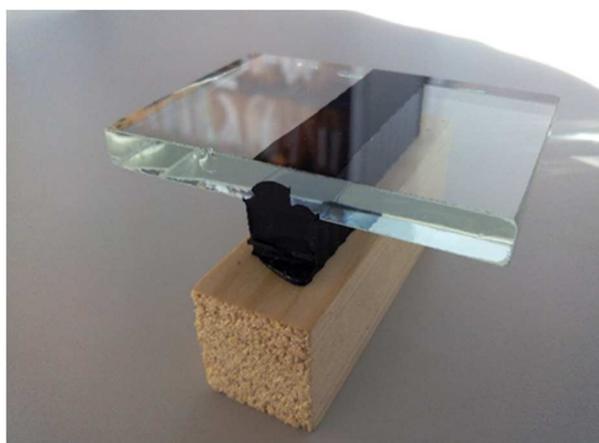


Systemes de vitrages collés sur châssis bois de menuiserie extérieure

Phase 1 : Etude des performances du produit de collage sur
support bois



Rapport de la phase 1
Mars 2016

Rédacteur : Marc Sigrist – Ingénieur construction menuiserie bois -

Institut Technologique FCBA

Siège social
10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84

Bordeaux
Allée de Boutaut - BP 227
33028 Bordeaux Cedex
Tél +33 (0)5 56 43 63 00
Fax +33 (0)5 56 43 64 80

www.fcba.fr

Avec le soutien du :

CODIFAB

comité professionnel de développement
des industries françaises de l'ameublement et du bois

SOMMAIRE

1	Contexte et objectif de l'étude.....	3
2	Les systèmes de vitrages collés sur châssis bois de fenêtres.....	3
2.1.	Les vitrages collés pris en feuillure et calé (VEP collé)	4
2.2.	Les vitrages extérieurs collés - systèmes calés (VEC calé).....	5
2.3.	Les vitrages extérieurs collés – systèmes non calés (VEC non calé)	6
3	Evaluation des produits de collage.....	7
3.1.	Choix des colles évaluées.....	7
3.2.	Choix des supports	8
3.3.	Choix des protocoles expérimentaux	8
3.3.1.	Les évaluations de produits de collage verre - bois.....	8
3.3.2.	Eprouvettes	9
3.3.3.	Descriptifs des essais	10
3.3.3.1.	<i>Traction et cisaillement</i>	10
3.3.3.2.	<i>Protocole essai de vieillissement accéléré au QUV</i>	11
3.3.3.3.	<i>Protocole essai de vieillissement accéléré en RDA</i>	12
3.4.	Grandeurs mesurées lors des essais.....	12
3.5.	Critères d'évaluation applicables.....	13
3.6.	Résultats des essais.....	14
4	Avis et interprétation	18
4.1.	Programme d'évaluation	18
4.1.1.	Protocoles de vieillissement spécifiques au support bois	18
4.1.2.	Effort de cisaillement.....	19
4.1.3.	Critère d'allongement.....	19
4.1.4.	Proposition de programme d'évaluation en fonction du système de vitrage collé	19
4.2.	Proposition de critères d'évaluation en fonction de la configuration du système de vitrage collé sur support bois	19
4.3.	Récapitulatifs des résultats	20
4.4.	Nature du support bois : brut ou avec finition	21
4.4.1.	Phénomènes responsables de l'adhésion.....	21
4.4.2.	Adhérence sur bois avec ou sans finition	21
4.4.3.	Essai de convenance sur bois fini	21
5	Conclusions	22
6	Remerciements.....	22
7	Références	23

1 CONTEXTE ET OBJECTIF DE L'ETUDE

Les systèmes de vitrages collés sur châssis de menuiserie, conformes à la NF EN 14 351-1+A1 – au moyen de produits de collage spécifiques, sont des procédés particuliers, utilisés en Europe depuis plus de 15 ans avec principalement des profilés métalliques ou PVC.

Le collage structurel permet potentiellement des avancées significatives sur la conception de la fenêtre bois : maximiser la surface vitrée en réduisant les sections du châssis bois, utilisation de bois moins dense et plus isolant, utilisation d'autres techniques d'assemblage d'angle moins rigide mais plus simple à mettre en œuvre (assemblage à coupe d'onglet)....

Le profilé bois n'est pas identifié comme un support de référence dans les documents techniques d'évaluation des produits de collage structurel. C'est un frein au développement de cette technique.

L'objectif principal de cette étude est de vérifier la faisabilité technique de systèmes de vitrages collés sur châssis bois de fenêtre.

L'étude est scindée en 2 phases :

- **Phase 1 : produits de collage « verre & bois »**,
 - Déterminer et fiabiliser le protocole d'évaluation des produits de collage spécifiquement au support bois,
 - Qualifier la performance de certains produits de collage existants sur un support bois de référence.
- **Phase 2 : systèmes de fenêtres bois à vitrages collés**,
 - Evaluer l'aptitude à l'emploi de 3 configurations de systèmes de vitrages collés de fenêtres bois.

Ce rapport porte exclusivement sur les résultats de la phase 1.

L'étude, financée exclusivement par le CODIFAB menuiserie extérieure, est dirigée par le comité de pilotage suivant : M. MARMORET (CAPEB), M. MACQUART (UFME), M. PARQUIER (UMB-FFB) et M. SIGRIST (FCBA).

2 LES SYSTEMES DE VITRAGES COLLES SUR CHASSIS BOIS DE FENETRES

Les différents systèmes de vitrages collés se caractérisent par leur positionnement dans la menuiserie sur différentes faces du verre, les sollicitations mécaniques auxquelles ils sont soumis et leur exposition aux intempéries.

On peut distinguer 3 grandes familles de systèmes de vitrages collés :

- **Vitrage collé pris en feuillure (VEP collé),**
- **Vitrage Extérieur Collé – systèmes calés (VEC calé),**
- **Vitrage Extérieur Collé – systèmes non calés (VEC non calé).**

2.1. Les vitrages collés pris en feuillure et calé (VEP collé)

Le vitrage est maintenu de façon continue dans la feuillure à verre (feuillure en U ou à parclose) du châssis. Le produit de collage participe à la rigidité du vitrage au châssis et renforce l'ensemble. En cas de défaillance du produit de collage, le vitrage est maintenu en sécurité.

