuit (¹)		Oui, si la fixation intéresse au moins le composant durci ou recuit (¹)		
	Durci/Durci Durci/Recuit (¹) Recuit/Recuit (¹)		Oui	Oui	
Vitrage isolant double	<b>composant a</b>	<b>composant b</b>	Oui (³) si la fixation intéresse les 2 composants	Oui si le composant inférieur est feuilleté et si la fixation intéresse tous les constituants de ce feuilleté	
	Trempe	Trempe			
	Trempe	Durci			Oui (³) si durci feuilleté et si la fixation intéresse ce composant
	Trempe	Recuit (¹)			Oui (³) si recuit feuilleté et si la fixation intéresse ce composant
	Durci Durci Recuit (¹)	Durci Recuit (¹) Recuit (¹)	Oui si les 2 composants sont feuilletés (⁴)		

1. Dans le cas du verre recuit, la fixation ponctuelle est nécessairement non traversante 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. La possibilité d'avoir un seul composant feuilleté pourra être examinée au cas par cas, en tenant compte notamment de l'épaisseur du composant recuit, de la position des fixations ponctuelles, de la hauteur de chute, et de la nature des aires d'activité en pied de façade.

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 2 vitrages) si la relation suivante est respectée :

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

avec :

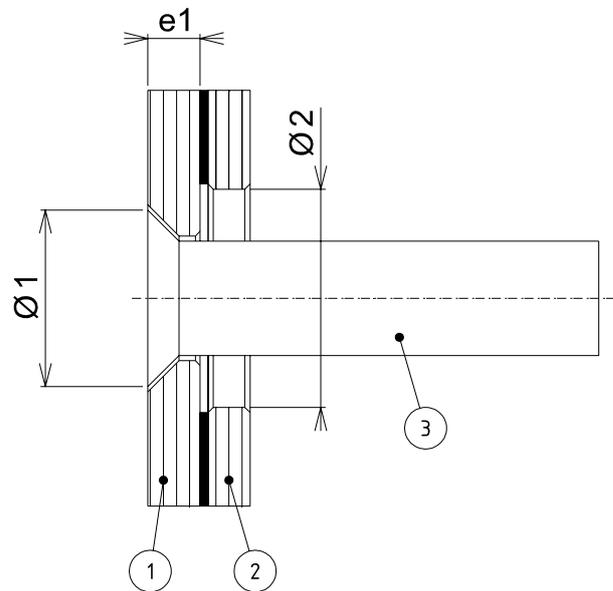
$\varnothing_1$  : diamètre extérieur en mm de la fixation ponctuelle

$\varnothing_2$  : diamètre du percement en mm du vitrage intérieur

$e_1$  : épaisseur en mm du vitrage extérieur

## 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, 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.).



- (1) : vitrage avec trou fraisé  
 (2) : vitrage avec trou cylindrique  
 (3) : fixation ponctuelle

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

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

- métalliques : alliage d'aluminium à l'état recuit (séries 1000 et 5000 pour la tôle, 6000 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 2000 et 7000, ...) 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 ci-après donne des exemples de nuance d'acier inoxydable utilisables.

**Tableau 2 - Exemples des nuances d'acier inoxydable utilisables**

Norme européenne EN 10088-3	Caractéristiques mécaniques	Résistance à la corrosion	Commentaires
<b>Aciers inoxydables martensitiques</b>			
1-4418 X4CrNiMo16-5-1	Rm 900/1150 M Pa Rp <sub>0,2</sub> = 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	Etat H900 Rm ≥ 1310 M Pa Rp <sub>0,2</sub> = 1170 MPa		Possibilité d'atteindre des très hautes résistances mécaniques par revenu.
<b>Aciers inoxydables austénitiques</b>			
1-4301 X5CrNi18-10	Rm 500/700 MPa Rp <sub>0,2</sub> ≥ 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 M Pa Rp <sub>0,2</sub> ≥ 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 <sub>0,2</sub> ≥ 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	
<b>Aciers inoxydables austéno-ferritiques</b>			
1-4539 X1NiCrMoCu25-20-5	Rm 530/730 MPa Rp <sub>0,2</sub> ≥ 230 MPa A % ≥ 35	Excellente résistance à la corrosion dans les milieux les plus agressifs	Recommandé dans des atmosphères polluées ou encore les piscines, centre de thalassothérapie, ouvrages exposés aux embruns. Soudabilité délicate.
1-4507 X2CrNiMoCuN25-6-3	Rm 700/900 MPa Rp <sub>0,2</sub> ≥ 500 MPa A % ≥ 25		
Rm = résistance à la traction Rp <sub>0,2</sub> = limite conventionnelle d'élasticité pour 0,2 % d'allongement rémanent A% = Allongement à rupture			

## 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 P 85-210 (DTU 44.1), bénéficiant du label SNJF 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 3.43 – Garniture d'étanchéité entre vitrages au chapitre relatif à la durabilité des matériaux).

### Commentaires

*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 « Vitrages Extérieurs Collés », Annexe A.*

En périphérie (pans de verre, angles bâtiments), elles 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 vitrage et gros-œuvre adjacent ou entre vitrages en 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 doit 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-, ...), 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 ventilation des joints de scellement.

## 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,...) et à l'accessibilité de l'ouvrage tant lors de la mise en œuvre initiale que pour les interventions ultérieures (maintenance, réparation, ...);
  - l'entreprise conceptrice de l'ouvrage VEA devra définir en particulier les déformations et mouvements admissibles tenant compte des tolérances de fabrication des composants et d'implantation de l'ossature ;
  - ces critères devront être pris en compte par l'entreprise en charge de la réalisation de l'ossature primaire.
- 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 dues au séisme, le cas échéant ;
    - sous charges climatiques (vent, neige, effet de la température) ;
    - tassement différentiel d'appui prévisible.

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

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. A 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...).
- Écart sur la position des percements entre eux (coaxialité pour les vitrages feuilletés ou isolants).
- Écart sur la position des percements par rapport aux bords de référence des vitrages.
- Voilement du vitrage (défaut de planéité).
- Défaut de rectitude des bords (intervient essentiellement du point de vue esthétique et pour le comportement de l'étanchéité entre vitrages).

