



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

Profilés isolants fenêtre

Profilés isolants pour fenêtres bois

Rapport de synthèse

Didier Fillit

30 novembre 2012

Avec le soutien de :

The logo for CODIFAB is displayed in a purple, stylized font within a rectangular box. The letters are bold and have a slightly irregular, hand-drawn appearance.

Siège social

10, avenue de Saint-Mandé
75012 Paris
Tél +33 (0)1 40 19 49 19
Fax +33 (0)1 43 40 85 65

IBC Recherche

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

Siret 775 680 903 00017
APE 7219 Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier particulièrement la société MILLET qui a réalisé à titre gratuit les menuiseries qui ont été fabriquées dans le cadre de l'étude et qui a donc été un partenaire privilégié. Je remercie particulièrement les personnes qui ont suivi directement la fabrication des menuiseries en usine pour leur disponibilité et leur implication personnelle remarquable.

SOMMAIRE

1.	Introduction	4
2.	Proposition de protocole de qualification pour fenêtres fabriquées avec carrelets isolants.....	4
2.1	Choix des carrelets pour l'étude	4
2.1.1	Carrelets avec pli central en matériau isolant « profilé mixte » (type pS [®] ou pS- Exclusiv [®] de Holz Schiller).....	5
2.1.2	Carrelets avec alvéoles d'air (type airotherm [®] de Holz Schiller).....	6
2.1.3	Carrelets lamellés collés tout bois (Holz Schiller).....	7
2.2	Evaluation des carrelets et profilés	7
2.2.1	Propriétés de flexion et de résistance à la fatigue	7
	Essais de flexion :	7
	Essais de fatigue :	7
2.2.2	Résistance de la joue de feuillure.....	7
2.2.3	Essai de tenue au vieillissement des joints de collage des carrelets	7
2.2.4	Résistance à la compression du fond de feuillure	8
2.3	Evaluation sur fenêtre.....	8
2.3.1	Solidité des assemblages des vantaux.....	8
2.3.2	Stabilité entre 2 climats	8
2.3.3	Stabilité sous charge.....	9
2.3.4	Essais AEVM	9
2.3.5	Essais ouvertures-fermetures répétées (endurance).....	9
2.3.6	Calculs thermiques.....	9
3.	Résultats des évaluations.	10
3.1	Evaluation du profilé	10
3.1.1	Propriétés de flexion et de résistance à la fatigue	10
3.1.2	Résistance de la joue de feuillure.....	11
3.1.3	Collage du profilé	12
3.1.4	Résistance à la compression du fond de feuillure	13
3.2	Evaluation sur fenêtre.....	15
3.2.1	Solidité des assemblages des vantaux.....	15
3.2.2	Stabilité entre 2 climats	17
3.2.3	Stabilité sous charge.....	19
3.2.4	Essais AEVM	21
3.2.5	Essais ouvertures-fermetures répétées (endurance).....	23
3.2.6	Calculs thermiques.....	25
4.	Conclusion.....	28
5.	Annexes au rapport de synthèse.....	29

1. Introduction

Suite au Grenelle de l'environnement, l'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments est un objectif fort. La réglementation est de plus en plus exigeante. Dans ce contexte, l'amélioration de l'isolation thermique des fenêtres est un des points majeurs de progrès. Les performances thermiques des vitrages ont fortement évoluées (vitrage faible émissivité, remplissage de gaz, voire triple vitrage), les vitrages sont maintenant plus performant que l'encadrement bois de la fenêtre. L'utilisation de profilés bois intégrant des âmes isolante (polyuréthane, liège, lames d'air...) est une solution qui apparaît sur le marché pour améliorer la transmission thermique des profilés bois. En l'absence de référentiel, pour garantir dans le temps toutes les performances de la fenêtre notamment mécaniques, il s'agit d'évaluer l'aptitude à l'emploi de ces profilés pour la fabrication de fenêtres.

Il a donc été décidé de réaliser une première étude pour élaborer la méthodologie sur l'évaluation de tels profilés, les phases de réalisation prévues pour cette étude sont les suivantes :

- Elaboration d'un protocole de qualification de ce type de profilé.
- Sur la base de profilés types retenus et d'une conception de fenêtre type retenue, réalisation des essais de qualification pour l'aptitude à l'emploi de ce type de profilé en fenêtre en appliquant le protocole de qualification élaboré.
- Réalisation d'un rapport de synthèse et, sur la base du protocole réalisé, des résultats obtenus et des observations faites, proposition de mise en place d'un référentiel d'évaluation officiel pour ce type de profilés. Les résultats des essais réalisés permettront de donner un avis sur la pertinence des essais qui auront été réalisés pour ce type de profilés, de modifier si nécessaires les essais à retenir dans la proposition d'un référentiel officiel.

Les carrelets mixtes bois / isolant utilisés ont été achetés à la société Holz Schiller, l'un des principaux fabricants sur le marché pour ce type de carrelets.

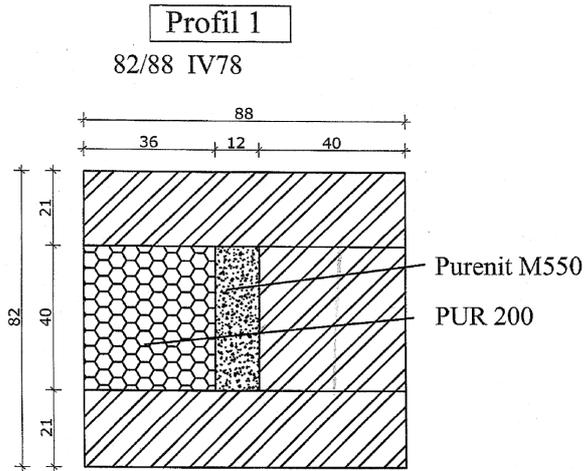
2. Proposition de protocole de qualification pour fenêtres fabriquées avec carrelets isolants

2.1 Choix des carrelets pour l'étude

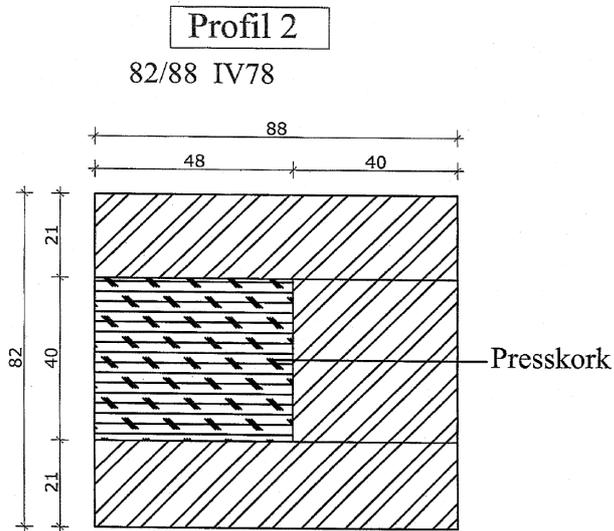
Dans la suite du document et pour les rapports d'essais l'accompagnant, l'identification des carrelets (Profil 1 82/88 IV78 à profil 6 82/88 IV78 Flg) est reprise des identifications données pour ce type de carrelets par le fabricant de carrelets. Cette identification correspond pour certains pays au type de profil standard qui peut être usiné dans le carrelet ainsi référencé. **Dans le reste du document l'identification profil 1 à 6 correspond à l'identification du carrelet et non à l'identification d'un profil type usiné dedans.** Pour l'étude, les profils qui ont été usinés à partir de ces carrelets ne correspondent pas à un profil standard (pas de profil standard en France) mais à une fabrication spécifique donnée.