Produit de collage NON STRUCTUREL entre le vitrage isolant et le châssis bois

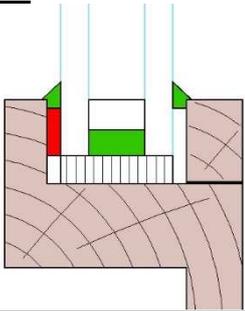
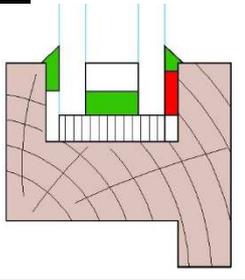
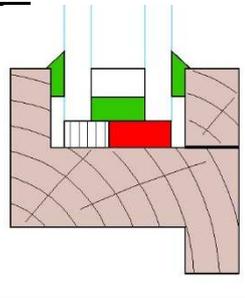
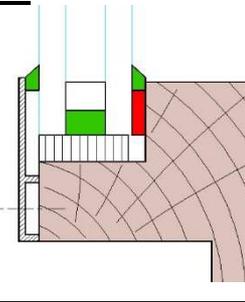
<p>Cas n°1</p> 	<p>Collage sur verre extérieur (face 1) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gradient T°C et Hr%, ○ Variation d'humidité du bois, ○ Indirectement aux U.V. par réflexion, ○ Potentiellement à de l'eau liquide. <p>Poids du verre repris par calage d'assise. Charge aux vents reprises par parclose/joue de feuillure.</p>
<p>Cas n°2</p> 	<p>Collage sur verre intérieur (face 4) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Faible gradient T°C, ○ Faible variation d'humidité du bois, ○ indirectement aux U.V. par réflexion, <p>Le calfeutrement d'étanchéité du verre intérieur est facultatif. Poids du verre repris par calage d'assise. Charge aux vents reprises par parclose/joue de feuillure.</p>
<p>Cas n°3</p> 	<p>Collage en fond de feuillure L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gradient T°C et Hr%, ○ Variation d'humidité du bois, ○ indirectement aux U.V. par réflexion, ○ potentiellement à de l'eau liquide. <p>Le calfeutrement d'étanchéité du verre intérieur est facultatif. Poids du verre repris par calage d'assise. Charge aux vents reprises par parclose/joue de feuillure.</p>
<p>Cas n°4</p> 	<p>La parclose extérieure est métallique ou en matériaux de synthèse (PVC, PA,...).</p> <p>Idem cas n°2.</p>
<p style="color: red;">Le produit de collage est en rouge (le produit de collage adhère uniquement sur 2 faces opposées).</p> <p style="color: green;">Les produits d'étanchéité sont en vert.</p>	

Tableau 1 : Configurations de systèmes VEP collés et calés

2.2. Les vitrages extérieurs collés - systèmes calés (VEC calé)

Le vitrage est maintenu de façon continue au châssis exclusivement par le produit de collage. Le poids propre du vitrage est repris mécaniquement par le dispositif de calage d'assise. Il s'agit des types I et II de l'ETAG002-1.

En France, la mise en place de dispositif de retenue (ou de sécurité) est nécessaire pour retenir le vitrage en cas de défaillance du produit de collage (hormis exceptions définies au §2.3.2.1 du cahier 3488_V2 du CSTB). Le recouvrement de dormant sur l'ouvrant caché (OF et OB) peut être considéré comme un dispositif de retenue du vitrage, après validation de la résistance du dispositif.

Produit de collage STRUCTUREL en TRACTION entre le vitrage isolant et le châssis bois

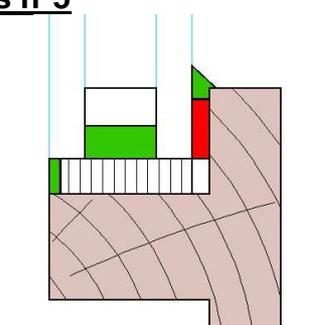
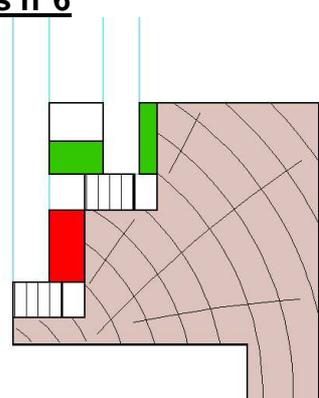
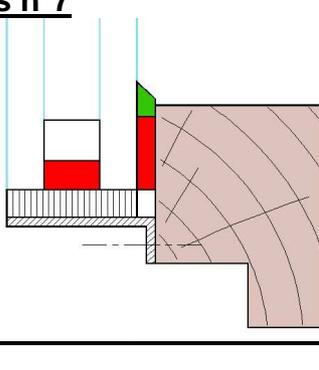
<p>Cas n°5</p> 	<p>Système calé et bordé Collage sur verre intérieur (face 4) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Faible gradient T°C, ○ Faible variation d'humidité du bois, ○ indirectement aux U.V. par réflexion. <p>Le calfeutrement d'étanchéité du verre intérieur est facultatif. Poids du verre repris par calage d'assise. Charge aux vents reprises par le produit de collage.</p>
<p>Cas n°6</p> 	<p>Système calé et à bord décalé Collage sur verre extérieur (face 2), L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gradient T°C et H%, ○ variation d'humidité du bois, ○ indirectement aux U.V. par réflexion. <p>Poids du verre repris par calage d'assise. Système de calage implique une extrême rigueur de positionnement des chants d'appui des verres (tolérance admise de 0.5 mm sur le décalage des bords). Le dispositif de réglage de cales est recommandé selon cahier n°3488 du CSTB. Charge aux vents reprises par le produit de collage.</p>
<p>Cas n°7</p> 	<p>Système calé mais non bordé Collage sur verre intérieur (face 4) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Gradient T°C et H% ○ variation d'humidité du bois ○ indirectement aux U.V. <p>le calfeutrement d'étanchéité du verre intérieur est facultatif. Poids du verre repris par calage d'assise : Equerre ponctuel de maintien du calage DTU 39 fixé mécaniquement sur le châssis bois. Le produit de collage du scellement vitrage isolant est structurel. Il doit être conforme à EN 15434+A1 et au cahier CSTB n°3488. Charge aux vents reprises par le produit de collage.</p>
<p style="color: red;">Le produit de collage est en rouge (le produit de collage adhère uniquement sur 2 faces opposées).</p> <p style="color: green;">Les produits d'étanchéité sont en vert.</p>	

Tableau 2 : Configurations de systèmes VEC calés

2.3. Les vitrages extérieurs collés – systèmes non calés (VEC non calé)

Le vitrage est maintenu de façon continue au châssis exclusivement par le produit de collage. Le produit de collage transfère toutes les actions, y compris le poids propre du vitrage, vers le châssis. Il s'agit des types III et IV de l'ETAG002-1.

En France, la mise en place de systèmes non calés est envisageable uniquement dans le cas de vitrages simples monolithiques et si le mastic satisfait aux exigences de fluage sous cisaillement selon cahier dn°3488 du CSTB.

Produit de collage STRUCTUREL en TRACTION et CISAILLEMENT entre le vitrage isolant et le châssis bois

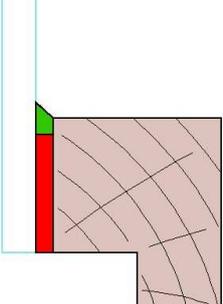
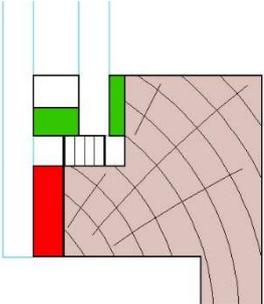
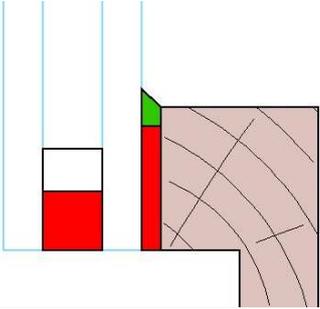
<p>Cas n°8</p> 	<p>Système non calé sur vitrage monolithique</p> <p><u>Autorisé sous conditions par le cahier n°3488 du CSTB</u></p>
<p>Cas n°9</p> 	<p>Système à bord décalé non calé</p> <p><u>Non autorisé en France par le cahier n°3488 du CSTB</u></p>
<p>Cas n°10</p> 	<p>Système non calé et non bordé</p> <p><u>Non autorisé en France par le cahier n°3488 du CSTB)</u></p>
<p>Le produit de collage est en rouge (le produit de collage adhère uniquement sur 2 faces opposées). Les produits d'étanchéité sont en vert.</p>	

Tableau 3 : Configurations de systèmes VEC non calés

3 EVALUATION DES PRODUITS DE COLLAGE

3.1. Choix des colles évaluées

L'objectif est de caractériser, sur un support bois, la performance de produits de collage déjà reconnus (et commercialisés sur le marché français) sur les supports de référence verre et aluminium anodisé.

