

Commission chargée de formuler des Avis Techniques

Groupe Spécialisé n° 2

« Constructions, façades
et cloisons légères »

Groupe Spécialisé n° 6

« Composants de baies, vitrages »

Vitrages extérieurs collés

Cahier des prescriptions techniques

Ce document a été entériné par le Groupe spécialisé n° 2
le 10/01/2011. Ce document annule et remplace le *Cahier du CSTB 3488* de novembre 2003.

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

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

© CSTB 2011

Vitrages extérieurs collés

Cahier des prescriptions techniques

S O M M A I R E

PRÉAMBULE

Le guide EOTA ETAG 002 définit les exigences minimales réglementaires applicables aux systèmes VEC (vitrages extérieurs collés) pour l'obtention de l'Agrément Technique Européen (ATE) propre à chaque système de façon à satisfaire les conditions requises pour permettre l'apposition du marquage CE :

- Guide EOTA-ETAG 002 Partie 1 : Systèmes calés et non calés (support en aluminium anodisé ou en acier inoxydable) – *Cahier du CSTB 3222* ;
- Guide EOTA-ETAG 002 Partie 2 : Support de collage en aluminium thermo laqué – *Cahier du CSTB 3433* ;

Les normes NF EN 13022-1, NF EN 13022-2 et NF EN 15434 viennent compléter le référentiel sur les VEC.

Les normes NF EN 13022-1 et NF EN 13022-2 visent les produits verriers monolithiques et multiples pour VEC, et la norme NF EN 15434 concerne les produits de collage et de scellement structurel pour VEC et/ou résistant aux UV.

Le présent document complète le guide EOTA et les normes mentionnées ci-dessus : il définit les dispositions applicables nécessaires au bon comportement des ouvrages comportant des vitrages extérieurs collés et faisant éventuellement l'objet d'un **Document Technique d'Application** volontaire, complément à l'ATE, ou d'un Avis Technique.

L'attention est attirée sur le fait que ce document ne traite que du collage en atelier (sauf réparation ponctuelle) et qu'une supervision des unités de collage par un organisme indépendant et reconnu est indispensable. Il s'adresse en outre à l'ensemble des concepteurs, entreprises, fabricants de vitrages, colleurs, contrôleurs techniques, fournisseurs de mastic, etc. confrontés à la technologie du VEC et qui souhaitent s'informer sur les règles pratiques de réalisation de tels systèmes tant en ce qui concerne la conception que la fabrication, ou encore la mise en œuvre.

1. Généralités	3
1.1 Objet, domaine d'application et domaine d'emploi.....	3
1.2 Terminologie et définitions	3
1.3 Notations	5
2. Conditions générales de conception.....	5
2.1 Généralités	5
2.2 Règles relatives au choix des composants	5
2.3 Règles relatives à la sécurité.....	7
2.4 Règles relatives à la faisabilité.....	17
2.5 Règles relatives à la durabilité.....	17
3. Conditions générales de fabrication	24
3.1 Généralités	24
3.2 Identification et suivi de fabrication	24
3.3 Les principales phases du collage.....	25
3.4 Contrôles internes du collage	25
4. Conditions générales de mise en œuvre	29
4.1 Dispositions générales	29
4.2 Entretien - réparation - maintenance	29
Annexe A Essais de convenance et, Essais d'adhésivité au projet et des essais de contrôle interne des ateliers de collage	31
Annexe B Comportement des vitrages isolants sous les effets :	33
• des variations de température	
• des variations de pression atmosphérique	
• du vent	
• de la neige	
• du poids propre des verres	
Annexe C Compatibilité entre constituants	40
Annexe D Vérification de la pénétration d'humidité dans le système de scellement du VI.....	41
Annexe E Protocole simplifié pour modification de couleur d'un mastic.....	45

Membres du groupe d'élaboration du document

Rédacteurs :

Mme	BAREILLE	CSTB
MM	COSSAVELLA	CSTB
	GALEA	CSTB

Membres :

Mme	CRIAUD	AGC
	LEEMPOELS	VERRE ET MÉTAL
MM	AUBERT	Expert
	BOURREAU	HYDRO BUILDING SYSTEM
	DELSAHUT	CSTB
	DOUARD	FFPV
	NOEL	SAINT GOBAIN GLASS
	GARDES	OUEST ALU
	GOAS	BUREAU VERITAS
	GOISSET	GOYER
	JOSEPH	Expert
	KIENLEN	RINALDI STRUCTAL
	LOPPIN	SNFA
	MARION	Expert
	LEROY	Expert
	MARTIN	DEKRA
	NAULEAU	GOYER
	PARMENTIER	PROSYTEC – TREMCO
	POULICHET	GOYER
	SASSOT	Expert
	SCHNEIDER	CSTB
	SOUCHAIRE	Expert
	VALEM	SOCOTEC

1. Généralités

1.1 Objet, domaine d'application et domaine d'emploi

Le présent document a pour objet de définir :

- les conditions générales :
 - de conception,
 - de fabrication,
 - de mise en œuvre ;
- les règles de calcul spécifiques des vitrages utilisant la technique VEC (vitrages extérieurs collés).

1.1.1 Définition

Le VEC est une technique de mise en œuvre de produits verriers, constituant l'enveloppe extérieure de bâtiments, par collage sur un cadre.

Le collage transmet aux éléments d'ossature les charges climatiques et éventuellement le poids des vitrages.

1.1.2 Domaine d'application

Seuls sont visés par le présent document :

- les utilisations de produits verriers plans silico-sodo-calciques. Le Document Technique d'Application (DTA) indiquera si d'autres natures de produits verriers sont utilisables. Les vitrages simples non plans (bombés) dont la flèche en tout point est inférieure au 1/100 de la dimension concernée, sont assimilés à des vitrages plans ;
- les mastics de collage à base de silicone ;
- les cadres supports métalliques.

Commentaire 1 : les méthodes de calcul de dimensionnement des cordons de mastic de collage et de scellement des vitrages isolants, ne visent que les vitrages plans, de format rectangulaire, maintenus par collage sur leurs quatre côtés ou par collage sur deux bords parallèles et opposés et par parcloses ou serreurs sur les deux autres bords.

Les méthodes ne s'appliquent qu'aux vitrages isolants rectangulaires. L'emploi de vitrages de forme non rectangulaire doit faire appel à des études spécifiques notamment pour le calcul de la hauteur de scellement. Il est rappelé que ces études sont du seul ressort du fabricant de vitrages isolants.

Sont utilisables :

- les vitrages simples (monolithiques ou feuilletés), isolants doubles ou triples ;
- les cadres en profilés d'alliage d'aluminium anodisé colmaté ou thermolaqué ;
- les cadres en profilés d'acier inoxydable.

Les vitrages ne participent pas à la stabilité du bâtiment, laquelle incombe à la structure de celui-ci.

Le présent document ne concerne pas le collage sur des éléments d'ossature (raidisseurs ou poutres) en verre.

La technique visée dans ce document est applicable aux éléments fixes ou ouvrants de parties vision de l'enveloppe ainsi qu'aux parois extérieures des parties opaques (devant un remplissage de façades rideaux et verrières ou un voile béton des façades semi-rideaux).

1.1.3 Domaine d'emploi

1.1.3.1 Durée de vie raisonnable au point de vue économique

Concernant la durée de vie, le présent document se réfère à celle qui avait été retenue dans le cadre du guide EOTA N° 002 « Système de vitrage extérieur collé VEC » Partie 1 – Systèmes calés et non calés (*Cahier du CSTB 3222 de mai 2000 article 4.0.1*).

1.1.3.2 Parois de bâtiments d'usage courant strictement verticales, façades rideaux, façades semi-rideaux telles que définies dans le NF DTU 33.1, parois inclinées, à condition que dans ce cas, les vitrages soient en appui sur leurs cadres et fenêtres telles que définies dans le NF DTU 36.5.

À défaut d'autres documents, les dispositions générales du présent document peuvent s'appliquer au collage structurel par ruban adhésif.

1.2 Terminologies et définitions

Pour les définitions des composants de façade strictement verticale et de verrière inclinée vers l'intérieur du bâtiment, on se reportera au paragraphe 3 du NF DTU 33.1. P1-1 et au NF DTU 39.

Les définitions relatives aux vitrages ne sont données ici qu'à titre de rappel. La terminologie détaillée est précisée dans les normes correspondantes citées au *paragraphe 2.2.3*.

- 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 ou triple : vitrage constitué de deux ou trois vitrages simples, assemblés à leur périphérie sur un intercalaire assurant l'écartement et délimitant un volume de gaz sec.
- Verre trempé thermiquement : produit verrier élaboré à partir d'une feuille de verre recuit soumis 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 (ou semi-trempé) : produit verrier élaboré à partir d'une feuille de verre recuit soumis 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 différentes allant jusqu'à 100 K.

En cas de bris, il se fragmente sensiblement comme le verre recuit.

- 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) ou à d'éventuelles faiblesses d'autres origines.
- Vitrage bombé : vitrage généralement cylindrique, mis en forme par gravité ou par formage mécanique en conformateur après ramollissement du verre par chauffage.

- Sérigraphie : procédé d'impression d'un motif à l'aide d'un écran textile par dépôt d'émail ou de peinture.
- Cadre ou bâti : cadre du remplissage composé de profilés assemblés en angle sur équerres ou par soudure et constituant un support de collage soit directement soit par l'intermédiaire d'un profilé adaptateur.
- Profilé adaptateur : profilé, généralement en aluminium anodisé, associé aux profilés de cadre pour constituer à lui seul la plage de collage.
- Plages de collage : surfaces des produits verriers, des profilés de cadre ou du profilé adaptateur, réservées à l'application du mastic de collage.
- Nettoyant : produit spécifique et adapté, utilisé pour le nettoyage des plages de collage avant mise en œuvre du mastic de collage.
- Primaire d'adhérence : produit spécifique destiné à favoriser l'adhérence du mastic de collage sur les supports et identifié par expérimentation préalable.
- Espaceur : bande de mousse ou profilé en élastomère destiné à définir en épaisseur et en hauteur, la section du cordon de mastic de collage.
- Cordon de mastic de collage : cordon de mastic silicone, de section rectangulaire constitué l'élément de liaison mécanique entre vitrage et cadre et par lequel transiteront les charges climatiques et éventuellement le poids des vitrages.

Ce cordon de mastic doit autoriser les déplacements différentiels entre vitrage et cadre.

- Système de scellement des vitrages isolants VEC : ensemble de composants disposés à la périphérie des verres destinés à assurer l'écartement, la liaison mécanique et l'étanchéité à la vapeur d'eau.

Ce système est généralement composé :

- d'un cadre intercalaire en profilé métallique tubulaire ou d'un intercalaire organique contenant un déshydratant ;
- d'une première barrière d'étanchéité en cordon de mastic butyl interposé entre les flancs du profilé intercalaire et les verres ;
- d'une deuxième barrière d'étanchéité en cordon de mastic silicone appliquée dans la gorge formée par les verres et le cadre intercalaire. Ce cordon de mastic peut avoir un rôle structural au même titre que le mastic de collage.
- Calage d'assise : ensemble des éléments (cale et support de cale) destinés à transmettre le poids des vitrages au cadre.
- Dispositif de retenue (aussi appelé dispositif de sécurité) : dispositif destiné à retenir un vitrage en cas de défaillance de son collage avec le cadre.
- Dispositif de fragmentation.

Dispositif spécifique au verre trempé monolithique, destiné à provoquer la fragmentation en petits éléments en cas de défaillance de sa liaison avec le cadre support.

- VEC bordé : système dans lequel, les profilés de cadre viennent recouvrir le chant des vitrages ; dans ce cas les profilés de cadre peuvent constituer un support de cale d'assise.

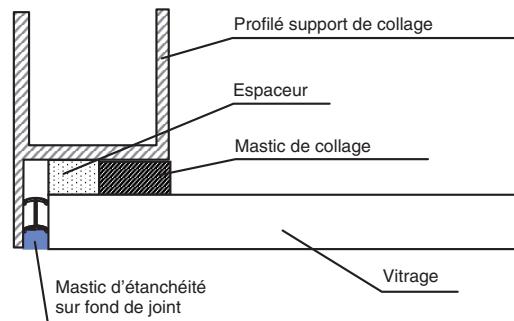


Figure 1 – VEC bordé

- VEC non bordé : système dans lequel le chant des vitrages est libre.

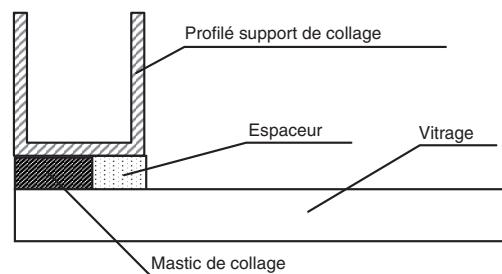


Figure 2 – VEC non bordé

- VEC à bords décalés : système dans lequel le composant extérieur du vitrage isolant a des dimensions supérieures à celles du composant verrier intérieur.

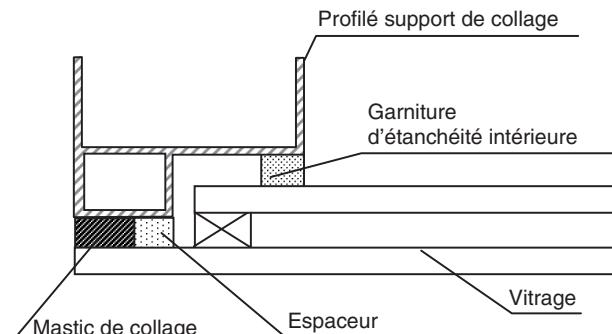
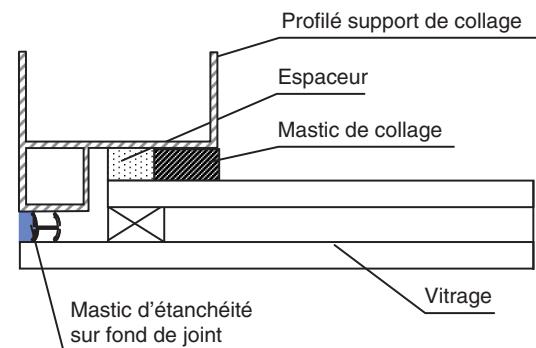


Figure 3 – VEC à bords décalés

1.3 Notations

Symbol	Définition	Unité
L	Grand côté du vitrage	m
ℓ	Petit côté du vitrage	m
e, e_1, e_2	Épaisseur nominale de fabrication des composants verriers	mm
e_{eq}	Épaisseur équivalente des vitrages feuilletés	mm
E	Module d'élasticité du verre $70 \cdot 10^9$	Pa
E_{mc}	Module d'élasticité en traction du mastic	Pa
ν	Coefficient de Poisson du verre : 0,20	—
q_s	Charge uniformément répartie à l'état limite de service	Pa
q_u	Charge uniformément répartie à l'état limite ultime	Pa
W	Charge de vent caractéristique	Pa
S	Charge de neige caractéristique	Pa
G_1, G_2, G_3	Poids surfacique des vitrages ou des composants 1 et 2 des vitrages isolants	Pa
α	Coefficient de flèche	—
β	Coefficient de contrainte	—
f	Flèche maximale au centre du vitrage	mm
σ	Contrainte maximale au centre du vitrage	MPa
θ	Angle d'une paroi vitrée par rapport à l'horizontale	deg.
$\delta, \varepsilon, \gamma, \varphi$	Coefficients adimensionnés permettant le calcul de la pression dans la lame d'air des vitrages isolants	—
σ_{des}	Contrainte de traction admissible	MPa
η	Coefficient de forme	—
h_{mc}	Hauteur de mastic de collage	mm
e_{mc}	Épaisseur du mastic de collage	mm
h_{sc}	Hauteur de mastic de scellement des vitrages isolants	mm
Γ_∞	Contrainte admissible de cisaillement permanent (mastic de collage)	MPa
Γ_{des}	Contrainte admissible de cisaillement sous charge dynamique	MPa
$R_{U,5}$	Contrainte de rupture caractéristique	MPa

2. Conditions générales de conception

2.1 Généralités

- Comme pour toute façade légère, les façades comportant des systèmes VEC devront satisfaire aux exigences des normes NF EN 13830 et NF DTU 33.1 qui définissent les spécifications et méthodes de détermination du point de vue résistance mécanique, résistance aux chocs, sécurité, habitabilité.
- Les dispositions prises dans toute façade légère, concernant les organes de liaisons de la façade à la structure du bâtiment (fixations) ou autres éléments de façades (joints), et consistant à prendre en considération et à absorber les effets de mouvements prévisibles, générés ou transmis par la structure, doivent requérir une attention particulière de façon à éviter des sollicitations dynamiques ou permanentes ou momentanées sur les vitrages collés et leurs joints. Ces mouvements peuvent avoir pour origine des surcharges d'exploitation, des déformations ou tassements différentiels, des vibrations, ou toutes sollicitations susceptibles de provoquer des déformations de la structure.

- Les éléments libres des bâtis, lorsqu'ils intègrent un élément de remplissage, seront calculés conformément à l'annexe du Cahier du CSTB 3075 : « Conditions générales de mise en œuvre – Éléments de remplissage faisant l'objet d'un Avis Technique ».
- Les fenêtres doivent satisfaire aux exigences des normes NF EN 14351-1 et NF DTU 36.5 (satisfaction aux critères de résistance mécanique communs et spécifiques).

2.2 Règles relatives au choix des composants

2.2.1 Mastic de collage

Le mastic de collage, en silicone, doit être conforme aux spécifications du guide EOTA 002 et de la norme NF EN 15434. L'ATE mastic permet de répondre à ces spécifications.

$\sigma_{des} (*)$: Contrainte de traction admissible

$\Gamma_{des} (*)$: Contrainte de cisaillement admissible sous charge dynamique

(*) Le coefficient partiel de sécurité est pris égal à 5 pour la France (au lieu de 6 comme défini dans le guide EOTA 002 et la NF EN 15434).

Γ_{∞} : Contrainte de cisaillement admissible sous charge permanente

E_{mc} : Module d'élasticité en traction

Afin de maintenir un niveau de qualité équivalent à celui exigé jusqu'à présent par le marché, une certification de produit (inspection initiale, visite de suivi, prélèvement en usine) est demandée pour le mastic de collage.

Le label SNJF-VEC permet de répondre à cette spécification.

Pour la validation d'une modification de la couleur d'un mastic silicone VEC disposant d'un ATE pour une autre couleur, le protocole est celui de l'*annexe E*. Les essais doivent être réalisés par un laboratoire notifié ou dans la cadre du label SNJF-VEC.

2.2.2 Profilés support de collage

2.2.2.1 Profilés en aluminium

- Les profilés de cadre support de collage doivent être en alliage AW 6060 ou AW 6063, conformes à la norme NF EN 755-2.
- Les profilés anodisés doivent être conformes aux spécifications du guide EOTA 002. Le label Qualanod permet de répondre à ces spécifications.
- Les profilés thermolaqués doivent être conformes aux spécifications du guide EOTA 002 partie 2.

Les profilés thermolaqués bénéficiant des 4 critères ci-dessous répondent à ces spécifications :

- labels Qualicoat et Qualimarin (ou Seaside AA) ;
- nature d'alliage dit « de qualité bâtiment » selon la note n° 2 du paragraphe 3.2.3 du CGM NF DTU 33.1 P1-2 ;
- revêtement par poudre polyester d'épaisseur $\geq 60 \mu\text{m}$;
- le mastic VEC validé sur un support anodisé selon le guide EOTA 002 partie 1.

2.2.2.2 Profilés en acier inoxydable

Les nuances d'acier inoxydable, selon la norme NF EN 10088-2 sont les suivantes :

- acier austénitique au chrome nickel X5CrNi18-10 ;
- aciers inoxydables au chrome nickel molybdène X2CrNiMo17-12-2 et X5CrNiMo17-12-2.

2.2.3 Produits verriers

Chaque famille de vitrage doit être conforme à la norme NF EN 13022-1 et aux normes européennes citées ci-dessous.

2.2.3.1 Vitraux monolithiques

Peuvent être utilisés :

- la glace conforme à la norme NF EN 572 parties 1, 2 et 5 ;
- les verres trempés conformes à la norme NF EN 12150 ;

Note : Considérant les conséquences économiques et les délais de remplacement d'un vitrage VEC trempé, détruit par effet d'inclusion ou faiblesse d'autres origines, il peut être prévu aux cahiers des charges de l'opération un traitement spécial dit « Heat Soak » propre à éliminer au moins 90 % des produits présentant ce risque pour ces vitrages (selon la norme NF EN 14179).

- les verres durcis conformes à la norme NF EN 1863 ;
- la glace totalement ou partiellement émaillée conforme à la norme NF EN 12150, les plages de collage doivent être uniformes (soit vierges, soit émaillées en totalité) ;
- les verres à couche classés A, B et S conformes à la norme NF EN 1096.

2.2.3.2 Vitraux feuilletés

Les vitraux feuilletés utilisés doivent être conformes à la norme NF EN ISO 12543-2 et aux normes européennes citées ci-dessous.

En raison de l'exposition directe des bords du vitrage feuilleté, l'apparition de bulles ou de délamnages peut être rendue visible en périphérie. Les critères d'acceptation de ce type de défauts sont décrits dans la norme d'essais des vitraux feuilletés NF EN ISO 12543-4.

Dans le cas où les vitraux feuilletés interviennent dans le cadre de la sécurité aux chutes des personnes, il est nécessaire d'employer des vitraux feuilletés de sécurité au sens du NF DTU 39.

2.2.3.3 Vitraux isolants

Les vitraux isolants doivent être conformes à la norme EN 1279 et aux spécifications du guide EOTA 002. C'est-à-dire que le mastic de scellement lorsqu'il a un rôle structural doit répondre aux mêmes spécifications que le mastic de collage sur support verre uniquement. La plage de collage du vitrage isolant doit respecter les prescriptions du paragraphe 2.2.3.1 ci-dessus.

Afin de maintenir un niveau de qualité équivalent à celui exigé jusqu'à présent par le marché, une certification de produit (inspection initiale, visite de suivi, prélèvement en usine) est demandée pour les vitraux isolants. Le label CEKAL extension V permet de répondre à cette spécification.

2.2.3.4 Cas particuliers

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

Lors de l'emploi de verre imprimé ou dépoli par sablage, le collage doit être effectué sur une plage lisse.

En cas d'utilisation de tels produits verriers, des justifications expérimentales au cas par cas devront être effectuées afin de s'assurer de leurs caractéristiques mécaniques et il conviendra de respecter les prescriptions ci-après spécifiques au verre dépoli par sablage :

- le dépolissage ne concerne pas la plage de collage ;
- le dépolissage est effectué avant traitement thermique si celui-ci est prévu.

2.2.4 Autres composants

Les espaces, mastics d'étanchéité et fonds de joints devront être compatibles avec les matériaux situés à leur contact ou à proximité selon spécifications du guide EOTA 002 (voir annexe C du présent document).

Les cales doivent être en matériau durable de dureté au moins égale à $75^\circ \pm 5$ Shore A et compatible avec les matériaux ou produits situés au contact ou à proximité (cf. paragraphe 2.5.3). Elles doivent intéresser tous les composants des vitrages, être positionnées selon les règles définies dans le NF DTU 39 et être dimensionnées selon la formule suivante : $L = 10 S$ (L = longueur de la cale en mm et S = surface du vitrage en m^2). Pour les vitrages composés, des prescriptions complémentaires sont données au paragraphe 2.5.2.1.

2.3 Règles relatives à la sécurité

2.3.1 Stabilité – Dimensionnement

Dans l'attente des normes européennes applicables, les règles de calcul définies ci-après s'appliquent.