### 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 co-planéité des surfaces d'appui.

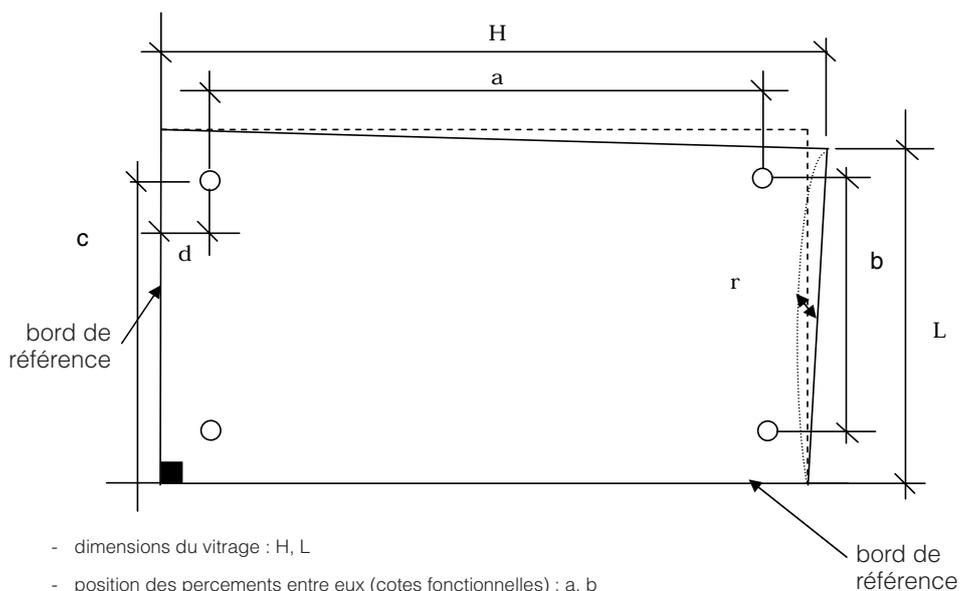
### 3.1.2.4 Tolérances d'implantation des attaches

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

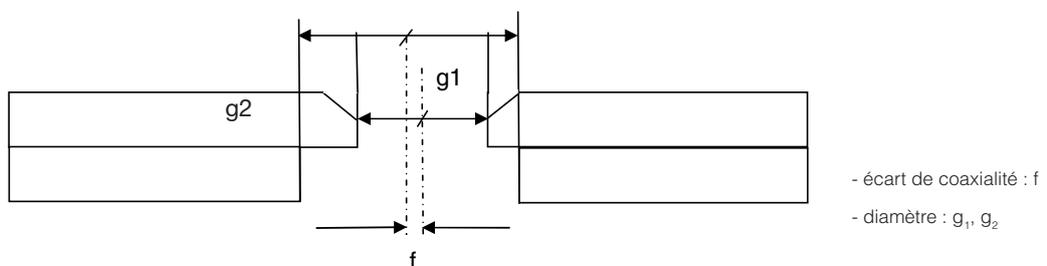
- positionnement d'entraxe ;
- positionnement angulaire.

### 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.



- dimensions du vitrage : H, L
- position des percements entre eux (cotes fonctionnelles) : a, b
- position des percements par rapports aux bords de références : c, d
- défaut de rectitude : r



- écart de coaxialité : f
- diamètre :  $g_1, g_2$

Figure 2 - Tolérances de fabrication sur le vitrage

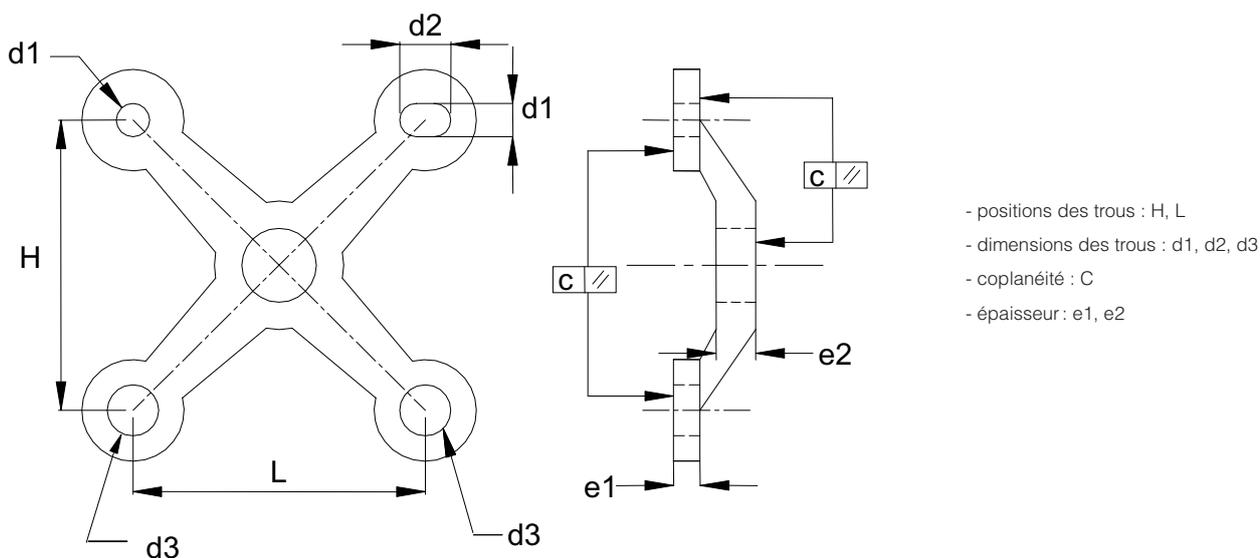


Figure 3 - Tolérances de fabrication des attaches

- Écart d'altimétrie.
- Écart dû aux déformations différées inhérentes aux ouvrages en béton (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 vitrages ;
- les déplacements différentiels des attaches.

Les vitrages sont soit supportés soit suspendus. Chaque vitrage est généralement maintenu par 2 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 grip-pages, arcs-boutements, coincements ou serrages non maîtrisés,...). Ceci 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

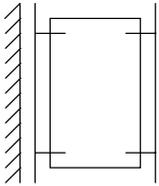
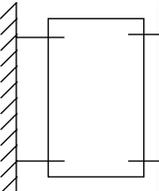
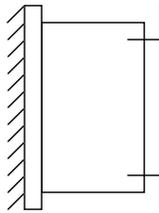
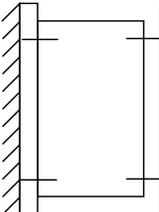
Bien que les portes et vantaux ne soient pas traités dans le présent document, l'attention est attirée sur le fait que leur éventuel assujettissement et leur manœuvre ne doivent pas générer de sollicitations sur les vitrages adjacents, de nature à provoquer des désordres, et ceux-ci devront donc être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

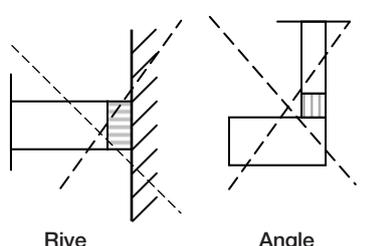
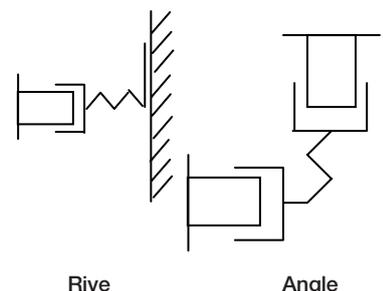
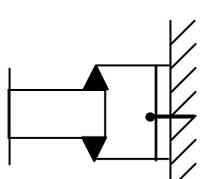
Du point de vue mécanique, les cas suivants sont à considérer :

**Tableau 3 - Traitement des rives**

	<b>Liaison mécanique des vitrages de rive</b>	<b>Conséquences</b>
	Maintien des fixations ponctuelles avec ossature identique en rive.	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.
	Maintien des fixations ponctuelles avec liaison sur le gros-œuvre adjacent.	Solution déconseillée. Le fonctionnement non homogène du pan de verre en liaison à 2 supports différents nécessite une étude particulière.
	Suppression des fixations ponctuelles. Prise en feuillure de la rive des vitrages.	La prise en feuillure permet de garantir l'étanchéité en rive. 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.
	Maintien des fixations ponctuelles. Prise en feuillure de la rive des vitrages.	Vérifier le fonctionnement mécanique d'ensemble.

