

# Systemes de vitrages collés sur châssis bois de menuiserie extérieure

Phase 2 : aptitude à l'emploi de 2 concepts  
de menuiserie à collage structurel  
vitrage&châssis bois

Marc Sigrist <sup>(1)</sup> – Marie-Paule Fornes<sup>(2)</sup>

**Siège social**

10, rue Galilée  
77420 Champs-sur-Marne  
Tél +33 (0)1 72 84 97 84  
[www.fcba.fr](http://www.fcba.fr)

Siret 775 680 903 00132  
APE 7219Z  
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

**Institut technologique FCBA :**  
Forêt, Cellulose, Bois – Construction,  
Ameublement

Avec le soutien

# SOMMAIRE



<b>1.</b>	<b>Contexte et objectif de l'étude .....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>Les systèmes de fenêtres bois à vitrages collés calés.....</b>	<b>2</b>
2.1	Vitrage collé pris en feuillure et calé (VEP collé) .....	3
2.1.1	Définition .....	3
2.1.2	Les configurations de VEP collé .....	3
2.2	Vitrages extérieur collés et calés.....	5
2.2.1	Définition .....	5
2.2.2	Les configurations de VEC calé.....	5
<b>3.</b>	<b>Evaluation des systèmes de fenêtres bois à vitrages collés.....</b>	<b>7</b>
3.1	Choix des configurations .....	7
3.1.1	Concept VEP collé en face 4-ruban adhésif.....	7
3.1.2	Concept VEC non bordé-mastic .....	8
3.2	Définition des cahiers des charges des prototypes .....	8
3.2.1	Fenêtre VEP collé - Concept n°1.....	8
3.2.2	Fenêtre VEC - Concept n°2 .....	10
3.3	Fabrication des prototypes – collage des vitrages sur les ouvrants .....	12
3.3.1	Collage du vitrage avec Ruban VHB G15F .....	12
3.3.2	Collage du vitrage avec le mastic SIKASIL WT480.....	12
3.4	Choix du protocole expérimental.....	13
3.4.1	Les évaluations des systèmes de fenêtres à vitrage collé .....	13
3.4.2	Descriptifs des essais « fonctionnels » .....	14
3.4.3	Critères d'évaluation des essais « fonctionnels » .....	16
3.5	Evaluation du concept de fenêtre à vitrage pareclosé et collé .....	16
3.5.1	Résultats des essais .....	16
3.5.2	Avis et Interprétations : .....	17
3.5.3	Conclusions .....	19
3.6	Evaluation du concept Fenêtre VEC type « LumiVec » .....	20
3.6.1	Résultats des essais .....	20
3.6.2	Avis et Interprétations .....	21
3.6.3	Conclusions .....	22
<b>4.</b>	<b>Conclusion.....</b>	<b>23</b>
<b>5.</b>	<b>Remerciements.....</b>	<b>23</b>
<b>6.</b>	<b>Références .....</b>	<b>24</b>

## 1. Contexte et objectif de l'étude

Les systèmes de vitrages collés sur châssis de menuiserie, conformes à la NF EN 14 351-1+A2, 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 en 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 d'essences de bois moins dense et plus isolante, utilisation d'autres techniques d'assemblage d'angle moins rigide mais plus simple à mettre en œuvre (assemblage à coupe d'onglet)...

Aujourd'hui le fait que le bois ne soit pas identifié comme un support de référence dans les documents techniques d'évaluation des produits de collage structurel, constitue 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.

Lors de la première phase de cette étude, un protocole d'évaluation des produits de collage spécifiquement au support bois a été défini et 5 produits de collage existants ont été caractérisés sur un support bois de référence selon les protocoles d'évaluation basés sur l'ETAG002 complétés des « spécificités bois » rédigés dans le référentiel FCBA-CSTB « VEC BOIS » et par le IFT Guideline VE-08.

Les bonnes performances obtenues à l'issue de la première phase pour 3 produits nous permettent d'envisager la poursuite de l'étude avec l'évaluation de configurations de systèmes de fenêtres bois à vitrages collés.

Cette seconde phase consiste donc à :

- Proposer un programme d'évaluation pour les menuiseries bois avec des vitrages collés sur support bois,
- Et évaluer l'aptitude à l'emploi de 2 configurations de systèmes de vitrages collés de fenêtres bois.

Ce rapport porte exclusivement sur les résultats de la phase 2.

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), M. SIGRIST (FCBA) et Mme FORNES (FCBA).

## 2. Les systèmes de fenêtres bois à vitrages collés calés

Les différents systèmes de vitrages collés se caractérisent par le positionnement du collage 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).**

En France, cette dernière famille n'est envisageable que dans le cas de vitrages simples monolithiques et si le mastic satisfait aux exigences de fluage sous cisaillement selon le cahier

N°3488 du CSTB. Nous n'aborderons pas dans la suite de cette étude les configurations présentant des vitrages non calés.

## 2.1 Vitrage collé pris en feuillure et calé (VEP collé)

### 2.1.1 Définition

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.

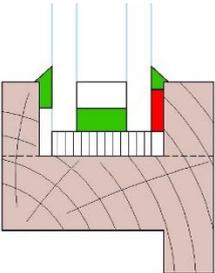
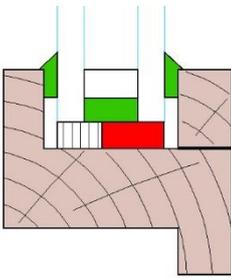
**Dans ce cas le collage entre le vitrage isolant et le châssis bois est NON STRUCTUREL**

### 2.1.2 Les configurations de VEP collé

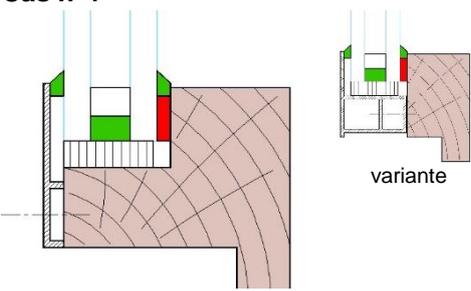
Il est possible de définir 4 configurations types suivant la position du collage :

- Cas n°1 : le collage est sur le verre extérieur (face 1),
- Cas n°2 : le collage est sur le verre intérieur (face 4),
- Cas n°3 : le collage est sur le chant du vitrage en fond de feuillure à verre,
- Cas n°4 : identique au cas n°2 mais avec une parclose extérieure métalliques ou en matériaux de synthèse (PVC, PA,...). En variante, la parclose reprend aussi le poids du vitrage et constitue le fond de feuillure.

Le tableau ci-après présente les différentes configurations ainsi que leurs avantages et inconvénients. Le cas N°1 n'a pas été repris dans l'analyse ci-dessous car comparé au cas N°2 dont il diffère uniquement par la position du collage, il présente plus d'inconvénients car il est plus exposé aux variations thermiques, aux rayons UV, et aux intempéries.

<p><b>Cas N°2</b></p> 		<p>Collage sur verre intérieur (face 4) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Faible gradient T°C,</li> <li>○ Faible variation d'humidité du bois,</li> <li>○ indirectement aux U.V. par réflexion,</li> </ul> <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><b>Avantages :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Drainage classique possible</li> <li>• <i>Solution adaptable facilement sur gamme existante</i></li> <li>• Produit de collage du type silicone ou ruban adhésif</li> <li>• <i>Le collage peut assurer seul l'étanchéité du calfeutrement vitrage,</i></li> <li>• Scellement du v.i. non structural,</li> <li>• <i>Système mono-barrière possible (drainage rapide),</i></li> <li>• Faible sollicitation du collage</li> <li>• <i>Meilleure rigidité - inertie moindre – d &lt; 0,45 exe d'essence : okoumé, épicéa, ayous, peuplier</i></li> <li>• Permet une diminution de la largeur de l'ouvrant --&gt; usage coulissant</li> <li>• <i>Performance thermique améliorée par une meilleure répartition de la section de bois</i></li> <li>• Garantie supplémentaire contre l'effraction</li> </ul>	<p><b>Inconvénients :</b></p> <p>Collage avec mastic :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Montage en portefeuille et donc assemblage mécanique</li> <li>• <i>e<sub>mini collage</sub> ≥ 6 mm limite les épaisseurs de vitrage (si gamme existante)</i></li> </ul> <p>Collage avec ruban :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Possible si feuillure ouverte (application du ruban sur le verre)</li> <li>• <i>Prévoir joint de finition sur le ruban (chant collant),</i></li> <li>• <i>Fixation parclose avec entraxe pointes &lt; 200 mm à vérifier</i></li> </ul>	
<p><b>Cas n°3</b></p> 		<p>Collage en fond de feuillure L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gradient T°C et Hr%,</li> <li>○ Variation d'humidité du bois,</li> <li>○ indirectement aux U.V. par réflexion,</li> <li>○ potentiellement à de l'eau liquide.</li> </ul> <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><b>Avantages :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Charge de vent reprise par parclose et le profil</li> <li>• <i>Plage de vitrage plus étendue que dans le cas n°2,</i></li> <li>• Rigidité meilleure - Inertie moindre – d &lt; 0,45</li> <li>• <i>Scellement du V.I. non structural,</i></li> <li>• Performance thermique améliorée par une meilleure répartition de la section de bois,</li> <li>• <i>Permet une diminution de la largeur de l'ouvrant → usage coulissant,</i></li> <li>• Garantie supplémentaire contre l'effraction.</li> </ul>	<p><b>Inconvénients :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Collage au mastic uniquement,</li> <li>• <i>Augmente la hauteur de feuillure (e<sub>mc</sub> ≥ 6 mm),</i></li> <li>• Collage interrompu par le calage (contraire au cahier du cstb 3488),</li> <li>• <i>Risque de contact entre le mastic de collage et l'eau (infiltration, point de rosée en pied de parclose),</i></li> <li>• Pb interface drainage feuillure à verre /fond de joint du collage,</li> <li>• <i>Augmente le temps de fabrication,</i></li> <li>• Vérifier la compatibilité du silicone de collage avec le mastic de scellement,</li> <li>• <i>Le collage n'est pas accessible pour un contrôle visuel de son état,</i></li> </ul>	