La méthode de calcul donnée ci-après peut être remplacée par une méthode aux éléments finis en respectant les mêmes hypothèses (*paragraphe 2.3.1.1 et paragraphe 2.3.1.2*), et en particulier les conditions d'appuis.

Dans le cas d'un dimensionnement aux grands déplacements (éléments finis du second ordre), l'étude devra porter sur l'ensemble des composants jusqu'à l'ossature secondaire. Des vérifications expérimentales ou par calculs par un organisme tiers seront nécessaires, au cas par cas afin de justifier la reprise des efforts horizontaux. (*Nota : le principe de superposition des efforts et de leurs effets ne pouvant s'appliquer au second ordre, les tableaux 15, 16, 17 et 18 ne sont plus applicables.*)

2.3.1.1 Principe de dimensionnement

Dans la suite du document, 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 excessives affectant l'aspect ou l'exploitation normale de l'ouvrage voire l'aspect suivant les éventuelles prescriptions du CCTP de l'opération.

Pour la détermination des flèches et déformation des cadres vitrés, on se reportera à la norme NF DTU 33.1. La déformation entre les points de fixation des cadres vitrés devra respecter les mêmes critères ;

- **les états limites ultimes (ELU)** associés à toute forme de ruine pouvant mettre en danger la sécurité des personnes.

Pour ces états limites ultimes sont définies des **combinaisons des actions** (poids propre, vent, neige, etc.) sous lesquelles doivent être respectés les **critères** associés à cet état limite (efforts, contrainte maximale, etc.). Pour la détermination des résistances des cadres et des ossatures, on se reportera au NF DTU 33.1, ou le cas échéant aux autres règles en vigueur.

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-dessous.

- **Actions permanentes (poids du verre)**

Poids du verre par m^2 de surface : $G = e \times 24,5$ (N/m 2) où e est l'épaisseur nominale du verre en mm.

- **Actions variables**

Les valeurs caractéristiques des actions courantes sont indiquées ci-dessous.

Tableau 1 – Valeurs caractéristiques des actions courantes

Action variable considérée	Valeur caractéristique(*)
Charge de neige : S	<ul style="list-style-type: none"> • Valeur selon la norme DTU P06-006 (N84) • Eurocode NF EN 1991-1-3 et NF EN 1991-1-3/NA
Charge de vent : W	<ul style="list-style-type: none"> • Action du vent normal selon la norme DTU P06-002 (NV65) • Action du vent caractéristique avec une période de retour de 50 ans selon l'Eurocode NF EN 1991-1-4 et NF EN 1991-1-4/NA

(*) En l'absence de choix dans les DPM, la méthode de détermination des pressions de vent pour le calcul des épaisseurs des vitrages reste au choix de l'entreprise.

Nota : ① Dans le cas d'essais en soufflerie à couche limite turbulente, les valeurs caractéristiques de vent (W) découlent des résultats d'essais.

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 (à savoir la région, le coefficient de site, k_s , le coefficient de réduction δ pour les grandes surfaces, la hauteur du bâtiment [q_h/q_{10}], l'effet de masque, les coefficients d'action locale extérieure [c_e] et intérieure, [c_i]).

- **Combinaisons d'actions**

Les combinaisons d'actions pour le remplissage et les ossatures secondaires sont données dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2 - Combinaison d'actions à l'ELS et à l'ELU pour les remplissages, cadres vitrés et ossatures secondaires

ELS	
Combinaisons d'actions	Remplissages, cadres vitrés et ossatures secondaires
VENT	W
Poids propre + neige ⁽¹⁾	$G + S_{(k \text{ ou } a)}$
Poids propre + vent	
– Action descendante	$G + W$
– Action ascendante	$G - W$
Poids propre + neige ⁽²⁾ + vent	$G + 0,9 (S + W)$
ELU	
VENT	$1,5 W$
Poids propre	Non nécessaire
Poids propre + neige ⁽¹⁾	$1,35G + 1,5S_k ; 1,35G + S_a$
Poids propre + vent	
– Action descendante	$1,35G + 1,5W$
– Action ascendante	$G - 1,5W$
Poids propre + neige ⁽²⁾ + vent	$1,35 (G + S + W)$

(1) Neige normale S_k ou accidentelle S_a .

(2) Neige normale.

(3) Pour les remplissages vitrés, les tableaux de combinaisons sont détaillés dans les paragraphes 2.3.1.2 et 2.3.1.3.

2.3.1.2 Exigences pour le dimensionnement des vitrages

À l'ELS :

- La flèche, « f », au centre du vitrage ne doit pas dépasser 1/60 de la plus petite dimension ou 30 mm. Elle est déterminée à l'aide du coefficient α donné dans le tableau 3.

À l'ELU :

- La contrainte due aux charges climatiques et au poids propre au centre d'un vitrage, ne doit pas dépasser les valeurs données dans le tableau 4. Elle est déterminée à l'aide du coefficient β donné dans le tableau 3.

Tableau 3 – Valeurs des coefficients α et β pour $v = 0,20$ pour un vitrage en appuis libres continus sur 4 côtés

Rapport Long/larg. (L/ℓ)	Flèches α	Contraintes β
1,0	0,669	0,285
1,1	0,801	0,332
1,2	0,930	0,376
1,3	1,052	0,418
1,4	1,166	0,456
1,5	1,271	0,491
1,6	1,367	0,523
1,7	1,454	0,522
1,8	1,533	0,577
1,9	1,604	0,600
2,0	1,667	0,621
2,5	1,892	0,693
3,0	2,013	0,731
4,0	2,110	0,761
5,0	2,135	0,769
> 5,0	2,143	0,771

Tableau 4 – Contraintes de calcul maximales en fonction du type de verre et des combinaisons d'actions

Contraintes ⁽¹⁾ maximales de calcul en MPa				
Combinaisons	G	G + S ou G + Sa ou G + W + S	G + W	W
Recuit	9	12	20	30
Trempe	60	60	70	80
Trempe imprime	40	40	50	60
Trempe émaillé	30	30	40	50
Durci	25	30	35	45
Durci imprimé	15	20	25	35
Durci émaillé	9	12	20	30
Trempe chimique ⁽²⁾	80	70	90	100

(1) Les contraintes ont été calculées à partir du projet de la norme européenne prEN13474-3 d'octobre 2009 avec les coefficients γ_M et k_{mod} suivants :

$\gamma_{M,A} = 1,5$, coefficient partiel de sécurité pour le verre recuit

$\gamma_{M,V} = 1,5$, coefficient partiel de sécurité pour les verres trempés ou durcis

Coefficient k_{mod} , fonction de la durée d'application de la charge	
Action ou combinaison d'actions	k_{mod}
Vent W	1
Neige S	0,44
Neige accidentelle S_a	0,48
Poids propre G	0,29
G + W	0,70
G + W + S	0,50
G + S	0,45
G + S_a	0,40

Ces contraintes ne sont pas applicables pour les verres porteurs (raidisseurs, poutres, garde-corps en verre structurel, planchers ou marches en verre) ou assimilés (VEA). Celles-ci sont déterminées suivant le même principe mais en appliquant $\gamma_{M,A} = \gamma_{M,V} = 1,8$.

(2) L'utilisation du verre trempé chimique devra être justifiée en fonction de son exposition aux rayures du fait de la fragilité de sa surface trempée.

2.3.1.3 Dimensionnement des vitrages simples au regard des charges climatiques (vent, neige) et du poids propre

- Cas des vitrages simples monolithiques

L'épaisseur minimale d'un vitrage sera la plus grande des valeurs obtenues par application des formules ci-dessous.

$$e_{\min} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_s \ell^4}{f}} \quad \text{soit} \quad e_{\min} = \sqrt[3]{60 \alpha q_s \ell^3 \cdot 10^{-3}}$$

$$e_{\min} = \sqrt{\frac{\beta q_u \ell^2}{\sigma}}$$

où σ est la contrainte caractéristique donnée dans le tableau 4.

α et β sont donnés dans le tableau 3.

q_s et q_u sont les charges exprimées dans les tableaux 5 à 8.

- Cas des vitrages feuillettés

L'épaisseur équivalente minimale du vitrage sera déterminée par application de la formule :

$$e_{\min} = \sqrt[3]{\frac{\alpha q_s \ell^4}{f}} \quad \text{soit} \quad e_{\min} = \sqrt[3]{60 \alpha q_s \ell^3 \cdot 10^{-3}}$$

La convenance d'une composition d'un feuilletté est vérifiée :

- par les relations :

$$e_{\text{eq}} = \sqrt[3]{e_1^3 + e_2^3 + \varepsilon (e_1 + e_2)^3}$$

et $e_{\text{eq}} \geq e_{\min}$

$\varepsilon = 0,2$ pour intercalaire des vitrages feuillettés de sécurité

$\varepsilon = 0$ sinon.

Nota : d'autres expressions de l'épaisseur équivalente peuvent être données dans les Avis Techniques ou Documents Techniques d'Application.

- et par la détermination des contraintes dans chaque composant selon les formules ci-dessous.

$$\sigma_1 = \beta q_u \ell^2 \frac{e_1}{e_{\text{eq}}^3} \left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 e_1^2} \right)$$

$$\sigma_2 = \beta q_u \ell^2 \frac{e_2}{e_{\text{eq}}^3} \left(1 + \frac{(e_1 + e_2)^2}{15 e_2^2} \right)$$

σ_1 et σ_2 devant être inférieures aux contraintes caractéristiques des verres, données dans le tableau 4.

α et β sont donnés dans le tableau 3.

q_s et q_u sont les charges exprimées dans les tableaux 5 à 8.

- Cas des vitrages feuillettés comportant plus de deux composants

Dans le cas des vitrages feuillettés comportant n composants ($n > 2$) ayant chacun une épaisseur minimale de fabrication $e_1, e_2, \dots, e_i, \dots, e_n$, on définit de la même manière :

- l'épaisseur équivalente :

$$e_{\text{eq}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n (e_i^3) + \varepsilon \left(\sum_{i=1}^n e_i \right)^3}$$

$\varepsilon = 0,2$ pour intercalaire des vitrages feuillettés de sécurité

$\varepsilon = 0$ sinon.

- la flèche au centre du vitrage :

$$f = \frac{\alpha q_s \ell^4 10^{-3}}{e_{\text{eq}}^3} \quad \text{avec} \quad f \leq \frac{\ell \cdot 10^{-3}}{60}$$

- la contrainte dans chaque composant :

$$\sigma_i = \beta q_u \ell^2 \frac{e_i}{e_{\text{eq}}^3} \left(1 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n e_i \right)^2}{15 e_i^2} \right)$$

les contraintes, σ_i , devant être inférieures aux contraintes caractéristiques données dans le tableau 3.

a) Combinations de charges

La charge, q_s , à prendre en compte à l'ELS correspond au cas le plus défavorable des combinaisons d'action ci-dessous.

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

Combinaison (actions perpendiculaires au plan des vitrages)	Charge
Vent	$q_s = W$

Tableau 6 – Cas des parois inclinées (inclinées de plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaisons (actions perpendiculaires au plan des vitrages)	Charge
Poids propre + neige	$q_s = G \cdot \cos \theta + S \cdot \cos^2 \theta$
Poids propre + vent - action descendante - action ascendante	$q_s = G \cdot \cos \theta + W$ $q_s = G \cdot \cos \theta - W$
Poids propre + neige + vent	$q_s = G \cdot \cos \theta + 0,9 (S \cdot \cos^2 \theta + W)$

θ étant l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale.

La charge, q_u , à prendre en compte à ELU correspond au cas le plus défavorable des combinaisons d'action ci-dessous et tenant compte de la durée de ces actions.

Tableau 7 – Cas des parois verticales (inclinées au plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaison	Charge
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	$Vent$ $q_u = 1,5 \cdot W$

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

	Combinaison	Charge
Actions perpendiculaires au plan des vitrages	Poids propre + neige ⁽¹⁾	$q_u = 1,35 G \cdot \cos \theta + 1,5 S \cos^2 \theta$
	Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_u = 1,35 \cdot G \cdot \cos \theta + 1,5 \cdot W$ $q_u = G \cdot \cos \theta - 1,5 \cdot W$
	Poids propre + neige + vent	$q_u = 1,35(G\cos\theta+S\cos^2\theta+W)$

θ étant l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale
(1) Pour la neige accidentelle, le coefficient de pondération est de 1 au lieu de 1,1.

Dimensionnement des vitrages isolants au regard des charges climatiques (vent, neige) et du poids propre.

a) Méthode de calcul

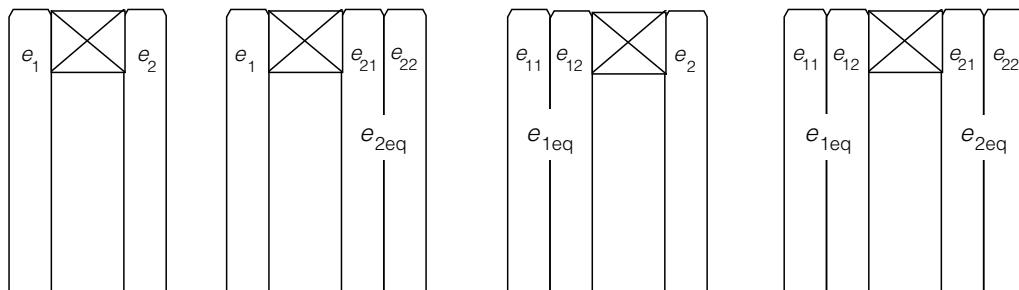
- Si les compositions verrières ne sont pas prédefinies, la première étape consiste en un pré-dimensionnement de l'épaisseur totale du vitrage et des épaisseurs individuelles de ses composants. Pour se faire, les formules simplifiées ci-dessous peuvent être utilisées.

$$\text{Pour } L / \ell \leq 2,5 \quad e_{T\min} = 1,5 \sqrt{\frac{L \cdot \ell \cdot q_u}{93}}$$

Et $e_T = e_1 + e_2 \geq e_{T\min}$

$$\text{Pour } L / \ell > 2,5 \quad e_{T\min} = \frac{1,5 \cdot \ell}{6} \sqrt{q_u}$$

où la charge q_u est définie dans les tableaux 6 et 7.



Convention de repérage des composants verriers

- La deuxième étape consiste en la satisfaction aux deux exigences énoncées plus haut à savoir :
 - Critère de déformation à l'ELS où dans ce cas :

Tableau 9 – Calcul des flèches

Vitrage	Extérieur	Intérieur
Monolithique	$f_1 = \frac{\alpha \cdot q_{1s} \ell^4}{e_1^3}$	$f_2 = \frac{\alpha q_{2s} \ell^4}{e_2^3}$
Feuilleté	$f_1 = \frac{\alpha \cdot q_{1s} \ell^4}{e_{1eq}^3}$	$f_2 = \frac{\alpha q_{2s} \ell^4}{e_{2eq}^3}$

Les charges q_{1s} et q_{2s} sont exprimées dans les tableaux 10 et 11.

- Critère de résistance à l'ELU où dans ce cas :

Tableau 10 – Calcul des contraintes

Vitrage	Extérieur	Intérieur
Monolithique	$\sigma_1 = \frac{\beta q_{1u} \ell^2}{e_1^2}$	$\sigma_2 = \frac{\beta q_{2u} \ell^2}{e_2^2}$
Feuilleté	$\sigma_{11} = \beta q_{1u} \ell^2 \frac{e_{11}}{e_{1eq}^3} \left(1 + \frac{(e_{11} + e_{12})^2}{15 e_{11}^2} \right)$ $\sigma_{12} = \beta q_{1u} \ell^2 \frac{e_{12}}{e_{1eq}^3} \left(1 + \frac{(e_{11} + e_{12})^2}{15 e_{12}^2} \right)$	$\sigma_{21} = \beta q_{2u} \ell^2 \frac{e_{21}}{e_{2eq}^3} \left(1 + \frac{(e_{21} + e_{22})^2}{15 e_{21}^2} \right)$ $\sigma_{22} = \beta q_{2u} \ell^2 \frac{e_{22}}{e_{2eq}^3} \left(1 + \frac{(e_{21} + e_{22})^2}{15 e_{22}^2} \right)$
Les charges q_{1u} et q_{2u} sont exprimées les tableaux 12 et 13.		

b) Combinaisons de charges

La charge, q_s à prendre en compte à l'ELS correspond au cas le plus défavorable des combinaisons d'action ci-dessous.

Tableau 11 – Cas des parois verticales, combinaison ELS (inclinées au plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaison	Charge sur vitrage extérieur	Charge sur vitrage intérieur
Vent	$q_{1s} = W \cdot \left(1 - \frac{\delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \varphi}{2} \right) = W \cdot (1 - k)$	$q_{2s} = \frac{W}{2} \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \varphi = W \cdot k$

$K = \delta \varepsilon \gamma \varphi / 2$ avec $\delta, \varepsilon, \gamma$ et φ issus des tableaux 15 à 18.

Tableau 12 – Cas des parois inclinées, combinaison ELS (inclinées de plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaisons	Charge sur vitrage extérieur	Charge sur vitrage intérieur
Poids propre + neige	$q_{1s} = (1 - k) \cdot (G'_1 + S') + kG'_2$	$q_{2s} = k \cdot (G'_1 + S') + (1 - k)G'_2$
Poids propre + vent		
- action descendante	$q_{1s} = (1 - k) \cdot (G'_1 + W) + kG'_2$	$q_{2s} = k \cdot (G'_1 + W) + (1 - k)G'_2$
- action ascendante	$q_{1s} = (1 - k) \cdot (G'_1 - W) + kG'_2$	$q_{2s} = k \cdot (G'_1 - W) + (1 - k)G'_2$
Poids propre + neige + vent	$q_{1s} = (1 - k) \cdot (G'_1 + 0,9W + 0,9S') + kG'_2$	$q_{2s} = k \cdot (G'_1 + 0,9W + 0,9S') + (1 - k)G'_2$
$G'_1 = G_1 \cos \theta ; G'_2 = G_2 \cos \theta ; S' = S \cos^2 \theta$		

La charge q_u à prendre en compte à l'ELU correspond au cas le plus défavorable des combinaisons d'action ci-dessous et tenant compte de la durée de ces actions.

Tableau 13 – Cas des parois verticales, combinaison ELU (inclinées au plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaison	Charge sur vitrage extérieur	Charge sur vitrage intérieur
Vent	$q_{1u} = 1,5W \cdot \left(1 - \frac{\delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \cdot \varphi}{2} \right) = 1,5W \cdot (1 - k)$	$q_{2u} = 3/4 \cdot W \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot \gamma \varphi = 1,5W \cdot k$

Tableau 14 – Cas des parois inclinées (inclinées de plus de 5° par rapport à la verticale)

Combinaison	Charge sur le vitrage extérieur	Charge sur le vitrage intérieur
Poids propre + neige ⁽¹⁾	$q_{1u} = (1-k)(1,35G'_1 + 1,5S') + 1,35kG'_2$	$q_{2u} = k(1,35G'_1 + 1,5S') + 1,35(1-k)G'_2$
Poids propre + vent : - action descendante - action ascendante	$q_{1u} = (1-k)(1,35G'_1 + 1,5W) + 1,35G'_2$ $q_{1u} = (1-k) \cdot (G'_1 - 1,5W) + kG'_2$	$q_{2u} = k(1,35G'_1 + 1,5W) + 1,35(1-k)G'_2$ $q_{2u} = k \cdot (G'_1 - 1,5W) + (1-k)G'_2$
Poids propre + neige + vent	$q_{1u} = 1,35(1-k)(G'_1 + W + S') + 1,35kG'_2$	$q_{2u} = 1,35k(G'_1 + W + S') + 1,35(1-k)G'_2$

θ étant l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale.

(1) Pour la neige accidentelle le coefficient de pondération est de 1 au lieu de 1,1.

c) Cas des triples vitrages

En l'absence de méthode globale, la méthode simplifiée suivante est applicable.

La répartition des charges sur chaque verre s'effectue en fonction de la rigidité des vitrages, soit :

$$P_i = P \cdot \left(\frac{e_i^3}{\sum_j^3 e_j^3} \right)$$

Les coefficients de pondération des charges, les combinaisons de charges, et le calcul des épaisseurs équivalentes pour les vitrages feuillettés sont inchangés.

Dans les tableaux précédents, les coefficients δ , ε , γ et φ , permettant de calculer la variation de pression dans la lame d'air, sont fonction de l'épaisseur des verres, de l'épaisseur de la lame d'air, du rapport L/ℓ et de la rigidité du verre extérieur.

Ces coefficients sont donnés dans les tableaux ci-dessous.

La méthode générale de détermination de la variation de pression dans la lame d'air est donnée en annexe B.

**Tableau 15 – Coefficient δ
Influence de l'épaisseur des verres**

Verre extérieur	Verre intérieur											
	4	5	6	44-2	55-2	8	66-2	10	12	88-2	15	10.10-2
4	1	1,323	1,543	1,608	1,773	1,778	1,859	1,880	1,929	1,937	1,963	1,967
5	0,677	1	1,267	1,354	1,599	1,608	1,743	1,778	1,865	1,880	1,929	1,936
6	0,457	0,733	1	1,097	1,396	1,407	1,593	1,645	1,778	1,801	1,880	1,891
44-2	0,392	0,646	0,903	1	1,311	1,323	1,527	1,585	1,737	1,764	1,856	1,870
55-2	0,227	0,401	0,604	0,689	1	1,013	1,259	1,335	1,552	1,594	1,743	1,766
8	0,222	0,392	0,593	0,677	0,987	1	1,246	1,323	1,543	1,585	1,737	1,760
66-2	0,141	0,257	0,407	0,473	0,741	0,754	1	1,083	1,342	1,396	1,599	1,632
10	0,120	0,222	0,355	0,415	0,665	0,677	0,917	1	1,267	1,324	1,543	1,580
12	0,071	0,135	0,222	0,263	0,448	0,457	0,658	0,733	1	1,062	1,323	1,370
88-2	0,063	0,120	0,199	0,236	0,406	0,415	0,604	0,676	0,938	1	1,266	1,315
15	0,037	0,071	0,120	0,144	0,257	0,263	0,401	0,457	0,677	0,734	1	1,054
10.10-2	0,033	0,064	0,109	0,130	0,234	0,240	0,368	0,420	0,630	0,685	0,946	1

Tableau 16 – Coefficient ε
Influence du rapport L/ℓ

Rapport L/ℓ									
ℓ	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,5	3	> 3
0,6	0,822	0,864	0,890	0,906	0,916	0,922	0,934	0,940	1
0,7	0,898	0,924	0,940	0,948	0,954	0,958	0,964	0,968	1
0,8	0,938	0,956	0,964	0,970	0,974	0,976	0,980	0,982	1
0,9	0,962	0,972	0,978	0,982	0,984	0,986	0,988	0,988	1
1	0,976	0,982	0,986	0,988	0,990	0,990	0,992	0,994	1
1,2	0,984	0,988	0,990	0,994	0,996	0,996	0,996	0,998	1
1,4	0,994	0,996	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	1	1
1,6	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 17 – Coefficient γ
Influence de l'épaisseur de la lame d'air

Épaisseur de la lame d'air										
ℓ	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
0,6	1	0,944	0,893	0,847	0,808	0,769	0,735	0,705	0,676	0,650
0,7	1	0,966	0,935	0,906	0,877	0,853	0,828	0,806	0,784	0,764
0,8	1	0,981	0,962	0,942	0,923	0,906	0,889	0,874	0,859	0,844
0,9	1	0,987	0,975	0,962	0,950	0,937	0,927	0,915	0,904	0,894
1	1	0,990	0,981	0,973	0,965	0,957	0,951	0,943	0,934	0,926
1,2	1	0,996	0,992	0,988	0,984	0,980	0,976	0,972	0,968	0,966
1,4	1	0,998	0,996	0,994	0,992	0,990	0,988	0,986	0,982	0,980
1,6	1	0,999	0,995	0,994	0,990	0,992	0,992	0,990	0,988	0,988
1,8	1	1	1	0,996	0,996	0,995	0,995	0,994	0,994	0,994
2	1	1	1	1	1	0,996	0,996	0,996	0,996	0,994
> 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tableau 18 – Coefficient φ
Influence de la rigidité du verre extérieur

Verre extérieur										
ℓ	≤ 6	44-2	55-2	8	66-2	10	12	88-2	15	10.10.2
0,6	1	1	0,907	0,948	0,812	0,785	0,603	0,58	0,409	0,389
0,7	1	1	0,939	0,965	0,875	0,853	0,702	0,676	0,508	0,482
0,8	1	1	0,961	0,977	0,916	0,902	0,784	0,761	0,61	0,586
0,9	1	1	0,974	0,985	0,943	0,934	0,845	0,829	0,703	0,679
1	1	1	0,986	0,992	0,962	0,95	0,889	0,876	0,776	0,757
1,2	1	1	0,992	1,006	0,98	0,976	0,943	0,935	0,874	0,859
1,4	1	1	0,996	0,998	0,99	0,986	0,968	0,963	0,928	0,919
1,6	1	1	1	1	0,995	0,993	0,98	0,978	0,957	0,949
1,8	1	1	1	1	0,998	0,997	0,989	0,988	0,972	0,968
2	1	1	1	1	1	0,998	0,992	0,99	0,98	0,976
> 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2.3.1.4 Dimensionnement des produits verriers de vitrages isolants au regard des variations de pression interne

La vérification de la convenance d'une composition verrière d'un vitrage isolant au regard des effets des variations de pression interne est à la charge du producteur du vitrage.