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

**Tableau 4 - Etanchéité 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>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 § 3.3.3.2).
	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 notion de mise en œuvre (§ 5.), mais aussi à une notion d'entretien renforcée avec une fréquence d'autant plus importante que la verrière est à faible pente.

## 3.2 Sécurité

### 3.2.1 Stabilité et dimensionnement

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, ...) 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	2500 kg/m <sup>3</sup>	24,5 kN/m <sup>3</sup>
Aluminium	2700 kg/m <sup>3</sup>	26,5 kN/m <sup>3</sup>
Acier	7850 kg/m <sup>3</sup>	77,0 kN/m <sup>3</sup>

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 m<sup>2</sup>

e : épaisseur de verre en mm.

- Actions variables : dans la perspective de l'ENV 1991 EUROCODE 1, les valeurs caractéristiques des actions courantes sont indiquées dans le tableau 2.
- 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 chapitre 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 dilatations sont à prendre en compte avec une variation de  $\pm 50$  °C.

**Tableau 6 - Charge de neige et de vent**

Action variable considérée	Valeur caractéristique
Charge de neige : S	- Valeur selon la norme DTU NF P 06-006 (N 84) ou - Eurocode NEIGE (XP ENV 1991-2-3)
Charge de vent : W	- 1,2 fois l'action du vent normal (Vn) selon la norme DTU NF P 06-002 (NV 65), ou - l'action du vent caractéristique de l'EUROCODE VENT (XP ENV 1991-2-4)

Nota :

1. Le choix du référentiel doit être prévu dans les documents Particuliers du Marché (DPM).
2. L'action du vent normal est définie comme l'action résultante correspondant à la pression dynamique de base affectée des coefficients des Règles NV 65.
3. L'action du vent caractéristique de l'Eurocode est définie avec une période de retour de 25 ans (cf. DTU 33.1). Les valeurs caractéristiques de charges de vent définies pour une période de retour de 50 ans seront affectées d'un coefficient minorateur de 0,9, pour tenir compte du passage d'une période de retour de 50 à 25 ans.
4. Dans le cas d'essais en soufflerie à couche limite turbulente, les valeurs caractéristiques de charges de vent découlent des résultats d'essais affectés d'un coefficient minorateur de 0,9, pour tenir compte du passage d'une période de retour de 50 à 25 ans.
5. Le DTU 39 (NF P 78-201) n'est pas applicable pour définir les actions climatiques
6. En intérieur, la pression de vent (à défaut de calcul complet) pourra également être déterminée par la méthode simplifiée consistant à considérer que la pression intérieure est égale à 0,75 fois la pression sur la façade extérieure pour la hauteur considérée et sans pouvoir être inférieure à 300 Pa.

- A défaut de valeur plus précise, les coefficients de dilatations thermiques suivants peuvent être pris en compte.
  - verre :  $9 \cdot 10^{-6}$  par °C
  - alu :  $23 \cdot 10^{-6}$  par °C
  - acier :  $12 \cdot 10^{-6}$  par °C
  - acier inoxydable :  $18 \cdot 10^{-6}$  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, ...).
  - 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-après.

**Tableau 7 – Cas des parois verticales (inclinaison à moins de 5° par rapport à la verticale)**

	Combinaisons	Charges
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Vent	$q_s = W / k_o (*)$
Actions parallèle au plan du vitrage	Poids propre	$q_s = G$
(*) $k_o = 1,2$ si $W$ est déterminé avec le NV 65 : $W = 1,2 V_n$ d'où $q_s = V_n$ . $k_o = 1$ si $W$ est déterminé avec l'Eurocode.		

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

	Combinaisons	Charges
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Poids propre + neige	$q_s = (G + S \cos \alpha) \cdot \cos \alpha$
	Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_s = G \cos \alpha + W / k_o (*)$ $q_s = G \cos \alpha - W / k_o (*)$
	Poids propre + neige + vent	$q_s = G \cos \alpha + 0,9 (S \cos^2 \alpha + \frac{W}{k_o (*)})$
	$\alpha$ est l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale	
Actions parallèle au plan	Poids propre + neige	$q_s = (G + S \cos \alpha) \cdot \sin \alpha$
(*) $k_o = 1,2$ si $W$ est déterminé avec le NV 65 $W = 1,2 V_n$ d'où $W / k_o = V_n$ . $k_o = 1$ si $W$ est déterminé avec l'Eurocode.		

### 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 (inclinaison à moins de 5° par rapport à la verticale)**

	Combinaisons	Charge	Type
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Vent	$q_u = 1,5 W$	CD
Actions verticales	Poids propre	$q_u = 1,35 G$	LD
CD : action de courte durée LD : action de longue durée			

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

	Combinaisons	Charges	Type
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Poids propre + neige	$q_u = (1,35 G + 1,5 S \cos \alpha) \cos \alpha$	LD
	Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_u = 1,35 G \cdot \cos \alpha + 1,5 W$ $q_u = G \cos \alpha - 1,5 W$	CD CD
	Poids propre + neige + vent Poids propre + vent + neige	$q_u = 1,35 G \cos \alpha + 1,5 S \cos^2 \alpha + 0,9 W$ $q_u = 1,35 G \cos \alpha + 1,5 W + 0,9 S \cos^2 \alpha$	LD CD
Actions parallèles au plan des vitrages	Poids propre + neige	$q_u = (1,35 G + 1,5 S \cos \alpha) \sin \alpha$	LD
$\alpha$ : est l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale CD : action de courte durée LD : action de longue durée			

### 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 tableaux 7 et 8 ci-après 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<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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.

- 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 T2 à T4),
- les vitrages rectangulaires simples monolithiques ou feuilletés, ou les vitrages isolants équipés de 4 dispositifs de fixations constituant encastrement (tableau T6) ou de 6 dispositifs de fixations articulées (tableau T5).