**Tableau 1 : Les systèmes VEP collés et calés**

Cas n°4	
	<p>La parclose extérieure est métallique ou en matériaux de synthèse (PVC, PA,...). Idem cas n°2.</p>
<p><u>Avantages :</u></p>	<p><u>Inconvénients :</u></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• permet de faire de l'ouvrant caché,</li> <li>• produit de collage du type silicone ou ruban,</li> <li>• optimisation de la section et de la masse de bois,</li> <li>• 1 seul ouvrant pour gammes bois et bois/alu,</li> <li>• Scellement du V.I. non structurel,</li> <li>• Le recouvrement du vitrage favorise l'affaiblissement acoustique,</li> <li>• garantie supplémentaire contre l'effraction,</li> <li>• Correspond à une attente avec une demande croissante,</li> <li>• Le collage assure seul l'étanchéité du calfeutrement vitrage (sauf si espaceur en partie supérieure),</li> <li>• Variante : assemblage coupe d'onglet,</li> <li>• Variante : Thermique ↗ avec profil ext. en PVC,</li> <li>• Variante : utilisation du bois en zone sèche.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• parclose extérieure ou intérieure doit être démontable pour le remplacement du vitrage,</li> <li>• Protection chant si utilisation du ruban,</li> <li>• choix de la quincaillerie / excentration du poids de vitrage,</li> <li>• respect règle d'élançement sur listel extérieur / ↗ largeur dormant,</li> <li>• problématique du drainage + goutte d'eau de la feuillure à verre en bois,</li> <li>• problématique du Fixe et du vantail semi-fixe,</li> <li>• coût plus élevé,</li> <li>• Déclinaison des cas 2 et 5,</li> <li>• Variante : problématique du calage, de la liaison profilé ext./bois, --&gt; hors étude collage</li> </ul>
<p>Le produit de collage est en rouge (le produit de collage adhère uniquement sur 2 faces opposées).</p>	
<p>Les produits d'étanchéité sont en vert.</p>	

**Tableau 1 : Les systèmes VEP collés et calés (suite)**

## 2.2 Vitrages extérieur collés et calés

### 2.2.1 Définition

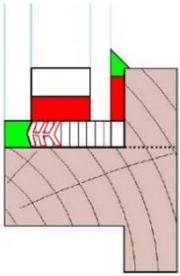
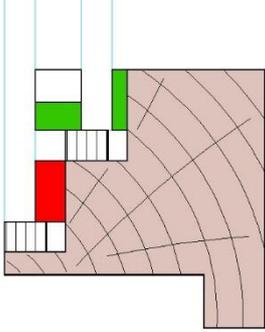
Le vitrage est maintenu de façon continue au châssis exclusivement par le produit de collage. Le poids propre du vitrage est repris mécaniquement par le dispositif de calage d'assise. Il s'agit des types I et II de l'ETAG002-1.

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.

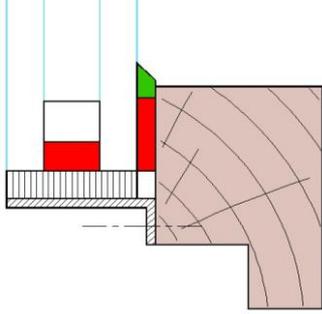
**Dans ce cas le produit de collage entre le vitrage isolant et le châssis bois est STRUCTUREL en TRACTION.**

### 2.2.2 Les configurations de VEC calé

Il existe 3 systèmes de vitrages extérieurs collés et calés, les VEC bordés, systèmes dans lequel le chant du vitrage est recouvert par le profilé support du collage, les VEC non bordés où le chant du vitrage est libre, et les VEC à bord décalé, où le composant extérieur du vitrage isolant a des dimensions supérieures au composant intérieur.

<p><b>Cas n°5</b></p> 	<p><b>Système calé et bordé</b>  Collage sur verre intérieur (face 4)  L'adhésif est soumis :  <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Faible gradient T°C,</li> <li>○ Faible variation d'humidité du bois,</li> <li>○ indirectement aux U.V. par réflexion.</li> </ul> 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 style="text-align: center;"><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de faire de l'ouvrant caché,</li> <li>• <i>Produit de collage du type silicone ou ruban,</i></li> <li>• Même ouvrant pour gammes bois et mixte bois/alu,</li> <li>• <i>Optimisation de la section et de la masse de bois,</i></li> <li>• Assemblage coupe d'onglet,</li> <li>• <i>Feuillure à verre ouverte, moins de profils que le cas n°4,</i></li> <li>• Garantie supplémentaire contre l'effraction,</li> <li>• <i>Section de collage identique au cas précédent,</i></li> <li>• Le collage assure seul l'étanchéité du calfeutrement vitrage (sauf si espaceur en partie supérieure)</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>Inconvénients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scellement du vitrage structurel,</li> <li>• <i>Exigence du PASS VEC ou équivalent (colleur),</i></li> <li>• Scellement du V.I. résistant aux UV,</li> <li>• <i>Choix de la quincaillerie/excentration du poids de vitrage,</i></li> <li>• Problématique du fixe et du vantail semi-fixe</li> <li>• <i>Ventilation de la feuillure à verre + goutte d'eau sous ouvrant,</i></li> <li>• Respect règle d'élancement sur listel extérieur / <math>\geq</math> largeur du dormant,</li> <li>• <i>Ep verre ext. = 6 mm mini (VEC bordé),</i></li> <li>• Sécurité --&gt; obligation d'AA ou JPI sur le verre extérieur du V.I.,</li> <li>• <i>En position ouverte intercalaire et collage apparent (ou sérigraphie noire sur verre ext.),</i></li> <li>• Protection chant si utilisation du ruban,</li> </ul>
<p><b>Cas n°6</b></p> 	<p><b>Système calé et à bord décalé</b>  Collage sur verre extérieur (face 2), L'adhésif est soumis :  <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gradient T°C et H%,</li> <li>○ variation d'humidité du bois,</li> <li>○ indirectement aux U.V. par réflexion.</li> </ul> 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 style="text-align: center;"><u>Avantages :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de faire de l'ouvrant caché,</li> <li>• <i>Même ouvrant pour gammes bois et mixte bois/alu,</i></li> <li>• <i>Optimisation de la section et de la masse de bois,</i></li> <li>• <i>Assemblage coupe d'onglet possible,</i></li> <li>• Le recouvrement du vitrage favorise l'affaiblissement acoustique,</li> <li>• <i>Correspond à une demande architecturale (recouvrement du bois par le verre),</i></li> <li>• Garantie supplémentaire contre l'effraction,</li> <li>• <i>Collage en face 2 → scellement V.I. non structurel,</i></li> <li>• <i>Produit de collage du type silicone ou ruban (application ruban sur vitrage),</i></li> <li>• <i>Bien adapté aux ouvrants vers l'extérieur,</i></li> </ul>	<p style="text-align: center;"><u>Inconvénients :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Scellement du V.I. résistant aux UV et structurel si collage en face 4</li> <li>• <i>Exigence du PASS VEC ou équivalent (colleur)</i></li> <li>• ép verre ext. = 6 mm mini (VEC Bordé)</li> <li>• <i>Obligation de calage des 2 composants du V.I. (par ex. en jouant sur la dureté des cales,...)</i></li> <li>• <i>Ventilation et drainage de la feuillure à verre + goutte d'eau sous ouvrant</i></li> <li>• <i>Choix de la quincaillerie / excentration du poids de vitrage</i></li> <li>• <i>Problématique du Fixe et du vantail semi-fixe</i></li> <li>• <i>Moins performant thermiquement que cas n° 5 (Bord Décalé vitrage)</i></li> <li>• <i>Coût du vitrage (bord décalé, AA sur verre ext., sérigraphie éventuelle)</i></li> </ul>