Des fabricants de produits de collage, les plus importants du marché français, ont été sollicités pour proposer leur référence de produit ou système de collage qui leur apparait également adapté au support bois.

Le comité de pilotage a retenu les fabricants et références suivantes qui sont adaptées à des procédés de collage manuels à semi-automatisés.

Fabricant	Nature – référence – primaire	Preuves de performance (*)
SIKA	Colle mastic silicone bi composant, type alkoxy et à haut module Réf : Sikasil WT 480 Primaire sur bois brut : aucun	Rapport d'essai IFT selon ETAG 002-1.
DOW CORNING	Colle mastic silicone bi composant, type alkoxy Réf : DC 993 Primaire sur bois brut : Primer P	Rapport d'essai selon ETAG 002-1. Produit sous Label SNJF VEC et VI-VEC.
OTTO CHEMIE	Colle mastic silicone bi composant, type alkoxy Réf : OTTOCOLL S81 Combiné avec ruban adhésif OTTOTAPE duo 20 (en jaune sur la photo ci-contre) Primaire sur bois : aucun Seul le mastic OTTOCOLL S81 a été évalué dans le cadre de cette étude.	Rapport d'essai selon IFT guideline VE-08/1 sur support bois. 
TREMCO ILLBRUCK	Colle mastic silicone bi composant, à haut module Réf : SG200 ou DG200 ou proglaze II Primaire sur bois brut : SG010 primer n°010	ATE 05/0006 du CSTB selon ETAG 002-1. Produit sous Label SNJF VEC.
3M	Ruban de collage en bande mousse acrylique double face Réf : VHB G15F double face section 1.5 x 12 mm Primaire sur bois brut : Primaire 94	ATE 09/0024 du CSTB selon le CUAP 04.04/32 du CSTB.

(*) Identification des preuves de performances antérieures à l'étude et transmises par le fabricant. Tous les produits proposés sont dotés du marquage CE (niveau d'attestation 1) selon ETAG 002-1 pour les mastics ou selon procédure CUAP pour le ruban mousse.

Tableau 4 : Liste des produits ou systèmes de collage retenus pour l'étude

Observation : le fabricant Koemmerling n'a pas pu réaliser les échantillons, avec collage par mastic Koediglaze SDG30, dans les délais impartis.

3.2. Choix des supports

La nature des supports d'une éprouvette est mixte ; c'est-à-dire que l'un des 2 supports est toujours du verre et que l'autre correspond à la solution envisagée, en l'occurrence du bois. Le support bois de référence choisi est :

- **Pin sylvestre (aubier inclus),**
- Bois brut, sans traitement IF et sans finition, raboté 4 faces.

3.3. Choix des protocoles expérimentaux

3.3.1. Les évaluations de produits de collage verre - bois

La méthodologie retenue dans le cadre de cette étude a été définie à partir des 3 référentiels co-existants : ETAG 002 – partie 1, Référentiel VEC bois CTBA et IFT-guideline VE-08.

N°	Evaluations	Conditions d'essai	Type de test (nbre éprouvette)	Références
1	Etat initial	Conditionnement initial ¹ puis : 20°C et 65 Hr% (24h)	Traction (n=10) Et Cisaillement (n=10)	ETAG002-1 5.1.4.1.1 Modifié ²
2	Températures hautes et basses	Conditionnement initial ¹ puis : -20°C (24h) +80°C (24h)	Traction (n=10) Et Cisaillement (n=10)	ETAG002-1 5.1.4.1.2
3	Exposition à UV à T°C haute Humidification	Conditionnement initial ¹ puis : 12 semaines de cycles QUV ³ UV (1440h) à +60°C et humidification de la face du verre	Traction (n=10)	Référentiel VEC bois CTBA-CSTB - §4 -
4	Exposition à UV Immersion eau	Conditionnement initial ¹ puis : 6 semaines de cycles RDA ⁴ UV-IR (372h) à +20°C (face du verre) et immersion complète dans l'eau à 20°C	Traction (n=10)	référentiel VEC bois CTBA-CSTB - §3- Modifié ⁵
5	Variation d'humidité haute du bois	Conditionnement initial ¹ puis : Reprise H _{bois} = 18% sous 23°C - 85hr% (21j)	Traction (n=10)	IFT guideline VE-08
6	Variation d'humidité basse du bois	Conditionnement initial ¹ puis : Séchage H _{bois} = 6% sous 23°C - 30hr% (21j)	Traction (n=10)	IFT guideline VE-08
7 ⁶	Immersion dans produits de nettoyage	Conditionnement initial ¹ puis : Immersion 30min dans solution 10% teepol ou équivalent	Traction (n=10)	Référentiel VEC bois CTBA-CSTB - §5 -

¹ conditionnement initial : 28 jours à 20°C et 65 Hr% correspondant à H_{bois} = 12 ±1%

² sur la base de NF EN 291, conditions 20°C et 65 Hr% retenues ou lieu de 23°C et 50 Hr% (ETAG002-1)

³ essai de vieillissement accéléré au QUV selon NF EN 927-6 et présenté au §3.3.2.2 du présent document

⁴ essai de vieillissement accéléré à la RDA selon annexe G de NF P 23 305

⁵ substitution de l'essai V313 (ne contenant pas d'exposition UV) par vieillissement RDA afin de privilégier l'exposition aux UV-IR+immersion

⁶ cette évaluation apparait facultative dans le cas où le produit de collage est déjà conforme à l'exigence de l'ETAG 002-1 – 5.1.4.2.4 – pour les supports de référence aluminium et verre et si le produit de collage est protégé par un produit d'étanchéité.

Tableau 5 : Evaluations de résistance et durabilité du produit de collage « verre- bois »

3.3.2. Epreuves

Les éprouvettes sont identiques pour l'ensemble des évaluations.