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.

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

Type de verre	Valeurs caractéristiques à rupture $f_k$ (MPa)	Contraintes de calculs		Coefficient $K = f_{ui} / f_{uv}$ (**)
		Courte durée $f_{ui}$ (MPa)	Longue durée (*) $f_{uv}$ (MPa)	
Trempé	120	50	50	1
Durci	70	35	20	1,75
Recuit	45	20	10	2
Émaillé trempé		35	25	1,4
Émaillé durci		20	10	2

(\*) Applicable uniquement aux combinaisons poids propre et charges de neige des vitrages d'inclinaison inférieure ou égale à  $60^\circ$  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.

**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 annexe B2.
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 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 2 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-avant.

Ils devront satisfaire aux conditions suivantes :

- A 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).

- A 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 § 4.2).

### Commentaires

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

### 3.2.1.6 Dimensionnement des garnitures d'étanchéité

Les déformations dans le plan de pans 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 DTU 44.1 - § 5.3 (Etanchéité des joints de façade par mise en oeuvre de mastic – NF P 85-210).

Dans le cas des profilés d'étanchéité, la détermination des performances est donnée au § 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 plus 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 (cf. figure 4).

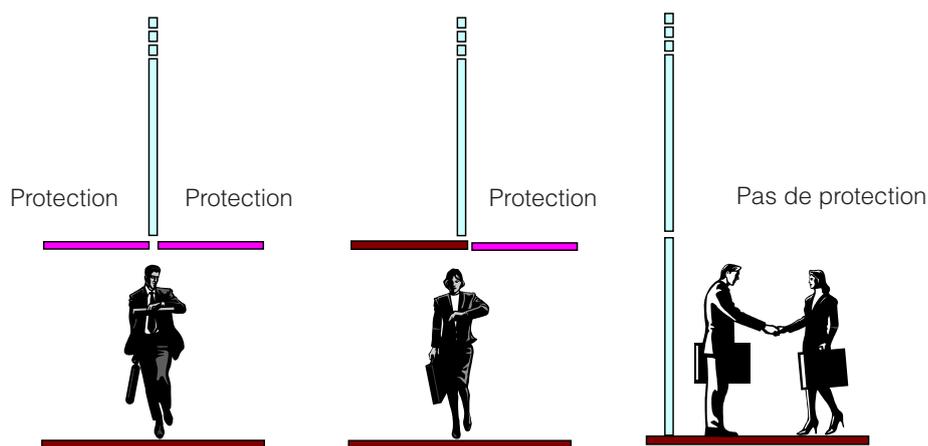
Pour limiter le risque de blessures des personnes en cas de rupture accidentelle ou provoquée entraînant la chute de vitrages trempés (monolithiques ou assemblés en vitrage isolant) situés au-dessus de ces ouvertures ou passages, des dispositifs de protection doivent être mis en place de part et d'autre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

Du point de vue des dimensions de ces dispositifs, pour les zones sismiques, on se reportera aux règles PS92 (NF P 06-013) article 15.531. Dans les autres situations, 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.

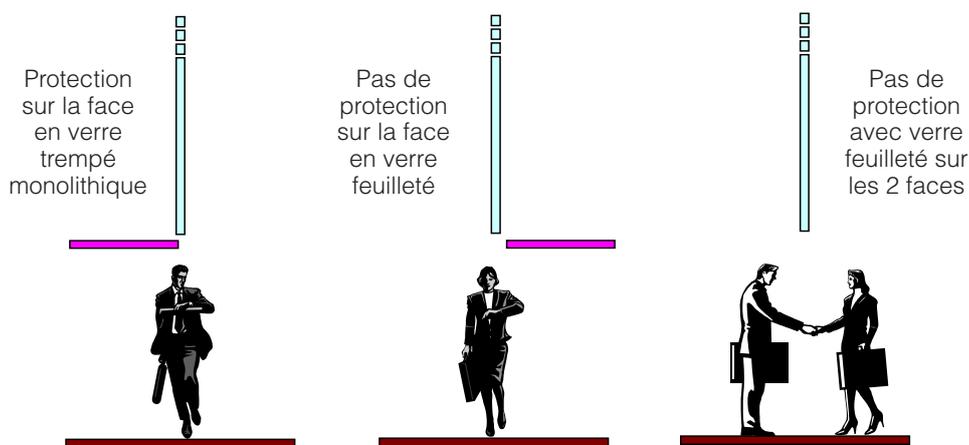
Il doit être envisagé que ces dispositifs soient aptes à retenir le vitrage accidenté ou favorisent sa fragmentation en petits éléments (selon les critères définis au NF DTU 39). L'aptitude de ces dispositifs à satisfaire aux exigences de sécurité et les conditions de vérification expérimentales peuvent 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/m<sup>2</sup>. 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).



Pan de verre en vitrage trempé monolithique



Plan de verre en vitrage isolant

**Figure 4 - Exemples de protection suivant la nature des 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 pour l'objectif E1 doit être appréciée au cas par cas selon les règles PS92. L'objectif E2 ne peut pas être, a priori, atteint.

Les critères de performances définis à l'article 15.52 des Règles PS92 en fonction des objectifs visés sont précisés ci-après.

- **E0** : aucun objectif assigné.

Les chutes de débris sont acceptées dans les aires d'activités et hors de celle-ci.

- **E1** : objectif sécurité :

- la stabilité de l'ossature secondaire doit être assurée ;
- le maintien en place des éléments de remplissage, en tolérant des chutes de débris non dangereux, doit être assurée.

- **E2** : objectif intégrité :

- les critères sont les mêmes que pour l'objectif E1, avec en outre la conservation de l'aptitude à la fonction caractérisée par le maintien du clos et couvert dans tous les cas et s'il y a lieu celui des fonctions particulières suivant la destination du bâtiment et les prescriptions du maître de l'ouvrage.

### 3.2.5 Sécurité des intervenants

Les chants accessibles des vitrages pendant les opérations d'entretien ou de maintenance 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 oeuvre, au choc de grand corps mou M50 d'énergie 1200 J (cf. 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/m<sup>2</sup>.K) ;

$\Psi$  Coefficient de transmission linéique périphérique (W/m.K) ;

$\chi$  Coefficient de transmission ponctuelle des fixations ponctuelles (W/K) ;

P Périmètre du vitrage (m) ;

A Surface du vitrage (m<sup>2</sup>) ;

n Nombre de fixation ponctuelle 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  $\varepsilon$  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 (NF P 78-201-3) 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 oeuvre des vitrages en rive.

#### 3.4.1.2 Spécificités des vitrages feuilletés ou isolants

Les intercalaires et matériaux ou produits (élastomères, mastics, ...) 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 du CSTB* n° 3488).