**Tableau 2 : Les systèmes VEC calés**

<b>Cas n°7</b>	
	<p><b>Système calé mais non bordé</b></p> <p>Collage sur verre intérieur (face 4) L'adhésif est soumis :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gradient T°C et H%</li> <li>○ variation d'humidité du bois</li> <li>○ indirectement aux U.V.</li> </ul> <p>le calfeutrement d'étanchéité du verre intérieur est facultatif.</p> <p>Poids du verre repris par calage d'assise : Equerre ponctuel de maintien du calage DTU 39 fixé mécaniquement sur le châssis bois.</p> <p>Le produit de collage du scellement vitrage isolant est structurel. Il doit être conforme à EN 15434+A1 et au cahier CSTB n°3488.</p> <p>Charge aux vents reprises par le produit de collage.</p>
<u>Avantages :</u>	<u>Inconvénients :</u>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permet de faire de l'ouvrant caché --&gt; optimisation maxi clair de vue,</li> <li>• <i>Optimisation maximale de la section de bois,</i></li> <li>• Optimisation du choix de l'essence de bois,</li> <li>• <i>Simplification du calfeutrement et de la prise en feuillure du vitrage,</i></li> <li>• Pas d'usinage de drainage sur l'ouvrant,</li> <li>• <i>Produit de collage du type silicone ou ruban,</i></li> <li>• Le collage assure seul l'étanchéité du calfeutrement vitrage (sauf si espaceur en partie supérieure),</li> <li>• <i>Possibilité d'assemblage à coupe d'onglet,</i></li> <li>• Design épuré,</li> <li>• <i>Même ouvrant pour gammes bois et mixte bois/alu,</i></li> <li>• Garantie supplémentaire contre l'effraction.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Scellement du V.I. structurel,</li> <li>• <i>Exigence du PASS VEC ou équivalent pour le colleur,</i></li> <li>• Scellement du V.I. résistant aux UV (+ décalage vitrage 1 mm mini en partie haute),</li> <li>• <i>Problématique du Fixe et du vantail semi-fixe,</i></li> <li>• Choix de la quincaillerie / excentration du poids de vitrage,</li> <li>• <i>Respect règle d'élancement sur listel extérieur / ↗ largeur dormant,</i></li> <li>• La fixation du calage rapporté ne doit pas interrompre le collage,</li> <li>• <i>Respect règle d'élancement sur listel extérieur / ↗ largeur dormant,</i></li> <li>• Obligation de façonnage des arêtes des composants du V.I.,</li> <li>• Protection du chant du ruban (collant).</li> </ul>
<p><i>Le produit de collage est en rouge (le produit de collage adhère uniquement sur 2 faces opposées).</i></p> <p><i>Les produits d'étanchéité sont en vert.</i></p>	

**Tableau 2 : Les systèmes VEC calés (suite)**

### 3. Evaluation des systèmes de fenêtres bois à vitrages collés

#### 3.1 Choix des configurations

Pour évaluer la faisabilité technique de l'utilisation du collage entre le vitrage et des menuiseries bois, le comité de pilotage a décidé de sélectionner 2 concepts soit un pour chacune des 2 familles de systèmes de vitrages collés et calés présentées ci-avant.

##### 3.1.1 Concept VEP collé en face 4-ruban adhésif

Dans la famille de systèmes de vitrages collés et calés pris en feuillure, le cas N°2 du vitrage collé et calé pris en feuillure a été retenu pour sa facilité d'adaptation sur une gamme existante, la possibilité d'utilisée une essence d'inertie inférieure à 450 kg/m<sup>3</sup>, l'optimisation de la répartition de la masse de bois permettant une optimisation du clair de jour et de la performance thermique et la possibilité d'utiliser les 2 types de solution de collage (mastic de collage ou ruban adhésif). Ce concept pourrait permettre la valorisation d'essences feuillues locales peu denses, comme par exemple le peuplier qui a été proposé par le comité de pilotage.

Le collage avec un ruban adhésif est plus rapide et plus économique, et bien adapté à une pose manuelle et pour de petites quantités ; il a donc été choisi pour être associé à la menuiserie à vitrage pareclosé et collé. Un seul ruban adhésif avait été évalué dans la première phase de l'étude, le ruban de collage en bande mousse acrylique double face, réf : **VHB G15F double face de la société 3M** (section 1,5 x 12 mm). Ce système s'applique sur bois fini avec un primaire sur le bois référence « **Primaire 94** » et un primaire sur le verre.

### 3.1.2 Concept VEC non bordé-mastic

Parmi les configurations « VEC », les cas n°5 (VEC bordé) et n°6 (VEC à bord décalé) pouvant être considérés comme des configurations dérivant du cas N°7 du VEC non bordé, c'est ce dernier que nous avons retenu. C'est aussi le concept le plus sollicitant du point de vue du collage et celui qui permet d'optimiser un maximum de critères (le clair de vue, la section de bois, l'essence de bois, performance thermique...).

Nous avons souhaité choisir un mastic à haut module d'Young, pour vérifier d'une part qu'il va contribuer de façon plus efficace à limiter le phénomène de fluage sous charge de nez, et d'autre part qu'il pourra accompagner, via son élasticité, les variations dimensionnelles de la feuillure et/ou de la joue de feuillure en bois (reprise d'humidité), sans endommager le système.

Compte-tenu des très bons résultats obtenus sur supports bruts lors de la première phase de cette étude, le mastic silicone bi-composant à haut module, réf : **Sikasil WT 480 (SIKA)** à appliquer sans primaire sur bois brut, a donc été sélectionné et associé au vitrage extérieur collé et calé, non bordé.

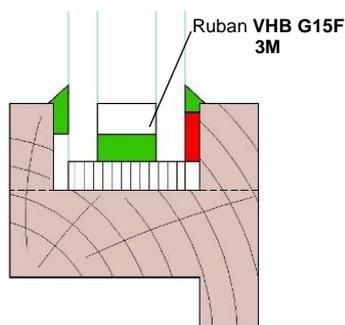


Figure 1 : Concept n°1 VEPC

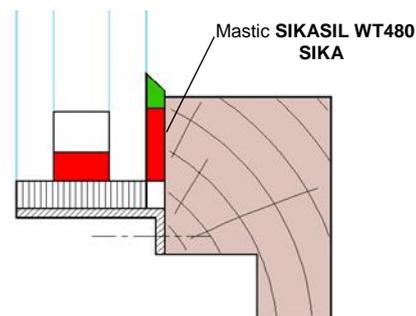


Figure 2 : Concept n°2 VEC

## 3.2 Définition des cahiers des charges des prototypes

L'objectif est d'évaluer la faisabilité technique de l'utilisation du collage du verre sur le profil de cadre ouvrant sur des menuiseries en bois conçues pour optimiser le clair de vitrage, la rigidité des profils et des assemblages, et la fabrication tout en offrant des performances satisfaisant les minimas requis par les normes française.

Pour satisfaire ces deux derniers critères, 2 types d'assemblage seront utilisés, un assemblage traditionnel collé avec tourillon et un assemblage mécanique avec vis, rondelle élastique, insert en plastique et une mousse d'étanchéité en feuille, pour chaque type de fenêtre.

### 3.2.1 Fenêtre VEP collé - Concept n°1

Le concept de la fenêtre avec un vitrage pareclosé et collé a été conçu à partir d'une gamme en 58 mm d'épaisseur en optimisant 3 critères, la section des profilés ouvrant et dormant, la densité de l'essence de bois utilisée pour le cadre ouvrant, la rigidité de l'assemblage.

Les largeurs d'ouvrant et de dormant ont été réduites au maximum, soit 58 mm pour l'ouvrant avec une hauteur de feuillure de châssis de 16 mm et 53 mm pour le dormant ; il en résulte une largeur vue de 90 mm, soit à minima environ 15 mm de moins que pour les menuiseries les plus fines, soit pour une fenêtre 1 vantail de 1200x1100 mm (HxL) un clair de vitrage représentant 71% de la surface totale.

Deux essences de bois ont été retenues, le pin sylvestre essence choisie comme support de référence dans la première phase de l'étude et très largement utilisée en menuiserie extérieure, et une essence de faible densité ( $d < 450 \text{ kg/m}^3$ ) non répertoriée dans l'annexe A de la norme NP P 23 305. Le comité de pilotage a proposé d'utiliser le peuplier, essence locale (la France est le premier pays producteur de peuplier en Europe et occupe le second rang mondial), polyvalente et en recherche de nouveaux débouchés pour relancer filière populicole.

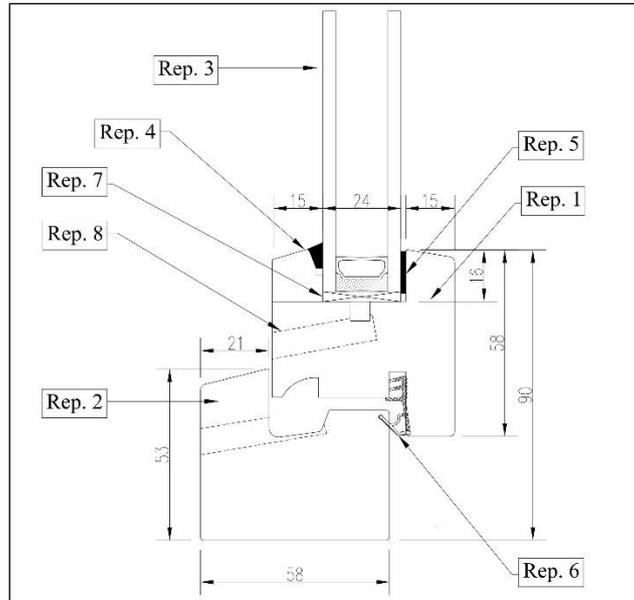
Le peuplier qui nous a été fourni est un cultivar, le I-214, dont la densité est d'environ  $334 \text{ kg/m}^3$  à 12% d'humidité (référentiel 2013 - Qualités du bois des nouveaux cultivars de peuplier réalisé par l'IDF, le FCBA, et l'ENSAM de Cluny).