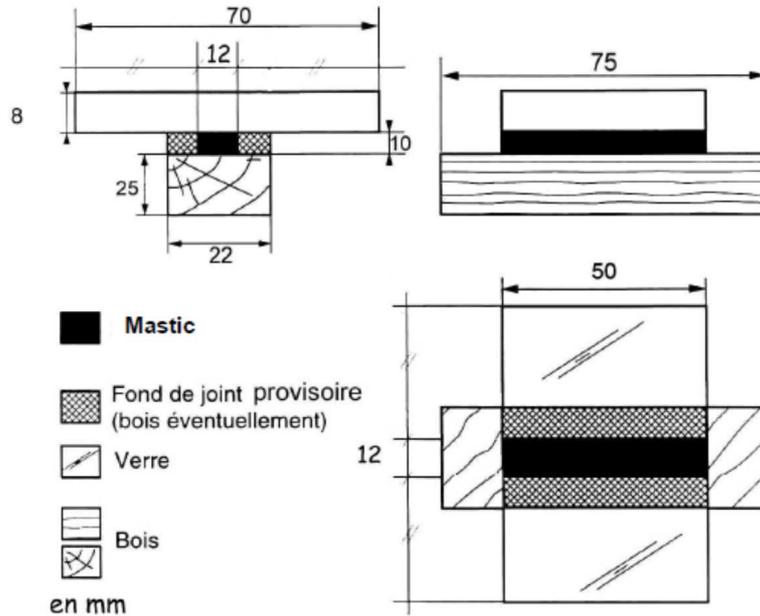


Figure 1 : *Epreuve type « avion » selon référentiel VEC bois CTBA- CSTB*

Note : la section du ruban de collage 3M sera celle de la référence commerciale testée (1.5 x 12 mm).



Photo 1 : éprouvette avion avec ruban 3M



Photo 2 : éprouvette avion avec mastic silicone

Le fond de joint (facultatif) est du choix du fabricant.

FCBA s'est chargé de la préparation des pièces de bois de pin sylvestre (25x22x75 mm), initialement conditionnées 28j à 20°C et 65 Hr% puis chacun des fabricants de colle ont réalisé les éprouvettes dans les conditions normalisées de laboratoire.

Le nombre d'échantillon final a permis la réalisation de lot de 8 éprouvettes (n=8) au lieu des 10 recommandés. Le traitement statistique des résultats a été adapté au nombre d'éprouvettes selon ETAG 002-1.

3.3.3. Descriptifs des essais

3.3.3.1. Traction et cisaillement

Ces essais ont pour but d'évaluer la résistance intrinsèque du mastic de collage aux efforts de traction et de cisaillement.

Ils sont effectués sur une machine d'essai universelle mesurant les efforts avec une incertitude de $\pm 1\%$ et les déplacements avec une incertitude de 0.1 mm.

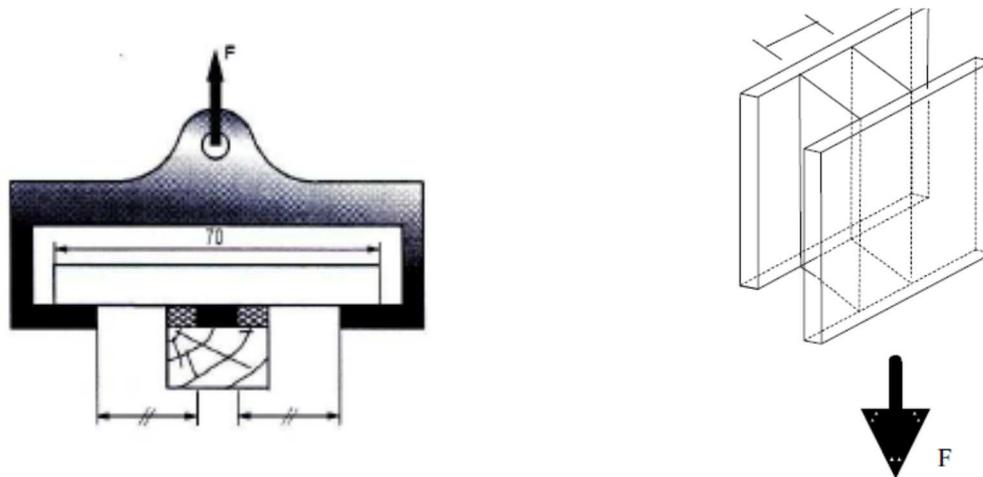


Figure 2 : Dispositif de traction (à gauche) et de cisaillement (à droite)

Chacun des dispositifs de traction et de cisaillement comprend une partie statique et une partie mobile, toutes deux raccordées au porte-échantillon.

Vitesse de traction et de cisaillement : 5 mm/min (selon ETAG002-1).

Note: traction initial à 20°C du ruban adhésif 3M est également réalisée à 50 mm/min selon le CUAP 04.04.32 (comportement viscoélastique différent des mastics silicones).



Photo 3 : essai de traction

3.3.2.2. Protocole essai de vieillissement accéléré au QUV

C'est le protocole de vieillissement accéléré européen, réalisé sur équipement QUV, des produits de finition sur menuiseries extérieures en bois. Selon NF EN 927-6, le cycle d'exposition d'une semaine comporte une période de condensation, suivie d'un sous cycle de pulvérisation d'eau et d'exposition au rayonnement UV-A 340nm. Le vieillissement total correspond à 12 cycles, soit « 12 semaines de QUV ». I

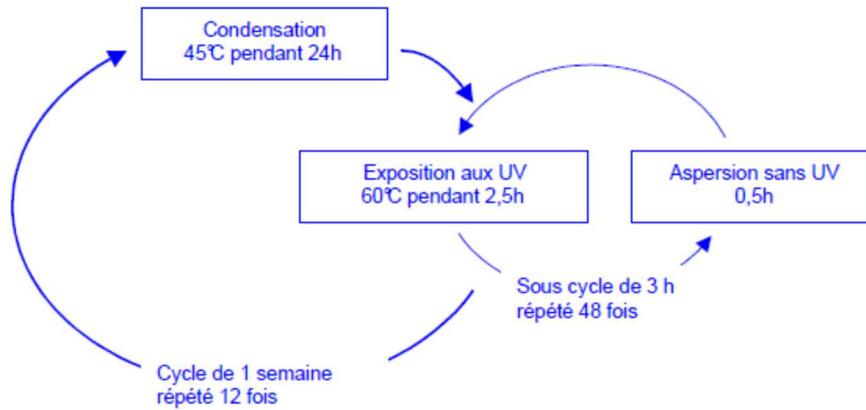


Figure 3 : Cycle et sous cycles de vieillissement accéléré QUV

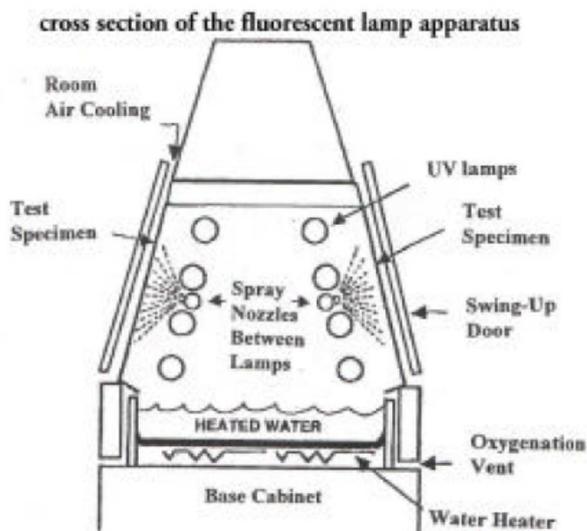


Figure 4 : Equipement QUV

3.3.2.3. Protocole essai de vieillissement accéléré en RDA

C'est un protocole de vieillissement accéléré français, réalisé sur une roue de dégradation accélérée (RDA), utilisé pour évaluer la durabilité de certains composants de menuiseries extérieures en bois.