Le Pin a été choisi car c'est une essence de bois qui peut recevoir un traitement de préservation (contre les attaques de champignons et d'insectes) compatible avec les exigences de durabilité des fenêtres.

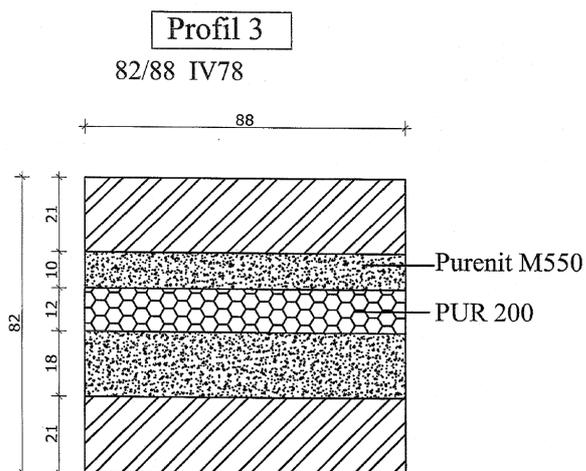
2.1.1 Carrelets avec pli central en matériau isolant « profilé mixte » (type pS[®] ou pS- Exclusiv[®] de Holz Schiller).



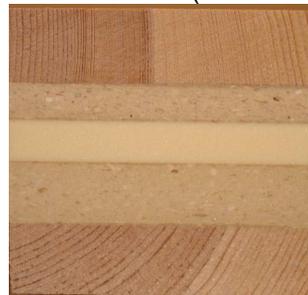
Essence de bois : Pin
Isolants :
Purenit M550 (densité 550 kg/m³)
PUR RG 200 (densité 200 kg/m³)



Essence de bois : Pin
Isolant :
Liège pressé (densité 400 kg/m³)

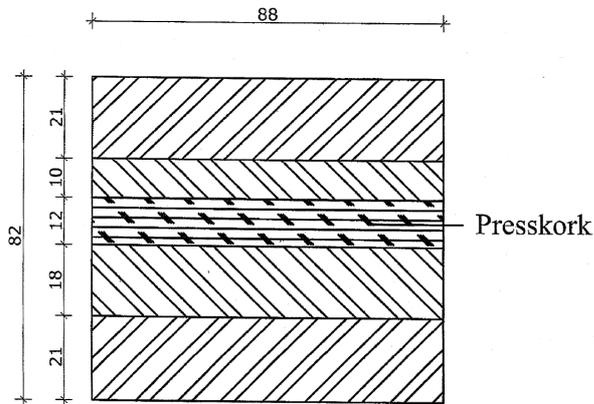


Essence de bois : Pin
Isolants :
Purenit M550 (densité 550 kg/m³)
PUR RG 200 (densité 200 kg/m³)



Profil 4

82/88 IV78



Essence de bois : Pin

Isolant :

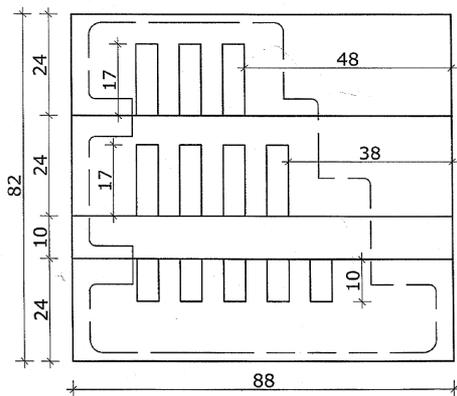
Liège pressé (densité 400 kg/m³)



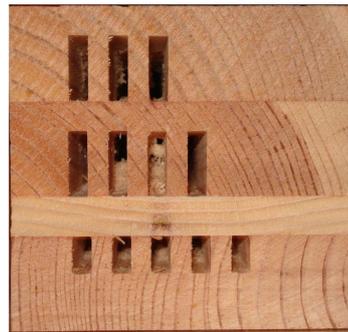
2.1.2 Carrelets avec alvéoles d'air (type airotherm[®] de Holz Schiller).

Profil 5

82/88 IV78 BR s & o

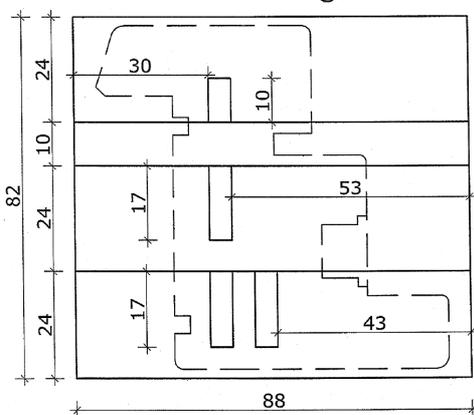


Essence de bois : Pin



Profil 6

82/88 IV78 Flg



Essence de bois : Pin



2.1.3 Carrelets lamellés collés tout bois (Holz Schiller).

Ces carrelets lamellés collés « traditionnelles » tout bois en essence de Pin et de même section 82/88mm servent de référence dans le cadre de l'étude.

2.2 Evaluation des carrelets et profilés

2.2.1 Propriétés de flexion et de résistance à la fatigue

Essais de flexion :

Essais de flexion 4 points selon la méthodologie de la norme NF EN 408 de novembre 2010.

Essais de fatigue :

Il est proposé un protocole spécifique.

1 000 000 de flexions à 10 Hz maximum.

Cycle de base :

50 000 flexions avec déformation de 1/400 de la base de mesure

10 flexions avec déformation à 1/150 de la base de mesure

50 000 flexions avec déformation de 1/400 de la base de mesure

1 flexion avec déformation de 1/100 de la base de mesure

Ce cycle de base est à répéter 10 fois

Le module d'élasticité global est mesuré à l'initial et après les cycles afin de quantifier une éventuelle perte de performance.

2.2.2 Résistance de la joue de feuillure

Compte tenu du risque de fendage des profilés sous charge vent, essais de résistance des joues de feuillure selon les modalités de annexe B de la norme XP P 20 650-2

2.2.3 Essai de tenue au vieillissement des joints de collage des carrelets

Il est proposé de tester une série conformément au référentiel de certification CTB-LCA pour les carrelets utilisables en menuiseries extérieures et de réaliser une vieillissement plus poussé sur une seconde série.

Série n°1 : Essais de délamination (et cisaillement si nécessaire) après vieillissement type marque de certification CTB – LCA :

- Immersion 16h en eau froide

- Séchage 24h à (50 ± 2)°C

Série n°2 : Essais de délamination et de cisaillement après vieillissement type CTB – LCA suivi du vieillissement V313 (cycle de vieillissement de la norme NF EN 321)

2.2.4 Résistance à la compression du fond de feuillure

Il s'agit de déterminer la capacité de l'âme isolante à reprendre les charges transmises par les cales de vitrage notamment pour les ouvrants pivotant sur rive verticale.

Il est proposé un protocole spécifique.

Un effort est appliqué à l'aide d'un corps de charge de 50 mm de long et de largeur correspondant à celle de l'épaisseur de l'âme moins $(2,0 \pm 0,2)$ mm. Le corps de charge est centré sur l'âme isolante. L'effort maximal est enregistré (déplacement maximal de 2 mm).

L'essai n'est réalisé que sur les profils où l'âme isolante présente une épaisseur de plus de 20mm et où donc les cales de vitrages sont susceptibles de ne reposer que sur le matériau isolant.

2.3 Evaluation sur fenêtre

2.3.1 Solidité des assemblages des vantaux

Compte tenu d'un contact bois-matériau isolant, il convient de s'assurer du niveau de résistance des assemblages d'angle des vantaux.