Les châssis ont été ferrés avec 3 fiches double-broches réparties sur la hauteur du châssis, et le calage réalisé suivant les règles de la norme XP P 20650-1.

Les principales caractéristiques du concept n°1 sont détaillées dans le tableau ci-après :

Concept n°1 : Fenêtre avec vitrage pareclosé et collé en face 4 (intérieur)							
Dimensions totales (h x l)	1200 x 1100 mm clair de vitrage <b>1020 x 920</b> mm soit 71,1 % de la surface totale						
Type d'ouverture	fenêtre 1 vantail ouverture à la française						
Ferrures	<b>fiches double broches Ø13 mm (3u sur la hauteur)</b>						
Jeu ouvrant/dormant	à recouvrement en jeu de 4 mm						
Rep. 1	<p><b>Châssis OUVRANT</b> Qté = 3</p> <p>Section : <math>58 \times 58 \text{ mm}</math> - <math>I_{xx} = 29,85 \text{ cm}^4</math> et <math>I_{yy} = 54,83 \text{ cm}^4</math></p> <table border="0"> <tr> <td>Pin Sylvestre LCA - 1u densité : <math>530 \text{ kg/m}^3</math> Module d'élasticité : <math>12900 \text{ MPa}</math></td> <td>Peuplier I-214 massif - 2u densité : <math>334 / 380 \text{ kg/m}^3</math> Module d'élasticité : <math>7000 \text{ MPa}</math></td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Assemblage mécanique + vis + rondelle belleville + insert plastique + mousse d'étanchéité en feuille</b></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Assemblage profil /contreprofil + 4 tourillons (<math>\varnothing 8 \times 40 \text{ mm}</math>) + colle D4</td> </tr> </table>	Pin Sylvestre LCA - 1u densité : $530 \text{ kg/m}^3$ Module d'élasticité : $12900 \text{ MPa}$	Peuplier I-214 massif - 2u densité : $334 / 380 \text{ kg/m}^3$ Module d'élasticité : $7000 \text{ MPa}$	<b>Assemblage mécanique + vis + rondelle belleville + insert plastique + mousse d'étanchéité en feuille</b>		Assemblage profil /contreprofil + 4 tourillons ( $\varnothing 8 \times 40 \text{ mm}$ ) + colle D4	
Pin Sylvestre LCA - 1u densité : $530 \text{ kg/m}^3$ Module d'élasticité : $12900 \text{ MPa}$	Peuplier I-214 massif - 2u densité : $334 / 380 \text{ kg/m}^3$ Module d'élasticité : $7000 \text{ MPa}$						
<b>Assemblage mécanique + vis + rondelle belleville + insert plastique + mousse d'étanchéité en feuille</b>							
Assemblage profil /contreprofil + 4 tourillons ( $\varnothing 8 \times 40 \text{ mm}$ ) + colle D4							
Rep. 2	<p><b>Châssis DORMANT</b> Qté = 1</p> <p>Profilé LCA en Pin Sylvestre section <math>53 \times 58</math> Assemblage profil /contreprofil + 3 tourillons (<math>\varnothing 8 \times 40 \text{ mm}</math>) + colle D4</p>						
Rep. 3	<b>Vitrage</b> 4 / 16 arg 90% / 4 FE - 24 mm						
Rep. 4	<b>Calfeutrement vitrage</b> mastic silicone dans rainure en Vé S110 OTTO CHIMIE (côté extérieur)						
Rep. 5	<p><b>système de Collage du vitrage</b></p> <p>Par Ruban 3M VHB G15F dimension <math>1,5 \times 15 \text{ mm}</math> Mise en œuvre : par fournisseur Dégraissant : 3M (alcool isopropylique) Primaire sur bois : 3M Primaire 94 primaire sur verre : 3M Primaire Verre Silane Finition appliquée sur zone (pas de ponçage, ni d'égrainage) de collage (pas de ponçage, ni d'égrainage) : CETOL WF952 (4 couches)</p>						
Rep. 6	<b>Profilé d'étanchéité</b> simple joint en position en recouvrement intérieur						
Rep. 7	<b>Calage</b> cale d'assise $24 \times 50$ d'épaisseur 3 mm						

**Tableau 3 : Descriptif concept fenêtre VEP collé**

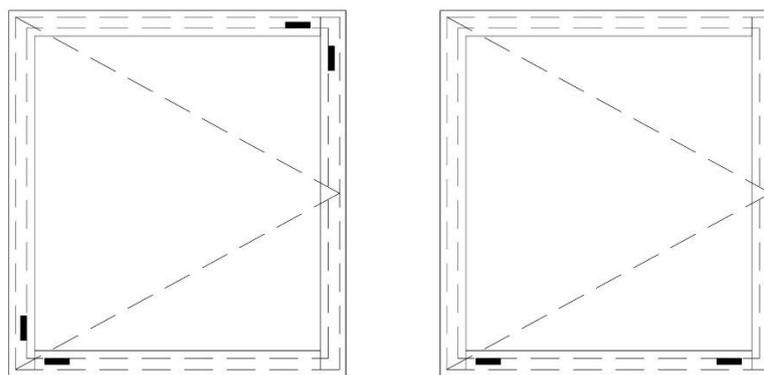


**Figure 3 :** Fenêtre VEP Coupe sur traverse basse

### 3.2.2 Fenêtre VEC - Concept n°2

Ce concept reprend la géométrie des profilés définis pour le châssis LumiVec, avec une masse vue de bois de 86.5 mm, soit pour un châssis 1 vantail de 1200x1100 mm (HxL) un clair de vitrage représentant 73 % de la surface totale.

Les 3 prototypes ont entièrement été fabriqués en pin sylvestre, mais les 3 ouvrants diffèrent par leur mode d'assemblage et/ou de calage. Deux cadres ouvrant ont été assemblés mécaniquement, mais avec des principes de calages périphériques différents ; le vitrage du premier ouvrant est calé conformément au §7.1.2.2.2. de la norme XP P 20-650-1, tandis que le second est calé uniquement sur la traverse basse (« calage d'assise »).



Calage suivant norme XP P 20 550-1

Calage d'assise

**Figure 4 :** Fenêtre VEC – Principes de calage

Pour permettre le calage et la reprise du poids des vitrages, des supports de cales métalliques ponctuels (cornières en aluminium) ont été fixées sur les cadres ouvrants. Le troisième ouvrant est réalisé avec des assemblages collés avec des tourillons et un calage d'assise.

Les 3 fiches utilisées pour ces châssis sont des fiches simple-broches réparties également sur le hauteur.

Concept n°2 : Fenêtre avec vitrage VEC "LumiVec"			
Dimensions totales (h x l)		OF1 1200 x 1100 mm de clair de vitrage <b>1033 x 933</b> mm soit 73% de la surface totale	
Type d'ouverture		fenêtre 1 vantail ouverture à la française	
Quincaillerie, ferrures		fiches simples broches Ø13 mm (3u sur la hauteur)	
Jeu ouvrant/dormant		à recouvrement en jeu de 4 mm	
Rep. 1	Châssis OUVRANT Qté = 3	Profilé LCA en pin sylvestre - section 53,5 x 50 mm	
		<i>Assemblage mécanique + vis + rondelle belleville + insert plastique + mousse d'étanchéité en feuille - Qté = 2 u</i>	Assemblage profil /contreprofil + 3 tourillons (Ø8 x 40 mm) + colle D4
Rep. 2	Châssis DORMANT Qté = 1	Profilé LCA en pin sylvestre - section 83,5 x 91 mm Assemblage profil /contreprofil + 3 tourillons (Ø8 x 40 mm) + colle D4	
Rep. 3	Vitrage	CEKAL spécial VEC (chant supérieur du vitrage en pente vers l'extérieur : décalage de 1 mm) Scellement : enduction silicone noir - verre arêtes abattues	
		4 / 16 arg 90% / 4 FE - 24 mm,	
Rep. 5	système de Collage du vitrage	Par Colle SIKA SIKASIL WT 480 ( <b>repère 5-1</b> ): Cordon de 6 x 12 mm extrudé dans rainure fermée avec un calage en épaisseur réalisé par le fond de joint de 6 mm ( <b>repère 5-2</b> )	
		Mise en œuvre : par fournisseur Dégraissant : SIKA CLEANER P Primaire sur bois : aucun primaire sur verre : aucun support de collage : bois brut	
Rep. 6	Profilé d'étanchéité	simple joint en position intermédiaire	
Rep. 7	Reprise du poids du vitrage et calage	2 équerres métalliques en alu sur traverse basse	4 équerres métalliques en alu 3°C <sub>1</sub> , 1°C <sub>2</sub> suivant XP P20-650-1
		2 équerres métalliques en alu sur traverse basse	