Selon l'annexe G de NF P 23 305, le cycle de base de 90 minutes correspond à 1 tour de RDA :

- ✓ 13 min d'immersion dans l'eau,
- ✓ 22 min à l'air ambiant dans les conditions du laboratoire,
- ✓ 33 min d'irradiation UV-Visible – IR,
- ✓ 22 min à l'air ambiant dans les conditions du laboratoire.

Le nombre de cycle d'essai à la RDA est donné par un nombre de semaine, en l'occurrence 6 semaines (soit 372 h d'exposition UV-IR).

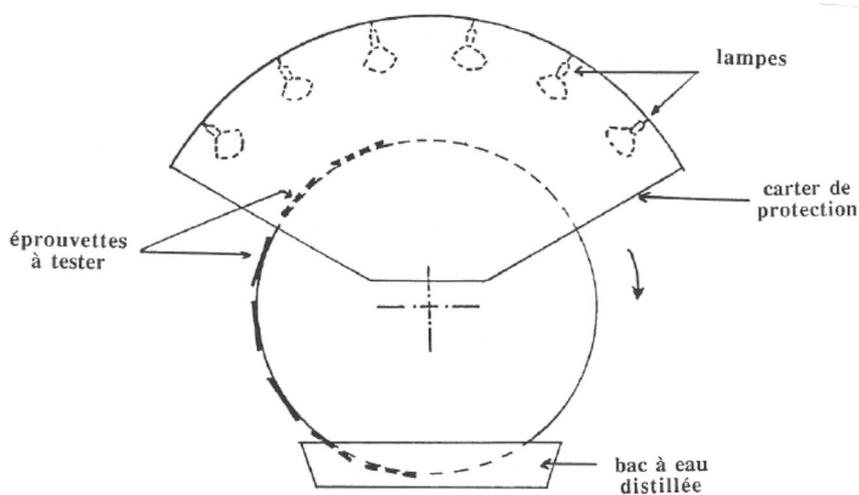


Figure 5 : Equipement RDA

3.4. Grandeurs mesurées lors des essais

Les grandeurs mesurées et calculées lors des essais de traction ou compression sont :

- **cohésif (%)** identification du pourcentage moyen de rupture cohésive (dans l'épaisseur du produit de collage testé).

Rupture cohésive dans le mastic



Figure 6 : rupture « cohésive dans le mastic » ou « adhésive » à l'interface mastic - support

- **X (kPa)** contrainte pour un allongement de 5, 10, 15, 20, 25, 50 et 100%,
- **X_{mean} (kPa)** contrainte moyenne à la rupture,
- **X_{mean,n}** correspond à celle obtenue après l'état initial (évaluation n°1),
- **X_{mean,c}** correspond à celle obtenue après un vieillissement (évaluation n°2 à 6),
- **A(%)** élongation moyenne à la rupture A(%),
- **R_{u5} (kPa)** contrainte de rupture caractéristique assurant à 75% que 95% des résultats d'essais seront supérieurs à cette valeur,
- **ΔX_{mean}** variation relative de la contrainte à la rupture par rapport à l'état initial.

$$\Delta X_{\text{mean}} = X_{\text{mean,c}} / X_{\text{mean,n}}$$

$$R_{u5} = X_{\text{mean,n}} - T_{\alpha\beta} \times S$$

Avec :

- **T_{αβ}** excentricité de 5% avec un niveau de confiance de 75% selon tableau 7 ETAG002-1,
- **S** écart type des séries étudiées.

3.5. Critères d'évaluation applicables

Les critères d'évaluation diffèrent quelque peu en fonction du référentiel utilisé. Ils sont applicables à une configuration structurale VEC (calée ou non).

N°	Evaluation	Essai		ETAG002-1	Référentiel VEC bois	IFT guideline VE-08	EN 15434 :2006 +A1 :2010
1	Etat initial	20°C et 65Hr% (24h)	Traction Cisaille ^{nt}	cohésif ≥ 90% R _{u5} K _{12.5} ¹	Cohésif ≥ 90% R _{u5} ≥ 700 kPa A ≥ 50% K _{12.5} ¹	cohésif ≥ 90% ² R _{u5} ³	cohésif ≥ 90% R _{u5} ≥ 500 kPa
2	Températures hautes et basses	-20°C (24h) +80°C (24h)	Traction Cisaille ^{nt}	Cohésif ≥ 90% R _{u5} ΔX _{mean} ≥ 0.75	Cohésif ≥ 90% ΔX _{mean} ≥ 0.75 A ≥ 50% 0.5 ≤ K _{x,c} /K _x ≤ 1.10 ⁴	cohésif ≥ 90% ² ΔX _{mean} ≥ 0.50 R _{u5} ³	cohésif ≥ 90% ΔX _{mean} ≥ 0.75
3	Exposition à UV à T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	Cohésif ≥ 90% ΔX _{mean} ≥ 0.75 0.5 ≤ K _{x,c} /K _x ≤ 1.10 ⁴			Cohésif ≥ 90% ΔX _{mean} ≥ 0.75 0.5 ≤ K _{x,c} /K _x ≤ 1.10 ⁴
4	Exposition à UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction				
5	Variation d'humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction				
6	Variation d'humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction				

¹ Rigidité sécante à 12.5% selon annexe 1 de ETAG002-1

² pourcentage individuel (par éprouvette) de rupture cohésive doit être ≥ 75%.

³ la valeur minimum de l'ensemble des essais est celle retenue pour le dimensionnement de la résistance du produit de collage.

⁴ la variation relative de la rigidité sécante à 12.5% doit être comprise entre 0.5 et 1.10 selon annexe 1 de ETAG002-1

Tableau 6 : Inventaire, par référentiels existants, des critères d'évaluation applicables au VEC

3.6. Résultats des essais

Afin de garantir la confidentialité des résultats, les produits de collage ont été numérotés de 1 à 5, dans un ordre arbitraire par rapport au tableau 4. Chaque fabricant de colle a été informé du numéro qui lui a été attribué mais également de l'ensemble des mesures relevées lors des tests de leur produit. Le comité de pilotage a également reçu la liste complète lui permettant d'identifier les systèmes étudiés.

Produit de collage N°1

spécifications les plus défavorables selon tableau 6				X_{mean} (kPa)	ΔX_{mean}	R_{u5} (kPa)	A(%)	Cohésif(%)
					≥ 0.75	≥ 700	≥ 50	≥ 90
1-a	Etat initial	20°C	Traction	1320		813	102	90
2-a	Températures basses et hautes	-20°C		1469	1,11		120	97
		+80°C	1187	0,90		73	98	
1-b	Etat initial	20°C	Cisaille ^{nt}	1062		896	194	100
2-b	Températures basses et hautes	-20°C		1219	1,15		206	100
		+80°C		922	0,87		83	100
3	Exposition UV et T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	561	0,43		60	40
4	Exposition UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction	846	0,64		66	67
5	humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction	1239	0,94		104	75
6	humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction	1362	1.03		82	94

Tableau 7 : Synthèse des résultats du produit de collage n°1

Constats :

- Le % d'allongement est important car le mastic n'est pas à haut module,
- Présence d'un défaut d'adhérence suite aux vieillissements UV avec le support bois (et non avec le verre). La solution préconisée (avec primaire d'adhérence) ne convient pas sur du bois raboté brut. Le fabricant indique que le mastic de collage devra être en contact avec du bois revêtu d'un produit de finition et ayant obtenu des ruptures cohésives.