Les essais d'angles sont réalisés selon le document CTBA - L - 161 (paragraphe 2.2.2) d'Octobre 2000. Des essais de traction et compression permettent d'évaluer les performances mécaniques des assemblages d'un vantail soumis à des charges verticales dans son plan.

2.3.2 Stabilité entre 2 climats

a) La présence d'une âme isolante risque de modifier le comportement des profilés lors de l'exposition entre deux climats différents. On est donc amené à vérifier la stabilité hygrothermique selon la norme EN 1121 pour les climats « c » (entre climat sec et climat humide : 3 °C et 85 % Hr (face extérieure) / 23 °C et 30 % Hr (face intérieure)) et « e » (différences de températures : Température ambiante de l'air + $(55 \pm 5^\circ\text{C})$ (face extérieure) / Température ambiante de l'air (face intérieure))

b) Les carrelats étant constitués de matériaux avec des facteurs de résistance à la diffusion de vapeur d'eau différents, il faut prévoir un essai permettant d'évaluer les risques de pourrissement du fait d'une accumulation accrue d'humidité par suite de la condensation ou de la diffusion de vapeur d'eau.

L'essai envisagé est le mode opératoire 2.1 de la norme NF EN 13 420

Face 1, intérieure : climat $23 \pm 2^\circ\text{C}$ et $70 \pm 5\% \text{HR}$

Face 2, extérieure : climat $3 \pm 2^\circ\text{C}$ et $80 \pm 5\% \text{H}$

2.3.3 Stabilité sous charge

La méthode est prévue pour les fenêtres bois « non traditionnelles ». Elle consiste à exposer dans un climat humide (23°C 85 % HR) puis sec (23°C 30 %HR) le vantail de la fenêtre avec une charge de 25 daN au battement.

Le contrôle de l'influence climatique porte sur :

- la chute de nez
- l'étanchéité à l'eau du vantail

Evaluation, selon cahier FCBA L 161 et annexe F de la norme XP P 20 650-2, de la stabilité diagonale de vantaux sous l'action combinée de conditions climatiques variables données et de charges excentrées par rapport à un axe fixe et exercées parallèlement à ce dernier.

2.3.4 Essais AEVM

Perméabilité à l'Air, étanchéité à l'Eau, résistance au Vent, résistance mécanique (forces de manœuvre, contreventement, voilement), résistance des dispositifs de sécurité
Essais : EN 1026, EN 1027, EN 12211, EN 12046-1, EN 14608, EN 14609, chapitre 4.8 EN 14351+A1, chapitre 5.3.2 NF P 20501.

Essais à réaliser sur une menuiserie de grandes dimensions pour évaluer notamment la résistance au vent dans un cas défavorable (grandes dimensions).

2.3.5 Essais ouvertures-fermetures répétées (endurance)

Essai d'endurance selon la norme NF EN 1191, classe 2 correspondant à 10 000 cycles selon la norme NF EN 12400.

Essais à réaliser sur une menuiserie de grandes dimensions.

2.3.6 Calculs thermiques

Détermination de la transmission thermique U_w par calculs numériques sur plans selon les normes NF EN 10077-1 et NF EN 10077-2.

3. Résultats des évaluations.

3.1 Evaluation du profilé

3.1.1 Propriétés de flexion et de résistance à la fatigue

Voir détails dans rapport d'essais N°403/11/577 en annexe

Essai de flexion 4 points :



Les essais sont réalisés selon la méthodologie de la norme NF EN 408 de novembre 2010.

Type de carrelets	Module d'élasticité $E_{m,g}$ (MPa)
Profil 1	11192
Profil 2	10351
Profil 3	8761
Profil 4	5131
Profil 5	10431
Profil 6	10972
Tout bois	12812

Les modules d'élasticité des carrelets isolants testés sont d'un niveau légèrement plus faibles que celui du carrelet similaire tout bois. Sur ce point les carrelets isolants testés paraissent rester compatibles avec une utilisation en fenêtre. Cependant pour le « profil 4 » avec une âme en liège traversante, le module d'élasticité est nettement plus faible, ce type de profil est donc a priori à éviter pour les profils les plus sollicités à la charge au vent (meneau ou battement central de fenêtre à 2 vantaux).

Essai de fatigue (1 million de flexions) :

Type de carrelets	Pourcentage de perte du module d'élasticité $E_{m,g}$ (MPa) après 1 million de flexions
Profil 1	0 %
Profil 2	1 %
Profil 3	1 %
Profil 4	6 %
Profil 5	2 %
Profil 6	Non réalisé (similaire profil 5)
Tout bois	Non réalisé

L'essai de fatigue 1 millions de cycles (simulation du vieillissement dû aux charges de vent durant la durée de vie d'une fenêtre) n'altère pas significativement le module d'élasticité des carrelets isolants testés. Sur ce point les carrelets isolants testés paraissent rester compatibles avec une utilisation en fenêtre.

3.1.2 Résistance de la joue de feuillure

Selon l'annexe B de la norme XP P20-650-2 (Janvier 2009).

Voir détails dans rapport d'essais N°403/11/577/1 en annexe



Il s'agit de vérifier la stabilité dimensionnelle et la résistance des joues de feuillures constituant la feuillure de maintien du vitrage. Pour le besoin des essais, une joue de feuillure de dimensions conventionnelles (20mm x 15mm h x l) a été usinée dans les carrelets isolants à tester.

Stabilité dimensionnelle :

Le tuilage des joues de feuillure est mesuré après exposition des éprouvettes aux climats suivant :

Climat humide à $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(85 \pm 5)\%$ HR pendant 21 jours minimum

Climat sec à $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ et $(30 \pm 5)\%$ HR pendant 21 jours minimum

Selon la norme XP P20-650-2 le tuilage caractéristique T_k doit être inférieur ou égale à 0,66mm.

Type de carrelets	Tk en mm
Profil 1	0,12
Profil 2	0,19
Profil 3	0,17
Profil 4	0,16
Profil 5	Non réalisé (ne concerne pas un profil de vitrage)
Profil 6	0,15
Tout bois	Non réalisé

La stabilité des joues de feuillure testées satisfait aux exigences demandées pour les fenêtres bois. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre.

Résistance linéique :

Selon la norme XP P20-650-2 la résistance linéique caractéristique Flk doit être supérieure ou égale à 7 500 N/m.

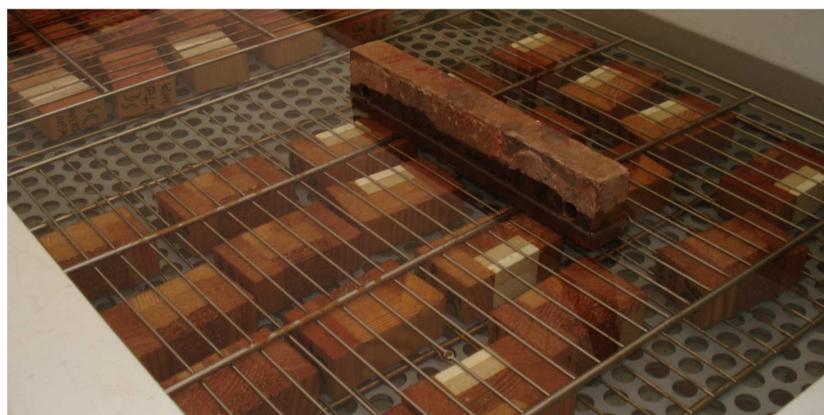
Type de carrelets	Flk en N/m
Profil 1	11984
Profil 2	10540
Profil 3	12302
Profil 4	10283
Profil 5	Non réalisé (ne concerne pas un profil de vitrage)
Profil 6	10462
Tout bois	Non réalisé

Remarque : Dans le rapport d'essai pour les éprouvettes référencées J1 un trait de scie a été réalisée pour ne solliciter lors les essais de résistance que le plan de collage bois/isolant (voir photo ci-dessus). Ce trait de scie n'a pas été réalisé sur les éprouvettes référencées J2. Les résultats indiqués ci-dessus sont les résultats obtenus avec les 2 types d'éprouvettes mélangés, si on scinde les résultats en 2 catégories, les résultats restent satisfaisant pour les 2 types d'éprouvette sauf pour les éprouvettes « Profil 4 (liège traversant) » avec trait de scie

La résistance linéique caractéristique des joues de feuillure testées satisfait aux exigences demandées pour les fenêtres bois. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre. Cependant une réserve peut être émise pour l'utilisation du « profil 4 (liège traversant) » en profil d'ouvrant.