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

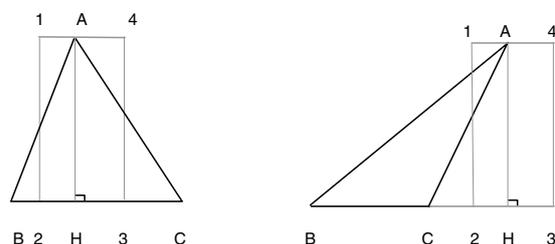
Outre la limitation des déformations des bords des vitrages tel qu'évoqué au paragraphe 3.2.1.4, il convient de justifier des efforts appliqués au système de scellement périphérique (qui doivent être inférieurs à 650 N/m de longueur de joint) résultant des variations de pression interne dues aux variations 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 oeuvre.

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 du CSTB* n° 3488 – Annexe B).

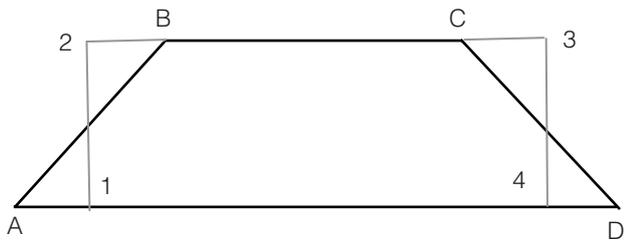
Vitrages triangulaires ou trapézoïdaux : à défaut d'une étude spécifique (modélisation par éléments finis), ces vitrages pourront être assimilés à un rectangle équivalent de même surface et dont le grand côté correspond à la plus grande hauteur géométrique.



AH = plus grande hauteur de triangle

Aire triangle ABC = Aire rectangle 1234

#### Cas des triangles



Aire trapèze ABCD = Aire rectangle 1234

### Cas des trapèzes

### 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'ouvrage 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 le plan 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, ... 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 EN ISO 11600 et bénéficier du label SNJF « Vitrage ». Les sollicitations en élancement, compression et cisaillement ne devront pas excéder les seuils admis dans le DTU 44.1 (NF P 85-210-1 - § 5.3 Dimensionnement du produit de calfeutrement).

Dans le cas de vitrages isolants, le système d'étanchéité entre vitrages ou entre vitrages 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-après 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.

A 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 ; en revanche, 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.

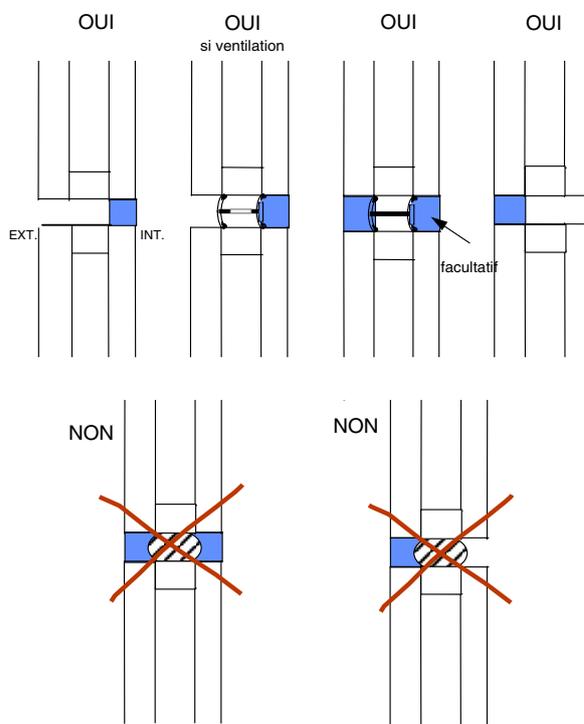


Figure 5 – Exemples de solutions

## 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.

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, ...) 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 égal 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 (cf. 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.

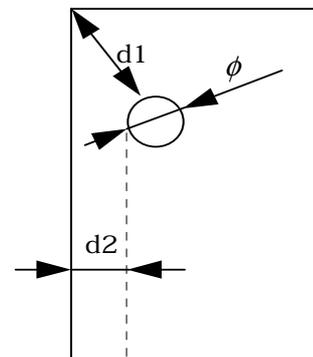
Lors du perçage du verre monolithique, l'écart de coaxialité sur un trou doit être inférieur à 0,5 mm.

#### 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 co-axialité.*

Pour les trous comportant un fraisage, pour éviter la présence, sur le produit fini, d'un épaulement (dû à l'écart de co-axialité 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.



- $\phi$  = diamètre du trou ou du fraisage
- $e$  = épaisseur du composant du vitrage
- $d_1 \geq 4e$  si  $e \geq 15$  mm
- $d_1 \geq 6e$  pour  $e \leq 12$  mm
- $d_2 \geq 2e$

Figure 6 - Position du trou

- 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 précisés dans l'Avis Techniques.

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

#### 4.4.2 Dispositions spécifiques pour les vitrages

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

**Tableau 14 – Contrôles vitrages sur produits transformés**

<b>Vitrage monolithique</b>	Dimensions (1)	
	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		
<b>Vitrage feuilleté (3)</b>	Dimensions (2)	
	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	
<b>Vitrage isolant (3)</b>	Dimensions (2)	
	Flèche des verres traités thermiquement et assemblés	
	Diamètre des trous	
	Co-axialité des trous	Transmission du poids par les 2 composants
1. Cette valeur intègre les défauts d'équerrage des bords. 2. Cette valeur intègre les défauts d'équerrage et de décalage des bords des composants. 3. 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 XP P 78-280 ou 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 1200	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 de ce document.

#### 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, ...).
- 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 documentés.

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 conséquente. 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 sollicitations dynamiques 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 ( $\pm 1$  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 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 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 § 3.2.5.

Le remplacement d'un vitrage est traité au § 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 P 78-201-1-1 (NF DTU 39 – CCT – Annexe B).

Pour les autres éléments, on pourra se reporter aux prescriptions définies dans la norme NF P 28-002 (DTU 33.1).

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

## Annexe 1

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

#### Commentaires

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 § 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 = $7,2 \cdot 10^{10}$	Pa
$\nu$	coefficient de Poisson = 0,22	
$q_s$	charge uniformément répartie à l'Etat limite de service	Pa
$q_u$	charge uniformément répartie à l'Etat limite ultime	Pa
$\alpha$	coefficient de flèche	
$\beta$	coefficient de contrainte	
$\delta$	coefficient de moment	
$\gamma$	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
$\sigma_a$	contrainte maximale sur la portée « a »	MPa
$\sigma_b$	contrainte maximale sur la portée « b »	MPa
$\sigma_c$	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

#### 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, l'épaisseur équivalente de calcul est déterminée en utilisant les formules ci-après :

- cas des parois inclinées de  $61^\circ$  à  $90^\circ$  par rapport à l'horizontale :

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

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

- cas des parois inclinées de  $0^\circ$  à  $60^\circ$  par rapport à l'horizontale) :

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

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

- 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) :

$$e_{eq3} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3}$$

avec  $e_1$  et  $e_2$  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 ci-après.