Pour permettre cette vérification, le façadier doit fournir les éléments d'information suivants au fabricant de vitrage :

- localisation géographique et altitude de l'ouvrage ;
- orientation de la paroi ;
- inclinaison de la paroi par rapport à l'horizontale ;
- charge de vent de service ;
- rayonnement solaire maximal ;
- température extérieure maximale en été ;
- température intérieure maximale en été (tenant compte du gradient thermique résultant des stratifications en sous-face de verrière) ;
- température extérieure minimale en hiver ;
- température intérieure minimale en hiver ;
- absence ou présence de store intérieur.

Dans ce dernier cas, les informations complémentaires ci-dessous sont nécessaires :

- caractéristiques énergétiques (réflexion et absorption) du store ;
- distance du store par rapport au vitrage ;
- absence ou présence de jeux latéraux et leurs dimensions.

En l'absence des éléments d'information concernant la situation et l'exposition des vitrages, la vérification est faite sur la base des données conventionnelles suivantes :

- température extérieure : 35 °C ;
- température intérieure : 25 °C dans le cas général, 40 °C dans le cas des verrières dont l'angle par rapport à l'horizontale est $\theta \leq 30^\circ$;
- rayonnement solaire : 750 W/m² pour les parois verticales, 900 W/m² pour les parois inclinées ;
- température de fabrication : 15 °C ;
- différence d'altitude entre le lieu de fabrication et le lieu de mise en œuvre : 300 m ;
- résistances superficielles intérieures et extérieures :

	$60^\circ < \theta \leq 90^\circ$	$\theta \leq 60^\circ$
R_{sj} m ² ·K/W	0,13	0,10
R_{se} m ² ·K/W	0,04	0,04

θ étant l'inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale.

Les valeurs des contraintes dans les produits verriers, déterminées selon la méthode définie en annexe B, ne devront pas être supérieures aux valeurs figurant dans le tableau 4.

2.3.1.5 Dimensionnement des cordons de mastic de collage

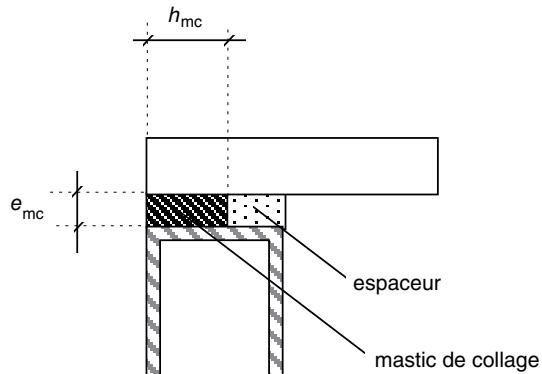


Figure 4 – Cordons de mastic de collage : dimensionnement

Le cordon de mastic est défini par sa hauteur « h_{mc} » et son épaisseur « e_{mc} ».

- Détermination de la hauteur h_{mc} par application de la formule suivante :

$$h_{mc} = \frac{\eta \ell q_u}{1000 \sigma_{des}}$$

où $q_u = 1,5W$ pour les parois verticales (dépression)

$q_u = 1,5 W - G \cos \theta$ pour les parois inclinées (dépression)

ℓ = plus petite dimension du vitrage en m

σ_{des} = contrainte admissible en traction

η = coefficient de forme pris égal à 0,50

La hauteur « h_{mc} » ne doit pas être inférieure à 6 mm.

- Détermination de l'épaisseur « e_{mc} » :

L'épaisseur minimale des cordons de mastic de collage est de 6 mm et $e_{mc} \leq h_{mc}$.

Cette épaisseur « e_{mc} » doit être telle que sous l'effet des mouvements différentiels entre le vitrage et le cadre support, résultant des variations de température prévisibles, les contraintes de cisaillement dans le mastic ne dépassent pas un seuil acceptable.

L'épaisseur minimale nécessaire par application de la formule :

$$e_{mc} = \frac{E_{mc} \Delta d}{3 \Gamma_{des}}$$

dans laquelle Δd est l'expression des déplacements différentiels dans les angles entre vitrage et cadre support.

$$\Delta d = \sqrt{\Delta d_H^2 + \Delta d_L^2}$$

avec :

Pour la détermination de Δd_H l'une des formules ci-dessous :

- vitrages calés :

$$\Delta d_H = H \cdot 10^3 |\alpha_v(\theta_v - \theta_f) - \alpha_c(\theta_c - \theta_f)|$$

- vitrages simples monolithiques non calés :

$$\Delta d_H = \frac{H \cdot 10^3}{2} \cdot |\alpha_v(\theta_v - \theta_f) - \alpha_c(\theta_c - \theta_f)|$$

Pour la détermination de Δd_L la formule :

$$\Delta d_L = \frac{L \cdot 10^3}{2} \cdot |\alpha_v(\theta_v - \theta_f) - \alpha_c(\theta_c - \theta_f)|$$

Formules dans lesquelles :

- α_v : coefficient de dilatation linéaire du verre ($9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
- α_c : coefficient de dilatation linéaire du cadre (aluminium : $24 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$; acier inoxydable $12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$)
- θ_v : température en œuvre du verre ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_c : température en œuvre du cadre support de collage ($^{\circ}\text{C}$)
- θ_f : température de fabrication ($^{\circ}\text{C}$)
- H : hauteur du vitrage (m)
- L : largeur du vitrage (m)

En l'absence de justification particulière des températures atteintes au soleil par les verres et les profilés de cadre, les calculs seront effectués en utilisant les valeurs conventionnelles ci-dessous :

- température du verre (θ_v) : $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- température du cadre (θ_c) : $55 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- température de fabrication (θ_f) : $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Commentaire 2 : ces valeurs de température sont conventionnelles. Il conviendra de vérifier par ailleurs que les températures atteintes dans les différents composants du système ne dépassent pas les valeurs couramment admises (par exemple dans le mastic de scellement des vitrages isolants, dans le cordon de mastic de collage, etc.). Le calcul des températures maximales sous ensoleillement est effectué suivant les hypothèses du Cahier du CSTB 3242.

2.3.1.6 Dimensionnement du cordon de mastic de scellement des vitrages isolants

L'effort maximal admissible par unité de longueur, résultant des effets du vent en dépression à l'ELS, sur le cordon de mastic de scellement est limité à 950 N/m ($0,95 \text{ daN/cm}$) de longueur de joint quelle que soit la hauteur du cordon de mastic et sa géométrie.

Commentaire 3 : cette exigence résulte :

- d'une étude du CSTB sur la répartition des contraintes dans les cordons de mastic de scellement, de diverses sections, montrant l'absence d'influence de la hauteur du cordon de mastic sur l'amplitude des contraintes maximales qui lui sont imposées ;
- de la limitation nécessaire des déplacements relatifs entre les vitrages et les profilés espaces, en vue d'assurer l'intégrité de la première barrière d'étanchéité en mastic butyl et par là même, la durabilité des vitrages ;
- de la corrélation qui peut être faite entre le comportement des vitrages, comportant le même système de scellement, soumis aux effets de variation de pression interne lors des essais de résistance à la pénétration de l'humidité ou soumis aux effets du vent.

La hauteur de ce cordon de mastic respectera les conditions suivantes :

$$h_{sc} \geq 6 \text{ mm}$$

$$h_{sc} \geq \frac{\beta \ell q_u}{2000 \sigma_{des}}$$

β représente la partie de la charge due au vent appliquée au composant extérieur du vitrage.

Si $e_1 \leq e_2 \quad \beta = 1/2$

Si $e_1 > e_2 \quad \beta = 1$

Cas du triple vitrage :

$$\beta = \max \left(\frac{e_1^3 + e_2^3}{e_1^3 + e_2^3 + e_3^3}; 0,5 \right)$$

Pour les vitrages feuillettés e_1 et e_2 sont à considérer en tant qu'épaisseurs équivalentes.

Ces justifications sont de la responsabilité du fabricant du vitrage isolant.

2.3.2 Sécurité des usagers

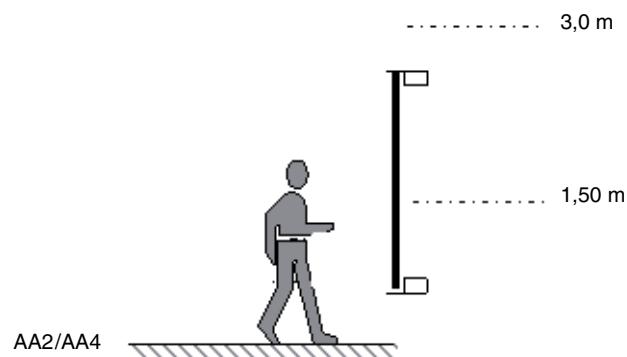
2.3.2.1 Dispositifs de retenue

Les dispositions de fabrication et de contrôle interne (cf. paragraphe 3.4) réunies lors de la réalisation du collage permettent de considérer le risque de défaillance de la liaison verre-support comme faible mais ne permettent pas de l'exclure totalement.

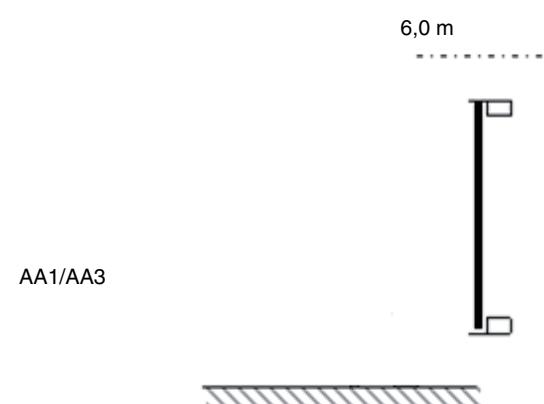
En conséquence, il convient de prévoir des dispositifs propres à maintenir un vitrage décollé ou à en provoquer la fragmentation en petits éléments (verre trempé) ce qui limitera le risque de blessure grave.

Les exceptions à cette exigence sont les suivantes.

- Pour les façades avec aires d'activités AA2 ou AA4 (NF P 08-302), la mise en place n'est pas obligatoire lorsque la traverse basse du cadre VEC est située à une hauteur inférieure ou égale à $1,50 \text{ m}$ et que sa traverse haute est située à une hauteur inférieure ou égale à $3,0 \text{ m}$.



- Pour les façades avec aires d'activités AA1 ou AA3 (NF P 08-302), la mise en place n'est pas obligatoire si la traverse haute du cadre VEC est située à une hauteur inférieure ou égale à 6 m .



- En paroi inclinée sur l'intérieur (verrière de la position verticale jusqu'à la position 45°), la mise en place de dispositifs de retenue n'est pas obligatoire lorsque la composante normale à la paroi du poids des verres ($G \cos \theta$) est supérieure ou égale à la charge de vent ascendante pondérée (W), soit $G \cos \theta \geq W$ (θ étant l'angle d'inclinaison par rapport à l'horizontale) (cf. figure 5).
- Pour les verrières d'inclinaison 45° jusqu'à l'horizontale, la mise en place de dispositifs de retenue n'est pas obligatoire.

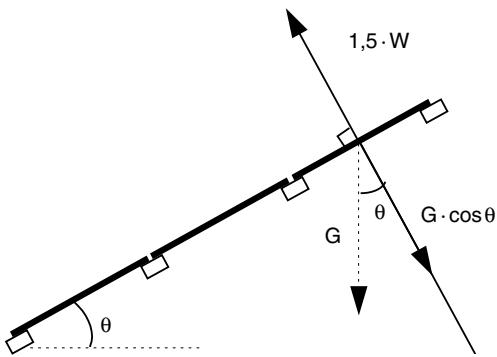


Figure 5 – Exigences en paroi inclinée

Les dispositions habituellement utilisées sont de deux types :

- les pattes de retenue disposées sur le cadre à la périphérie du vitrage ;
- les dispositifs traversant les verres trempés et dits « de fragmentation ».

Quel que soit le type adopté, ces dispositifs ne doivent créer ni contrainte localisée dans les produits verriers, ni entrave à l'expression des mouvements différentiels.

a) Pattes de retenue

Dans le cas des pattes de retenue, il conviendra donc de prévoir des jeux suffisants entre le vitrage et l'élément métallique afin d'éviter tout contact entre ces composants tenant compte, d'une part, des tolérances dimensionnelles du vitrage, du cordon de mastic de collage et, d'autre part, des déformations des vitrages ou de la variation d'épaisseur du mastic de collage sous les effets du vent.

Un jeu nominal minimum de 3 mm est recommandé.

La hauteur du recouvrement des pattes de retenue sur le verre doit être telle que, compte tenu des tolérances dimensionnelles sur le verre et le cadre, une valeur minimale de 5 mm soit conservée en œuvre.

Cette valeur peut être insuffisante si les dispositifs de retenue doivent participer à la sécurité aux chutes des personnes (cf. paragraphe 2.3.2.2).

Les pattes de retenue métalliques doivent être solidarisées mécaniquement (vis, rivets, etc.) aux éléments de cadre.

La résistance des retentions mécaniques devra être validée soit en vérifiant que pour une charge de 60 daN appliquée perpendiculairement à la façade, la limite élastique ne sera pas dépassée, soit par l'essai de choc M50/400J défini au paragraphe 2.3.2.2.

b) Les dispositifs traversants

Ce type de dispositif n'est applicable qu'aux vitrages monolithiques ayant été trempés :

- soient simples ;
- soient composants extérieurs de vitrages isolants à bords décalés.

Afin de conserver une possibilité de mouvement différentiel entre le vitrage et le cadre support et pour des raisons pratiques d'implantation de ces dispositifs traversants sur le cadre, on se limite à un dispositif par vitrage lequel est situé à mi-largeur :

- de la rive supérieure lorsque le VEC est non bordé et non calé ;
- de la rive supérieure ou de la rive inférieure lorsque le VEC est calé.

Un matériau résilient doit être interposé entre l'élément métallique traversant le verre et ce dernier. Ce matériau doit également permettre d'assurer l'étanchéité à l'eau au droit de ce percement.

Ce type de dispositif ne peut pas participer à la sécurité aux chutes des personnes (cf. paragraphe 2.3.2.2).

c) Cas particulier des vitrages isolants à bords décalés

Des dispositifs complémentaires de maintien du verre intérieur sont à mettre en place si :

- le dispositif de retenue est du type traversant sur le verre extérieur ;
- le dispositif est du type patte de retenue, le collage étant situé sur le verre extérieur, ce verre étant trempé.

Ces dispositifs complémentaires ne doivent induire aucune action parasite sur le mastic de collage, sur le scellement des vitrages ou sur les composants verriers en l'absence de défaillance du collage.

Les vitrages isolants comportant les adaptations nécessaires à la mise en place de ces dispositifs dans le système de scellement périphérique sont du ressort de la procédure d'Avis Technique ou d'ATEX.

d) Cas particulier des ouvrants cachés

Dans le cas de cadres ouvrants sur l'intérieur (française, OB) réalisés selon la technique du VEC bordé, et insérés dans une ossature de type grille, il est possible de considérer que le profilé couvre-joint serreur et les profilés d'étanchéité associés constituent des dispositifs de sécurité.

La limitation d'emploi sous vent normal est alors donnée par la résistance en dépression du vitrage simplement mis en œuvre dans son cadre en l'absence de collage VEC et de mastic d'étanchéité périphérique (dans la fente ne sont conservées que les cales d'assise et le profilé fond de joint périphérique).

2.3.2.2 Sécurité aux chutes des personnes

En présence d'un garde-corps répondant aux spécifications des normes NF P 01-012 et NF P 01-013, il n'y a pas d'exigence particulière.

Lorsque les vitrages doivent participer à la sécurité des personnes vis-à-vis du risque de chute, les exigences applicables sont définies comme suit :

- la composition du vitrage doit être conforme aux prescriptions du NF DTU 39, avec des composants en verre feuilleté défini au paragraphe 2.2.3.2 ;

– en présence d'une protection résiduelle au sens de la norme NF P 01-012, la façade à l'état neuf doit résister au choc selon les modalités d'essais de la norme P 08-302. Les dispositifs de sécurité ne servent qu'à retenir le vitrage en cas de défaillance éventuelle du collage.

En l'absence de protection résiduelle, la façade VEC doit résister au choc selon les modalités d'essai de la norme NF P 08-302 à l'état neuf.

Un essai de choc complémentaire M50/400J, sera réalisé avec le vitrage décollé et maintenu uniquement par ces retentions mécaniques. Les critères sont l'absence de chute du vitrage (des chutes de morceaux de verre sont admises), et le non-passage du gabarit hexagonal de la NF P01-013.

2.3.2.3 Cas des parois inclinées

Les prescriptions du NF DTU 39-Partie 5, relatives au choix des vitrages en paroi inclinée, seront respectées.

2.3.2.4 Vitrages à bords libres

Les chants accessibles des vitrages adjacents à des ouvertures ou à un passage ainsi que les vitrages de vantaux ouvrants ne doivent présenter ni arête vive ni état de surface susceptible de causer des blessures.

2.3.3 Sécurité en cas d'incendie

Elle n'est pas mise en cause par l'application du principe de fixation des vitrages par collage.

La convenance du point de vue de la sécurité en cas d'incendie d'une façade VEC doit être appréciée dans les mêmes conditions que pour une façade légère dans laquelle la fixation des vitrages de même nature est traditionnelle. Elle doit être examinée, cas par cas, en fonction des divers règlements concernant l'habitation, les établissements recevant du public, les immeubles de grande hauteur, etc.

Si des performances de réaction et/ou de résistance au feu sont requises, l'évaluation devra être effectuée selon le référentiel défini dans la norme NF EN 13501.

2.3.4 Sécurité en cas de séisme

On se référera, comme pour les façades légères traditionnelles, aux règles PS 92.

2.3.5 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 susceptible de causer des blessures.

En l'absence de dispositions permanentes et collectives contre les risques de chute, les parois inclinées en VEC seront intrinsèquement résistantes. Dans ce cas, il conviendra de vérifier que les vitrages résistent, compte tenu de leur mise en œuvre, au choc de grand corps mou M50 d'énergie 1200 J (cf. Brochure INRS ED 718 et note d'information n° 4 du Groupe spécialisé n° 2 - Cahier du CSTB 3228).

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

2.4 Règles relatives à la faisabilité

2.4.1 Dispositions générales

La réalisation du collage en atelier est seule envisageable. L'atelier de collage est une zone spécialement aménagée afin de permettre de maîtriser les conditions de température, d'hygrométrie, d'absence de poussière, de contrôle des appareillages ou outils de production, du stockage, aptes à assurer l'obtention des caractéristiques et performances attendues.

Cela implique qu'un cadre vitré accidenté puisse être démonté isolément afin de permettre soit un remplacement par un élément neuf, soit son retour en atelier pour procéder au remplacement de l'élément détérioré (cf. paragraphe 4.2.2 « Réparation »).

Le remplacement d'un vitrage sur site n'est envisageable que dans la mesure où les conditions suivantes sont réunies :

- le remplacement sur site est prévu dès la conception pour le système de collage et est mentionné dans l'ATEc ou le DTA ;
- une entreprise sous PASS VEC avec extension de méthodologie pour chantier.

Commentaire 4 : il peut être envisagé par la maîtrise d'ouvrage, dans le cadre de la maintenance, pour limiter les délais de remplacement, de prévoir le stockage de cadres vitrés ou de vitrages surtout lorsque ceux-ci correspondent à des fabrications particulières (sérigraphie, dépoli, couches spéciales, etc.).

2.4.2 Dispositions spécifiques au collage

Pour permettre le remplissage complet de la gorge d'accueil du mastic de collage, sans inclusion de bulles d'air ou création d'autre défaut susceptible de nuire à son comportement ultérieur, la hauteur du cordon de mastic respectera les limites suivantes :

$$h_{mc} \leq 3e$$

avec

$$h_{mc} \leq 20 \text{ mm pour les mastics monocomposants.}$$

Dans le cas d'un collage dit en « L », la distance « d » entre le chant du vitrage et l'aile du profilé constituant fond de feuillure, doit être au minimum de 6 mm pour permettre le passage de la buse d'extrusion du mastic de collage. On se reporterà par ailleurs au paragraphe 2.5.1.4 « Cas du collage en L ».