3.1.3 Collage du profilé

Voir détails dans rapport d'essais N°403/11/577/3 en annexe



Il s'agit d'évaluer par mesure de décollement (essais de délamination, % de décollement) le comportement des joints de collage des carrelets soumis à des cycles de vieillissement accéléré. Les joints sont également sollicités mécaniquement pour évaluer les éventuelles pertes de performances (essais de cisaillement).

Délamination :

2 séries d'éprouvettes soumises à des mesures de décollement (délamination) après vieillissement accéléré.

Série n°1 : Essais de délamination après vieillissement type CTB – LCA :

- Immersion 16h en eau froide

- Séchage 24h à $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$

Série n°2 : Essais de délamination après vieillissement type CTB – LCA suivi du vieillissement V313 (cycle de vieillissement de la norme NF EN 321)

Type de carrelots	Pourcentage de délamination après vieillissement	
	Série n°1	Série n°2
Profil 1	0% (sauf joint bois/bois 15,3%)	0%
Profil 2	0% (sauf joint bois/bois 0,3%)	0%
Profil 3	0%	0%
Profil 4	0%	0%
Profil 5	0%	0%
Profil 6	Non réalisé (comportement a priori identique au profil 5)	Non réalisé (comportement a priori identique au profil 5)
Tout bois	5%	0%

Aucun décollement (pas de délamination) pour les joints bois/isolant ou isolant/isolant. Pour les carrelots testés, le vieillissement du collage isolant (faible densité) / bois ne semble pas poser de problème. Sur ce point les carrelots isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre.

Cisaillement :

La non délamination des joints de colle bois/isolant ou isolant/isolant tend à montrer le bon comportement de ce type de joint au vieillissement. Le rapport d'essais N° 403/11/577/3 indique aussi pour information des valeurs de contrainte de cisaillement par type de joint.

En cas de délamination, les exigences de contrainte en cisaillement sont calculées en fonction de la densité du matériau. Dans le cas de matériaux mixtes bois/isolant, on peut imaginer raisonner sur la densité moyenne ou (hypothèse à privilégier peut-être) raisonner en considérant la densité du matériau le plus dense.

Aboutage :

Les aboutages bois/bois étant traditionnels, ils n'ont pas été traités dans le cadre de cette étude. Les aboutages isolant/isolant n'ont pas étudiés dans le cadre de cette étude. Ils sont a priori à proscrire sauf à prouver leur résistance et étanchéité ou sauf à se trouver dans la partie « non mouillable » de la menuiserie.

3.1.4 Résistance à la compression du fond de feuillure

Voir détails dans rapport d'essais N° 403/11/577/2 en annexe

Le principe des essais réalisés est d'évaluer la résistance en compression du fond de feuillure.

Un effort est appliqué à l'aide d'un corps de charge de 50 mm de long et de largeur correspondant à celle de l'épaisseur de l'âme moins (2,0 ± 0,2) mm. Le corps de charge est centré sur l'âme isolante. L'effort maximal est enregistré (déplacement maximal de 2 mm).

L'essai n'est réalisé que sur les profils où l'âme isolante présente une épaisseur de plus de 20mm et où donc les cales de vitrages sont susceptibles de ne reposer que sur le matériau isolant.

Type de carrelets	Force maximale enregistrée en N
Profil 1	5660
Profil 2	2670
Profil 3	24299
Profil 4	Non réalisé
Profil 5	Non réalisé
Profil 6	Non réalisé
Tout bois	Non réalisé

On constate que pour les isolants de plus faible densité (Mousse PUR 200 kg/m³, liège pressé 400kg/m³) l'effort maximal enregistré est beaucoup plus faible que pour l'isolant composé de Purenit 550 kg/m³. Pour les isolants de faible densité, il paraît donc nécessaire que les cales de vitrage ne reposent pas entièrement sur l'isolant, il est recommandé d'utiliser des cales de vitrage à rigidité renforcée dont les bords reposent sur la partie bois et/ou d'envisager un calfeutrement vitrage par adhérence (collage mastic par exemple) en périphérie du vantail afin de renforcer la tenue du vantail dans le plan du vitrage (collage entre le cadre du vantail et le vitrage). Sur ce point les carrelets isolants testés paraissent donc compatibles avec une utilisation en fenêtre mais sous certaines conditions pour les isolants les moins denses.

3.2 Evaluation sur fenêtre

Pour les carrelets avec alvéoles d'air (composés uniquement de bois), les essais sur carrelets confirment des caractéristiques mécaniques très proches de carrelets tout bois. Par ailleurs, actuellement pour ce type de carrelets les alvéoles présentes en partie courante du profilé ne se prolongent pas dans les assemblages d'angle de la menuiserie (difficilement envisageable). Sous cette condition le comportement des assemblages est identique à une fenêtre bois traditionnelle, donc les fenêtres fabriquées avec ce type de carrelet ont donc a priori un comportement similaire à une fenêtre bois traditionnelle. Après les résultats obtenus sur les évaluations des carrelets, il a donc été décidé de se limiter pour la partie évaluation sur fenêtres aux menuiseries fabriquées avec profilés mixtes bois/isolant.

Remarque : Il est à noter que pour les menuiseries testées, le calfeutrement vitrage est un calfeutrement double barrière par profilés d'étanchéité agissant par réaction mécanique (type EPDM). Les drainages vitrages mis en œuvre étant des drainages bois traditionnels, la conformité à la norme de pose des vitrages XP P 20 650-2 implique que le calfeutrement vitrage soit double barrière avec au moins le calfeutrement vitrage en barrière principale côté joue de feuillure réalisé par adhérence (type mastic). Les menuiseries testées sont donc non-conformes sur ce point (un collage mastic est bien présent entre le fond de feuillure et le vitrage en périphérie du verre intérieur mais il n'y a pas d'étanchéité mastic en barrière principale côté joue de feuillure). L'absence d'un calfeutrement vitrage par mastic en barrière principale ne pouvant qu'agir défavorablement sur les performances des menuiseries, les performances qui ont été obtenues lors des essais sont « extrapolables » à des menuiseries de même type mises en conformité avec calfeutrement vitrage mastic en barrière principale.

3.2.1 Solidité des assemblages des vantaux

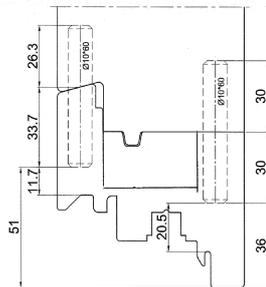
Voir détails dans rapport d'essais N°403/11/901 en annexe

Les essais d'angles sont réalisés selon le document CTBA - L - 161 (paragraphe 2.2.2) d'Octobre 2000. Des essais de traction et compression permettent d'évaluer les performances mécaniques des assemblages d'un vantail soumis à des charges verticales dans son plan.