Tableau 4 : Descriptif concept fenêtre VEC

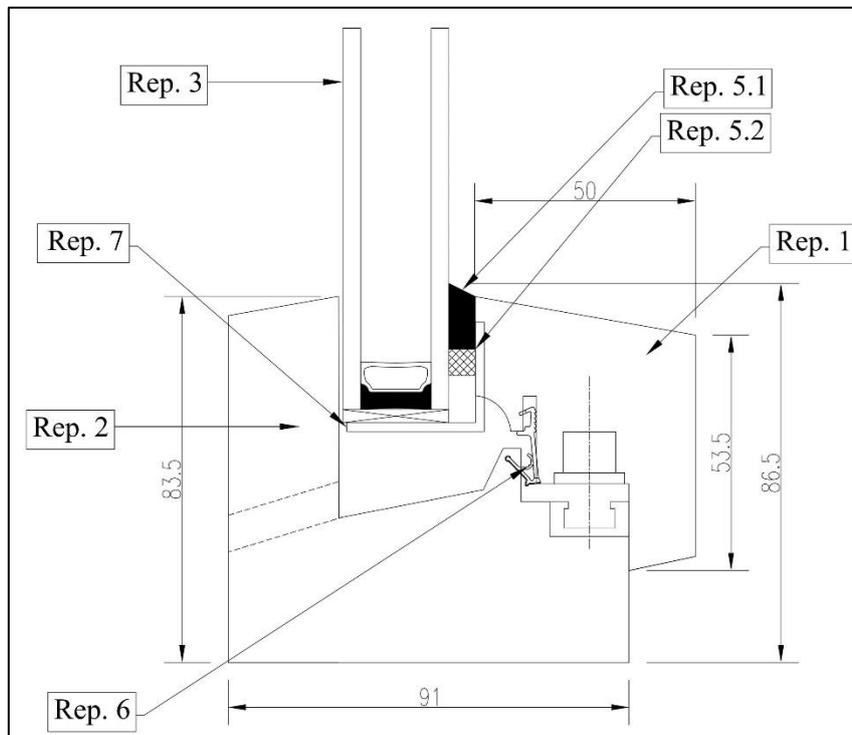


Figure 5 : Fenêtre VEC Coupe sur traverse basse

### 3.3 Fabrication des prototypes – collage des vitrages sur les ouvrants

Les sociétés 3M et SIKA ont fourni gracieusement les produits et réalisé le collage des ouvrants sur les cadres bois chez le menuisier qui a fabriqué les échantillons suivant leurs préconisations respectives.

#### 3.3.1 Collage du vitrage avec Ruban VHB G15F



**Photo n°1** : application du ruban VHB G15F

Après un dégraissage du vitrage avec le dégraissant 3M, un primaire (réf. : 3M Primaire Verre Silane) est appliqué sur le vitrage. Le support bois est revêtu de la finition (4 couches de CETOL WF952) sur une surface qui n'a été ni poncée ni égrainée, puis le primaire (réf. : 3M Primaire 94) est appliqué directement sur le support fini sans ponçage ni égrainage. Le ruban double face VHB G15F est ensuite collé sur le cadre bois, puis le vitrage est mis en place, calé et collé après vérification de l'équerrage du châssis bois. Le ruban VHB G15F est comprimé sur tout le tour du vitrage au moyen d'un presseur pneumatique fourni et validé par la société 3M par la assurant une pression ressentie au niveau du ruban adhésif de l'ordre de 1 kg/cm<sup>2</sup>.

#### 3.3.2 Collage du vitrage avec le mastic SIKASIL WT480



**Photo n°2** : Extrusion du mastic SIKASIL WT480

Le vitrage est nettoyé avec le dégraissant SIKA CLEANER P et essuyé. Le fond de joint espaceur adhésif double-face, les cales d'assise sont mis en place, puis le vitrage est positionné sur le cadre bois. Après vérification du bon positionnement du vitrage par rapport aux cales d'assise, le film de protection de l'espaceur est retiré et le vitrage collé. Le châssis est ensuite retourné pour procéder au remplissage de la rainure formée par le vitrage, le cadre bois et l'espaceur avec le mastic bi-composant. Après vérification que le mélange est effectif, le mastic SIKASIL WT480 peut être déposé à l'aide du pistolet pneumatique en veillant à ce que le remplissage de la gorge soit total, sans formation de bulles ou autres manque de matière. Le mastic est lissé immédiatement après l'application. Les cales de vitrages sont alors définitivement mises en place.

### 3.4 Choix du protocole expérimental

#### 3.4.1 Les évaluations des systèmes de fenêtres à vitrage collé

Le diagramme ci-après présente le programme d'évaluation proposé dans le cadre de l'étude pour des fenêtres avec un vitrage collé. Ce programme a été établi à partir des 2 référentiels co-existants l'ift-RICHTLINIE VE-08/3 « Beurteilungsgrundlage für geklebte Verglasungssysteme », le référentiel VEC bois de décembre 2005, et des normes NF EN 14351-1/A2, XP P 20-650-2, XP P23-308 et NF P 23-305.

Un protocole unique a été défini avec une première partie d'essais de type mécanique sur les ouvrants soumis au préalable à des climats successifs différents sous charge mécanique. La deuxième partie prévoit de solliciter le collage dans un plan perpendiculaire au vitrage sous des contraintes climatiques sévères en alternant un climat chaud et un climat froid et humide. Deux types d'essais ont été utilisés :

- des essais de « performances » permettant de déterminer les performances des fenêtres couvertes par la norme NF EN 14 351-1/A2 (case bleue sur le diagramme),
- des essais « fonctionnels » ayant pour but de valider l'utilisation du collage du vitrage sur bois pour une utilisation en fenêtre (case orange sur le diagramme).

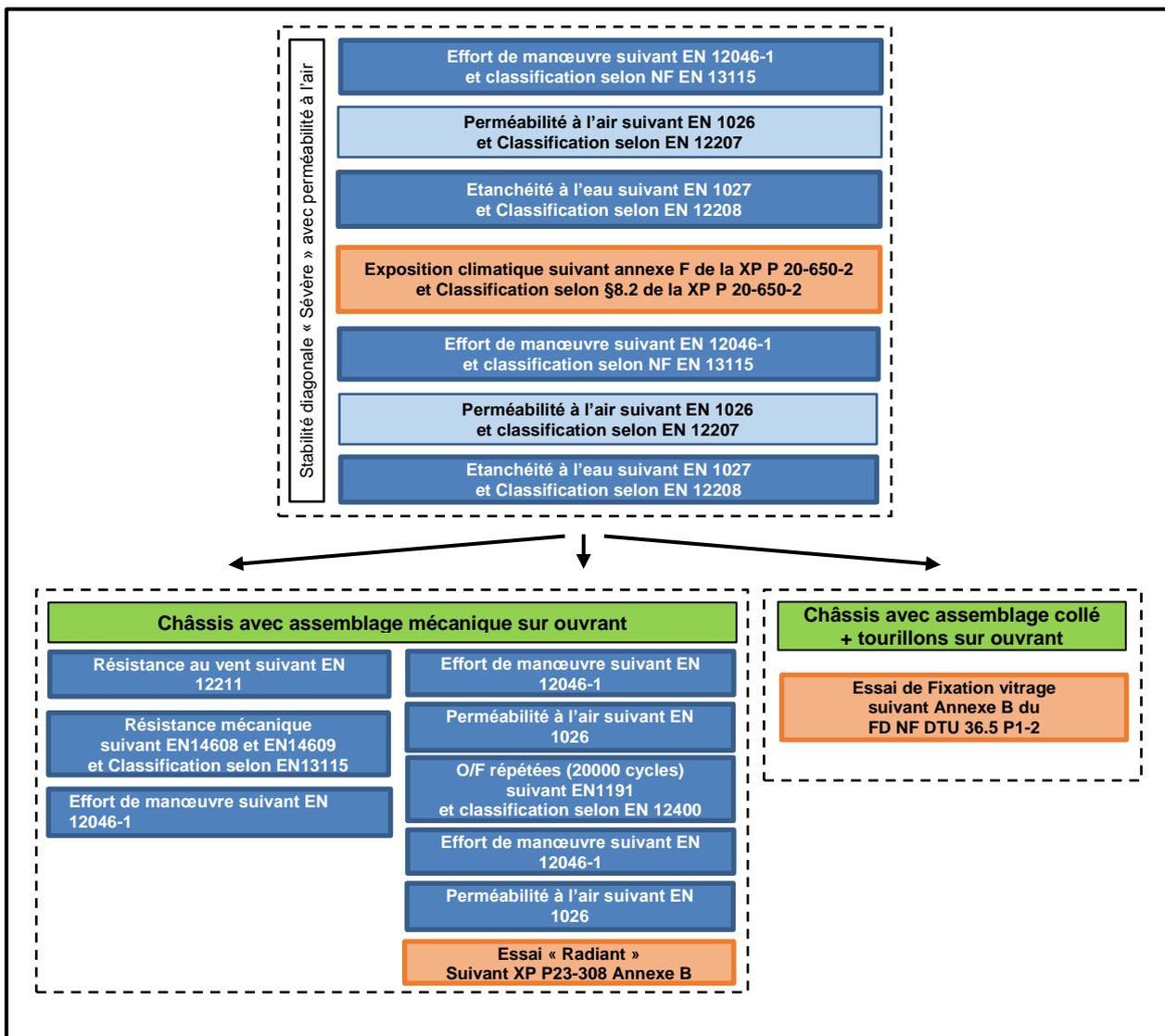


Figure 6 : Programme d'évaluation des fenêtres à vitrages collés.