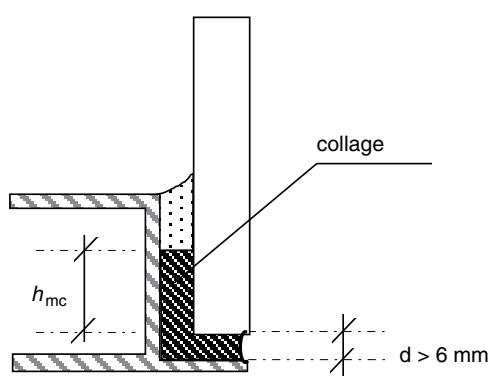


Figure 6 – Dispositions spécifiques au mastic de collage

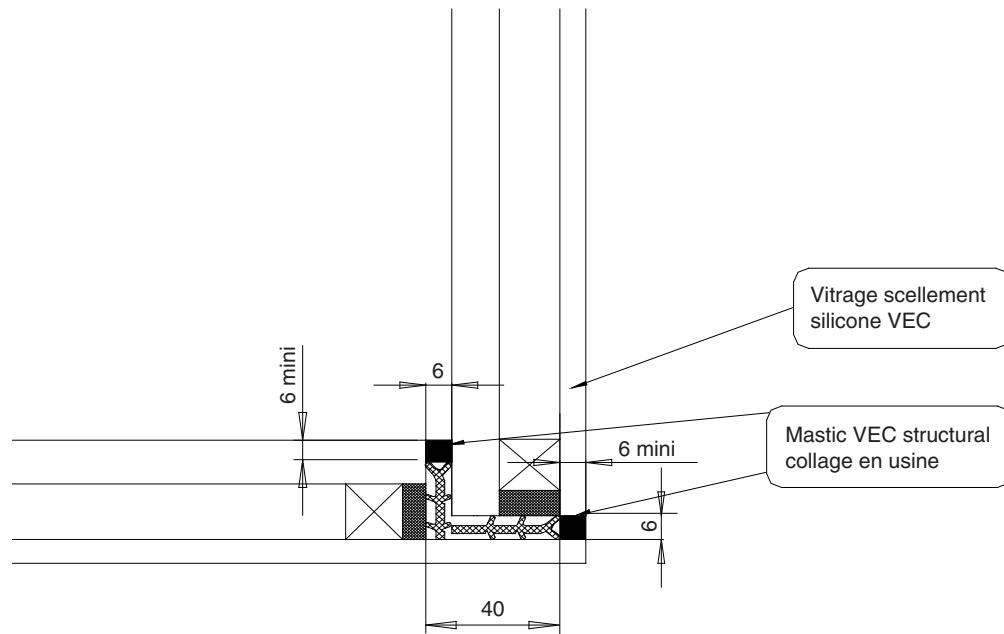


Figure 7 – Coupe horizontale sur angle VEC

2.4.3 Cas des vitrages en angles

Dans le cas des vitrages en angle à 90° sans profilé support de collage vertical, les dispositions supplémentaires suivantes sont applicables :

- la mise en œuvre et le collage des vitrages sont réalisés en atelier, dans un châssis formant dièdre lui-même assemblé en atelier ;
- la mise en œuvre des vitrages peut être réalisée sur les trois autres côtés avec parcloses, soit en VEC ;
- la feuillure verticale, en angle, doit permettre la ventilation des scellements des vitrages isolants ;
- les épaisseurs des vitrages doivent être de 6 mm au minimum ;
- les vitrages sont calculés en appui sur quatre côtés ;
- les mastics de scellement des vitrages sont calculés selon le présent document ;
- le cadre, principalement la traverse, doit être dimensionné pour reprendre le poids propre du vitrage ;
- les formules de calcul des cordons de mastic de collage VEC restent applicables ; ne sont pris en compte que les efforts de traction dans les mastics ;
- le décalage entre le mastic de scellement et le mastic de collage ne peut être supérieur à 40 mm.

2.5 Règles relatives à la durabilité

2.5.1 Durabilité du mastic de collage

Outre les dispositions de fabrication et de contrôles internes propres à assurer la constance de qualité précisées au paragraphe 3, les dispositions constructives ci-dessous doivent être respectées.

2.5.1.1 Limitation des sollicitations permanentes

Sauf justification particulière précisée dans le Document d'Application, le mastic de collage ne peut être soumis à des efforts de traction permanents résultant du poids des vitrages ce qui exclut la réalisation de façades inclinées vers l'extérieur (façades en surplomb).

Les contraintes de traction permanentes admissibles sur le mastic de collage dues à la réaction de profilés espaces et/ou profilés d'étanchéité préformés élastomères comprimés sont limitées au dixième de la contrainte admissible en traction (σ_{des}).

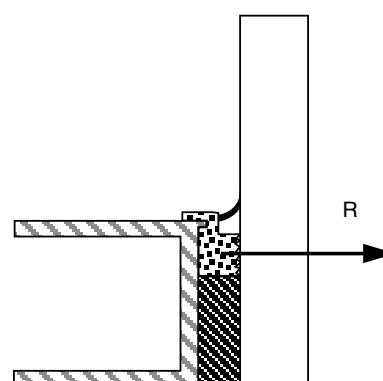


Figure 8 – Contrainte de cisaillement admissible sous charge permanente

Dans le cas des vitrages simples monolithiques, il est possible de ne pas prévoir de calage si le mastic de collage le permet. Le rapport d'essai de fluage sous cisaillement de longue durée et sous effort de traction de longue durée (*paragraphe 5.1.4.6.8 ETAG 002*) indique alors la contrainte de cisaillement admissible sous charge permanente (Γ_∞). On vérifiera que cette contrainte de cisaillement admissible n'est pas dépassée en considérant que le poids des verres n'est supporté que par les collages réalisés sur les montants des cadres.

$$\Gamma_\infty = \frac{P}{2 \cdot 10^3 h_{mc} \times H} = \frac{24,5 \cdot 10^{-3} \times L \times e}{2 \times h_{mc}}$$

avec P = poids du vitrage (N)

L = largeur du vitrage (m)

H = hauteur du vitrage (m)

e = épaisseur du vitrage (mm)

h_{mc} = hauteur du mastic de collage (mm)

Tous les autres vitrages doivent être calés (*cf. paragraphe 2.5.2*).

2.5.1.2 Limitation des risques de stagnation d'humidité

Les plans d'adhérence du mastic sur les verres ou sur les plages métalliques peuvent être altérés par la présence prolongée d'humidité.

Pour pallier ces aléas, les dispositions suivantes sont requises.

a) Cas du VEC non bordé

En traverse haute, la hauteur de la glace sera inférieure d'au moins 1 mm (tolérances comprises) à celle du cadre, et le mastic sera conformé en solin pour éviter toute stagnation d'eau.

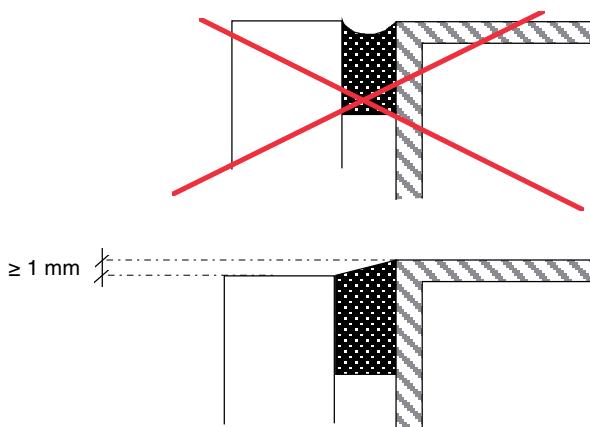


Figure 9 – Limiter les risques de stagnation de l'humidité

- En traverse basse on prévoira pour écarter les eaux de condensation ou de nettoyage, et quel que soit le type de vitrage (simple ou isolant) :

- soit un solin de mastic remontant sur au moins 10 cm le long des montants ;
- soit un profilé élastomère faisant le même office.

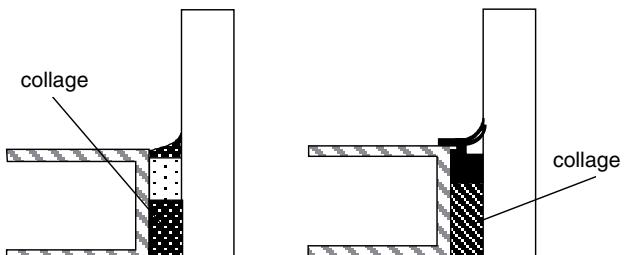


Figure 10 – Solutions pour écarter l'humidité en traverse basse

- b) Cas du VEC non bordé avec profilé d'étanchéité périphérique

- Profilé recouvrant de moins du tiers

- Dans le cas particulier de la présence d'un profilé d'étanchéité complémentaire venant recouvrir le mastic de collage et sur au maximum 1/3 de la largeur du joint de scellement, les dispositions suivantes sont applicables :

- essai préalable de compatibilité et d'adhérence (pelage) ;
- dans le cas d'utilisation de mastic bicomposant, le profilé périphérique est mis en place avant lissage du mastic de collage de manière à adhérer sur celui-ci ;
- dans le cas d'utilisation de mastic monocomposant, le cordon de mastic VEC est réalisé avant mise en place du profilé périphérique. Après polymérisation du mastic, le profilé est clippé sur le cadre et collé par un deuxième cordon de mastic, compatible avec le premier.

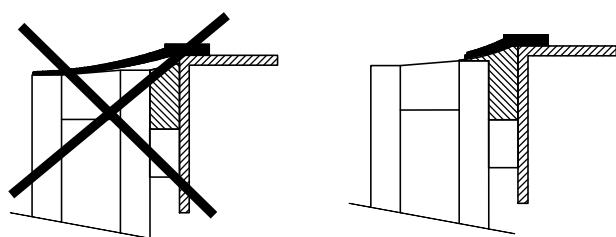


Figure 11 – Cas de profilé d'étanchéité complémentaire recouvrant la totalité du mastic de scellement

- Profilé recouvrant de plus du tiers

- Dans le cas particulier de la présence d'un profilé d'étanchéité complémentaire venant recouvrir la totalité du mastic de scellement, les dispositions suivantes sont applicables :

- remplir de silicone de collage la cavité entre le chant du vitrage, l'épaisseur du mastic de collage et le joint pare-pluie ;
- s'assurer des compatibilités et de l'adhérence du joint, du mastic de collage et du joint de scellement ;

- rédiger une notice de montage. Lors de la mise en place du joint, il faut chasser les bulles d'air, qui peuvent se charger d'humidité ou pire d'eau. La garniture devra être réalisée avec les angles soudés ;
- faire un test de durabilité suivant le protocole défini en annexe E (ancienne norme française NF P 78451 cas des 168 cycles sans UV) pour vérifier la pénétration d'humidité dans le système de scellement du vitrage isolant.

c) Cas du VEC bordé

Dans ce cas, le collage est généralement réalisé par l'intérieur du cadre, et il conviendra de conserver le cordon de mastic de collage en solin en traverse basse comme précédemment.

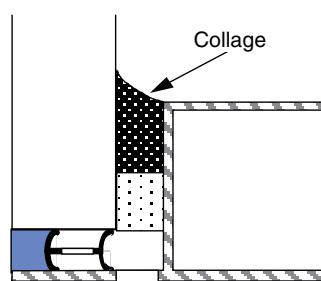


Figure 12 – Réalisation du collage en VEC bordé

Dans le cas des vitrages feuilletés ou isolants, la feuillure d'accueil doit être drainée (cf. paragraphe 2.5.2).

d) Cas du VEC à bords décalés

Outre les dispositions précédentes :

- Si le collage est réalisé sur le vitrage intérieur :
 - le fond de joint du mastic d'étanchéité disposé entre la glace extérieure et le cadre doit être du type non hygroscopique ;
 - le fond de joint et le mastic d'étanchéité doivent être ponctuellement interrompus en traverse basse pour drainage des eaux d'infiltration accidentelle.
- Si le collage est réalisé sur le vitrage extérieur :
 - la feuillure d'accueil doit être drainée ;
 - la garniture intérieure doit être étanche à la vapeur d'eau.

2.5.1.3 Plages de collage

Les plages de collage ne doivent comporter aucune discontinuité pouvant résulter par exemple :

- de l'association des profilés élémentaires pour constituer la feuillure d'accueil ;
- d'un collage intéressant à la fois le profilé adaptateur et le profilé principal ;
- de la pénétration dans le mastic d'un élément ponctuel tel que support de cale d'assise ou éventuellement dispositif de retenue.

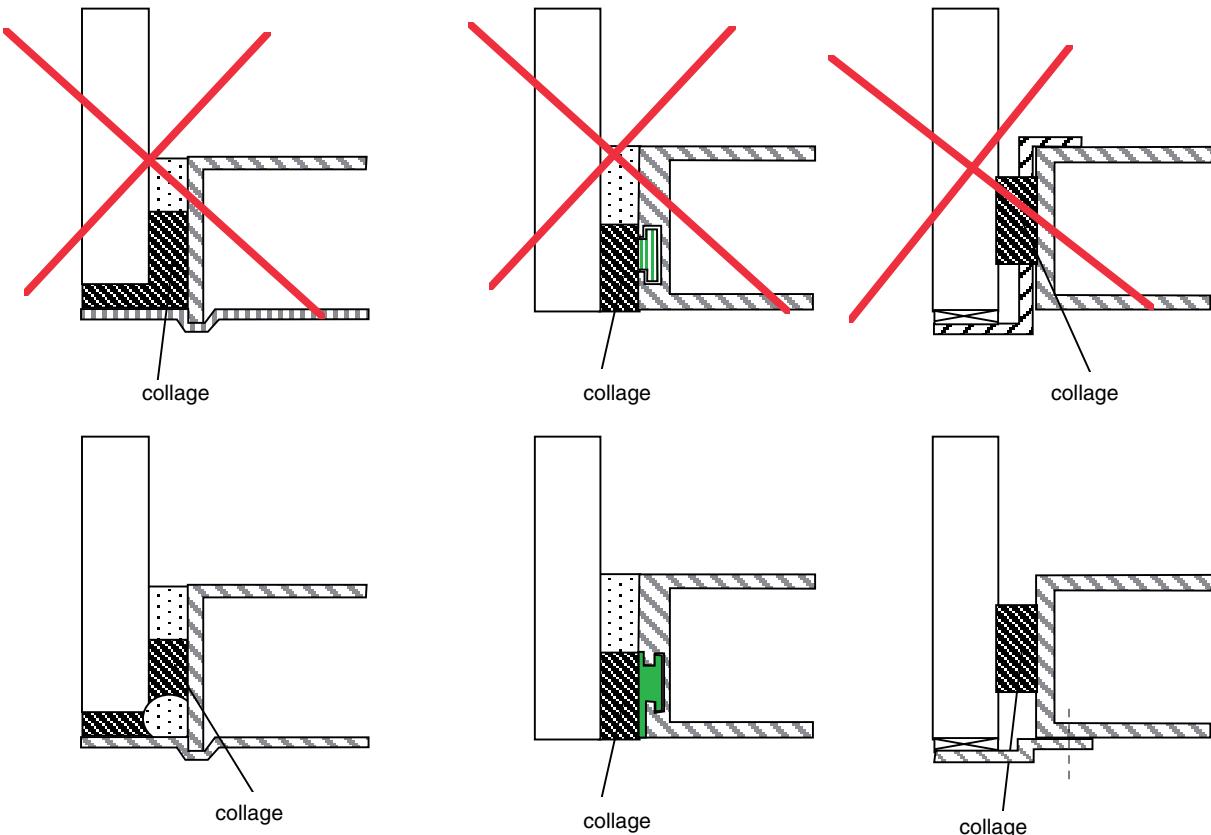


Figure 13 – Réalisation des plages de collage

Le mastic de collage ne doit adhérer que sur ses faces en regard correspondant aux plans du verre et du cadre. Sauf justification particulière, l'adhérence sur le profilé espaceur ne peut être admise.

L'aptitude à l'emploi du système doit être évaluée en fonction de l'adéquation entre la géométrie des plages de collage et les performances de résistance à la déchirure du mastic.

La résistance résiduelle après déchirure doit être supérieure à 50 % ou à 75 % de la valeur initiale, selon le paragraphe 61464 du guide EOTA 002 Partie 1.

2.5.1.4 Cas du collage en « L »

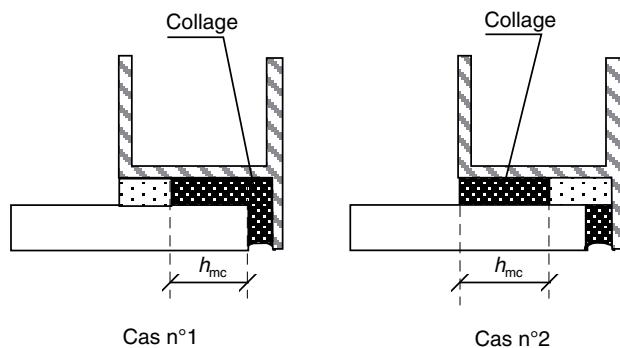


Figure 14 – Réalisation du collage en L

Dans le cas des vitrages simples monolithiques mis en œuvre en VEC bordé, le mastic de collage peut constituer calage du vitrage et garniture d'étanchéité extérieure. Cela implique en premier lieu que les justifications d'aptitude du mastic à constituer calage d'assise soient apportées.

Deux configurations sont possibles.

- Le mastic de collage remplit la gorge en « L » formée par le verre et la feuillure d'accueil (*figure 14 - cas n° 1*). Dans ce cas, l'application du mastic est réalisée par l'extérieur du cadre.
- Un espaceur constituant fond de joint est disposé dans l'angle de la feuillure du cadre. Le mastic de collage est appliqué, d'une part, par l'intérieur pour la partie assurant la liaison mécanique verre-cadre et, d'autre part, par l'extérieur pour la partie assurant l'étanchéité (*figure 14 - cas n° 2*).

Cette disposition plus complexe du point de vue réalisation présente l'avantage d'éliminer les risques de rupture non contrôlée du mastic pouvant résulter d'un nombre de plages d'adhérence du collage supérieur à 2 dans le cas n° 1 de la *figure 14*.

Dans l'un et dans l'autre cas :

- la hauteur de collage, h_{mc} , prise en compte dans le calcul est strictement limitée à la hauteur de contact entre le mastic, la face du verre et la plage métallique en regard ;
- la largeur du joint entre le chant du vitrage et le fond de feuillure sera au minimum de 6 mm pour mise en place de la garniture d'étanchéité.

Cette largeur de joint sera déterminée en considérant les mouvements différentiels prévisibles entre verre et cadre, poids des vitrages, caractéristiques du mastic en traction, compression et cisaillement.

2.5.1.5 Action de la température

La température maximale admissible pour les cordons de mastic de collage des cadres vitrés soumis au rayonnement solaire est de 80 °C.

2.5.1.6 Compatibilité chimique

On se reportera au paragraphe 2.5.3.

2.5.2 Durabilité des vitrages composés

On entend par vitrages composés les vitrages feuillettés et les vitrages isolants.

Ces vitrages doivent correspondre aux normes s'y rapportant.

2.5.2.1 Calage d'assise des vitrages composés

Les cales doivent être en matériau durable de dureté au moins égale à $75^\circ \pm 5$ Shore A et compatible avec les matériaux ou produits situés au contact ou à proximité (cf. paragraphe 2.5.3).

Elles doivent intéresser tous les composants des vitrages, être positionnées selon les règles définies dans le NF DTU 39 et être dimensionnées selon la formule suivante : $L = 10 S$

L = longueur de la cale en mm,

S = surface du vitrage en m^2 .

Il est admis que le composant extérieur d'un vitrage feuilletté ou d'un vitrage isolant ne soit calé que sur la moitié de son épaisseur à condition que :

- la largeur d'appui effective du vitrage sur la cale soit au moins égale à 3 mm. En VEC bordé pour permettre la réalisation d'une étanchéité périphérique d'au moins 3 mm, cela implique une épaisseur minimale de 6 mm pour le composant verrier extérieur ;
- la longueur de la cale soit doublée pour tenir compte de la contrainte de compression résultante.

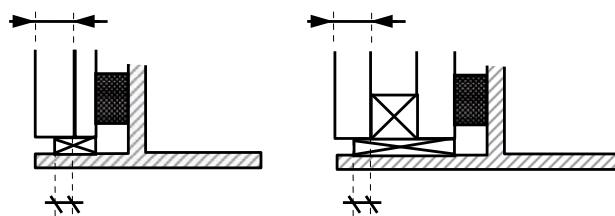


Figure 15 – Calage d'assise des vitrages composés

Dans le cas des VEC bordés, les cales ne doivent pas constituer d'entrave au fonctionnement correct du drainage.

Dans le cas des VEC non bordés :

- les supports de cale d'assise doivent avoir une rigidité suffisante pour que sous le poids du verre, le déplacement relatif des deux composants d'un vitrage isolant soit inférieur à 0,5 mm ;
- les cales devront être immobilisées par rapport à leur support pour éviter tout déplacement (par effet de reptation par exemple).

Dans le cas des VEC à bords décalés, la faisabilité du calage des deux composants implique une extrême rigueur de positionnement des chants d'appui des verres. Cela implique une tolérance sur le décalage des bords inférieure ou égale à 0,5 mm. Pour remédier à cette difficulté, des solutions de cales réglables sont envisageables.

Le Document Technique d'Application apprécie la validité de la solution proposée. Si les hauteurs de cales intérieures et extérieures sont différentes, les résistances à la compression doivent être adaptées pour que, sous charge, la variation d'épaisseur soit équivalente.

2.5.2.2 Drainage

Les feuillures d'accueil des vitrages feuillettés ou isolants doivent être drainées en respectant les prescriptions du NF DTU 39.

Les fonds de joints de garnitures d'étanchéité doivent permettre l'aération du chant des vitrages feuillettés au voisinage de l'intercalaire et du système de scellement des vitrages isolants.

Ces fonds de joint ne doivent pas constituer un plan de capillarité pouvant provoquer des rétentions d'eau prolongées.

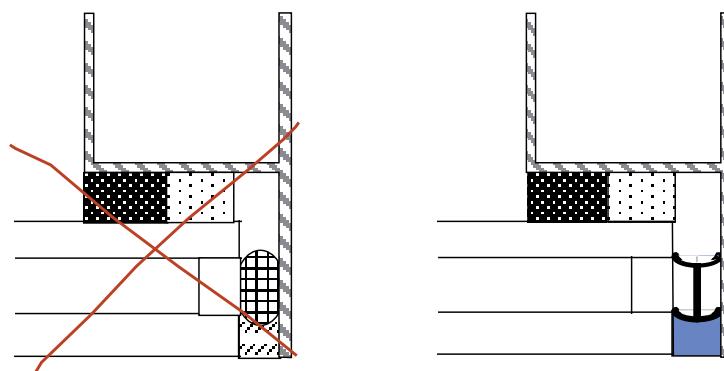


Figure 16 – Drainage : réalisation du fond de joint

2.5.2.3 Limitation du risque de stagnation d'humidité

Dans le cas des vitrages isolants mis en œuvre en VEC non bordé, en traverse haute la hauteur de la glace extérieure sera inférieure à celle de la glace intérieure pour éviter la stagnation d'eau et le mastic de scellement des vitrages sera formé en solin.

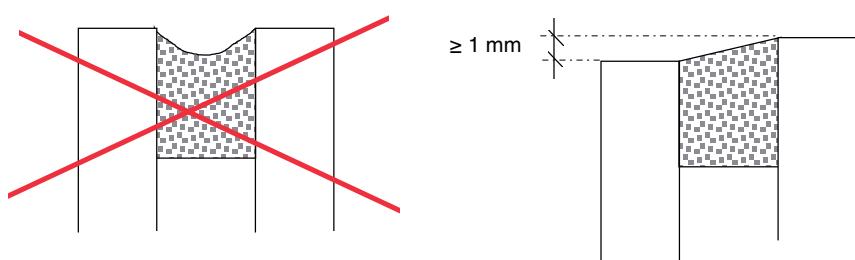


Figure 17 – VEC non bordée : hauteur de la glace extérieure

La solution de protection du chant supérieur du vitrage par un profilé à lèvre recouvrant les verres est possible sous réserve du respect des prescriptions du paragraphe 2.5.1.2 pour éviter les risques d'infiltration d'eau et du risque de création d'un plan de capillarité.