Les assemblages testés étaient des assemblages collés profil-contreprofil et avec 4 tourillons en bois dur diamètre 10mm et longueur 60mm. 4 types de profils isolants ont été testés, dans tous les cas les tourillons se trouvent dans la partie bois (même position des tourillons pour tous les assemblages testés).

Exemple d'assemblage avec le profil 2 (liège et alèse bois)

Position des tourillons :



Assemblage cadre ouvrant
4 tourillons Ø10 * lg 60mm

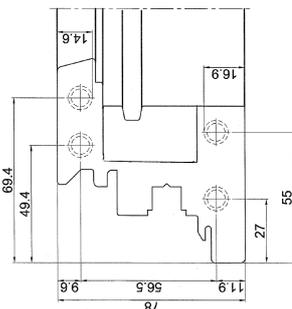


Photo après rupture :



Selon le document CTBA - L -161, les valeurs pour un assemblage bois traditionnel collé sont :

Paramètres	Déformation résiduelle relative	Couple pour 1°(valeur caractéristique)	Couple maximal (valeur caractéristique)
Unités	%	N . m	N . m
Traditionnels collés (valeur caractéristique)	Drk ≤ 25	Tk >80	Tk >100

Les résultats obtenus sont :

Type de carrelet	Déformation résiduelle relative	Couple pour 1°	Couple maximal
	%	N . m	N . m
Profil 1	9,0	125,7	237,4
Profil 2	6,8	109,7	221,5
Profil 3	20,5	84,5	161,7
Profil 4	10,0	149,8	293,8
Profil 5		Non réalisé	
Profil 6		Non réalisé	
Tout bois	15,4	153,0	287,3

La résistance mécanique des assemblages testés satisfait aux exigences demandées pour les fenêtres bois. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre. Sous réserve bien sûr d'un même type d'assemblage que l'assemblage testé.

3.2.2 Stabilité entre 2 climats

a) La présence d'une âme isolante risque de modifier le comportement des profilés lors de l'exposition entre deux climats différents. On est donc amené à vérifier la stabilité hygrothermique selon la norme EN 1121 pour les climats « c » (entre climat sec et climat humide : 3 °C et 85 % Hr (face extérieure) / 23 °C et 30 % Hr (face intérieure)) et « e » (différences de températures : Température ambiante de l'air + (55 ± 5°C) (face extérieure) / Température ambiante de l'air (face intérieure))

Climat c :



Climat e :



2 menuiseries ont été testées (il a été considéré que les profils comportant des âmes isolantes filantes sans alèse bois étaient les plus défavorables) :

- une fenêtre 1 vantail ouvrant à la française en Pin dont les profils d'ouvrant et de dormant comportent des isolants Purenit et mousse PUR (constituée à partir des carrelets type Profil 3)

Voir détails dans rapport d'essais N° 404/12/201-4 en annexe

- une fenêtre 1 vantail ouvrant à la française en Pin dont les profils d'ouvrant et de dormant comportent du liège (constituée à partir des carrelets type Profil 4)

Voir détails dans rapport d'essais N° 404/12/201-3 en annexe

Les résultats obtenus sont :

Type de carrelet constituant la fenêtre	Déformation sous climat c	Déformation sous climat e	Efforts de manoeuvre
	mm	mm	
Profil 1		Non réalisé	
Profil 2		Non réalisé	
Profil 3	3,41	1,15	Classe 1 avant et après les différentes expositions climatiques
Profil 4	1,36	1,92	Classe 1 avant et après les différentes expositions climatiques
Profil 5		Non réalisé	
Profil 6		Non réalisé	
Tout bois		Non réalisé	

Les déformations observées n'altèrent pas la manoeuvrabilité des fenêtres testées. Aucun dommage observé. Pour les fenêtres testées, l'exposition entre 2 climats différents ne semble pas entraîner de déformations rendant les menuiseries inaptés à leur fonction. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre.

b) Les carrelets étant constitués de matériaux avec des facteurs de résistance à la diffusion de vapeur d'eau différents, il a été réalisé un essai permettant d'évaluer les risques de pourrissement du fait d'une accumulation accrue d'humidité par suite de la condensation ou de la diffusion de vapeur d'eau.

L'essai a été réalisé suivant le mode opératoire 2.1 de la norme NF EN 13 420

Face 1, intérieure : climat $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $70\pm 5\% \text{HR}$

Face 2, extérieure : climat $3^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $80\pm 5\% \text{H}$

2 carrelets ont été testés (il a été considéré que les carrelets comportant des âmes isolantes filantes sans alèse bois étaient les plus défavorables) :

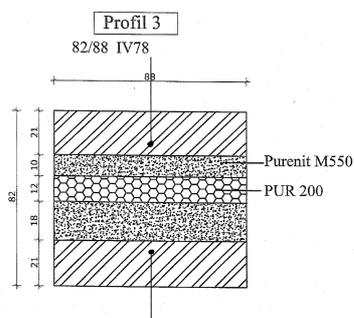
- un carrelet Pin avec âme en isolant mousse PUR et Purenit (réalisés à partir des carrelets référencés Profil 3)

- un carrelet Pin avec âme en liège (réalisés à partir des carrelets référencés Profil 4)

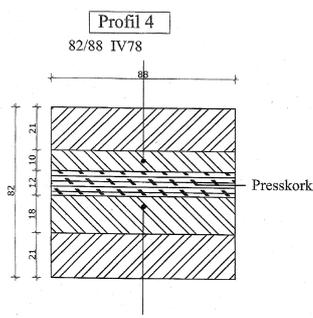
Voir détails dans rapport d'essais N° 404/12/201-5 en annexe

Position des sondes de prise d'humidité :

Profil 3



Profil 4



Les résultats obtenus sont :

Type de carrelet	Humidité finale moyenne du bois à l'interface isolant/bois (côté face 1)	Humidité finale moyenne du bois à l'interface isolant/bois (côté face 2)	Observation
	%	%	
Profil 1	Non réalisé		
Profil 2	Non réalisé		
Profil 3	12,05	14,80	Les humidités aux interfaces bois/isolant sont inférieures aux humidités de surface du bois (donc pas d'accumulation d'humidité aux interfaces)
Profil 4	8,75	10,90	Les humidités aux interfaces bois/isolant sont inférieures aux humidités de surface du bois (donc pas d'accumulation d'humidité aux interfaces)
Profil 5	Non réalisé		
Profil 6	Non réalisé		
Tout bois	Non réalisé		

Pas d' « accumulation » d'eau aux interfaces bois / isolant, donc pour les types de carrelets testés, la diffusion de la vapeur d'eau ne constitue pas un risque de pourrissement. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre (Pour les matériaux isolants ayant des facteurs de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau équivalents ou inférieurs au bois, ce point ne devrait pas poser de problème).

3.2.3 Stabilité sous charge

La méthode est prévue pour les fenêtres bois « non traditionnelles ». Elle consiste à exposer dans un climat humide (23°C 85 % HR) puis sec (23°C 30 %HR) le vantail de la fenêtre avec une charge de 25 daN au battement.

Le contrôle de l'influence climatique porte sur :

- la chute de nez
- l'étanchéité à l'eau du vantail

Evaluation, selon cahier FCBA L 161 et annexe F de la norme XP P 20 650-2, de la stabilité diagonale de vantaux sous l'action combinée de conditions climatiques variables données et de charges excentrées par rapport à un axe fixe et exercées parallèlement à ce dernier.