Photo 4 : rupture adhésive entre interface mastic et bois brut

- La chute de performance de la contrainte de rupture, après UV, est générée par la dégradation de l'adhérence du mastic avec le support bois. Le mastic ne joue plus son rôle de « fusible » mécanique du système,
- Comportement relativement identique en traction et cisaillement.

Produit de collage N°2

				X_{mean} (kPa)	ΔX_{mean}	R_{u5} (kPa)	A(%)	Cohésif(%)
<i>spécifications les plus défavorables selon tableau 6</i>					≥ 0.75	≥ 700	≥ 50	≥ 90
1-a	Etat initial	20°C	Traction	1168		954	33	99
2-a	Températures basses et hautes	-20°C		1270	1,09		39	100
		+80°C		1055	0,90		28	100
1-b	Etat initial	20°C	Cisaille ^{nt}	732		519	81	100
2-b	Températures basses et hautes	-20°C		829	1,13		97	100
		+80°C		721	0,98		87	99
3	Exposition UV et T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	943	0,81		38	100
4	Exposition UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction	1085	0,93		24	100
5	humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction	1065	0,91		38	97
6	humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction	1286	1,10		37	100

Tableau 8 : Synthèse des résultats du produit de collage n°2

Constats :

- Résultats d'adhérence avec le support bois brut sont très satisfaisants,
- Le pourcentage d'allongement est faible étant donné qu'il s'agit d'un mastic à haut module. Cela peut être un avantage car le mastic va « rigidifier » la liaison entre le verre (calé) et le bois (comportement peu élastique) et ainsi limiter d'éventuel phénomène de fluage sous charge au nez,
- Les résultats sont du même niveau de performance que ceux déjà obtenues par le fabricant selon ETAG002-1 sur des supports en verre. Le mastic testé est intrinsèquement 30 à 40% moins résistant en cisaillement qu'en traction.

Produit de collage N°3

				X_{mean} (kPa)	ΔX_{mean}	R_{u5} (kPa)	A(%)	Cohésif(%)
<i>spécifications les plus défavorables selon tableau 6</i>					≥ 0.75	≥ 700	≥ 50	≥ 90
1-a	Etat initial	20°C	Traction	956		870	35	99
2-a	Températures basses et hautes	-20°C		1079	1,13		39	100
		+80°C		946	0,99		30	100
1-b	Etat initial	20°C	Cisaille ^{nt}	524		369	81	100

2-b	Températures basses et hautes	-20°C		487	0,93		82	100
		+80°C		508	0,97		101	100
3	Exposition UV et T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	685	0,72		48	94
4	Exposition UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction	874	0,91		47	100
5	humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction	905	0,95		43	100
6	humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction	1007	1,05		35	100

Tableau 9 : Synthèse des résultats du produit de collage n°3

Constats :

- Résultats d'adhérence avec le support bois brut sont très satisfaisants,
- Le pourcentage d'allongement est faible étant donné qu'il s'agit d'un mastic à haut module. Cela peut être un avantage car le mastic va « rigidifier » la liaison,
- Chute de performance au QUV reste sur un ordre de grandeur acceptable,
- Les résultats sont du même niveau de performance que ceux déjà obtenus par le fabricant sur d'autres supports de références selon ETAG002-1. Le mastic testé est intrinsèquement 40 à 50% moins résistant en cisaillement qu'en traction.

Produit de collage N°4

				X_{mean} (kPa)	ΔX_{mean}	R_{u5} (kPa)	A(%)	Cohésif(%)
<i>spécifications les plus défavorables selon tableau 6</i>					≥0.75	≥700	≥50	≥90
1-a	Etat initial	20°C	Traction	896		745	211	100
2-a	Températures basses et hautes	-20°C		934	1,04		215	100
		+80°C	974	1,09		165	100	
1-b	Etat initial	20°C	Cisaille ^{nt}	838		642	308	100
2-b	Températures basses et hautes	-20°C		843	1,01		311	100
		+80°C		820	0,98		233	100
3	Exposition UV et T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	853	0,95		355	100
4	Exposition UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction	982	1,10		238	100
5	humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction	824	0,92		233	100
6	humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction	986	1,10		164	100

Tableau 10 : Synthèse des résultats du produit de collage n°4

Constats :

- Résultats d'adhérence avec le support bois brut sont très satisfaisants,

- % d'allongement est important,
- Le mastic a un comportement relativement homogène en traction et compression,
- Les différents vieillissements n'altèrent pas les performances.

Produit de collage N°5

				X_{mean} (kPa)	ΔX_{mean}	R_{u5} (kPa)	A(%)	Cohésif(%))
<i>spécifications les plus défavorables selon tableau 6</i>					≥ 0.75	≥ 700	≥ 50	≥ 90
1-a	Etat initial	20°C	Traction 50mm/min	804		620	497	79
				432		373	604	79
2-a	Températures basses et hautes	-20°C	Traction 5mm/min	823	1,91		532	94
		+80°C		484	1,12		342	95
1-b	Etat initial	20°C	Cisaille ^{nt}	502		462	632	98
2-b	Températures basses et hautes	-20°C		1439	2,87		824	99
		+80°C		528	1,05		569	90
3	Exposition UV et T°C haute Humidification	12 sem. de cycles QUV	Traction	630	1,46		123	99
4	Exposition UV Immersion eau	6 sem. de cycles RDA	Traction	684	1,58		468	87
5	humidité haute du bois	23°C - 85hr% (21j)	Traction	441	1,02		576	94
6	humidité basse du bois	23°C - 30hr% (21j)	Traction	607	1.41		594	82

Tableau 11 : Synthèse des résultats du produit de collage n°5

Constats :

- Le ruban est un produit viscoélastique qui ne se comporte pas comme les mastics silicones car il absorbe la contrainte. Dynamiquement, plus on le sollicite « rapidement » meilleure sera sa réponse. Comme déjà observé lors du CUAP réalisé sur 3 vitesses (5, 50 et 300 mm/min), on peut envisager que le R_{u5} à 300 mm/min soit de 10 à 30% supérieur à celui de 50 mm/min. Sous pression aux vents, le ruban acrylique a potentiellement le même niveau de contrainte admissible en traction que les mastics silicones testés,
- Le pourcentage d'allongement est important pour une épaisseur initiale réduite,
- Les différents vieillissements améliorent le niveau de résistance à la rupture du ruban,
- Il est constaté quelques ruptures adhésives avec le bois. Le fabricant indique que le ruban n'a pas vocation à être utilisé sur bois brut car il ne peut pas « mouiller » la surface autant qu'un silicone; le primaire appliqué n'a pas systématiquement suffi à combler les irrégularités de surface et à bloquer l'arrachement de fibre de bois. Le collage devra se faire sur bois revêtu d'un système de finition et ayant obtenu des ruptures cohésives.