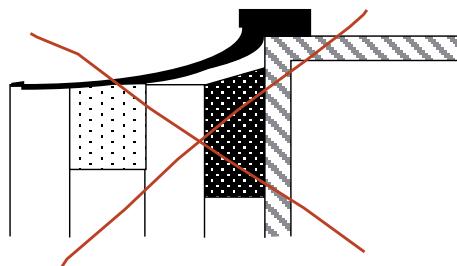


Figure 18 – La protection du chant supérieur du vitrage doit permettre d'éviter les infiltrations

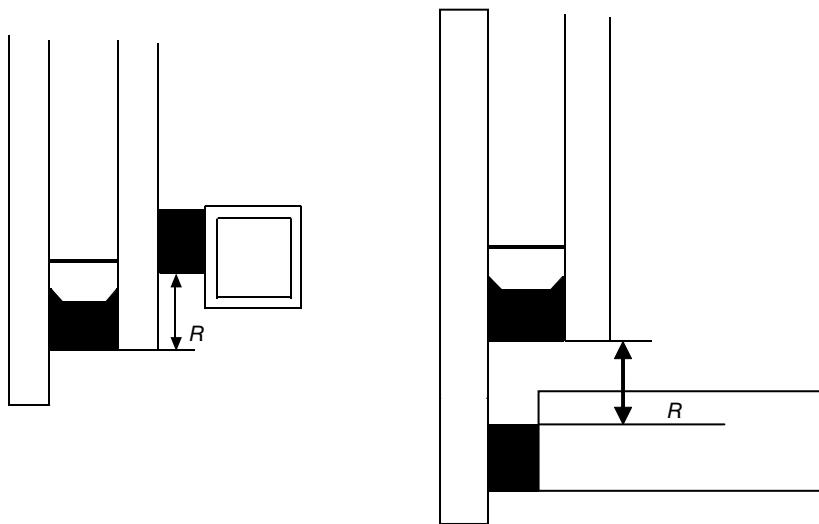


Figure 19 – Décalage entre le mastic de collage et le mastic de scellement

2.5.2.4 Limitation des efforts sur le système de scellement des vitrages isolants

Les efforts induits dans le système de scellement des vitrages isolants sous les effets des variations de pression interne résultant des variations de température, des variations de pression atmosphérique locale ou des différences d'altitude entre le lieu de fabrication et le lieu de mise en œuvre, sont limités à 950 N/m (0,95 daN/cm) de longueur de joint.

La vérification de l'adéquation d'une composition de verrière avec les dimensions du vitrage, l'épaisseur de la lame d'air et les conditions thermiques prévisibles en œuvre, est à la charge de l'assemblage du vitrage isolant.

Il appartient aux entreprises de communiquer au fournisseur les éléments nécessaires à cette vérification comportant en particulier :

- l'altitude de mise en œuvre ;
- l'orientation des vitrages ;
- l'inclinaison des vitrages ;
- la température maximale extérieure en période estivale ;
- la température maximale des locaux ;
- la présence éventuelle d'un store et ses caractéristiques énergétiques.

En l'absence de ces données, la vérification sera faite en considérant les valeurs forfaitaires données au paragraphe 2.3.1.4.

La méthode de calcul est donnée en annexe B pour les vitrages isolants.

Pour le cas du triple vitrage, il pourra en l'absence de logiciel approprié et reconnu être utilisé les résultats des températures maximales susceptibles d'être atteintes au soleil (moyenne des deux lames éventuellement lorsque leurs épaisseurs sont égales) et en considérant un double vitrage constitué par les deux composants verriers externes du triple vitrage et avec une épaisseur de lame d'air/gaz égale à la somme des épaisseurs des deux lames d'air/gaz du triple vitrage.

Il est en outre rappelé que la température atteinte en œuvre par le scellement des vitrages isolants ne peut excéder 60 °C.

Par ailleurs, dans le cas des vitrages isolants à bords décalés, et avec garniture d'étanchéité de type mastic, les caractéristiques mécaniques en traction de cette garniture et son dimensionnement doivent être tels que :

- lorsque le collage est réalisé sur la glace extérieure, il n'y ait pas possibilité de création d'un effort de traction sur le système de scellement du vitrage ;
- lorsque le collage est réalisé sur la glace intérieure, le mastic d'étanchéité ne soit pas soumis à des contraintes de traction pouvant altérer son adhérence sur les supports.

Cela implique que :

- le module d'élasticité du mastic d'étanchéité soit inférieur ou égal à celui du mastic de collage ;
- l'épaisseur du mastic d'étanchéité soit supérieure ou égale à celle du mastic de collage.

Sauf justification particulière, le décalage entre le mastic de collage et le mastic de scellement est limité à $R = 40 \text{ mm}$.

2.5.2.5 Limitation du risque de casse thermique

Sauf justification particulière par note de calcul et pour les vitrages soumis au rayonnement solaire :

- tous les vitrages devant partie opaque doivent être trempés ou durcis ;
- le composant extérieur d'un vitrage isolant à bord décalé doit être trempé ou durci si le décalage des bords des verres est supérieur à 5 fois l'épaisseur de ce composant (cf. NF DTU n° 39 P3 - NF P 78-201-3 paragraphe 10.4). Sauf justification spécifique, le décalage sera limité à $L/10$.

Dans tous les autres cas, une étude particulière doit être réalisée pour apprécier la nécessité d'un traitement thermique des vitrages.

Commentaire 5 : l'attention est particulièrement attirée sur le fait que la mise en œuvre ultérieure de store, de film de contrôle solaire, de corps de chauffe ou de système de soufflage d'air chaud non prévus à l'origine peut générer des désordres importants dans les vitrages, lesquels n'ont pas été conçus pour supporter ces ajouts ou modifications d'environnement. Dans tous les cas envisagés ci-dessus, une étude préalable est indispensable.

2.5.3 Compatibilité chimique

Les produits au contact ou à son voisinage du mastic de collage sont :

- mastic de scellement des vitrages isolants ;
- espaceur ;
- mastic d'étanchéité et le fond de joint éventuels ;
- intercalaire de vitrage feuilleté.

Les justifications de compatibilité physico-chimique du mastic de collage avec ces matériaux sont réalisées selon les modalités précisées en annexe C.

Des justifications de même nature doivent être apportées pour s'assurer de la compatibilité réciproque des autres constituants du système VEC.

3. Conditions générales de fabrication

3.1 Généralités

L'opération de collage nécessite un soin particulier. Elle ne peut être réalisée que dans un atelier bénéficiant d'un contrôle supervisé par un organisme extérieur. Il est rappelé qu'un atelier de collage est une zone aménagée ou spécialement conçue pour réaliser un collage en atmosphère protégée. Il est rappelé que dans le cas du Marquage CE, cet organisme est un organisme notifié.

L'entreprise de façade doit s'assurer de l'existence de ce contrôle extérieur et de la satisfaction aux prescriptions du cahier des charges des concepteurs du système.

Les dispositions relatives au système de contrôle de production en usine pour les opérations de collage VEC sont définies, le plan d'assurance qualité spécifique VEC est transmis à l'organisme notifié et sert de référence à celui-ci dans le cadre du contrat de supervision VEC (ex : PASS VEC CSTB).

Les informations nécessaires au suivi des contrôles de l'opération de collage sont reprises dans les paragraphes ci-après.

Les principales dispositions à adopter par l'usine de collage doivent être consignées sous forme de document qualité (plan qualité, procédures, instructions, etc.) et concernent principalement les points suivants :

- responsabilités du système de contrôle ;
- documentation de l'usine (procédures internes, cahiers des charges, etc.) ;
- opérations de contrôle (matières premières, en cours de fabrication et sur produits finis) ;
- personnel, installations et équipements ;
- enregistrement et modalités des essais ;
- traitement des produits non conformes.

Nota : Le « Pass VEC » délivré par le CSTB (organisme notifié désigné par l'État français) permet d'attester de la conformité des contrôles pour les opérations de collage avec les référentiels applicables.

3.2 Identification et suivi de fabrication

• Identification des produits

Pour permettre la traçabilité des opérations de fabrication, les différents constituants doivent faire l'objet d'une identification correspondant soit à un marquage directement sur le produit ou son emballage lorsque cela est possible (profilés métalliques, mastic, agent de nettoyage ou primaire d'adhérence) soit à une fiche accompagnant chaque lot livré (vitrages).

• Essais de convenance

En préalable à la fabrication des cadres, le façadier (ou le gammiste pour les barrettes de collage) fait parvenir au fabricant de mastic de collage :

- les échantillons de profilés correspondant à l'ensemble des lots dont l'emploi est envisagé pour la réalisation de l'ouvrage concerné ;
- les échantillons de vitrages correspondant à ceux destinés à l'ouvrage concerné s'ils comportent une plage de collage particulière (couche, émaillage), à défaut de résultats déjà disponibles ;
en vue de procéder aux essais dits « de convenance au projet » (voir annexe A du présent document).

Ces essais permettent de confirmer l'adhérence du mastic sur les plages de collage avec les agents de nettoyage et le primaire d'adhérence préconisés.

Le fabricant du mastic transmet au façadier ou au gammiste concepteur du système un compte rendu d'essai faisant référence au lot de profilé, à l'identification du vitrage, du mastic de collage, de l'agent de nettoyage et du primaire d'adhérence éventuel.

• Document de suivi des cadres collés

Pour permettre l'identification et la localisation en œuvre de tous les cadres vitrés identiques à un cadre VEC dont le collage est défaillant, il convient d'organiser dans le processus de fabrication un système de suivi impliquant chaque intervenant pour la prestation qui le concerne.

Le façadier enregistre les numéros de lots de profilés supports de collage utilisés pour la réalisation des cadres. Un marquage permanent complémentaire doit être apposé par cadre afin d'être reporté sur le plan de calpinage de l'ouvrage (cf. paragraphe 4 « Mise en œuvre »).

Le façadier transmet à l'atelier de collage les documents de suivi sur lesquels figurent les numéros des cadres et/ou le (ou les) numéro(s) de lots de profilés adaptateurs de collage correspondants, accompagnés des comptes-rendus des essais de convenance au projet qui lui auront été transmis par le gammiste le cas échéant.

L'atelier de collage fait figurer sur les documents de suivi, en regard les numéros de lots de profilés et les numéros de cadres :

- l'identification du ou des fournisseurs de vitrages particuliers comportant sur la plage de collage par exemple une couche, un émaillage, une sérigraphie ;
- l'identification et le numéro de lot des agents de nettoyage ;
- l'identification et le numéro de lot du primaire d'adhérence éventuel ;

- l'identification et le numéro de lot du mastic de collage ;
- la date du collage.

Les documents de suivi sont conservés à l'atelier de collage avec les résultats des essais de convenance.

- **Fabrication des cadres**

Les profilés composant le cadre support de collage doivent être identifiés par lots, un lot correspondant à une campagne continue de 24 heures maximum d'anodisation, de thermolaquage ou de surfaçage (acier inoxydable).

L'identification devra être réalisée par un marquage indélébile positionné au moins tous les 50 cm de façon telle qu'il puisse être lisible en cas de défaillance ultérieure du collage et devra comporter au minimum le jour et l'année de traitement de surface, la référence du profilé, l'identification de l'entreprise réalisant le traitement.

Un cadre sera réalisé à partir de profilés issus de lot impliquant les mêmes conditions de collage.

Les profilés supports de collage doivent être stockés à l'abri de la poussière et de l'humidité. Un stockage de plus de 6 mois, sauf justification particulière, nécessite la réalisation de nouveaux essais de convenance à réaliser par lieu de stockage. Entre 6 mois et 1 an, les essais de convenance initiaux sont complétés par un essai de pelage. Après 1 an, les essais de convenance sont refaits.

En général, les profilés en aluminium doivent être débités et usinés, après assemblage et immobilisation des éventuels profilés adaptateurs de collage, dans leur logement du profilé principal.

Lors du stockage et du transport de ces cadres, toutes dispositions devront être prises afin de ne pas induire de déformation. Ils doivent être protégés des salissures par un emballage approprié.

- **Vitrages**

Pour les vitrages feuillettés ou isolants, le bord correspondant au calage d'assise doit être repéré.

Le façadier assure le dimensionnement des épaisseurs des vitrages.

Le façadier doit fournir au fabricant des vitrages isolants les paramètres qui permettent la vérification du dimensionnement des vitrages et du système de scellement périphérique (voir *paragraphe 2.5.2.4*).

Ces notes de calcul sont transmises aux façadiers, puis aux ateliers de collage et conservées dans les documents de suivi.

- **Mastic de collage**

Le façadier réalise le calcul du dimensionnement de la section de mastic de collage, et transmet ces éléments à l'atelier de collage qui les conserve dans les documents de suivi.

3.3 Les principales phases du collage

Les conditions de collage doivent respecter le cahier des charges des fabricants de mastic et du concepteur du système.

Les principales phases ou opérations de collage sont en général les suivantes :

- maintien de l'atelier à l'abri des poussières, des solvants ou autres agents polluants. Sa température doit être comprise entre 12 et 30 °C. Les conditions ambiantes doivent permettre d'éviter la formation de condensation superficielle sur les plages de collage ;

- les composants sont tous stockés dans l'atelier pendant environ 24 heures avant collage de manière à ce que tous les composants soient à la même température ;

- les surfaces devant recevoir le mastic sont nettoyées selon le processus ci-dessous :

- nettoyage des plages de collage à l'aide du solvant dégraissant confirmé par les essais de convenance au projet,

- essuyage des surfaces **avant évaporation**,

- contrôle de la propreté ;

- **application, le cas échéant, du primaire d'adhérence confirmé par les essais de convenance au projet.**

L'application sur les éléments supports est réalisée de la façon suivante :

- limitation des surfaces devant recevoir le primaire,

- application du primaire ;

- **mise en place de l'espaceur, des cales d'assise et positionnement du produit verrier en veillant à l'appui effectif du vitrage sur ses cales ;**

- **application du mastic de collage aussitôt après nettoyage et dans le cas de l'application d'un primaire, après un délai respectant les recommandations du fournisseur :**

- le mastic est déposé dans la gorge formée par le produit verrier, le support et l'espaceur à l'aide d'un pistolet manuel ou pneumatique,

- le remplissage de la gorge doit être total, sans formation de bulles, de filets ou autres manques de matière,

- le lissage est effectué immédiatement après l'application, avant la formation de peau,

- si un masque protecteur a été utilisé, il doit être enlevé avant la prise du mastic (moins de 15 minutes) ;

- **mise en place définitive des cales d'assise et des pattes de retenue :**

- **polymérisation du mastic de collage** pendant la durée prescrite par le fournisseur du mastic. Pendant cette phase, les vitrages non calés doivent être maintenus en position horizontale.

3.4 Contrôles internes du collage

En préalable aux opérations de contrôles internes de la réalisation du collage, l'atelier de collage s'assurera d'avoir reçu du façadier les documents suivants :

- le Cahier des charges du procédé (ATE, Document Technique d'Application le cas échéant) ;

- les documents particuliers du projet ;

- les documents d'identification des cadres ;

- les résultats des essais de convenance au projet ;

- les déclarations de conformité des matières premières.

Les contrôles internes de la réalisation du collage sont effectués par l'entreprise réalisant le collage. Sauf prescription particulière précisée au cahier des charges, ils portent sur :

- contrôles sur matières premières : *paragraphe 3.4.1 ci-après* ;

- contrôles en cours de fabrication : *paragraphe 3.4.2 ci-après* ;

- contrôles sur produits finis : *paragraphe 3.4.3 ci-après*.

3.4.1 Contrôles sur matières premières

Ils sont définis dans le tableau ci-dessous.

Type de contrôle	Qui ?	Référentiel	Spécifications et résultats	Fréquence	Enregistrement par le colleur
Mastic de collage <ul style="list-style-type: none">• Identification<ul style="list-style-type: none">- nom- lot- ... date limite.	Colleur	Cahier des charges en fiches de spécification du fournisseur de mastic	Acceptation ou non	Chaque livraison	Oui
• État des emballages	Colleur	—	Acceptation ou non	Chaque livraison	Non
• Adhésion-cohéSION en traction jusqu'à rupture sur verre float et sur métal de référence	Fabricant du mastic	<ul style="list-style-type: none">• ATE MASTIC3 éprouvettes testées à l'état initial• 3 éprouvettes testées :<ul style="list-style-type: none">- après conditionnement à 95 °C pendant 24 h puis 48 h à 23 °C / 50 % HR- ou, 7 jours dans l'eau à 23 °C et 7 jours au four à 100 °C réalisé en alternance sur 1 fois sur 2	<p>Déclaration de conformité par rapport aux spécifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none">• Type de rupture ≥ 90 % cohésive• Valeur de rupture minimale• ou, Certificat de l'organisme tiers (Certificat de SNJF-VEC ou équivalent).	Chaque lot de mastic Chaque lot Tous les 5 lots	Oui Oui Oui
Aluminium anodisé <ul style="list-style-type: none">• Contrôle de l'épaisseur d'anodisation et du niveau de colmatage	Anodiseur	Cahier des charges Qualanod	Déclaration de conformité du lot comportant : <ul style="list-style-type: none">• L'épaisseur d'anodisation• Le niveau de colmatage• ou, label Qualanod.	Chaque lot d'aluminium anodisé	Oui
Aluminium thermolaqué	Laqueur	Cahier des charges Qualicoat Qualimarine	Déclaration de conformité à la norme EN 12206 et aux cahiers des charges, ou le label Qualicoat-Qualimarine.	Chaque lot d'aluminium	Oui
Acier inoxydable	Fournisseur	NF EN 10088	Déclaration de conformité au cahier des charges spécifiant la nuance et l'état de surface	Chaque lot d'acier inoxydable	Oui
Produits verriers <ul style="list-style-type: none">• Identification• Repérage de la face de collage et du bord de référence• Équerrage, épaisseur, dimension, des volumes de verres• Décalage entre bords supérieurs des 2 verres d'un vitrage isolant (cas du VEC non bordé)• État de la plage de collage• Valeur de la hauteur de scellement• Verre à couche (si contact avec un mastic à rôle structural)	Fabricant du vitrage	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Chaque produit	Oui
	Fabricant du vitrage	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Acceptation ou non	Chaque produit	Non
	Colleur	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Acceptation ou non	Chaque produit	Non
	Colleur	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Acceptation ou non	Chaque produit	Non
	Fabricant du vitrage	Cahier des charges ou fiches de spécifications du fournisseur	Enregistrement	Chaque projet	Oui
	Fabricant du vitrage	NF EN	Déclaration de conformité à la norme EN 1096 avec identification de la couche	Chaque lot de vitrage	Oui

Type de contrôle	Qui ?	Référentiel	Spécifications et résultats	Fréquence	Enregistrement par le colleur
• Vitrage isolant avec scellement sans rôle structural	Fabricant du vitrage	NF EN	Déclaration de conformité aux normes pr EN 1279 et aux cahiers des charges, ou Certificat CEKAL Extension E ou équivalent	Chaque lot de vitrage	Oui
• Vitrage isolant avec scellement avec rôle structural	Fabricant du vitrage	NF EN et cahier des charges CEKAL	Déclaration de conformité aux normes pr EN 1279 et aux cahiers des charges, et résultats d'autocontrôle suivant NF EN 1279-6 annexe f amendé (ou tableau 10 du guide EOTA), et déclaration des caractéristiques des joints de scellement suivant le guide EOTA ou certificat CEKAL extensions, voir équivalent	Chaque lot de vitrage	Oui
Essais de convenance	Fabricant de mastic	Modalités suivant annexe A :	Spécification selon annexe A	Chaque lot de support prévu au projet	Oui
		Pelage sur anodisé :	Type de rupture :		
		• 3 éprouvettes à l'initial	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C dans l'eau	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours dans étuve sèche à 100 °C	100 % cohésif		
		Pelage sur laqué :	Type de rupture :		
		• 3 éprouvettes à l'initial	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C + dans l'eau	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C dans l'eau + 7 jours à 55 °C dans l'eau.	100 % cohésif		
Cadre métallique	Colleur	Vérification de la concordance entre les numéros de lots et les essais de convenance	Déclaration de conformité du façadier	Chaque cadre	Oui

3.4.2 Contrôles en cours de fabrication

Ils sont définis dans le tableau ci-dessous.

Contrôles nécessaires d'un cycle de production de 2 jours					
	1 ^{er} jour		2 ^e jour		À chaque changement de lot
	matin	après-midi	matin	après-midi	
1. Généralités Nettoyage machine d'extrusion uniquement pour les bi-composants	Référence du solvant de rinçage machine	(*)	(*)	(*)	Référence du solvant de nettoyage
Température (°C)	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur	(*)
Humidité relative (%)	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur	(*)
2. Mastic de collage Numéro du lot de silicone bicomposant, base + catalyseur	Référence	(*)	Référence	(*)	Référence
Base / taux de catalyseur	Valeur du ratio	Valeur du ratio	Valeur du ratio	Valeur du ratio	Valeur du ratio
Homogénéité – marbrures (***)	Réussite/ Échec	Réussite/ Échec	Réussite/ Échec	Réussite/ Échec	Réussite/ Échec
Dureté shore A(***)	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur
3. Métal Type (**) Numéro du lot État de surface	Alliage Référence Type	(*) (*) (*)	(*) (*) (*)	(*) (*) (*)	Alliage Référence Type
Nom du produit de nettoyage et numéro du lot	Référence	(*)	(*)	(*)	Référence
Le cas échéant – nom primaire et numéro du lot	Référence	(*)	(*)	(*)	Référence
4. Verre État de surface (**) Numéro du lot	Référence de la couche	(*)	(*)	(*)	Référence de la couche
Nom du produit de nettoyage et numéro du lot	Référence	(*)	(*)	(*)	Référence
Le cas échéant – nom primaire et numéro du lot	Référence	(*)	(*)	(*)	Référence

(*) : Non applicable.
 (**) : Ces indications, si elles ne sont pas inscrites sur la fiche de suivi du collage, doivent pouvoir être retrouvées par l'intermédiaire d'autres références.
 (***): Pas nécessaire en cas de monocomposants.

Type de contrôle	Spécifications	Enregistrement
5. Essais Essai de pelage sur support métallique (voir annexe A) 2 éprouvettes dont : – 1 pelage à l'état initial – 1 pelage après conditionnement 7 jours dans l'eau à température ambiante de l'atelier	Fréquence : chaque jour de collage Rupture 100 % cohésif Rupture 100 % cohésif	Oui
Essais de pelage sur verre à couche ou émaillé (voir annexe A) 3 éprouvettes	Fréquence : au moins 1 fois par affaire au début du collage et à chaque changement de type de verre à couche Rupture 100 % cohésive sur chaque éprouvette	Oui

Nota : Sauf indication particulière, toutes les éprouvettes sont conservées au moins jusqu'à la fin du chantier et au minimum 1 an après réalisation de l'éprouvette.

3.4.3 Contrôles sur produits finis

Les contrôles sur chaque cadre portent sur :

- l'inclusion de gaz dans le mastic (examen visuel) ;
- la section de collage (examen visuel) ;
- la mise en œuvre du verre (spécification cahier des charges) ;

- la position relative de l'élément collé (examen visuel) ;
- la disposition de drainage (spécification cahier des charges) ;
- la fixation correcte des dispositifs de retenue (examen visuel selon spécifications du cahier des charges) ;
- la fixation correcte des cales support du vitrage (examen visuel selon spécifications du cahier des charges) ;
- le respect des conditions de stockage et de la durée de polymérisation (spécification cahier des charges).

4. Conditions générales de mise en œuvre

4.1 Dispositions générales

Outre les prescriptions du NF DTU 33.1, on s'assurera :

- que le délai de mise en charge des mastics de collage (poids des verres, charges climatiques) a été respecté conformément aux indications du fournisseur de mastic ;
- que les dispositifs de levage ou de manutention ne sollicitent pas de façon abusive les cordons de mastic de collage.

Le marquage des cadres doit être inscrit sur un plan de calpinage à conserver par le façadier.

4.2 Entretien - réparation - maintenance

Outre les dispositions prévues dans le NF DTU 33.1, il convient de prendre en considération les préconisations ci-après.