Mise en climat des vantaux avec charge au battement : Essai d'étanchéité à l'eau initial et final :



2 types de fenêtres ont été testés (les vantaux étant généralement constitués avec des carrelets présentant une alèse bois, ces 2 types de carrelets ont été testés) :

- 2 fenêtres 1 vantail ouvrant à la française en Pin dont les profils d'ouvrant comportent les isolants Purenit et mousse PUR (profils d'ouvrant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 1)

Voir détails dans rapport d'essais N°404/12/201-2 en annexe

- 2 fenêtres 1 vantail ouvrant à la française en Pin dont les profils d'ouvrant comportent du liège (profils d'ouvrant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 2)

Voir détails dans rapport d'essais N°404/12/201-1 en annexe

Les résultats obtenus sont :

Type de carrelet constituant la fenêtre	Etanchéité à l'eau initiale	« Chute de nez » résiduelle à la fin des climats après retrait des charges et stabilisation	Etanchéité à l'eau finale
		mm	
Profil 1	Pas de pénétration d'eau	1,60	Pas de pénétration d'eau
Profil 2	Pas de pénétration d'eau	1,83	Pas de pénétration d'eau
Profil 3		Non réalisé	
Profil 4		Non réalisé	
Profil 5		Non réalisé	
Profil 6		Non réalisé	
Tout bois		Non réalisé	

Conformité aux exigences du cahier FCBA L 161 et à la norme XP P 20 650-2 (pas de pénétration d'eau et chute de nez résiduelle inférieure à 2 mm). Pour les fenêtres testées, l'essai de stabilité diagonale est satisfaisant. Sur ce point les carrelets isolants testés sont compatibles avec une utilisation en fenêtre. Sous réserve bien sûr d'une conception de fenêtre identique aux fenêtres testées : même type d'assemblage que l'assemblage, même calage et vitrage et, dans le cas des fenêtres testées, calfeutrement périphérique mastic entre le cadre du vantail et le pied du vitrage côté verre intérieur (dans le cas testé ce calfeutrement participe à la stabilité diagonale).

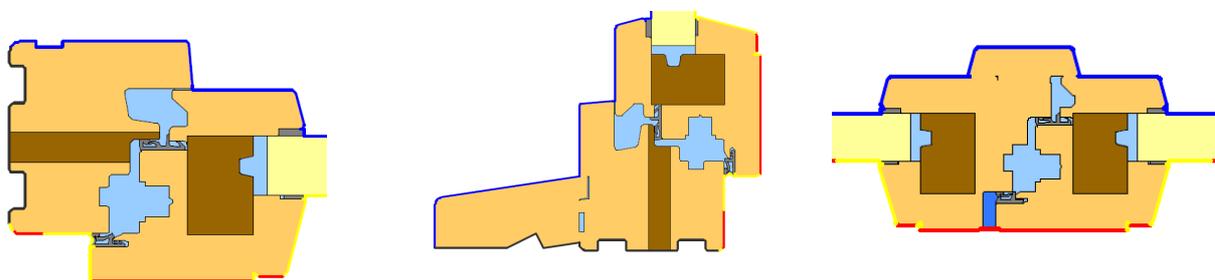
3.2.4 Essais AEVM

Perméabilité à l'Air, étanchéité à l'Eau, résistance au Vent, résistance mécanique (forces de manœuvre, contreventement, voilement), résistance des dispositifs de sécurité

Une menuiserie a été testée (Le nombre d'essais étant limité dans le cadre de l'étude, il a été retenu de tester une fenêtre constituée à partir de carrelets bois/liège pour son « image environnementale ») :

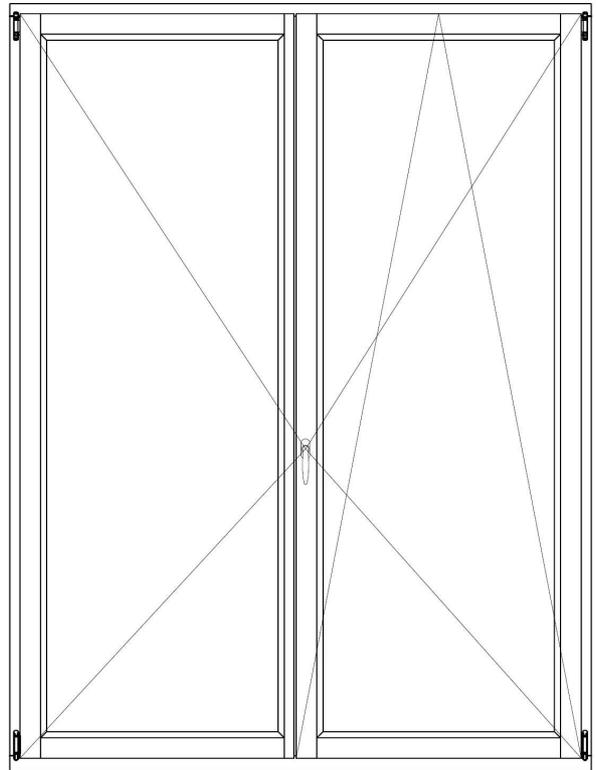
- une porte-fenêtre en Pin, hauteur : 2480mm, largeur : 1860 mm, Epaisseur : 78 mm, 2 vantaux dont un oscillo-battant, les encadrements sont constitués à partir de carrelets bois/liège (profils d'ouvrant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 2, profils de dormant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 4). Double vitrage, calfeutrement vitrage par joint à sec double barrière + collage mastic entre le fond de feuillure et le vitrage en périphérie du verre intérieur.

Montants et position du liège : Traverses basses et position du liège : Battement et position du liège :

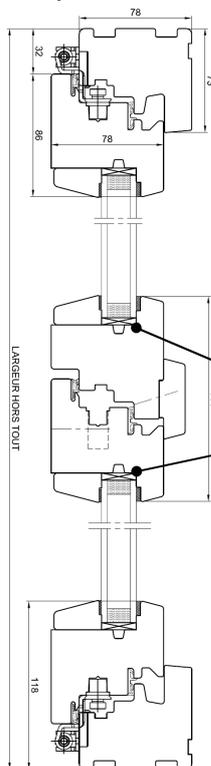


Position des quincailleries (quincailleries Siegenia) :

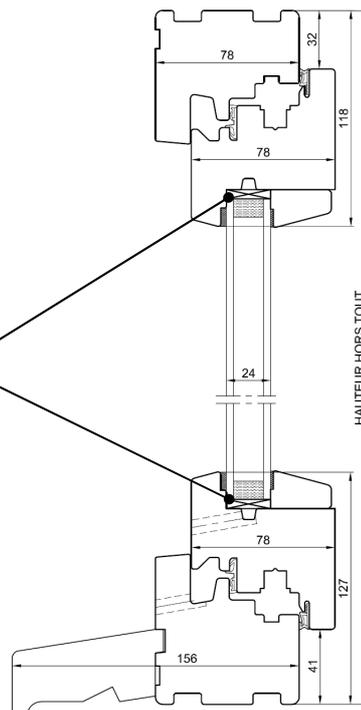
● Points de verrouillage



Coupe horizontale :



Coupe verticale :



Collage mastic en périphérie du verre

Les résultats obtenus sont :

Type d'essai et normes de référence :	Classe obtenue :
Forces de manœuvre initiales (NF EN 12046-1, NF EN13115) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 1	Classe 1
Perméabilité à l'Air (NF EN 1026, NF EN12207, NF EN 14351-1+A1) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 2	Classe 2*
Étanchéité à l'Eau (NF EN 1027, NF EN 12208) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 4B	Classe 7B**
Résistance au Vent (NF EN 12211, NF EN 12210) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe A2	Classe C2 (flèche relative de 1/403 au battement)
Contreventement fenêtres (NF EN 14608, NF EN13115) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 2	Classe 2 (Déformation résiduelle de 0,64mm)
Torsion statique fenêtres (NF EN 14609, NF EN13115) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 2	Classe 2 (Déformation résiduelle de 8mm, déformation sous charge 171mm)
Forces de manœuvre finales Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 1	Classe 1
Capacité de résistance des dispositifs de sécurité (chapitre 4.8 NF EN 14351-1+A1)	Satisfaisant

Remarques :

*Concernant la perméabilité à l'air, la classe obtenue n'est que de classe 2 car en pressions positives on constate un passage d'air significatif au droit du montant latéral du vantail oscillobattant contrairement au droit du montant latéral du vantail semi-fixe maintenu par un verrou latéral. Compte tenu de la rigidité moindre de tels profilés, il faut envisager d'augmenter le nombre de points de verrouillage de la quincaillerie par rapport à une menuiserie bois traditionnelle.