#### Commentaires

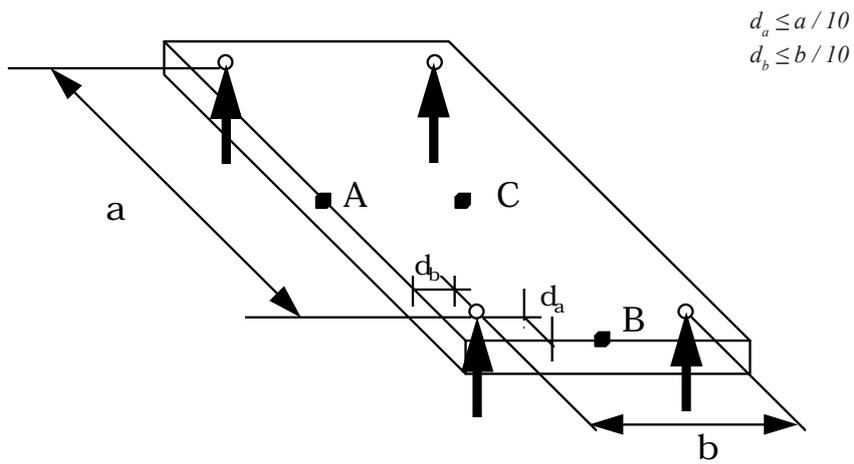
Les valeurs des coefficients données dans les tableaux T2, T3, T4 ci-après sont issues des tables de Bares en tenant compte du coefficient de poisson,  $\nu = 0,22$  et du module d'Young,  $E = 7,2 \cdot 10^{10}$  Pa.

1. Le coefficient 0,2 a été établi à partir d'intercalaire PVB et son application à d'autre film intercalaire 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	$\sigma = \beta \times q_u \frac{a^2}{e^2}$	$\sigma_1 = \beta \times q_u \times a^2 \frac{e_1}{e_{eq}^3} \left( 1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 \times e_1^2} \right)$ $\sigma_2 = \beta \times q_u \times a^2 \frac{e_2}{e_{eq}^3} \left( 1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 \times e_2^2} \right)$ Si $e_1 = e_2$ , alors $\sigma_1 = \sigma_2 = 1,41 \beta q_u \frac{a^2}{(2e_1)^2} = \frac{\beta q_u \cdot a^2}{(1,69 e_1)^2}$ $\sigma_1 = \sigma_2 = 0,83 \sigma_{eq}$	$\sigma_1 = \beta \times q_u \frac{a^2}{e_{eq}^2} \left( \frac{e_1}{e_{eq}} \right)$ $\sigma_2 = \beta \times q_u \frac{a^2}{e_{eq}^2} \left( \frac{e_2}{e_{eq}} \right)$ Si $e_1 = e_2$ , alors $\sigma_1 = \sigma_2 = 2 \beta q_u \frac{a^2}{(2e_1)^2} = \frac{\beta q_u \cdot a^2}{(1,41 e_1)^2}$ $\sigma_1 = \sigma_2 = 2^{-(1/3)} \sigma_{eq} = 0,79 \sigma_{eq}$
Rotation sur appui		$\theta_a = \arctan \left( \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot f_a}{a} \right)$	$\theta_b = \arctan \left( \frac{4 \cdot 10^{-3} \cdot f_b}{b} \right)$
Les valeurs de $\alpha$ et $\beta$ sont données dans les tableaux ci après.			

**Plaque uniformément chargée sur 4 appuis ponctuels<sup>(1)</sup>**



**Tableau T2 – Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$**

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	$\alpha$ pour $f_a$	$\alpha$ pour $f_b$	$\alpha$ pour $f_c$	$\beta$ pour $\sigma_a$	$\beta$ pour $\sigma_b$	$\beta$ pour $\sigma_c$
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 ponctuels (1) et 1 appui libre en feuillure

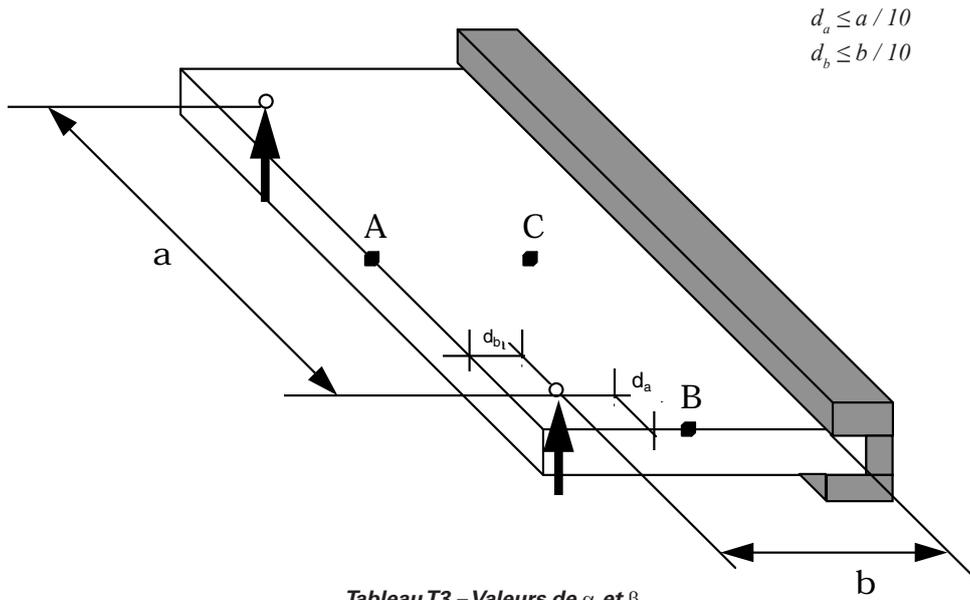
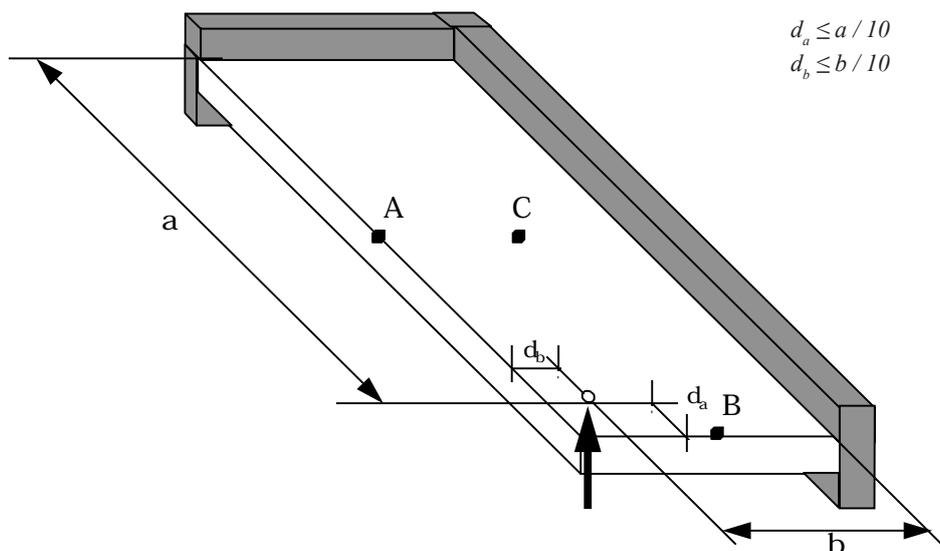