En préambule des tests de convenance (type pelage) ont également réalisés sur des échantillons de peuplier et de pin sylvestre prélevés dans le lot destiné à la fabrication des ouvrants, avant la mise en fabrication des menuiseries.

### 3.4.2 Descriptifs des essais « fonctionnels »

#### ✓ **Essai de stabilité diagonale « sévère »**

L'évaluation est réalisée selon l'annexe F de la norme XP P 20 650-2, mais les menuiseries sont soumises à un climat plus humide avec une humidité relative de 95%, au lieu de 85 %.

Le vantail est soumis aux épreuves suivantes :

- Etanchéité à l'eau initiale des liaisons fixes selon NF EN 1027 méthode B.
- Exposition climatique :
  - 3 semaines en climat « humide » en chambre climatique à  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  et  $(95\pm 5)\%$  d'humidité relative, avec charge au nez de  $(25\pm 0.1)$  kg.
  - 3 semaines en climat « sec » en chambre climatique à  $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$  et  $(30\pm 5)\%$  d'humidité relative avec charge au nez  $(25\pm 0.1)$  kg.
- Etanchéité à l'eau finale des liaisons fixes selon NF EN 1027 méthode B.



Photo n°3 : essai stabilité diagonale

#### **Echantillonnage :**

3 fenêtres, composées d'un châssis ouvrant vitrés et ferrés sur châssis dormant, sans finition (le traitement de préservation pas nécessaire).

Note : dans le cadre de l'étude, les 3 ouvrants ne sont pas identiques, ils diffèrent par l'essence de bois, et/ou le mode d'assemblage, et/ou le type de calage du vitrage.

#### ✓ **Essai de fixation vitrage**

Cet essai, réalisé selon l'annexe B du FD NF DTU 36.5 P1-2 mais sans l'essai d'étanchéité à l'eau fin, est destiné à solliciter le collage en traction/compression.

Le châssis est soumis aux épreuves suivantes :

- Etanchéité à l'eau initiale selon NF EN 1027 méthode B,
- 10 000 cycles de +600 Pa à -600 Pa (durée de cycle 5s),
- 100 cycles de 0 Pa à 1200 Pa,
- Etanchéité à l'eau finale selon NF EN 1027 méthode B,
- 10 cycles de chargement/déchargement de 50 daN au nez du vantail.

**Echantillonnage :**

1 cadre ouvrant vitré.



**Photo n°4 :** essai fixation vitrage sur concept N°2

✓ **Essai « radiant » :**

Cette évaluation définit des épreuves climatiques (cycle climatique comportant une phase de température élevée suivi d'un refroidissement) susceptibles de créer des variations dimensionnelles relatives et de solliciter le collage Ie, à partir de la méthode d'évaluation de la stabilité de l'annexe B de la norme XP23-308.

La face extérieure du châssis est soumise aux épreuves suivantes :

- Contrôles dimensionnels initiaux (jeux éventuels des joints d'assemblage et mesure des flèches des pièces non liées au gros-œuvre directement ou non).
- 120 cycles d'une durée nominale d'1h suivant les phases suivantes :
  - 50 min. de chauffe à 80°C nominaux sur les plaques noires
  - 1 min. d'arrêt,
  - 5 min. d'arrosage,
  - 4 min. d'arrêt.
- Contrôles dimensionnels finaux



**Photo n°5 :** essai radiant concept n°1 et n°2

**Echantillonnage :**

1 corps d'épreuve.

### 3.4.3 Critères d'évaluation des essais « fonctionnels »

#### ✓ Essai de stabilité diagonale « sévère »

Les spécifications sont définies selon le §8.2 de la norme XP P20 650-2, et portent sur 2 critères :

- L'étanchéité à l'eau des assemblages : aucune infiltration tant à l'état initial qu'à l'état final,
- La chute de nez ne doit pas dépasser 2 mm en valeur absolue et la moitié du jeu nominal en valeur relative.

#### ✓ Essai de fixation vitrage

Les exigences définies dans le §B.3 de l'annexe B du FD NF DTU 36.5 P1-2 sont :

- Classe d'étanchéité à l'eau finale identique à celle initiale,
- Pas de dégradation constatée sur les assemblages mécaniques et le collage, après les 10 cycles de chargement/déchargement.

#### ✓ Essai « radiant » :

Les spécifications sont issues du §7.4 de la norme XP P 23-308 :

- Flèche inférieure au pouvoir de compensation de la quincaillerie,
- Chute de nez inférieure à 2 mm,
- Examen visuel du collage : pas de dommage compromettant les performances et la durabilité mécanique de la menuiserie.

## 3.5 Evaluation du concept de fenêtre à vitrage pareclosé et collé

### 3.5.1 Résultats des essais

Les résultats sont présentés de manière synthétique dans 2 tableaux, le premier concerne les essais réalisés sur les 3 échantillons lors de la première phase d'essai, et le second les essais réalisés sur un seul échantillon.

Concept N°1 : Fenêtre à vitrage pareclosé et collé					
Programme d'Essais	Normes de classification	Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en Pin Sylvestre et assemblage mécanique échantillon N° 5312-1	Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en <u>Peuplier</u> et assemblage <i>traditionnel</i> échantillon N° 5312-2	Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en <u>Peuplier</u> et assemblage mécanique échantillon N° 5312-3	
Essai de stabilité diagonale + A*	Effort de manœuvre	NF EN 13115	classe 1	classe 1	classe 1
	Essai de perméabilité à l'air	EN12207	A*3* / A*4* Classe 4	A*3* / A*4* Classe 4	A*4* / A*4* Classe 4
	Essai d'étanchéité à l'eau (méthode B)	EN 12208	E7b	E5b (à 250 Pa fuite de vitrage angle inférieur côté fiche = défaut de collage)	E7b
	Exposition climatique	§8.2 de la XP P 20-650-2	Chute de Nez : 1,88 Mesure au laser : 1 mm Constat visuel : jeu dans les fixations des fiches	Chute de Nez : 2,78 Mesure au laser : non réalisée constat visuel : jeu dans les fixations des fiches	Chute de Nez : 1,5 Mesure au laser : non réalisée constat visuel : jeu dans les fixations des fiches
	Effort de manœuvre	NF EN 13115	classe 1	classe 1	classe 1
	Essai de perméabilité à l'air	EN12207	A*3* / A*4* Classe 4	A*4* / A*4* Classe 4	A*3* / A*4* Classe 3
	Essai d'étanchéité à l'eau (méthode B)	EN 12208	E7b	E7b (à 150 Pa fuite entre Ouvrant et dormant, Non prise en compte car hors liaison fixe)	E7b

**Tableau 5 : Concept fenêtre VEP collé - Résultats de l'essai stabilité diagonale sévère avec perméabilité à l'air**

Concept N°1 : Fenêtre à vitrage pareclosé et collé			
Prototypes	Essais	Normes de classification	Résultats
Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en <u>Peuplier</u> et assemblage mécanique échantillon N° 5312-3	Essai de résistance au vent	EN 12210	Classement demandé : V3 <b>Non classée</b> à 1800 Pa (Rafale) fendage au niveau des fiches basse et intermédiaire sur l'ouvrant,
	Essai de Résistance Mécanique	NF EN 13115	non réalisé
	Effort de manœuvre	NF EN 13115	non réalisé
Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en Pin Sylvestre et assemblage mécanique échantillon N° 5312-1	Essai d'Endurance (10000 et 20000 cycles)	EN 12400	<b>Classe 3 (20 000 cycles)</b> (Effort de manœuvre initial : classe 1 Perm Air initial : A*3* / A*4* - Classe 4 10 000 cycles : RAS 20000 cycles : usure normale des quincailleries, chutes de nez constatées à 13 000, 13 800 et 20 000 cycles nécessitant un réglage des fiches Effort de manœuvre final : classe 1 Perm Air final : A*3* / A*4* - Classe 4)
	Essai radiant sur Face extérieure	XP P23-308 Annexe B	<u>Constat visuel :</u> - Assemblage d'angle : désaffleurer entre TH et Montant ↑ et ↔, angles fermés - Défaut d'adhérence du ruban sur le vitrage en haut et en bas côté fiche, - Fente au niveau de fiche basse sur ouvrant <u>Contrôle dimensionnel :</u> pas de différences entre les mesures initiales et finales sur les diagonales sont égales
Fenêtre en Pin Sylvestre avec ouvrant en <u>Peuplier</u> et assemblage traditionnelle échantillon N° 5312-2	Essai de Fixation vitrage	Annexe B FD NF DTU 36.5 P1-2	satisfaisant

**Tableau 6 : Concept fenêtre VEP collé - Résultats des essais sollicitant le collage perpendiculairement au vitrage**

### 3.5.2 Avis et Interprétations :

A l'issue de l'exposition climatique, nous avons relevé des valeurs de chutes de nez élevées et constaté qu'il y avait beaucoup de jeu au niveau des fixations des fiches sur les ouvrants en peuplier et ce malgré un diamètre de pré-perçage inférieur à celui préconisé par le fabricant et réalisé dans l'ouvrant en pin sylvestre. Les assemblages mécaniques ont obtenus de meilleurs résultats que l'assemblage collé avec des tourillons, et à assemblage identique l'ouvrant en peuplier présente une chute de nez inférieure à celle de l'ouvrant en pin sylvestre.