4.2.1 Entretien

La compatibilité chimique des produits utilisés pour le nettoyage des façades avec les mastics de collage ou d'étanchéité doit être vérifiée conformément au paragraphe 5.1.4.2.4 du guide EOTA 002.

L'ATE précise les familles de produits utilisables.

Toutes les dispositions doivent être prises pour éviter de créer, au cours de ces opérations d'entretien, des dégradations pouvant constituer une amorce de déchirure des mastics de collage.

4.2.2 Réparation

Dans le cas de désordres relatifs au collage sur l'une ou l'autre des plages de collage verrière ou métallique, le cadre vitré détérioré doit être remplacé.

Dans le cas de bris accidentel d'un vitrage, il est nécessaire de procéder à la dépose du cadre et :

- soit à son remplacement par un cadre vitré stocké à cet effet et prêt à l'emploi quand cette disponibilité a pu être organisée ;
- soit à une remise en place après réparation en atelier.

• Mode opératoire

La procédure de réparation proposée ci-après ne peut être envisagée que si le mastic précédemment utilisé est identifié et est identique. L'emploi d'un mastic d'appellation différente mais provenant des mêmes fournisseurs et de la famille de produit est autorisé sous réserve de la confirmation et de la validation par le fournisseur du mastic dans le cadre de l'opération.

Outre les recommandations du fournisseur du mastic de collage et les prescriptions particulières précisées dans le Document d'Application, les modalités ci-après sont applicables.

Les opérations suivantes sont réalisées :

- découpe du cordon de mastic de collage le plus près possible du vitrage et enlèvement des bris de verre ;
- dépose de l'espacer ;
- nettoyage de la plage métallique laissée libre par l'espacer à l'aide d'un produit adapté ;
- découpe du cordon de mastic de collage à 2 mm du profilé support de collage. Un soin particulier doit être apporté pour ne pas détériorer l'interface mastic-support métallique et pour obtenir une surface aussi plane que possible ;
- dans le cas où le collage initial est réalisé depuis plus de 2 ans, un essai de pelage sur le cadre permet de vérifier l'adhérence entre les deux mastics et la rupture cohésive. À défaut de résultats satisfaisants, la procédure n'est pas applicable.

Après le pelage, la plage de collage est préparée comme indiquée ci-dessus.

- Mise en place d'un nouvel espacer et des cales d'assise.
- Application sur le vitrage de l'agent de nettoyage et du primaire éventuel.
- Positionnement du vitrage sur l'espacer.
- Sans autre délai, mise en œuvre d'un nouveau cordon de mastic de collage identique à celui précédemment employé, dans la gorge constituée par le vitrage, l'espacer et le mastic découpé.

Il appartiendra à l'entreprise de joindre la procédure de réparation et les fiches d'autocontrôles au DOE, dont une copie devra être transmise aux différents intervenants.

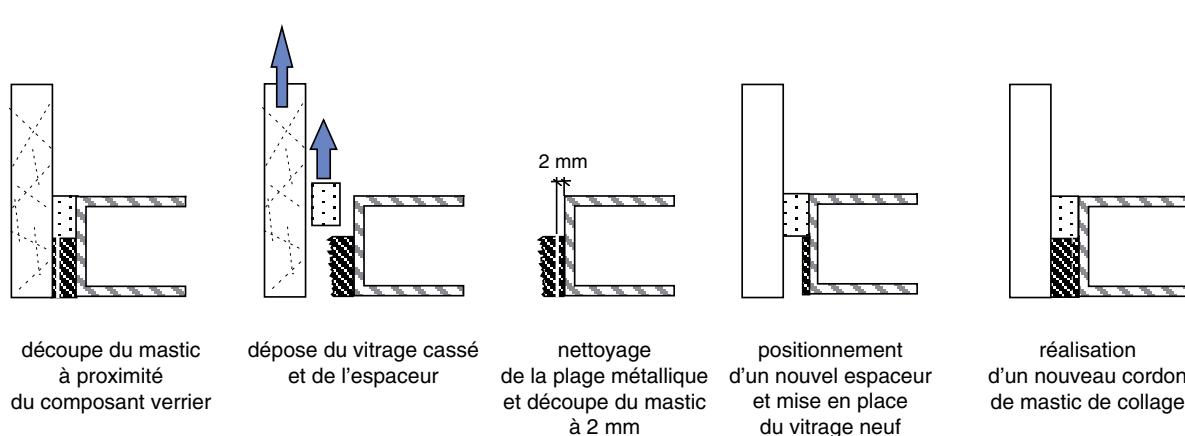


Figure 20 – Procédure de réparation

Une réparation réalisée conformément aux prescriptions décrites ci-avant confère à l'élément de façade la même durabilité que celle attendue d'un élément d'origine.

4.2.3 Maintenance

Le façadier, et/ou le concepteur gammiste, est tenu de fournir, éventuellement par l'intermédiaire de ses clients applicateurs du système, une notice de maintenance (examens à effectuer, leur périodicité, etc.) et d'entretien détaillée (produits d'entretien ou de nettoyage utilisables, identifiés par leur nature chimique), qui doit être transmise au maître d'ouvrage.

La notice de maintenance doit recommander notamment :

- de procéder, deux fois au cours de la première année, puis une fois par an, à l'examen visuel des joints de collage et d'étanchéité lors du nettoyage des façades. Le façadier doit être avisé de toute anomalie constatée par l'utilisateur ;
- de faire porter l'examen sur :
 - une décoloration éventuelle du silicone,
 - une fissuration, une déchirure ou toute autre dégradation des mastics,
 - des défauts d'étanchéité à l'eau,
 - la conservation de l'espace prévu entre la face extérieure des produits verriers et les dispositifs de retenue ainsi que l'état de ces derniers,
 - le correct positionnement des cales d'assise,
 - l'embuage, même momentané, de vitrages isolants.

Annexe 1

- **Essais de convenance et**
- **Essais d'adhésivité-cohésion des mastics de collage par traction ou par pelage dans le cadre des essais de convenance au projet et des essais de contrôle interne des ateliers de collage**

1. Essais de convenance

L'obtention des résultats de ces essais, réalisés sous la responsabilité du fournisseur de mastic de collage, est le préalable indispensable au démarrage des opérations de collage.

Ils ont pour objectif de vérifier les performances d'adhérence du mastic de collage sur les plages métalliques prévues pour l'ouvrage et de confirmer les agents de nettoyage et primaire d'adhérence adaptés.

Nota : les essais de convenance ne sont pas renouvelés projet par projet si ces essais ont déjà été réalisés sur le lot du profilé support de collage concerné.

Ces essais sont réalisés à partir d'éprouvettes constituées des profilés métalliques et des produits verriers fournis par le façadier et à raison de trois échantillons pour chaque série d'essais.

Les éprouvettes doivent être représentatives par leur état de surface des matériaux considérés (parties courantes de profilés par exemple) et doivent être précisément identifiées par un marquage.

L'adhérence du mastic est vérifiée par essai de traction par pelage manuel selon les modalités du guide EOTA 002 et repris ci-dessous :

Type de contrôle	Qui ?	Référentiel	Spécifications et résultats	Fréquence	Enregistrement par le colleur
Essais de convenance	Fabricant de mastic	<i>Modalités suivant annexe A :</i>	<i>Spécification selon annexe A</i>	Chaque lot de support prévu au projet	Oui
		Pelage sur anodisé :	Type de rupture :		
		• 3 éprouvettes à l'initial	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C dans l'eau	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours dans étuve sèche à 100 °C	100 % cohésif		
		Pelage sur laqué :	Type de rupture :		
		• 3 éprouvettes à l'initial	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C + dans l'eau	100 % cohésif		
		• 3 éprouvettes après 7 jours à 23 °C dans l'eau + 7 jours à 55° C dans l'eau	100 % cohésif		
Cadre métallique	Colleur	Vérification de la concordance entre les numéros de lots et les essais de convenance	Déclaration de conformité du façadier	Chaque cadre	Oui

Les résultats de ces essais font l'objet d'un compte-rendu.

2. Essais de pelage

2.1 Éprouvettes d'essais

2.1.1 Supports de collage métalliques

Tronçons de profilé de longueur 300 mm environ, prélevés en partie courante d'un profilé issu d'un lot dont l'utilisation est prévue pour l'ouvrage considéré. Dans le cas de profilés adaptateurs de collage, ils sont associés au profilé porteur correspondant.

2.1.2 Support de collage verriers

Élément verrier d'épaisseur 6 mm minimum et de longueur 300 mm environ ou de longueur minimale permise par le mode de traitement thermique ou par l'outil d'usinage (cas de débordage d'une couche).

2.1.3 Cordon de mastic de collage

1^{er} cas :

Le cordon de mastic est conformé sur le support dont on souhaite valider l'aptitude au collage en section minimale de 6 × 12 mm sur une longueur de 250 mm.

À chaque extrémité de la plage destinée au collage, un film antiadhérent d'une largeur de 25 mm environ est disposé sur le support de collage.

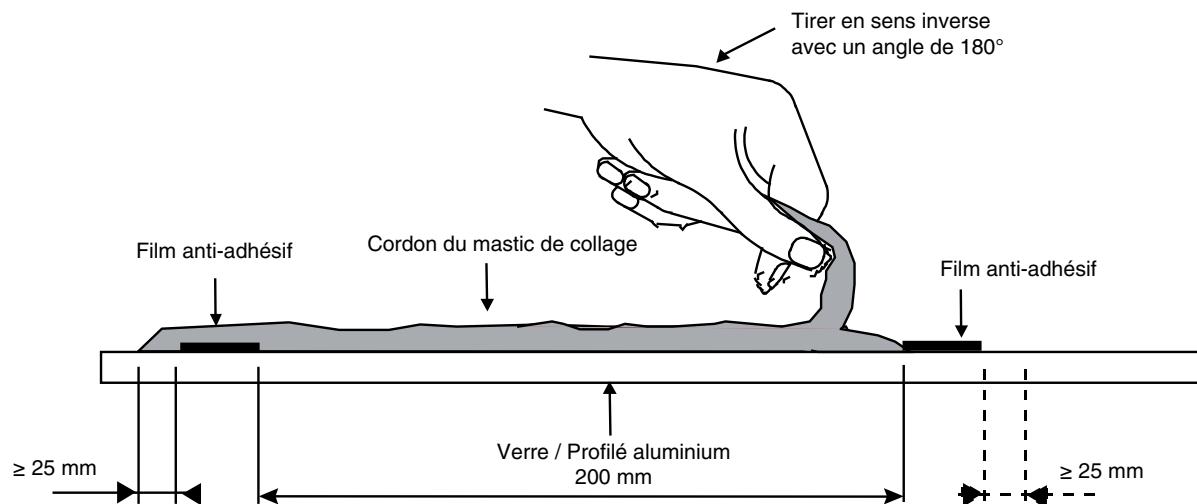


Figure 1 – Essais de pelage

L'essai d'arrachement du cordon au support n'est pas mené jusqu'à rupture du mastic. À l'amorce du déchirement, l'essai est interrompu, une nouvelle entaille est réalisée dans le cordon de mastic jusqu'au support et dans la continuité du cordon. L'essai d'arrachement du cordon est répété dans les mêmes conditions sur 100 mm.

2^e cas :

Le cordon de mastic est conformé sur le support dont on souhaite valider l'aptitude au collage en section de 6 x 12 mm sur une longueur de 200 mm.

En extrémité de la plage destinée au collage, un film anti-adhérent d'une largeur de 30 mm environ est disposé sur le support de collage. Deux autres bandes de film anti-adhérent sont disposées transversalement au cordon de mastic avec un espacement d'environ 40 mm.

L'essai d'arrachement du cordon au support est mené en quatre endroits jusqu'à rupture.

2.2 Modalités des essais

2.2.1 Conditionnement des éprouvettes

Stockage pour polymérisation

La durée de polymérisation est conforme aux recommandations du fournisseur de mastic de collage ; en général 14 jours pour les mastics monocomposants et 7 jours pour les mastics bicomposants.

Les conditions d'ambiance doivent être les mêmes que celles des éléments manufacturés au cours de la fabrication (pour les essais de suivi) :

- 7 jours d'immersion dans l'eau à $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ pour les essais de convenance et à température ambiante pour les essais de contrôle en cours de fabrication ;
- 7 jours en étuve à $100^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (pour les essais de convenance au projet).

2.2.2 Pelage

L'opérateur saisit le tronçon de cordon de mastic n'ayant pas adhéré sur le support et réalise le pelage en appliquant un effort à environ 180° par rapport au plan de collage, jusqu'à rupture du cordon.

On renouvelle les phases de découpe et de pelage jusqu'à au moins 100 mm du cordon de mastic.

Lorsque cette rupture s'effectue, l'essai de pelage suivant est amorcé par découpage au couteau à l'interface mastic de collage/support, ou à l'autre extrémité.

2.2.3 Critères

On procède à l'évaluation du mode de rupture.

Une rupture adhésive n'est pas permise. Voir figure ci-après.

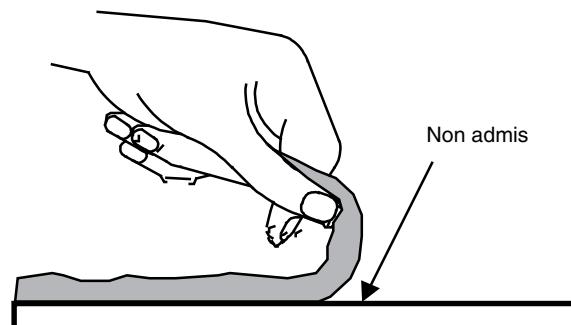


Figure 2 – Essais de pelage : rupture adhésive non admise

2.2.4 Essais de contrôle interne de fabrication

Cet essai est aussi utilisé pour le contrôle de fabrication dans les ateliers de collage. Il est réalisé sur éprouvettes à l'état initial puis après 7 jours en immersion à 23°C .

3. Expression des résultats

Le rapport d'essai doit comporter les éléments suivants :

- l'identification des supports de collage verrier et métallique ;
- l'identification de(s) l'agent(s) de nettoyage ;
- l'identification du ou des primaires d'adhérence ;
- la date de fabrication des éprouvettes ;
- la durée de polymérisation ;
- le type de rupture.

Annexe B

Comportement des vitrages isolants sous les effets :

- des variations de température
- des variations de pression atmosphérique
- du vent
- de la neige
- du poids propre des verres

1. Les agents influents – leurs effets

Parmi les agents susceptibles d'agir mécaniquement sur un vitrage isolant on peut retenir :

- les variations de température ;
- les variations de pression atmosphérique dues aux variations d'altitude ;
- les variations locales de pression atmosphérique ;
- le vent ;
- la neige (parois inclinées de plus de 30° par rapport à la verticale) ;
- le poids propre des verres (idem ci-dessus).

D'autres agents agissent mécaniquement. Par exemple parmi ceux qui engendrent des variations de pression dans la lame d'air d'un vitrage isolant, on peut citer l'absorption d'azote par le déshydratant mais il s'agit ici de conséquences de mauvais choix technologiques qui peuvent être éliminées par l'emploi de produits adaptés et qui ne sont en conséquence pas irrémédiables. C'est pourquoi l'action de ces agents internes n'est pas évoquée ici.

Parmi ceux qui agissent extérieurement, on peut citer la déformation des châssis, mais il s'agit ici le plus souvent de sollicitations instantanées prises en compte par ailleurs.

Le résultat le plus directement utilisable pour la vérification du comportement d'un composant sous l'action de sollicitations données est la contrainte maximale qu'il aura à supporter. La détermination de cette contrainte est relativement aisée pour les produits verriers qui composent le vitrage et elle fait bien évidemment partie des buts des calculs proposés. Les déformations subies par ces mêmes composants sont également déterminées ; elles font aussi l'objet de limitations.

En ce qui concerne les solutions de scellement et d'étanchéité situés à la périphérie des vitrages, il en va tout autrement que précédemment. En effet, dans l'état actuel des connaissances sur leurs caractéristiques, la diversité des produits utilisés pour réaliser le scellement et l'étanchéité, tant par leur nature que par leur forme géométrique transversale, ne permet pas de déterminer d'une manière suffisamment simple les contraintes supportées. En conséquence, la méthode de calcul proposée permet de déterminer la charge maximale (traction ou compression) qui est appliquée sur le joint, perpendiculairement au plan du vitrage, par l'intermédiaire des produits verriers. La détermination de cette charge maximale peut néanmoins être satisfaisante à elle seule, en tant que moyen d'appréciation, car elle peut être comparée à la sollicitation appliquée sur les solutions de scellement de vitrage de dimensions et de composition verrière conventionnelles, ayant subi avec succès des essais engendrant des efforts au moins équivalents à ceux qui sont envisagés pouvoir s'appliquer sur des vitrages en œuvre.

2. Principes

2.1 L'état initial

Par conception, le vitrage isolant constitue une capsule étanche (anéroïde) composée de deux feuilles de verre parallèles liaisonnées à leurs périphéries par un ou des produits de scellement, le tout déterminant une lame d'air.

À l'instant de sa réalisation, cette lame d'air est à la température (T_{a0}) du local de fabrication et à la pression atmosphérique du moment (P_{a0}).

Dans cet état, les produits verriers sont plans (bonne fabrication) et parallèles induisant un volume d'air facilement déterminable.

2.2 L'état d'équilibre

Lorsque le vitrage est en œuvre, la pression atmosphérique sur le lieu considéré (P_1) étant différente, pour une raison ou une autre, de celle du lieu de fabrication (P_{a0}). Il s'ensuivrait un écart de pression ΔP_p entre l'extérieur du vitrage et la lame d'air si le verre était indéformable.

Or sous l'effet de cet écart de pression les feuilles de verre composant le vitrage se déforment et il y a modification du volume (ΔV_a) de la lame d'air, conjointement avec une variation de la pression (ΔP_a) qui y règne. La tendance étant à l'équilibre entre les pressions interne et externe.

Chacune des feuilles de verre sera donc soumise à une pression :

$$\delta P = \Delta P_p - \Delta P_a$$

La variation de volume engendrée par la déformation de chacun des verres sous l'action de cette pression lui est proportionnelle et de sens opposé.

Elle peut s'écrire sous la forme générale :

$$\Delta V_{ai} = K_i \delta P$$

Expression dans laquelle K_i est un coefficient dépendant de la rigidité du verre considéré et qui est explicité plus loin.

La résolution du problème passe donc par la détermination de la variation de pression (ΔP_a) dans la lame d'air. C'est ce qui est examiné ci-après.

3. Variations de pression dans la lame d'air

3.1 Déformation des verres

- La méthode utilisée est celle donnée par Timoshenko qui a établi, en particulier, les formules permettant de déterminer les déplacements en tous points d'une plaque mince rectangulaire en appui sur ces quatre côtés et soumise à une charge uniformément répartie.

- À partir de la formule générale de la déformée on peut déterminer, par intégration, l'expression du volume correspondant à la déformation d'une telle plaque :

$$\Delta V_{ai} = \frac{8\delta P \cdot \ell^5 L}{\pi^6 D_i} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{1}{m^6} \left(\frac{3}{2} - \frac{th^2(\alpha_m)}{2} - \frac{3}{2} \frac{th(\alpha_m)}{\alpha_m} \right) \quad (1)$$

Dans cette expression :

- th est la fonction tangente hyperbolique
- ℓ est la plus petite dimension de la plaque
- L est la plus grande dimension de la plaque
- α_m est un coefficient de forme qui se calcule par

$$\alpha_m = \frac{m\pi L}{2\ell} \text{ avec } m = 1,3, 5\dots$$

- D_i est un coefficient caractérisant la rigidité de la plaque i considérée et qui se calcule par :

$$D_i = \frac{Ee_i^3}{12(1-\nu^2)}$$

- E = module d'élasticité du matériau ($70 \cdot 10^9$ Pa pour le verre)
- e_i = épaisseur de la plaque (en mètre) i considérée
- ν = coefficient de Poisson du matériau (0,20 pour le verre)

En écrivant

$$W_i = \frac{\ell^5 L}{e_i^3}$$

Et

$$C_v = \frac{96(1-\nu^2)}{\pi^6 \times E} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{1}{m^6} \left(\frac{3}{2} - \frac{th^2(\alpha_m)}{2} - \frac{3}{2} \times \frac{th(\alpha_m)}{\alpha_m} \right)$$

L'équation (1) s'écrit :

$$\Delta V_{ai} = \delta P \cdot C_v \cdot W_i \quad (2)$$

Le coefficient K_i peut donc être exprimé par la relation :

$$K_i = C_v \cdot W_i$$

Les valeurs du coefficient C_v , en fonction du rapport L/ℓ sont données en annexe.

3.2 Variation de pression interne résultante

Il faut ici différencier deux cas :

1. La variation de pression extérieure est symétrique par rapport au plan du vitrage.
2. La variation de pression extérieure est due au vent ou à la neige et ne s'applique que sur la face extérieure du vitrage, ou bien la sollicitation sur les verres résulte de leur poids propre (pose en paroi inclinée) et est proportionnelle à leur épaisseur.

3.2.1 Action symétrique

Ce cas correspond aux variations de pression dues à une différence d'altitude entre le lieu de fabrication du vitrage et le lieu de sa mise en œuvre et aux effets d'une variation de température de la lame d'air (les variations atmosphériques locales sont considérées comme négligeables).

$$\Delta P_p = \Delta P_z - \Delta P_T$$

Chacun des deux composants verriers du vitrage subit une pression égale en intensité mais de sens contraire. Les variations de volume engendrées par les déformations des verres se cumulent positivement ou négativement selon le sens de l'action extérieure.

Si l'on affecte respectivement les indices 1 et 2 aux verres extérieur et intérieur et en posant :

$$\sigma = C_v (W_1 + W_2)$$

La solution est la suivante :

$$\Delta P_a = \frac{1}{2\sigma} \left[(\sigma(\Delta P_p - P_{ao}) - V_{ao}) + \left((V_{ao} + \sigma(P_{ao} - \Delta P_p))^2 + 4P_{ao} \Delta P_p \sigma^2 \right)^{1/2} \right] \quad (3)$$

3.2.2 Actions dissymétriques

Une méthode simplifiée de prise en compte des actions dissymétriques est présentée dans le corps du document au *paragraphe 2.3.1.3*.

3.2.2.1 Action du vent

Dans le cas où le vent est l'agent de la sollicitation, il engendre une pression ou une dépression P_v sur le verre extérieur du vitrage, les deux verres se déforment dans le même sens.

Le verre extérieur est soumis au gradient de pression :

$$\delta P_1 = (P_v - \Delta P_a)$$

Et le verre intérieur est soumis au gradient de pression :

$$\delta P_2 = \Delta P_a$$

Dans ce cas la solution sera :

$$\Delta P_a = \frac{1}{2\sigma} \left[(P_v W_1 C_v - V_{ao} - \sigma P_{ao}) + ((V_{ao} - P_v W_1 C_v + \sigma P_{ao})^2 + 4\sigma P_{ao} P_v W_1 C_v)^{1/2} \right] \quad (4)$$

3.2.2.2 Action du poids propre des verres

Dans le cas d'emploi de vitrages dans des parois inclinées, il faut tenir compte du poids propre de chacun des verres.

La composante du poids propre d'un vitrage incliné normalement à son plan a la valeur donnée par la relation suivante :

$$Q_{ppi} = 24,5 e_i \cos \theta$$

Dans cette expression :

e_i = épaisseur du verre considéré

θ = inclinaison du vitrage par rapport à l'horizontale.

Nota : pour tenir compte des conventions de signe affecté aux déplacements des verres et aux contraintes qu'ils subissent, on doit utiliser l'angle θ formé par la paroi et la demi-droite horizontale dirigée vers l'intérieur du local.