Tableau T3 – Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	$\alpha$ pour $f_a$	$\alpha$ pour $f_b$	$\alpha$ pour $f_c$	$\beta$ pour $\sigma_a$	$\beta$ pour $\sigma_b$	$\beta$ pour $\sigma_c$
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

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

**Plaque uniformément chargée sur 1 appui ponctuel (1) et 2 appuis libres en feuillure**



**Tableau T4 – Valeurs de  $\alpha$  et  $\beta$**

R Rapport b/a	Flèches au milieu des côtés		Flèche au centre	Contraintes au milieu des côtés		Contrainte au centre
	$\alpha$ pour $f_a$	$\alpha$ pour $f_b$	$\alpha$ pour $f_c$	$\beta$ pour $\sigma_a$	$\beta$ pour $\sigma_b$	$\beta$ pour $\sigma_c$
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

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

### A3 Cas des vitrages comportant 6 (2) appuis articulés

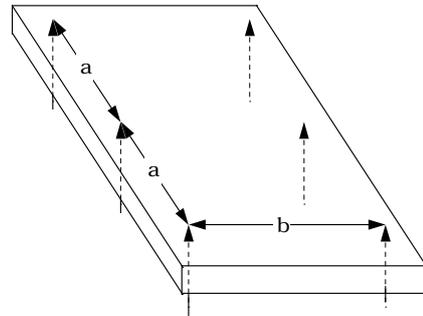
La méthode de calcul précisée ci-après ne vaut que :

- 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  $a_2 / a_1 \leq 1/2$  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 : 
$$f = \alpha \times q_S \frac{a^4}{e^3}$$

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 :

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

Les valeurs de  $\alpha$ ,  $\delta$  et  $\gamma$  sont données dans le tableau ci-après.

**Tableau T5 - Valeur de  $\alpha$ ,  $\delta$  et  $\gamma$**

b/a	f sur les côtés		f maxi	M sur appuis	R sur appuis
	$\alpha$ pour $f_a$	$\alpha$ pour $f_b$	$\alpha$ pour $f_m$	$\delta$	$\gamma$
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

2 A défaut d'autre méthode 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 :

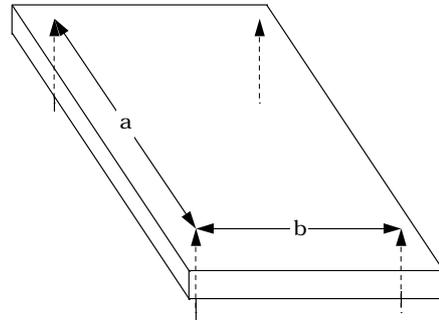
- pour des vitrages monolithiques (pour les vitrages isolants ou feuilletés, une décomposition peut être effectuée en tenant compte des hypothèses énoncées au paragraphe A2),
- si la distance entre l'axe des fixations et le bord des vitrages n'excède pas 10 % de la plus grande distance entre fixations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

Flèche :

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

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  $\alpha$ ,  $\delta$  et  $\gamma$  sont données dans le tableau ci-après.

**Tableau T6 - Valeur de  $\alpha$ ,  $\delta$  et  $\gamma$**

b/a	f sur les côtés		f maxi	M sur appuis	R sur appuis
	$\alpha$ pour $f_a$	$\alpha$ pour $f_b$	$\alpha$ pour $f_m$	$\delta$	$\gamma$
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 admissibles	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
	Résistance aux chocs	B4	Essai de choc	X	X
		B5	Essai de comportement des vitrages feuilleté avec rupture provoquée d'un composant verrier	X	—
	Résistance mécanique	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, ...

##### B.1.1 Définition du corps d'épreuve

Le vitrage à essayer, muni de ses fixations, est mis en œuvre dans un cadre rigide <sup>(1)</sup> 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.

<sup>1</sup> Une solution consiste à utiliser des profilés UPN 250 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.

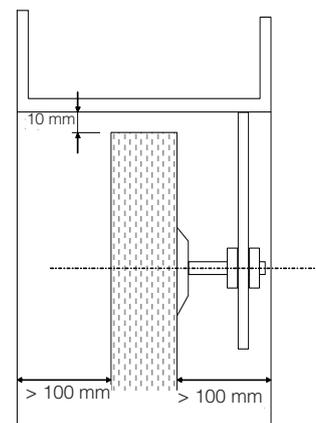
Le demandeur devra fournir une fiche de contrôle du niveau de trempe.

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.

## B3 Critères

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

### B.1.4 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 :

- 10 échantillons dans le cas de trous cylindriques ;
- 20 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  $HR = 50 \% \pm 5 \%$ .

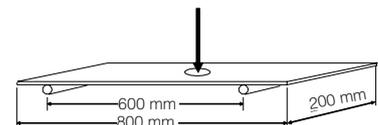
Les essais sont réalisés dans une pièce conditionnée à  $T = 23 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  et à  $HR = 50 \% \pm 5 \%$ .

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.

Pour les plaques avec percement non cylindrique, l'essai est réalisé dans les 2 sens.

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.

## B2.3 Expression des résultats

On fournira :

- Le graphe charge-déformation (optionnel) ;
- La charge de rupture de chaque échantillon ( $F_{rup}$ ) ;
- Le rayon de courbure R (en mm) à rupture pour chaque échantillon. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$R = EI / M = Ebe^3 / 3FL$$

Avec :

- E, module d'élasticité du verre  $E = 72 \text{ kN/mm}^2$
- L, portée  $L = 600 \text{ mm}$
- b, largeur des éprouvettes  $b = 200 \text{ mm}$
- e, épaisseur nominale ou équivalente pour les verres feuilletés en mm
- F, force à rupture en kN

D'où :

$$R = 8e^3 / F$$

- Le rayon de courbure minimal admissible à l'ELU en façade. Il correspond au rayon de courbure moyen  $\bar{R}$  à rupture augmenté de 2,1 fois l'écart-types « t » et multiplié par 2, soit :  $R_{fac} = 2(\bar{R} + 2,1t)$
- 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 :  $R_{ver} = K \cdot R_{fac}$

### Commentaires

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 de ce document).