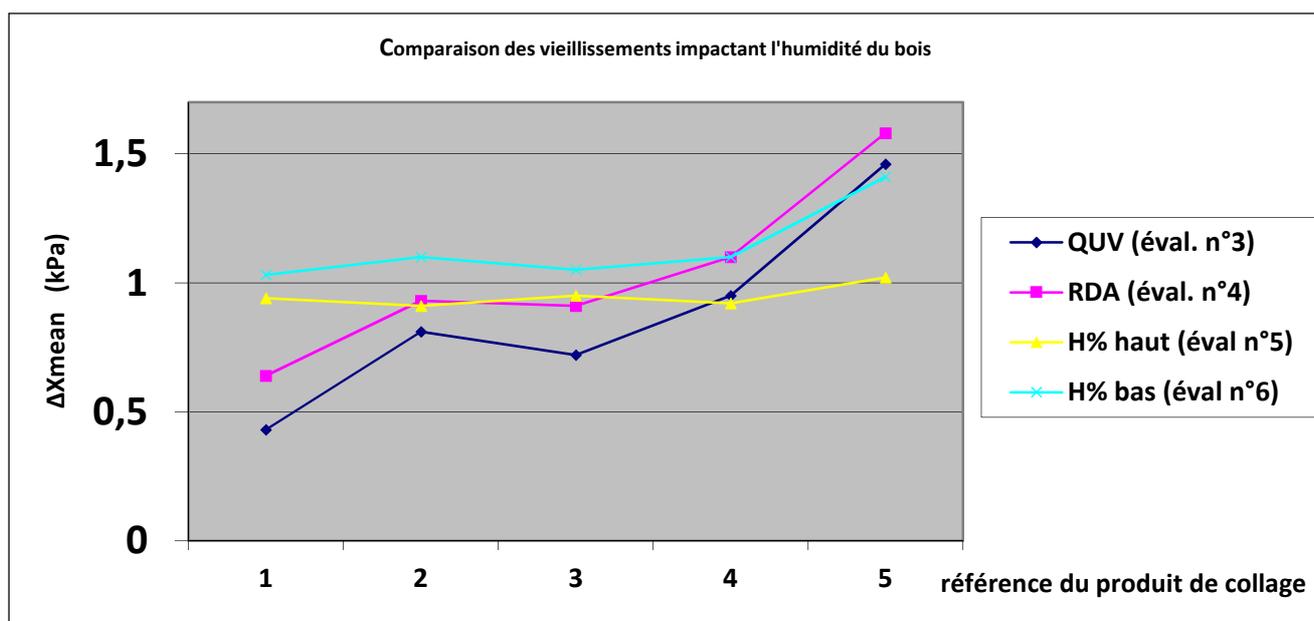
Photo 5 : rupture adhésive entre interface mastic et bois brut

4 AVIS ET INTERPRETATION

4.1. Programme d'évaluation

4.1.1. Protocoles de vieillissement spécifiques au support bois

Les spécificités de variation de l'humidité du bois sont prises en compte à la fois par les évaluations 3, 4, 5 et 6.



On constate que le vieillissement le plus discriminant est l'évaluation n°3 (QUV) ; l'évaluation n°4 (RDA) suit, de manière moins discriminante, la même tendance que celle de l'évaluation n°3. On peut donc envisager de privilégier l'évaluation n°3, vis-à-vis de la n°4, pour le comportement de vieillissement UV – humidification du bois.

L'humidité du bois varie entre 6% et 15% lors de l'évaluation n°3 (QUV), du coup :

- L'évaluation n°5 apparaît nécessaire pour H18%,
- L'évaluation n°6 apparaît redondante avec celle du QUV.

4.1.2. Effort de cisaillement

Le comportement en cisaillement sur support bois n'est pas différent de celui obtenu par le même produit de collage sur le support de référence. Il n'apparaît donc pas nécessaire de le réévaluer spécifiquement pour le bois, notamment dans le cas des configurations de systèmes collés peu sollicitantes en cisaillement du fait du calage (VEP et VEC calés).

4.1.3. Critère d'allongement

Le critère d'allongement (>50%) n'est pas respecté par les produits de collage ayant un haut module. Pour autant les autres critères (%cohésif et R_{u5}) sont respectés.

Un mastic à haut module va rigidifier la liaison entre le châssis et le verre et participera ainsi de façon plus efficace aux phénomènes de contreventement, torsion statique et fluage. Cela peut donc être un avantage pour certaine configuration de vitrage collé. Cependant il faut vérifier que le mastic pourra accompagner, via son élasticité, les variations dimensionnelles de la feuillure ou joue de feuillure en bois (reprise d'humidité du bois), sans endommager le système.

Il conviendra donc en phase 2 de vérifier que des mastics à haut module (et $A\% < 50\%$) sont envisageables pour des configurations du type 1 à 6 exposées à des conditions de climats successifs uniformes.

4.1.4. Proposition de programme d'évaluation en fonction du système de vitrage collé

Sur la base du tableau 5 et des analyses ci-dessus, il est proposé le programme suivant :

Système de vitrage collé		Evaluation spécifique au support bois de référence							Fluage ETAG 002-1
		1	2	3	4	5	6	7	
VEP collé	1	Oui en traction	Oui en traction	Oui en traction	Pas nécessaire	Oui en traction	Pas nécessaire	Pas Nécessaire si protégé par un produit d'étanchéité	Pas nécessaire
	2								
	3								
	4								
VEC calé	5	Oui en traction et cisaillement							Oui en traction et cisaillement
	6								
	7								
VEC non calé ¹	8	Oui en traction et cisaillement					Oui en traction	Oui en traction	Oui en traction et cisaillement
	9								
	10								

¹ configuration non admise par le GS Avis Technique pour le marché français

Tableau 12 : Programme d'évaluation en fonction du système de vitrage collé

4.2. Proposition de critères d'évaluation en fonction de la configuration du système de vitrage collé sur support bois

Les spécifications techniques de choix du produit de collage dépend de :

- De la configuration du système de vitrage collé (voir § 2.1),
- Et des fonctions assurées (et des sollicitations).

Sur la base du tableau 6 et des analyses ci-dessus, il est proposé l'application des critères d'évaluation suivants :

	VEP collé Collage non structurel mais participant à la rigidité du châssis	VEC calés Collage structurel sollicité en traction	VEC non calés Collage structurel sollicité en traction et cisaillement
Evaluation n°1 en traction	cohésif $\geq 90\%$ R_{u5} en traction initial = valeur informatrice ^{1 2} A(%) en traction initial = besoin valeur seuil ? ³	Cohésif $\geq 90\%$ R_{u5} en traction initial ≥ 700 kPa ² A(%) en traction initial = besoin valeur seuil ? ³	Configuration non admise par le GS délivrante les Avis Technique pour le marché français.
Evaluation n°2 / 3 / 5 / 6 en traction	cohésif $\geq 90\%$ $\Delta X_{mean} \geq 0.50$	Cohésif $\geq 90\%$ $\Delta X_{mean} \geq 0.75$	

¹ la valeur est donnée à titre informatif pour apprécier le niveau de participation du collage dans la rigidité du châssis. La fixation du vitrage. Rappel, en cas de défaillance du produit de collage, par sécurité, le maintien mécanique du vitrage est assuré.

² la contrainte de traction admissible est calculé à partir d'un coefficient d partiel de sécurité égal à 5 pour la France selon le cahier n°3488 du CSTB au lieu de 6 comme défini dans ETAG 002-1 et la NF EN 154343

³ la valeur est donnée à titre informatif. Les essais climatiques avec charge au nez sur des châssis sont nécessaires pour vérifier si les variations dimensionnelles du bois en service sont compatibles avec le niveau d'élasticité du mastic.