**Concernant l'étanchéité à l'eau, lors d'un premier essai une très faible pénétration d'eau est apparue au droit de l'un des assemblages d'angle du dormant à 100 Pa et aucune autre pénétration d'eau n'a été constatée y compris jusqu'au palier de 300 Pa. L'étanchéité de cet assemblage a été renforcée (point de mastic) et les essais recommencés. Lors du second essai mené jusqu'à 300 Pa, aucune pénétration d'eau n'a été constatée : classe 7B.

Les résultats obtenus sont conformes aux exigences du DTU 36-5. Pour la fenêtre testée, l'essai AEVM est donc satisfaisant (même si des enseignements peuvent être tirés de cet essai pour affiner la conception et améliorer les performances). Les classements obtenus ne valent que pour la fenêtre testée mais montrent la possibilité d'obtenir des résultats satisfaisants avec des profilés mixte bois/isolant. Dans le cadre de la conception d'une nouvelle gamme de menuiseries avec profilés bois/isolant, les essais AEVM sont les premiers essais à envisager pour mettre au point le produit.

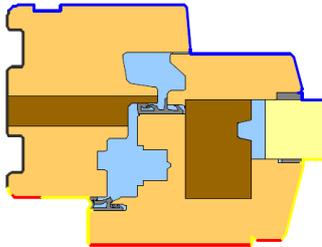
3.2.5 Essais ouvertures-fermetures répétées (endurance)

Essai d'endurance selon la norme NF EN 1191, classe 2 correspondant à 10 000 cycles selon la norme NF EN 12400.

Une menuiserie a été testée (Le nombre d'essais étant limité dans le cadre de l'étude, il a été retenu de tester une fenêtre constituée à partir de carrelats bois/liège pour son « image environnementale ») :

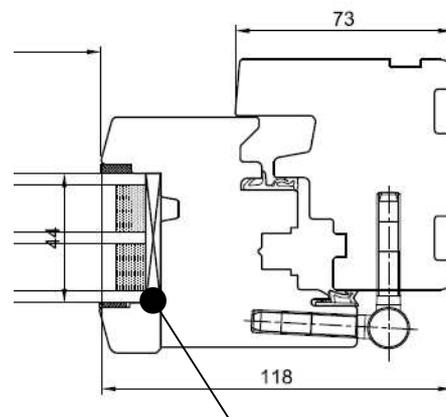
- une porte-fenêtre en Pin, hauteur : 2480mm, largeur : 1060 mm, Epaisseur : 78 mm, triple vitrage, seuil PMR 20 mm, 1 vantail ouvrant à la française, les encadrements sont constitués à partir de carrelets bois/liège (profils d'ouvrant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 2, profils de dormant réalisés à partir des carrelets référencés Profil 4). Triple vitrage, calfeutrement vitrage par joint à sec double barrière + collage mastic entre le fond de feuillure et le vitrage en périphérie du verre intérieur.

Position du liège dans l'encadrement:



Position des quincailleries (quincailleries Siegenia) :

- Points de verrouillage



Collage mastic en périphérie du verre

Les résultats obtenus sont :

Type d'essai et normes de référence :	Classe obtenue :
Forces de manœuvre initiales (NF EN 12046-1, NF EN13115) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 1	Classe 1
Perméabilité à l'Air initiale (NF EN 1026, NF EN12207) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 2	Classe 3
Cycles ouvertures-fermetures répétées (NF EN 1191, NF EN 12400) Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 2	Classe 2* 10 000 cycles
Forces de manœuvre finales Classe minimale (DTU 36-5) : Classe 1	Classe 1 Conservation de la classe initiale
Perméabilité à l'Air finale (NF EN 1026, NF EN12207) Exigence selon NF P 20 501 et NF P 20 302 : dégradation de la perméabilité à l'air inférieure à 20% de la classe obtenue initialement	Classe 3 Dégradation inférieure à 20% de la classe initiale

* Ce classement est obtenu que si on ne tient pas compte de la rupture d'une gâche constatée en cours d'essai (manifestement il s'agissait d'un défaut de cette gâche métallique), pas de détérioration liée à la conception des profils bois/isolant correspondant au cadre de notre étude. A la fin de l'essai, on constate « une chute de nez du vantail » de 0,08mm.

Les résultats obtenus sont conformes aux exigences du DTU 36-5 et aux normes NF P 20 501 et 20 302. Pour la fenêtre testée, l'essai d'ouvertures-fermetures répétées est donc satisfaisant. Les classements obtenus ne valent que pour la fenêtre testée mais montrent la possibilité d'obtenir des résultats satisfaisants avec des profilés mixte bois/isolant.