## B3 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 dimension 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.

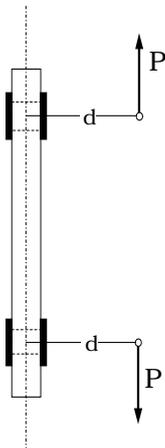


Schéma du dispositif

### 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

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

vitrage est donné par la formule :

Le moment maximal admissible sous charge non pondérée correspond à la valeur moyenne diminuée de

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

2,1 fois l'écart type et divisé par 2,70 ( $2 \times 1,35$ ).

### Commentaires

① Soit  $d$  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.

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

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

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

Elle est déterminée au cas par cas par le demandeur.

#### B4.1.2 Modalités des essais

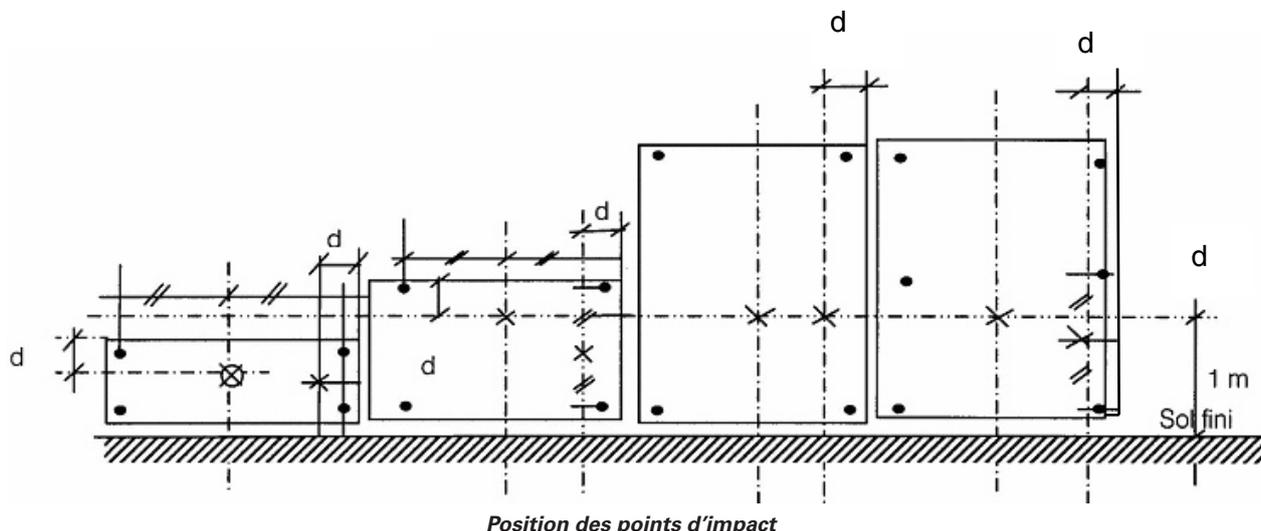
Les essais de chocs de sécurité sont réalisés sur les vitrages situés tout ou partiellement dans la zone de 0 à 1 m par rapport au sol fini conformément à la norme NF P 08-301 et P 08-302 avec les énergies et les emplacements suivants :

– 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 25 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.



Position des points d'impact

X : Point d'impact pour choc M50/900 J

• : Fixation ponctuelle du vitrage

d = 250 mm

⊗ : Point d'impact pour choc M50/700 J (à condition que l'élément situé à 1,0 m de hauteur résiste à 900 J).

#### 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 dans le *cahier du 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, 3 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 1mm/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.

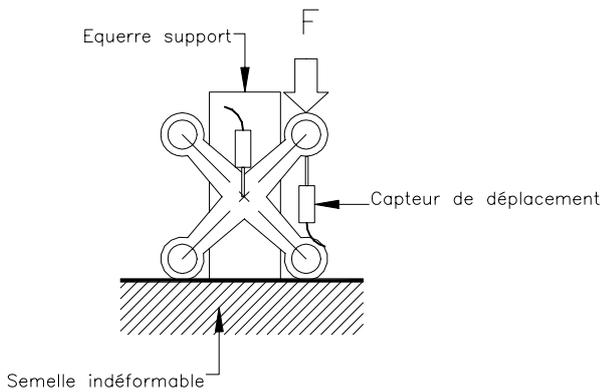


Figure 1 a - Exemple de chargement parallèle (1) au plan du vitrage sur l'échantillon à 4 branches disposé verticalement

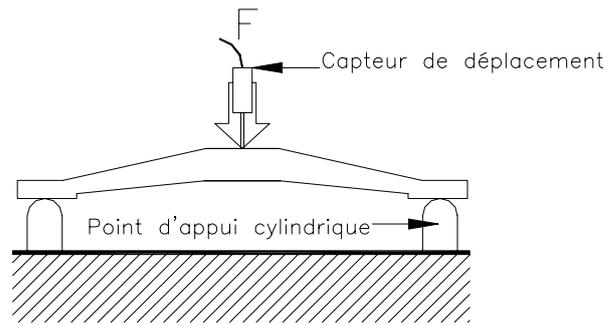


Figure 1 b - Exemple de chargement perpendiculaire (2) au plan du vitrage sur l'échantillon disposé horizontalement

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.

A 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).

### Exemple

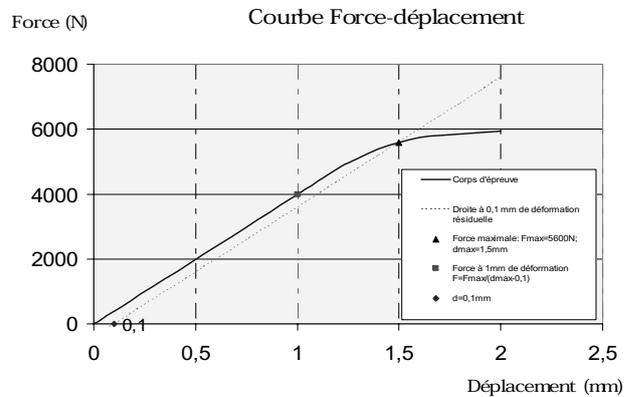


Tableau 1 - Valeur de  $k$  en fonction du nombre d'éprouvettes (voir NF ISO 16269-6).

Nombre d'éprouvettes	3	5	6	7	8
$k$	3,15	2,46	2,34	2,25	2,19
Nombre d'éprouvettes	9	10	15	30	$\infty$
$k$	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			

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.

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

## 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 0.1mm 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 12 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).

### 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 § 2.1.3).

Les essais réalisés selon la norme 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.

#### Commentaires

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

### 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			

## **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 coté extérieur de la fixation sur la face supérieure. A 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](http://www.cstb.fr)

**CSTB**  
*le futur en construction*

---

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