Tableau 13 : Proposition de critères d'évaluation applicables en fonction de la configuration du système de vitrage collé sur support bois

4.3. Récapitulatifs des résultats

Synthèse des résultats des produits de collage vis-à-vis des tableaux 12 et 13 :

Produit de collage	VEP collé	VEC calés	observations
1	Solution sur bois revêtu à envisager et évaluer.		Les résultats obtenus sur bois brut sont prometteurs pour du bois fini.
2	OK	OK	Mastic à haut module (A<50%), vérifier sur le châssis (phase 2) la compatibilité élasticité mastic - variation H%bois.
3	OK	(OK)	Mastic à haut module (A<50%), vérifier sur le châssis (phase 2) la compatibilité élasticité mastic - variation H%bois. () en limite de spécification sous QUV.
4	OK	OK	
5	Solution sur bois revêtu à envisager et évaluer		Les résultats obtenus sur bois brut sont prometteurs pour du bois fini. Evaluation en traction 300mm/min à réaliser.

Tableau 14 : Récapitulatif des aptitudes des produits de collage testés

Les résultats sont d'autant plus satisfaisants qu'ils sont du même niveau de performance que ceux déjà obtenus par le fabricant sur d'autres supports de références selon ETAG002-1.

4.4. Nature du support bois : brut ou avec finition

4.4.1. Phénomènes responsables de l'adhésion

Il existe plusieurs théories pour expliquer l'adhésion, qui reste un phénomène complexe. Ces théories peuvent être réparties en 3 catégories :

- **Liaisons CHIMIQUES :**

Il s'agit principalement de liaisons hydrogènes ou covalentes (échange d'électrons) à l'interface.

- **Liaisons PHYSIQUES :**

Il s'agit principalement de forces d'attractions électromagnétiques entre les molécules du bois et du mastic. Des produits disposant de composantes polaires proches vont avoir tendance à bien adhérer. Il s'en suit qu'une bonne adhésion passe par un bon mouillage (le mouillage augmente la surface de contact).

- **Liaisons MECANIQUES :**

Les liaisons sont dues à une interpénétration des matériaux à coller ; la colle pénètre dans les pores et aspérités du bois et forme ainsi un ancrage. Il existe une rugosité maximum du bois et/ou viscosité minimum de l'adhésif au-delà de laquelle l'adhésif ne pénètre plus totalement dans l'aspérité. La surface de contact entre le bois et l'adhésif est alors diminuée.

4.4.2. Adhérence sur bois avec ou sans finition

L'application d'une finition (lasure ou peinture), conforme aux normes en vigueur, sur le bois favorise l'adhérence (et sa performance de tenue) sur les aspects suivants :

- Stabilisation du support bois (protection hydrofuge et contre les UV),
- La qualité de l'état de surface car la rugosité du bois est inférieure à celle d'une finition. La surface de contact est donc plus importante.

La majorité des échanges avec les fabricants de mastic silicone et le rapport « collage bois verre de 1999 du CTBA » indique que l'application d'une finition améliorerait les performances d'adhérence et de résistance de la liaison de collage entre silicone – bois.

4.4.3. Essai de convenance sur bois fini

Pour chaque système particulier, bois-finition, des essais de convenance doivent être réalisés, conformément au référentiel VEC Bois, pour notamment définir la préparation du support (nature du primaire ou non) :

- Essai d'adhérence initial et QUV en traction,
- Essai de pelage manuel à l'état initial et après immersion.

5 CONCLUSIONS

Les résultats de la phase 1 de cette étude permettent de confirmer l'aptitude au collage sur support bois de systèmes de produits de collage structurels actuellement commercialisés.

Un protocole d'évaluation des produits de collage, prenant en compte les spécificités du matériau support bois, a été élaboré à partir des documents techniques référents en la matière (guide ETAG 002-1, référentiel VEC bois CTBA CSTB et l'IFT-guideline VE-08). Le programme d'évaluation (tableau 12 proposé) et les spécifications techniques des produits de collage (tableau 13 proposé) sont établis en fonction des configurations courantes de système de vitrage collé (VEP, VEC calés ou non).

La performance de 3 produits de collage testés sur support bois brut sont d'autant plus satisfaisants qu'ils sont du même niveau de performance que ceux déjà obtenus par les fabricants sur les autres supports tels que le verre, l'aluminium ou le PVC. Les évaluations réalisées sur les 2 autres produits de collage sont prometteurs pour du collage sur un support bois revêtu préalablement d'une finition (lasure ou peinture).

La majorité des échanges avec les fabricants de mastic silicone et le rapport « collage bois verre de 1999 du CTBA » indique que l'application d'une finition améliorerait les performances d'adhérence et résistance de la liaison de collage entre silicone – bois.

La phase 2 de l'étude consistant en l'évaluation de l'aptitude à l'emploi de 3 configurations de système de vitrages collés de fenêtre bois va être réalisée sur 2016 / 2017.

6 REMERCIEMENTS

FCBA remercie le CODIFAB (Comité professionnel de développement des industries françaises de l'ameublement et du bois) pour le financement de cette étude, ainsi que les organisations professionnelles qui se sont impliquées dans ce travail : CAPEB, FFB, UFME.

L'étude n'aurait pas pu être menée sans la participation des fabricants de produits de collage nous remercions : Dow corning, Ottochemie, Sika, Tremco illbruck et 3M.

Un certain nombre de collaborateurs FCBA se sont impliqués dans cette étude et plus particulièrement : Michel NICOLAS, Didier FILLIT, Guillaume LEGRAND et Marc SIGRIST.

7 REFERENCES

NF P 23-305, Menuiserie en Bois – Spécifications techniques des fenêtres, portes fenêtres, portes extérieures et ensemble menuisés en bois (indice de classement P23-305).

NF EN 14351-1+A1, Fenêtres et portes – Norme produit, caractéristiques de performance –Partie 1 : Fenêtres et blocs portes extérieurs pour piétons sans caractéristiques de résistance au feu et/ou dégagement de fumée (indice de classement P20-500-1).

NF EN 927-6 : 2006. Peintures et vernis. Produits de peinture et systèmes de peinture pour bois en extérieur. Partie 6 : Vieillissement artificiel des revêtements pour bois par exposition à des lampes UV fluorescentes et de l'eau. :

ETAG 0002 – partie 1 : Guide d'agrément technique européen sur les systèmes de vitrages extérieurs calés.

Référentiel VEC bois du CTBA et CSTB (Déc 2005) : validation et contrôle de fabrication des VEC sur châssis bois.

IFT-guideline VE-08 : basis for the evaluation of bonded glazing systems.

EN 15434 :2006 +A1 :2010 : normes de produits pour produit de collage et de scellement structurel et/ou résistants aux rayonnements ultraviolets.

NF EN 291 : Atmosphères normales de conditionnement et d'essai.

Cahier 3488_V2 du CSTB : Vitrages extérieurs collés – cahiers des prescriptions techniques.

Le collage bois verre dans la réalisation des vitrages extérieurs collés – projet de fin d'études de Gaëlle MORON au CTBA en juin 1999.