Les charges uniformément réparties résultant de la conjugaison du poids propre des verres et de la variation de pression dans la lame d'air du vitrage seront les suivantes respectivement pour le verre extérieur et le verre intérieur :

$$\delta P_1 = (Q_{pp1} - \Delta P_a)$$

$$\delta P_2 = (Q_{pp2} + \Delta P_a)$$

La solution est alors la suivante :

$$\Delta P_a = \frac{1}{2\sigma} \left[(C_v (W_1 Q_{pp1} - W_2 Q_{pp2}) - V_{ao} - \sigma P_{ao}) + \left((V_{ao} - C_v (W_1 Q_{pp1} - W_2 Q_{pp2}))^2 + 4\sigma P_{ao} C_v (W_1 Q_{pp1} - W_2 Q_{pp2}) \right)^{1/2} \right] \quad (5)$$

3.2.2.3 Action de la neige

En restant dans le cadre des vitrages mis en œuvre en position inclinée, mais ici uniquement dans le cas où l'angle θ tel que précédemment défini est inférieur ou égal à 60°, il faut considérer l'action éventuelle de la neige (selon DTU NF P 06-006 [N84] modifié 95).

Soit S la charge conventionnelle de neige qui est définie pour des plans horizontaux ; la valeur de la composante normale au plan du vitrage extérieur sera donnée par l'expression :

$$S_N = S \cos^2 \theta$$

Dans la configuration de pose évoquée, l'action de la neige est indissociable de celle du poids propre des verres.

En conséquence il faut écrire :

$$\delta P_1 = (Q_{pp1} + S_N - \Delta P_a)$$

$$\delta P_2 = (Q_{pp2} + \Delta P_a)$$

Et la valeur de la variation de pression dans la lame d'air sera donnée par l'expression :

$$\Delta P_a = \frac{1}{2\sigma} \left[\left(C_v (W_1 (Q_{pp1} + S_N) - W_2 Q_{pp2}) - V_{ao} - \sigma P_{ao} \right) + \left((V_{ao} - C_v (W_1 (Q_{pp1} + S_N) - W_2 Q_{pp2}))^2 + 4\sigma P_{ao} C_v (W_1 (Q_{pp1} + S_N) - W_2 Q_{pp2}) \right)^{1/2} \right] \quad (6)$$

Ayant à présent la possibilité de déterminer la variation de pression à l'intérieur du vitrage, il est également possible de calculer les effets des différents agents de sollicitation extérieurs précédemment évoqués.

Il reste cependant à définir les méthodes de calcul des variations de pression engendrées par les changements d'altitude et par les variations de température.

4. Effet d'un changement d'altitude

À température constante, la pression atmosphérique P à l'altitude Z (exprimée en mètres) est donnée par la relation :

$$P = P_n \left(1 - \frac{MgZ}{R(273 + T_0)} \right) \quad (7)$$

Dans laquelle :

P_n est la pression normale au niveau de la mer (760 mm Hg ou 101 320 Pa)

M est la masse molaire de l'air (0,029 g/mole)

g est l'accélération de la pesanteur (9,81 m·s⁻²)

R est la constante des gaz parfaits (8,32 J/mole·K)

T_0 est la température de référence (°C)

Si le lieu de fabrication du vitrage est à l'altitude Z_1 et le lieu de mise en œuvre à l'altitude Z_2 , la différence de pression atmosphérique entre les deux lieux sera donnée par la relation :

$$\Delta P_z = P_n \left(\frac{Mg (Z_1 - Z_2)}{R (273 + T_0)} \right) \quad (8)$$

Que l'on peut écrire :

$$\Delta P_z = \frac{3464}{273 + T_0} (Z_1 - Z_2) \quad (9)$$

À titre indicatif, pour une température de référence de 20 °C, la variation de pression atmosphérique correspondant à une variation d'altitude de 100 mètres est de 1 182 Pa.

5. Influence de la température de la lame d'air

Pour apprécier les conséquences des variations de température de la lame d'air d'un vitrage isolant, on peut, dans un premier temps, calculer la variation de pression « potentielle » qui serait engendrée dans un volume d'air équivalent à celui qui est contenu par le vitrage et est cerné par les parois infiniment rigides, auquel on ferait subir une variation de température ΔT :

$$\Delta P_T = \frac{\Delta T \cdot P_{a0}}{273 + T_0} \quad (10)$$

Du point de vue des sollicitations appliquées aux composants verriers et au joint de scellement du vitrage, la variation de pression interne « potentielle » est équivalente, quant à ses effets, à une variation de pression extérieure de sens inverse dont la connaissance nous permettrait d'appliquer la méthode de calcul définie au *paragraphe 3.2.1*.

Le premier pas à franchir est donc la détermination de la température moyenne de la lame d'air que l'on admettra égale à la moyenne des températures θ_e et θ_i des deux verres constituants.

Pour cela on dispose des deux formules ci-après :

$$\begin{aligned} \theta_e &= \frac{(\alpha_i \tau_e R) + (T_i h_i)}{r_a} + (\alpha_e R + T_e h_e) \left(h_i + \frac{1}{r_a} \right) \\ &\quad h_e h_i + \frac{1}{r_a} (h_e + h_i) \\ \theta_i &= \frac{(\alpha_e R) + (T_e h_e)}{r_a} + (\alpha_i \tau_e R + T_i h_i) \left(h_e + \frac{1}{r_a} \right) \\ &\quad h_e h_i + \frac{1}{r_a} (h_e + h_i) \end{aligned}$$

Avec :

- T_e = température extérieure ($^{\circ}\text{C}$)
- T_i = température intérieure ($^{\circ}\text{C}$)
- h_e = coefficient d'échange superficiel extérieur ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
- h_i = coefficient d'échange superficiel intérieur ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
- R = rayonnement solaire (W/m^2)
- r_a = résistance thermique de la lame d'air ($\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{W}$)
- α_e = coefficient d'absorption énergétique du verre extérieur
- α_i = coefficient d'absorption énergétique du verre intérieur
- τ_e = coefficient de transmission énergétique du verre extérieur

On obtient ensuite la température moyenne de la lame d'air :

$$\theta_a = \frac{\theta_e + \theta_i}{2}$$

Puis :

$$\Delta T = \theta_a - T_0$$

À partir de la connaissance de la variation de température ΔT , on peut calculer, à l'aide de la formule (10), la variation de pression potentielle dans la lame d'air (ΔP_T) puis, en changeant le signe de la valeur ainsi déterminée, appliquer la formule (3) pour obtenir la variation réelle dans la lame d'air.

6. Les verres – déformation et contraintes

6.1 Les déformations

L'expression du déplacement du centre géométrique d'une plaque rectangulaire, en appui simple sur quatre côtés et soumise à une charge uniformément répartie, a la forme suivante :

$$f_{\max} = \frac{4\delta P \ell^4}{\pi^5 D_i} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{(-1)^{\left(\frac{m-1}{2}\right)}}{m^5} \cdot \left(1 - \frac{(\alpha_m th(\alpha_m) + 2)}{2ch(\alpha_m)} \right) \quad (15)$$

En posant :

$$c_f = \frac{48(1 - \nu^2)}{\pi^5 \times E} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{(-1)^{\left(\frac{m-1}{2}\right)}}{m^5} \left(1 - \frac{(\alpha_m th(\alpha_m) + 2)}{2ch(\alpha_m)} \right)$$

L'expression du déplacement maximal s'écrit :

$$f_{\max} = \frac{\delta P \times \ell^4 \times C_f}{\epsilon_i^3}$$

Les valeurs du coefficient C_f , en fonction du rapport L/ℓ du vitrage, sont données à la fin de la présente annexe.

6.2 Les contraintes

Dans le cas d'une plaque rectangulaire, en appui simple sur ses quatre côtés et soumise à une charge uniformément répartie, la localisation des contraintes maximales correspond, comme pour le déplacement maximal, au centre de la plaque.

La valeur de la contrainte maximale est donnée par la relation ci-après :

$$\sigma_{\max} = \frac{24\delta P \ell^2}{\epsilon_i^2 \times \pi^3} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \left(\frac{(-1)^{\left(\frac{m-1}{2}\right)}}{m^5} \left(1 - \frac{(\alpha_m th(\alpha_m) + 2)}{2ch(\alpha_m)} \right) + \nu \left(\frac{\alpha_m th(\alpha_m)}{2ch(\alpha_m)} \right) \right) \quad (17)$$

En posant :

$$C_c = \frac{24}{\pi^3} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \left[\frac{(-1)^{\left(\frac{m-1}{2}\right)}}{m^5} \left(1 - \frac{(\alpha_m th(\alpha_m) + 2)}{2ch(\alpha_m)} \right) + \nu \left(\frac{\alpha_m th(\alpha_m)}{2ch(\alpha_m)} \right) \right]$$

L'expression de la contrainte maximale s'écrit :

$$\sigma_{\max} = \frac{\delta P \times \ell^2 \times C_c}{e_i^2} \quad (18)$$

Les valeurs du coefficient C_c , en fonction du rapport L/ℓ du vitrage, sont données à la fin de la présente annexe.

On trouvera dans les *figures 1 et 2* ci-après, l'allure des graphes représentatifs des variations, en fonction de la plus petite dimension du vitrage, le rapport L/ℓ étant constant, des déformations et des contraintes maximales relatives aux deux composants verriers sous l'action d'une variation de la pression extérieure s'appliquant également sur les deux composants verriers donc excluant les effets du vent. Dans le cas présent, le vitrage est composé de deux verres d'égale épaisseur.

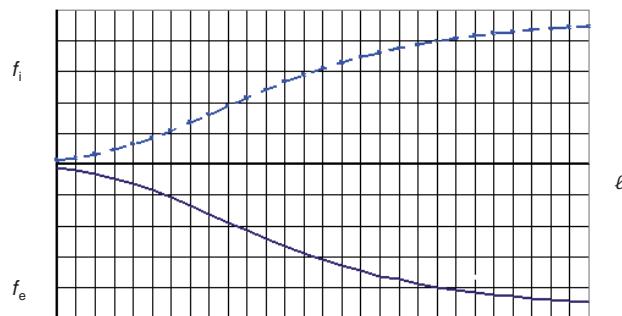


Figure 1 – Courbe représentative des variations des flèches en fonction de la plus petite dimension du vitrage

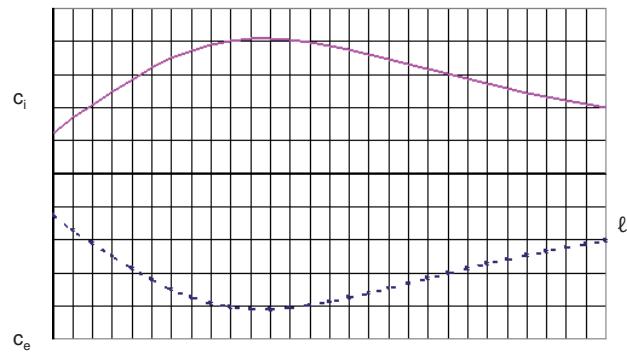


Figure 2 – Courbe représentative de la variation des contraintes en fonction de la plus petite dimension du vitrage

7. Efforts appliqués sur le joint de scellement du vitrage

Les joints de scellement des vitrages isolants peuvent être soumis à de nombreuses sollicitations tant à l'occasion de leur transport, de leur mise en place dans les châssis qu'après leur mise en œuvre.

Diverses méthodes expérimentales existent pour apprécier les risques de dégradation de ces joints de scellement sous l'effet des sollicitations engendrant principalement l'apparition de contrainte de cisaillement pouvant résulter soit de déplacements relatifs des verres soit de la déformation des châssis sous les effets du vent.

Selon les cas envisagés, des exigences sont formulées en termes de rigidité des châssis destinés à recevoir des vitrages isolants, ou des limites d'emploi sont prescrites dans les Avis Techniques pour que les contraintes appliquées restent dans le domaine de l'admissible.

Nous ne nous intéresserons ici qu'aux efforts qui sont influencés par la composition verrière du vitrage ainsi que par ses dimensions, à savoir les efforts normaux aux plans de collage verre-mastic.

La formule donnant la valeur de cet effort est la suivante :

$$R_{\max} = -\delta P \ell \left(\frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{1}{m^2 \operatorname{ch}(\alpha_m)} + \frac{2(1-\nu)}{\pi^2} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{\alpha_m \operatorname{sh}(\alpha_m)}{m^2 \operatorname{ch}^2(\alpha_m)} \right) \quad (19)$$

En posant :

$$C_r = \frac{1}{2} - \frac{4}{\pi^2} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{1}{m^2 \operatorname{ch}(\alpha_m)} + \frac{2(1-\nu)}{\pi^2} \sum_{m=1,3,5..}^{\infty} \frac{\alpha_m \operatorname{sh}(\alpha_m)}{m^2 \operatorname{ch}^2(\alpha_m)}$$

On obtient :

$$R_{\max} = -\delta P \cdot \ell \cdot C_r \quad (20)$$

Les valeurs du coefficient C_r , en fonction du rapport L/ℓ du vitrage, sont données à la fin de la présente annexe.

Les valeurs obtenues à l'aide de cette formule correspondent aux efforts maximaux appliqués sur les joints de scellement et sont exprimées en daN/cm de longueur de joint.

Les localisations de ces efforts maximaux correspondent aux milieux des plus grands côtés du vitrage.

L'allure de cet effort maximal en fonction de la plus petite dimension du vitrage, le rapport L/ℓ étant constant, est donnée à la figure 3 ci-dessous.

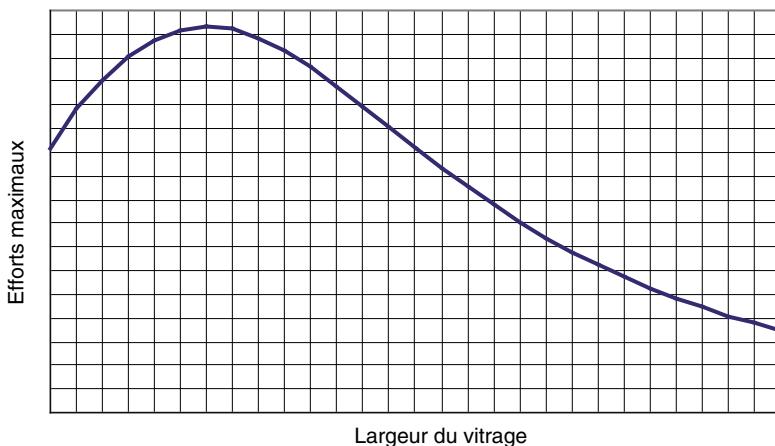


Figure 3 – Courbe représentative de la variation des efforts maximaux appliqués au joint de scellement d'un vitrage isolant

Cet effort maximal peut correspondre soit à une compression soit à une traction sur le joint de scellement selon que la somme des effets des agents de sollicitation aura pour effet de créer entre la lame d'air du vitrage et les ambiances intérieure et extérieure un gradient de pression positif ou négatif.

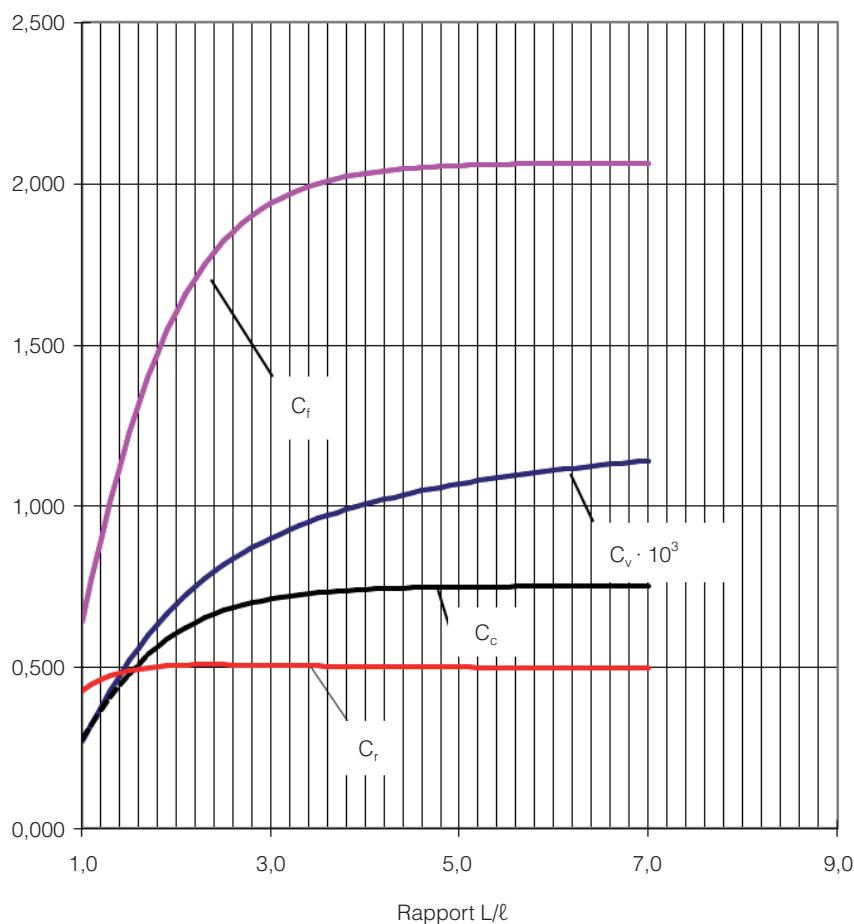


Figure 4 – Variation des coefficients C_v , C_f , C_c et C_r en fonction du rapport L/ℓ des vitrages

Valeur des coefficients C_v , C_f , C_c et C_r en fonction du rapport L/ℓ des vitrages

L/ℓ	$C_v \cdot 10^3$	C_f	C_c	C_r		L/ℓ		C_f	C_c	C_r
1,0	0,280	0,669	0,285	0,432		4,0	1,044	2,110	0,761	0,502
1,1	0,336	0,801	0,332	0,452		4,1	1,052	2,114	0,762	0,502
1,2	0,391	0,930	0,376	0,467		4,2	1,060	2,118	0,763	0,502
1,3	0,443	1,052	0,418	0,479		4,3	1,067	2,121	0,764	0,502
1,4	0,492	1,166	0,456	0,488		4,4	1,074	2,124	0,765	0,501
1,5	0,539	1,271	0,491	0,494		4,5	1,081	2,126	0,766	0,501
1,6	0,582	1,367	0,523	0,500		4,6	1,087	2,128	0,767	0,501
1,7	0,622	1,454	0,552	0,503		4,7	1,093	2,130	0,767	0,501
1,8	0,659	1,533	0,577	0,506		4,8	1,099	2,132	0,768	0,501
1,9	0,693	1,604	0,600	0,508		4,9	1,104	2,133	0,768	0,501
2,0	0,725	1,667	0,621	0,509		5,0	1,110	2,135	0,769	0,501
2,1	0,754	1,723	0,639	0,509		5,1	1,115	2,136	0,769	0,501
2,2	0,781	1,773	0,655	0,510		5,2	1,120	2,137	0,769	0,501
2,3	0,805	1,818	0,669	0,510		5,3	1,125	2,137	0,769	0,500
2,4	0,828	1,857	0,682	0,509		5,4	1,129	2,138	0,770	0,500
2,5	0,850	1,892	0,693	0,509		5,5	1,134	2,139	0,770	0,500
2,6	0,869	1,923	0,702	0,509		5,6	1,138	2,139	0,770	0,500
2,7	0,888	1,950	0,711	0,508		5,7	1,142	2,140	0,770	0,500
2,8	0,905	1,974	0,719	0,508		5,8	1,146	2,140	0,770	0,500
2,9	0,921	1,995	0,725	0,507		5,9	1,150	2,141	0,770	0,500
3,0	0,936	2,013	0,731	0,506		6,0	1,153	2,141	0,770	0,500
3,1	0,950	2,029	0,736	0,506		6,1	1,157	2,141	0,771	0,500
3,2	0,963	2,044	0,740	0,505		6,2	1,160	2,141	0,771	0,500
3,3	0,975	2,056	0,744	0,505		6,3	1,164	2,142	0,771	0,500
3,4	0,987	2,067	0,748	0,504		6,4	1,167	2,142	0,771	0,500
3,5	0,998	2,077	0,751	0,504		6,5	1,170	2,142	0,771	0,500
3,6	1,008	2,085	0,753	0,504		6,6	1,173	2,142	0,771	0,500
3,7	1,018	2,093	0,756	0,503		6,7	1,176	2,142	0,771	0,500
3,8	1,027	2,099	0,758	0,503		6,8	1,179	2,142	0,771	0,500
3,9	1,036	2,105	0,759	0,503		6,9	1,182	2,142	0,771	0,500
						7,0	1,185	2,142	0,771	0,500

Annexe C

Compatibilité entre constituants

1. Objectifs

La durabilité des divers produits ou matériaux mis en contact ou situés à proximité les uns des autres dans un système VEC peut être affectée en cas d'incompatibilité chimique réciproque. Il convient en conséquence de s'assurer préalablement de l'absence d'altération prévisible de l'ensemble des produits par une série d'expérimentations prenant en compte dans leurs modalités les particularités des situations propres au VEC.

Commentaire : au titre de ces particularités on peut noter les éventualités ci-dessous :

- *l'application de mastic de collage dans un espace confiné (fond de feuilure) au voisinage immédiat du scellement de vitrages isolants ;*
- *l'application de mastics de collage ou d'étanchéité sur les chants de vitrages feuilletés ;*
- *le contact direct des cales et des mastics de collage ou d'étanchéité ;*
- *le contact direct de mastics et de profilés élastomères.*

On est ainsi amené à prévoir deux types d'essais :

- les essais de compatibilité de contact ;
- un essai de compatibilité de proximité.

2. Essais de compatibilité de contact

2.1 Compatibilité des mastics avec les espaces et les cales

L'essai est applicable tant aux mastics de collage qu'aux mastics d'étanchéité.

Les modalités applicables et les critères sont ceux du guide EOTA 002 - § 5.1.4.2.5 et 6.1.4.2.5.

Nota : cet essai est identique à celui du NF DTU 39 P1-2 Annexes A1 et A2.

2.2 Compatibilité des mastics avec les intercalaires de vitrages feuilletés

L'essai est applicable tant au mastic de collage qu'aux mastics d'étanchéité et aux vitrages feuilletés.

Nota : cet essai est identique à celui du NF DTU 39 P1-2 Annexe A3.

2.2.1 Éprouvettes

Pour chaque couple mastic-feuilleté, on procède à la réalisation de cinq éprouvettes selon le schéma ci-dessous :

La face du profilé cornière en contact avec la face du vitrage est revêtue d'un produit ou matériau antiadhérent.

2.2.2 Modalités des essais

Après 24 heures de conditionnement en ambiance normale ($23^{\circ}\text{C} \pm 2\%$ – 50 % HR $\pm 5\%$) :

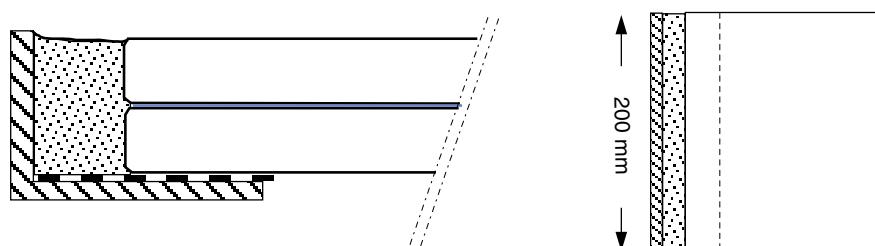
- deux éprouvettes sont conditionnées en ambiance sèche à 90°C pendant 1 mois ; les éprouvettes sont examinées tous les 7 jours ;
- trois éprouvettes sont exposées au rayonnement direct d'une lampe au xénon ($800 \pm 200 \text{ W/m}^2$ au niveau des échantillons) avec une température de $40^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, arrosage des échantillons pendant 18 min toutes les deux heures et cela pendant 21 jours (norme ISO 4892).