L'optimisation de la section de bois dans le cas de l'assemblage collé ne permet plus une répartition optimale des tourillons et a compromis la rigidité de l'assemblage.

Le ruban 3M ne transmet pas suffisamment la rigidité du vitrage à l'ouvrant, quelle que soit l'essence utilisée, et par conséquent ne compense pas l'utilisation simultanée d'une essence de faible densité, de section réduites et d'assemblages peu rigides.

Pour les ouvrants en peuplier, la contrainte appliquée au niveau des éléments de fixation des fiches double-broches lors de l'essai de stabilité diagonale était trop importante et a endommagée le bois de manière irréversible ce qui a généré les jeux constatés dans les ancrages des fiches.

L'utilisation d'une essence de faible densité requiert une attention particulière quant au choix du type de fiches, de leur répartition sur la hauteur et plus généralement sur le choix du type de ferrure.



**Photo n°6** : rupture et jeu au niveau des fiches basse et intermédiaire montant ouvrant peuplier concept n°1

Pour autant les performances de perméabilité à l'air et d'étanchéité à l'eau des 3 menuiseries sont conservées, c'est encourageant pour la suite même si les essais ont été réalisés sur un seul échantillon par type d'assemblage/d'essence et avec un vitrage le poids est relativement faible (20 kg/m<sup>2</sup> par rapport au 35 kg/m<sup>2</sup> ou voire 50 kg/m<sup>2</sup> de certaines compositions acoustiques).

Les résultats des essais suivants (Endurance 20 000 cycles, fixation vitrage et résistance au vent) ont confirmés les premiers constats, à savoir :

- Des résultats satisfaisants à l'interface bois-ruban adhésif avec une meilleure reprise des efforts en perpendiculaire au vitrage (reprise des efforts au vent) que des efforts de cisaillement,
- Et la mise en évidence des limites du choix d'essences de faible densité et de l'optimisation de la quantité de matière par rapport au choix du type d'organe de rotation et/ou de leur mode de fixation, avec des ruptures constatées au niveau des points d'ancrages.

L'essai d'étanchéité à l'air initial traditionnel a mis en évidence un défaut de collage du ruban adhésif 3M sur le vitrage, imputable à la fabrication de l'échantillon. La mise en œuvre de ce mode de collage est sensible et nécessite un environnement approprié (local propre, sec, non sujet à des vapeurs d'huile et de silicone, à l'abri des intempéries,...), le respect du protocole défini par le fabricant du ruban, une main d'œuvre qualifiée et la mise en place de contrôles rigoureux lors de la fabrication, et d'essais de compatibilité entre le support et le produit avant chaque campagne de collage.

Des défauts d'adhérence entre le vitrage et le ruban mousse ont aussi été constatés à la fin de l'essai radiant dans les angles sur le montant côté fiches, sans qu'il nous soit possible de savoir avec certitude à quel moment est apparu ce défaut. Mais qu'il soit apparu au cours de l'essai ou que présent mais non décelé à l'état initial, il se soit aggravé pendant l'essai, cela ne remet pas en cause l'aptitude à l'emploi du produit pour du collage sur un cadre bois ce procédé étant utilisé depuis des années avec succès dans les secteurs de la menuiserie aluminium et de la menuiserie PVC, mais plutôt la nécessité de la maîtrise du procédé et des contrôles de production.

### 3.5.3 Conclusions

Le bon comportement de l'interface bois-ruban lors du programme d'évaluation permet d'envisager une utilisation de ce système de collage en menuiserie bois. Cependant l'essai de stabilité diagonale avec perméabilité à l'air à confirmer les limites d'utilisations du ruban 3M sous des sollicitations au cisaillement, et s'est révélé indispensable quel que soit le type d'assemblage dans le cas d'une optimisation de la rigidité du profil d'ouvrant. Le calage du vitrage dans la feuillure participe aussi à éviter une déformation éventuelle de l'ouvrant, et à ce titre il pourrait être intéressant de travailler sur des solutions de calage fixe ou réglable permettant d'absorber tout ou partie des déformations de l'ouvrant dans le temps.

Par ailleurs ce concept associé à l'utilisation d'une essence de bois de faible densité et à un ferrage d'ouvrant à la française avec des fiches double-broche n'est pas satisfaisant et nécessite un complément d'étude. Deux axes de poursuite sont envisageables soit rechercher des solutions techniques existantes ou innovantes permettant une meilleure répartition des contraintes au niveau des points de fixation des ferrures (type de fiches, répartition, ferrures invisible...), soit étudier d'autres typologies d'ouverture sollicitant moins le collage au cisaillement comme les coulissants, les châssis à projection à l'italienne, soufflet, guillotine...

Ce concept de fenêtre à vitrage pareclosé et collé avec du ruban 3M ouvrant à la française est certes possible mais l'étude ne permet pas de présenter une solution techniquement éprouvée. Cependant le protocole d'évaluation proposé apparaît pertinent

La maîtrise du procédé de collage, via des contrôles de production, doit être rigoureuse pour ce type de technologie.

### 3.6 Evaluation du concept Fenêtre VEC type « LumiVec »

#### 3.6.1 Résultats des essais

Le tableau ci-dessous montre les résultats de l'essai de stabilité diagonale « sévère » avec perméabilité à l'air réalisé sur les 3 échantillons :

Concept N°2 : Fenêtre VEC "LumiVec"					
Programme d'Essais	Normes de classification	Fenêtre avec assemblage mécanique (ouvrant) et calage suivant norme XP P20 650-1 échantillon N° 5020-3	Fenêtre avec assemblage mécanique (ouvrant) et calage sur traverse basse échantillon N° 5020-2	Fenêtre avec assemblage traditionnel collé et calage sur traverse basse échantillon N° 5020-1	
Essai de stabilité diagonale + A*	Effort de manœuvre	NF EN 13115	classe 1	classe 1	
	Essai de perméabilité à l'air	EN12207	A*4* / A*4* Classe 4	A*4* / A*4* Classe 4	
	Essai d'étanchéité à l'eau (méthode B)	EN 12208	E7b	E7b	
	Exposition climatique	§8.2 de la XP P 20-650-2	Chute de Nez : -0,54 mm Mesure au laser : - 1 mm <i>Note : chute des cales après exposition en climat humide, remise en place des cales, pas de chutes après climat sec</i>	Chute de Nez : 2,37 mm Mesure au laser : 1,5 mm <i>Note : chute des cales après exposition en climat humide, remise en place des cales, pas de chutes après climat sec</i>	Chute de Nez : 0,65 mm Mesure au laser : 0 mm <i>Note : chute des cales après exposition en climat humide, remise en place des cales, pas de chutes après climat sec</i>
	Effort de manœuvre	NF EN 13115	E7b	E7b	
	Essai de perméabilité à l'air	NF EN 13115	A*4* / A*4* Classe 4	A*4* / A*4* Classe 4	
	Essai d'étanchéité à l'eau (méthode B)	EN12207	E7b	E7b	

**Tableau 7 :** Concept fenêtre VEC « LumiVec » - Résultats de l'essai stabilité diagonale sévère avec perméabilité à l'air

Les résultats des essais sollicitant le collage perpendiculairement au plan du vitrage sont présentés dans le tableau ci-après.