À l'issue de ces conditionnements, outre les relevés des éventuelles dégradations, on procède :

- à une mesure de dureté des cordons de mastic ;
- à un essai d'adhérence par pelage du cordon de mastic sur le chant des verres.

2.2.3 Critères

- Les dégradations sur le chant garni de mastic ne doivent pas être plus importantes que sur les chants libres sans excéder 3 mm de profondeur.
- Le mastic devra avoir atteint la dureté déclarée par le fournisseur.
- L'essai d'adhérence par pelage devra faire apparaître des ruptures cohésives du mastic.



Annexe D

Vérification de la pénétration d'humidité dans le système de scellement du vitrage isolant

1. Conditions générales d'essai

1.1 Détermination de la température du point de rosée

Au cours des essais, la température du point de rosée doit toujours être déterminée par la même méthode.

1.2 Préparation des vitrages à soumettre aux essais

Les protections provisoires sont retirées avant essai.

2. Essais sur éprouvettes

2.1 Description des éprouvettes

Les éprouvettes sont fabriquées spécialement en vue de l'homologation d'un système. Elles ont les caractéristiques suivantes :

- produits verriers choisis parmi ceux utilisés dans la fabrication ;
- dimensions (350 mm \pm 10 mm) \times (500 mm \pm 10 mm) ;
- composition : l'espace d'air est choisi dans l'épaisseur maximale prévue dans la gamme de fabrication. Les verres sont de même épaisseur, celle-ci étant supérieure ou égale à 5 mm pour une lame d'air inférieure à 9 mm, 4 mm pour une lame d'air comprise entre 9 mm et 12 mm. Pour des lames d'air supérieures à 12 mm, l'organisme chargé de l'homologation appréciera les épaisseurs à retenir pour les feuilles de verre et les dimensions des éprouvettes ;
- système d'assemblage : le système d'assemblage (mastic(s), équerres, espaces, etc.) et le déshydratant sont ceux de la fabrication ;
- déshydratant : la nature, la quantité et la répartition sont celles de la fabrication pour des dimensions similaires à celles de l'éprouvette.

2.2 Appareillage

L'appareillage doit permettre d'effectuer les essais ci-après et posséder des caractéristiques telles que les précisions requises dans ces essais soient toujours satisfaites.

2.2.1 Haute humidité

L'enceinte doit posséder les caractéristiques suivantes :

- température d'air : 55 °C (+3-0) °C en tout point ;
- humidité relative de l'air : 95 % \pm 5 % en tout point ;
- rayonnement ultraviolet.

Elle est composée d'un certain nombre de modules pouvant recevoir chacun six éprouvettes ; chaque module comporte comme indiqué sur les figures 2 à 4 ci-après des surfaces rayonnantes et des écrans de séparation :

- les surfaces rayonnantes sont constituées de tubes à rayonnement ultraviolet (10 par module) d'une longueur de 1,20 m environ, placés en position horizontale et superposés verticalement sur un support de telle façon que l'entraxe entre les tubes soit de 50 mm (-0 mm + 1 mm).

Ces tubes sont des tubes fluorescents en lumière noire non filtrée de puissance nominale de 38 W à 40 W et dont la longueur d'onde se situe entre 320 mm et 420 mm. Chaque tube fluorescent doit être remplacé lorsque son intensité de rayonnement tombe en dessous de 25 W/m², mesurée à l'aide d'une cellule sensible dans le rayonnement UV en contact direct avec le tube ;

- les écrans de séparation sont constitués d'un matériau opaque de feuilles d'aluminium et sont disposés du côté de la surface non exposée des vitrages.

2.2.2 Climat variable

L'enceinte d'essai doit être de dimensions suffisantes pour y placer plusieurs éprouvettes et être capable de réaliser les fonctions suivantes :

- cycle de température entre -15 °C \pm 3 °C et + 55 °C (+3-0) °C d'une durée de 6 heures et représenté sur le diagramme en figure 1 ;
- maintien d'une humidité relative de 95 % \pm 5 % pendant la période du cycle situé au-dessus de 5 °C \pm 3 °C ;
- brassage de l'air pour homogénéiser l'ambiance.

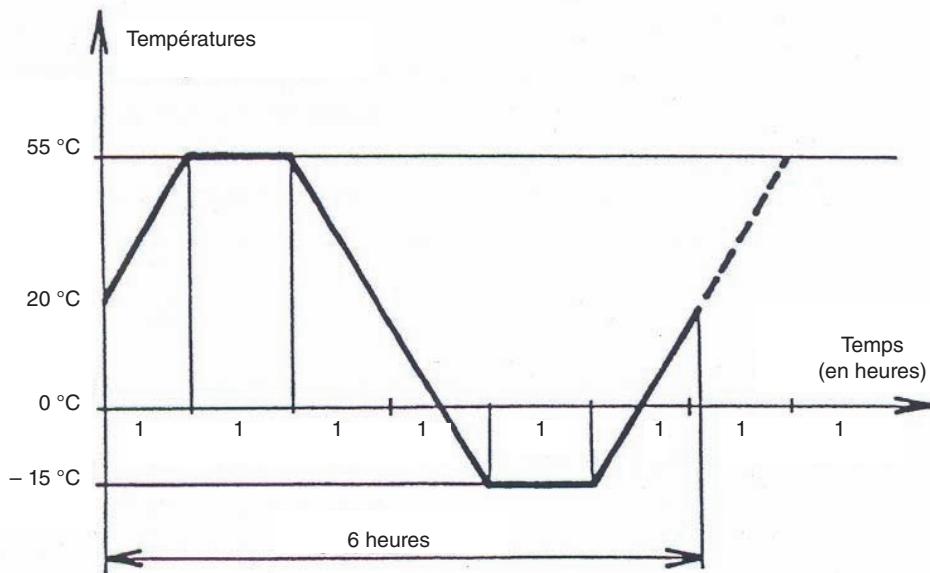


Figure 1

2.3 Procédure d'essai

Pour chaque essai on devra disposer de douze éprouvettes :

- six sont soumises aux essais ;
- six sont conservées dans un local à température ambiante : quatre pour servir de témoins et deux en réserve.

2.3.1 Conditionnement préalable

Après confection, les éprouvettes sont stockées pendant le temps nécessaire à leur stabilisation qui est fonction des constituants du vitrage.

Une détermination de la température du point de rosée est effectuée sur les éprouvettes.

2.3.2 Mode opératoire

La durée totale d'exposition des éprouvettes en haute humidité et température élevée, compte tenu du temps passé dans l'enceinte de haute humidité et du temps passé à 55 °C, 95 % HR lors des cycles de climat variable, doit être de 1 344 heures.

Le nombre de cycles de climat variable est de 168 ou de 336.

Dans les cycles de climat variable, la durée minimale des paliers aux températures extrêmes est de 1 heure. En fonction des risques de casse thermique présentés par la nature de la liaison entre les verres constituant les vitrages, le laboratoire appréciera la durée nécessaire au passage entre les températures extrêmes, cette durée ne pouvant toutefois pas être inférieure à 1 h 30.

Nota : à titre d'exemple, la compatibilité entre ces différentes exigences pour des vitrages dont le mode de liaison des verres ne risque pas d'entraîner des casses thermiques peut être obtenue des manières suivantes.

a) Cas des 168 cycles

- i. Le cycle unitaire en climat variable peut être le suivant :
 - passage de 20 °C à 55 °C en 45 mn
 - maintien à 55 °C pendant 2 h
 - passage de 55 °C à -15 °C en 1 h 30
 - maintien de -15 °C pendant 1 h
 - passage de -15 °C à + 55 °C en 1 h 30
- ii. Les alternances des différentes phases de l'essai peuvent être les suivantes :
 - 14 jours en climat variable
 - 14 jours en haute humidité avec rayonnement UV
 - 14 jours en climat variable
 - 14 jours en haute humidité avec rayonnement UV
 - 14 jours en climat variable
 - 14 jours en haute humidité avec rayonnement UV

b) Cas des 336 cycles

- i. Le même cycle de climat variable que précédemment est utilisable
- ii. Les alternances de différentes phases de l'essai peuvent être les suivantes :
 - 42 jours en climat variable
 - 14 jours en haute humidité avec rayonnement UV
 - 42 jours en climat variable
 - 14 jours en haute humidité avec rayonnement UV

L'essai doit commencer par une séquence en climat variable et doit être achevé par une séquence en haute humidité.

2.3.2.1 Haute humidité

Les éprouvettes sont placées verticalement comme indiqué sur la figure de telle façon que la distance entre le centre des tubes et la face externe du vitrage exposé soit de 50 mm et que celui-ci soit parallèle à l'axe des tubes.

Le bord des éprouvettes doit être totalement libre de se déformer, et la distance entre le chant des vitrages doit être de l'ordre de 30 mm.

Toutes les places disponibles dans un module doivent être occupées.

2.3.2.2 Climat variable

Les éprouvettes sont placées verticalement dans une enceinte conforme à 2.2.2, leurs bords étant libres de se déformer. Un espace libre de 10 mm au minimum est réservé le long des bords des éprouvettes et un espace de 15 mm au minimum entre les vitrages eux-mêmes.

Les éprouvettes sont placées dans l'enceinte à température ambiante, puis elles sont soumises à l'essai de climat variable, en débutant par une montée en température.

2.3.2.3 Mesure du point de rosée

La mesure du point de rosée est effectuée selon la norme NF P 78-452 dans un délai de 3 à 7 jours après la fin des essais complets.

2.3.2.4 Détermination de la reprise d'humidité

La détermination de la reprise d'humidité est effectuée selon la méthode définie dans la norme NF P 78-456, 24 h au minimum après la mesure des points de rosée et dans un délai maximum de 10 jours après la fin des essais complets.

2.3.2.5 Expression des résultats

Apprécier l'état des éprouvettes après essai.

Indiquer le nombre de cycles effectués.

Chaque éprouvette est caractérisée par les températures des points de rosée avant et après essai et par l'indice de pénétration d'humidité défini dans la norme NF P 78-456.

Enceinte de haute humidité (module unitaire pour six éprouvettes).

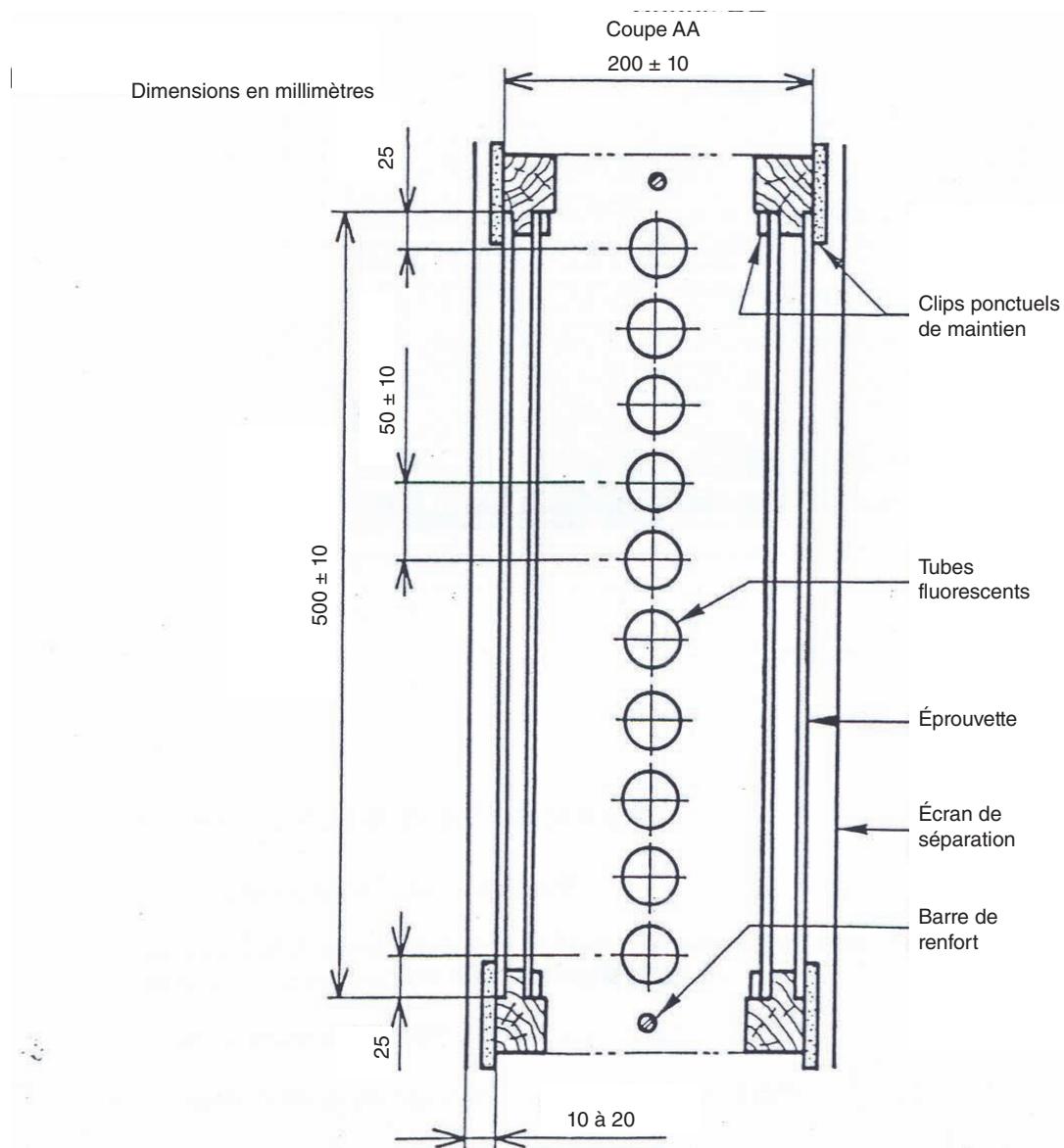


Figure 2

Dimensions en millimètres

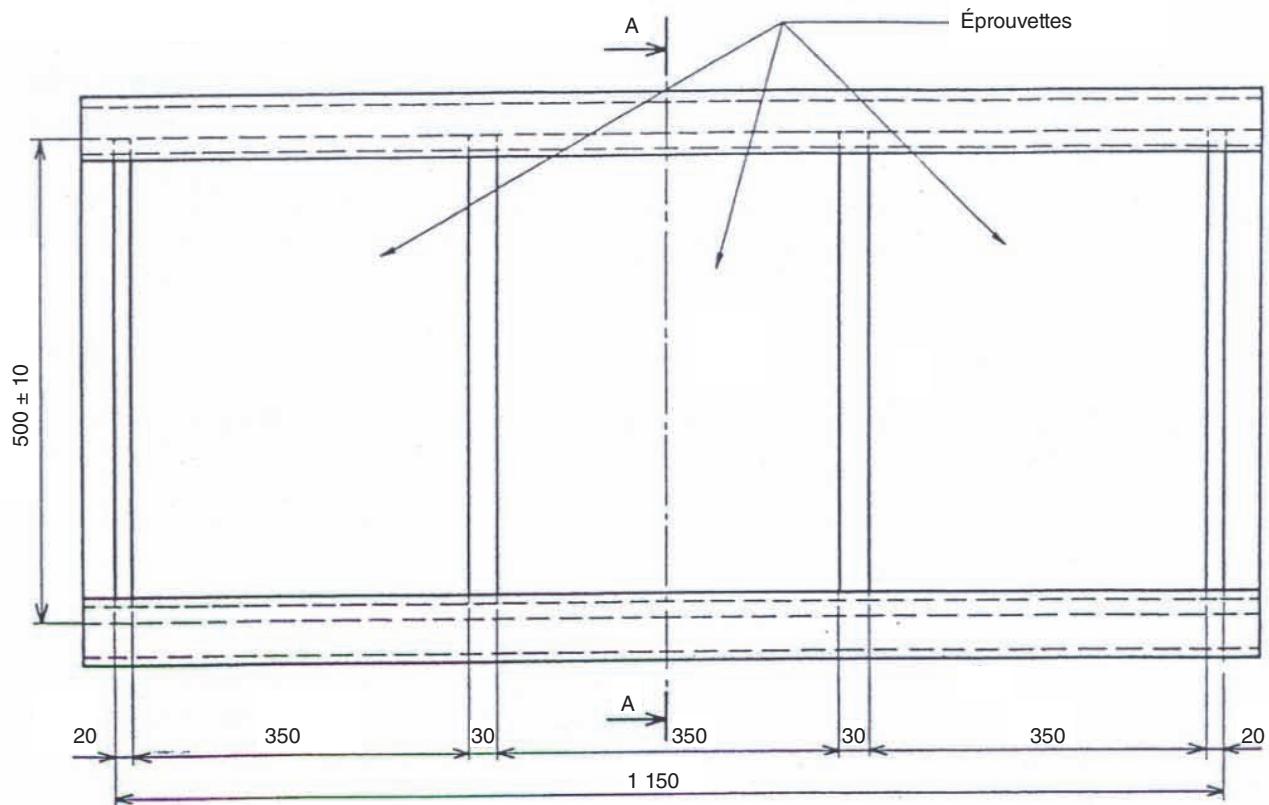


Figure 3

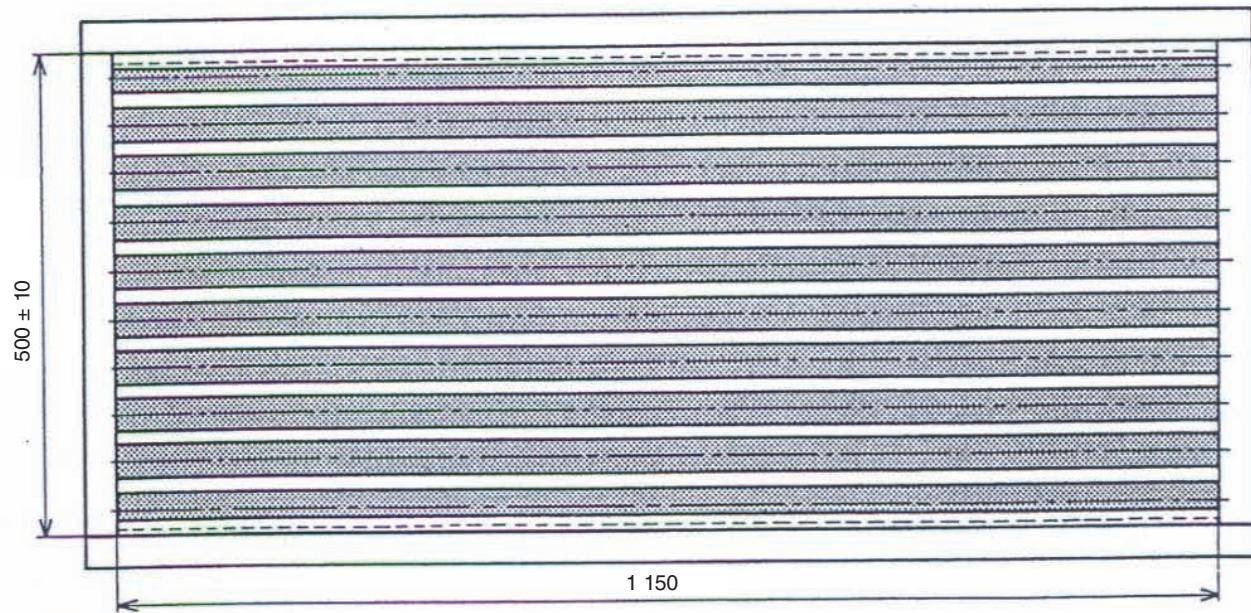


Figure 4

Annexe E

Protocole simplifié pour modification de couleur d'un mastic

Dans le cas où une nouvelle teinte est fabriquée à partir d'un coloris de base déjà validé (blanc, gris ou noir) soit par soustraction de matières colorantes initialement présentes, soit par addition de nouvelles matières colorantes, une procédure de validation simplifiée est autorisée en conformité avec la procédure suivante :

1. Constitution d'un dossier technique déclaratif, comprenant la description des modifications de formulation avec :
 - la nature des matières colorées impliquées ;
 - les variations pondérales résultantes ;
 - tout autre changement significatif du procédé de fabrication et du comportement du produit (rhéologie, etc.) ;
 - autres données techniques en possession du fabricant.
2. Réalisation des essais suivants :

Essais d'identification			
N° 1	ATG	ISO 7112	$RF_{réf} - [2 + (0,1 \times RF_{réf})] \leq RF \leq RF_{réf} + [2 + (0,1 \times RF_{réf})]$
N° 2	Masse volumique	ISO 1183 (méth. A)	$0,96 \times MVA_{réf} \leq MVA \leq MVA_{réf} \times 1,04$
N° 3	Dureté Shore	ISO 868	DShA ± 5
N° 4	Couleur	ISO 4660	Enregistrement
Essais de caractérisation			
N° 5	Variation de volume	NF ISO 10563	$Vd \leq 10 \%$
N° 6	Module élastique	NF EN ISO 527-3	Enregistrement du module d'élasticité ($E_{réf}$)
N° 7	Résistance à la déchirure à 23 °C	Guide ETAG 002	$\frac{\sigma_{rupture \text{ incisé}}}{\sigma_{rupture \text{ incisé}}} / \frac{\sigma_{rupture}}{\sigma_{rupture}} \geq 0,50 \text{ ou }^{(1)}$ $\frac{\sigma_{rupture \text{ incisé}}}{\sigma_{rupture \text{ incisé}}} / \frac{\sigma_{rupture}}{\sigma_{rupture}} \geq 0,75$
Résistances mécaniques (supports verre/verre ou verre/aluminium anodisé) ⁽²⁾			
N° 8	Résistance mécanique en traction à 23 °C, à l'état initial	NF EN 28339 et guide ETAG 002	Enregistrement de la contrainte de rupture (R_{U5}) Enregistrement du module à 12,5 % ($K_{12,5}$) $\sigma_{12,5 \%} \geq 0,14 \text{ MPa}$ $\sigma_{rupture} \geq 0,70 \text{ MPa}$ Déformation rupture $\geq 50 \%$ Rupture cohésive à 100 %
N° 9	Résistance mécanique en traction à 23 °C après vieillissement eau + UV	ISO 11431- 1991 (1 008 heures d'UV immergé dans l'eau à 45 °C) et guide ETAG 002	$\frac{\sigma_{rupture \text{ ISO 11431}}}{\sigma_{rupture \text{ état initial}}} / \frac{\sigma_{rupture \text{ état initial}}}{\sigma_{K12,5 \text{ ISO 11431}}} \geq 0,75$ $0,50 \leq \frac{\sigma_{K12,5 \text{ ISO 11431}}}{\sigma_{K12,5 \text{ état initial}}} \leq 1,10$ rupture cohésive à 100 %
N° 10	Contrainte de travail contrôlée (CTC)	Guide ETAG 002	$\sigma_{des} = RU5 / 6$ en traction ⁽³⁾
N° 11	Contrainte de travail admissible déclarée (CT)	Référentiel	$CT \geq 1,2 \sigma_{des}$

(1) Selon la fonction revendiquée par le demandeur.

(2) Type de support défini par le demandeur.

(3) Contrainte de travail contrôlée (CTC) : valeur calculée suite aux essais initiaux.

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