Concept N°2 : Fenêtre VEC "LumiVec"			
Prototypes	Essais	Normes de classification	Résultats
Fenêtre avec assemblage mécanique (ouvrant) et calage suivant norme XP P20 650-1 échantillon N° 5020-3	Essai de résistance au vent	EN 12210	VC3
	Essai de Résistance Mécanique	NF EN 13115	Contreventement : ok niveau classe 2 Torsion statique : <b>Casse du vitrage extérieur</b>
	Effort de manœuvre	NF EN 13115	non réalisé sur cet échantillon
Fenêtre avec assemblage mécanique (ouvrant) et calage sur traverse basse échantillon N° 5020-2	Essai d'Endurance (10000 et 20000 cycles)	EN 12400	Classe 3 (20 000 cycles) (Effort de manoeuvre initial : classe 1 Perm Air initial : A*4*/A*4* - Classe 4 10 000 cycles : RAS 20000 cycles : RAS Effort de manoeuvre final : classe 1 Perm Air final : A*3*/A*4* - Classe 4)
	Essai radiant sur Face extérieure	XP P23-308 Annexe B	Constat visuel : - L'ouvrant touche le dormant au niveau du support de cale. - Aucun défaut au niveau du collage bois et verre - Assemblage d'angle : RAS  Contrôle dimensionnel : - Les diagonales sont égales - L'ouvrant a tourné / dormant (jeu dans quincaillerie)
	Essai de Résistance Mécanique	NF EN 13115	classe 2
	Effort de manœuvre	NF EN 13115	classe 1
Fenêtre avec assemblage traditionnel collé et calage sur traverse basse échantillon N° 5020-1	Essai de Fixation vitrage	Annexe B FD NF DTU 36.5 P1-2	satisfaisant

**Tableau 8 :** Concept fenêtre VEC LumiVec - Résultats des essais sollicitant le collage perpendiculairement au vitrage

### 3.6.2 Avis et Interprétations

Les performances obtenues pour ce concept sont très correctes dans l'ensemble, l'étanchéité à l'air et à l'eau sont normalement assurées, les classements obtenus aux essais de résistances au vent, à l'ouverture fermeture répétées et mécaniques sont aussi supérieurs aux minimas requis et l'interface de collage bois/mastic n'a subi aucun dommage au cours du programme d'essais. Il subsiste toutefois une réserve sur la cause de la casse du vitrage lors du premier essai en torsion statique, si l'épaisseur de vitrage ne semble pas être la cause directe puisque le second essai a été réalisé avec la même composition de vitrage, on ne peut en revanche pas écarter la possibilité de la présence d'un défaut sur le bord du vitrage ou du façonnage.

Les résultats de l'essai de stabilité diagonale avec perméabilité à l'air sont très satisfaisants pour 2 cadres ouvrants, celui avec assemblage mécanique et calage suivant la norme XP P 20650-1 et celui utilisant assemblage traditionnel collé et un calage du vitrage réalisé uniquement sur la traverse basse (calage « d'assise »), tandis que l'association assemblage mécanique-calage « d'assise » est plus problématique avec une chute de nez proche de la valeur limite.

L'utilisation d'un mastic à haut module assure une plus grande rigidité à l'ensemble vitrage-cadre qu'avec un collage réalisé avec un mastic bas module et permet ainsi de limiter la déformation du cadre ouvrant dans une certaine mesure.

Les cales de vitrages sont tombées durant l'exposition climatique, il est donc préférable de coller les cales au montage, cela permet d'absorber les variations dimensionnelles de l'ouvrant sans désordre.

Le résultat de l'essai radiant montre l'importance du choix de la quincaillerie y compris sur une essence très largement utilisée en menuiserie (le pin sylvestre).



**Photo n°7** : essai radiant phase de chauffe et de refroidissement concept n°2

Les résultats des essais réalisés sur ce concept de fenêtre en bois avec un ouvrant VEC collé sur un cadre en bois montrent qu'il est possible d'utiliser cette technique pour développer de nouveaux concepts de fenêtres bois, et que les classements obtenus sont au moins aussi bons que les meilleures menuiseries actuellement sur le marché. Pour autant l'étude ne valide pas complètement l'utilisation du concept, et le développement d'une gamme devra s'accompagner d'une étude approfondie sur le choix de la quincaillerie, et du choix des compositions de vitrage par rapport à l'essence de bois envisagée.

### 3.6.3 Conclusions

Compte-tenu des résultats, la solution d'un vitrage collé avec un silicone haut module sur un cadre bois des assemblages traditionnels collés et calé conformément à la norme XP P 20 650-1, est la plus sûre et nous permet d'envisager une suite favorable à cette étude avec le projet de lancer un appel à manifestation d'intérêt au niveau national au second semestre 2018 auprès des menuisiers et de proposer un dossier technique FCBA « LumiVec » avec la mise en place d'un dispositif assurant le suivi et le contrôle des opérations de collage.

Le programme d'évaluation a mis en évidence la nécessité de réaliser un essai de stabilité diagonale dans le cas d'assemblage mécanique comme on pouvait s'y attendre mais aussi dans le cas de l'utilisation d'une essence de faible densité.

Nous avons constaté l'apparition de jeux importants dans les fixations des fiches après la phase d'exposition climatique humide qui ne sont pas résorbés après l'exposition en climat sec. Il serait intéressant par exemple de mener une étude comparative entre l'essai de stabilité diagonale et l'essai d'arrachement d'organe selon les normes NF P 20-501 et NF P20-302/A1, pour déterminer lequel est le plus discriminant et définir un programme d'évaluation adapté aux différentes solutions techniques qui peuvent être mise en œuvre.

L'essai de type radiant apparait nécessaire dans le cas de l'utilisation d'un système de collage type ruban adhésif.

## 4. Conclusion

Le programme d'évaluation qui avait été défini en première approche a permis de démontrer l'aptitude à l'emploi des 2 concepts retenus, mais il en a aussi montré les limites actuelles. Choisir une essence de bois peu dense, d'utiliser un assemblage mécanique ou encore d'optimiser la section de l'ouvrant peut certes s'avérer intéressant d'un point de vue thermique, et/ou économique, mais cela implique nécessairement une étude particulière sur le choix du type de fiches et leur mode de fixation dans l'ouvrant. Les résultats des essais de stabilité diagonale et de climats successifs montrent aussi que ce programme pourrait être amélioré et décliné pour s'adapter au mieux aux différentes configurations possibles.

A noter que la maîtrise du procédé de collage, via des contrôles de production, doit être rigoureuse pour ce type de technologie.

Enfin les bons résultats de la solution « LumiVec », permettent d'ores et déjà de proposer un transfert aux professionnels de la filière via un appel à manifestation d'intérêt et la mise en place d'un dossier technique FCBA « LumiVec » et d'un dispositif assurant le suivi et le contrôle des opérations de collage.

## 5. 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 que nous remercions : Sika, et 3M.

Un certain nombre de collaborateurs FCBA se sont impliqués dans cette étude et plus particulièrement : Thierry DASSIE, Didier FILLIT, Jean-Denis LANVIN, Daniel IRIBARNEGARAY, Marie-Paule FORNES et Marc SIGRIST.

## 6. Références

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).

XP P 20 650-2, Fenêtres et portes-fenêtres, châssis fixe et ensembles menuisés – Pose de vitrage minéral en atelier – partie 2 : exigences et méthodes d'essais spécifiques au bois (indice de classement P 20-650-2).

NF P 23-308, Menuiseries extérieures – Ouvrages mixtes avec éléments en bois - Spécifications techniques pour la liaison mixte (indice de classement P23-308).

NF EN 14351-1+A2, 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 1026, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'air - Méthode d'essai (indice de classement P20-502).

NF EN 12211, Fenêtres et portes - Résistance au vent – Essai (indice de classement P20-503).

NF EN 1027, Fenêtres et portes - Étanchéité - Méthode d'essai (indice de classement P20-505).

NF P 20-506, Méthodes d'essais des fenêtres - Essais mécaniques (indice de classement P20-506).

NF EN 12207, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'air – Classification (indice de classement P20-507).

NF EN 12210, Fenêtres et portes - Résistance au vent - Classification (indice de classement P20-508).

NF EN 12208, Fenêtres et portes - Perméabilité à l'eau – Classification (indice de classement P20-509).

NF EN 1121, Portes – Comportement entre deux climats différents – Méthode d'essai (indice de classement P20-514).

NF EN 1191, Fenêtres et portes - Résistance à l'ouverture et fermeture répétée - Méthode d'essai (indice de classement P20-528).

NF EN 12219, Portes - Influences climatiques – Exigences et classification (indice de classement P20-533).

NF EN 12400, Fenêtres et portes - Durabilité mécanique - Prescriptions et classification (indice de classement P20-534).

NF EN 14608, Fenêtres - Détermination de la résistance à une charge verticale (contreventement) (indice de classement P20-535).

NF EN 14609, Fenêtres - Détermination de la résistance à la torsion statique (indice de classement P20-536).

NF EN 12046-1, Forces de manœuvre - Méthode d'essai - Partie 1 : Fenêtres (indice de classement P20-537).

NF EN 13115, Fenêtres - Classification des propriétés mécaniques - Contreventement, torsion et efforts de manœuvre (indice de classement P20-539).

NF DTU 36.5 P1-2 (2010-04-01) - Travaux de bâtiment - Mise en œuvre des fenêtres et portes extérieures - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux (CGCM) (indice de classement P20-202-1-2).

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.

l'ift-RICHTLINIE VE-08/3 « Beurteilungsgrundlage für geklebte Verglasungssysteme » - IFT-guideline VE-08/3 : basis for the evaluation of bonded glazing systems.

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

Référentiel 2013 - Qualités du bois des nouveaux cultivars de peuplier - Etude réalisée par l'IDF, le FCBA, et l'ENSAM de Cluny.