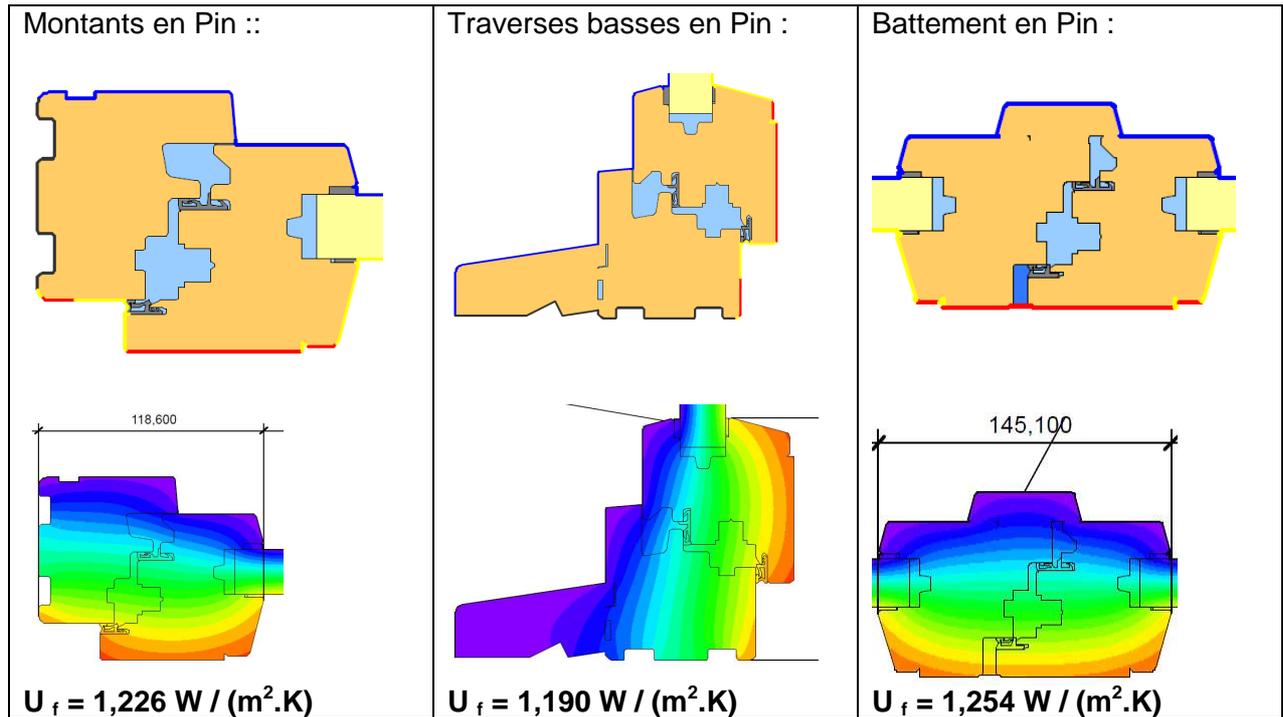
3.2.6 Calculs thermiques

Calculs numériques sur plans selon les normes NF EN 10077-1 et NF EN 10077-2. Logiciel de calcul utilisé : FLIXO.

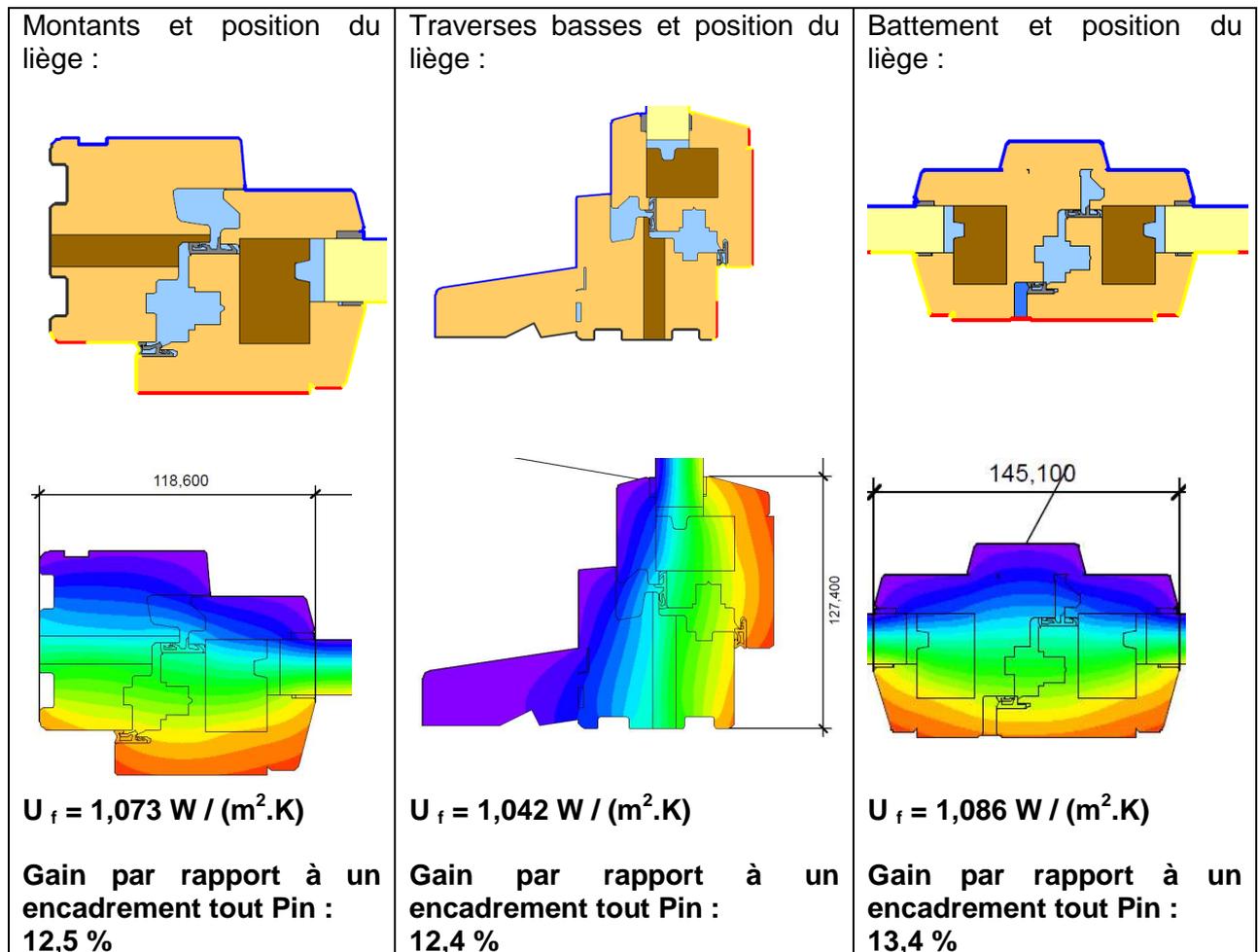
Les calculs ont été réalisés sur le même type d'encadrement que la menuiserie testée en AEVM, dans un premier temps en considérant l'encadrement constitué uniquement de Pin puis en considérant l'encadrement constitué à partir de carrelats bois/liège, idem à l'encadrement de la menuiserie testée en AEVM (profils d'ouvrant réalisés à partir des carrelats référencés Profil 2, profils de dormant réalisés à partir des carrelats référencés Profil 4).

Les conductivités thermiques prises pour les calculs sont de 0,13 W / (m.K) pour le Pin et de 0,06 W / (m.K) pour le liège pressé.

Encadrements constitués uniquement de Pin :



Encadrements mixtes Pin / Liège :



Le coefficient de transmission thermique de la fenêtre U_w a ensuite été calculé pour une fenêtre 1 vantail (hauteur : 1480mm, largeur : 1250 mm) et pour une fenêtre 2 vantaux (hauteur : 1480mm, largeur : 1530 mm). Le vitrage étant équipé d'un intercalaire warm-edge Swisspacer V.

Les tableaux ci-après qui indiquent le U_w de la fenêtre en fonction du U_g du vitrage permettent de comparer les résultats obtenus sur une même menuiserie avec encadrement entièrement en Pin ou encadrement mixte Pin / liège. Les résultats U_w sont exprimés avec 2 chiffres significatifs comme le demande la normalisation et ses règles d'arrondi.

Encadrements constitués uniquement de Pin :				Encadrements mixtes Pin / Liège :			
U_g	U_w			U_g	U_w		
	Y_g	FE 1 Vantail	FE 2 Vtx		Y_g	FE 1 Vantail	FE 2 Vtx
0,5	0,038	0,83	0,9	0,5	0,038	0,78	0,84
0,6	0,038	0,9	0,96	0,6	0,038	0,85	0,9
0,7	0,038	0,97	1	0,7	0,038	0,92	0,96
0,8	0,038	1	1,1	0,8	0,038	0,98	1
0,9	0,038	1,1	1,1	0,9	0,038	1,1	1,1
1	0,038	1,2	1,2	1	0,038	1,1	1,2
1,1	0,038	1,2	1,3	1,1	0,038	1,2	1,2
1,2	0,038	1,3	1,3	1,2	0,038	1,3	1,3
1,3	0,038	1,4	1,4	1,3	0,038	1,3	1,3
1,4	0,038	1,4	1,5	1,4	0,038	1,4	1,4
1,5	0,038	1,5	1,5	1,5	0,038	1,5	1,5
1,6	0,038	1,6	1,6	1,6	0,038	1,5	1,5
1,7	0,038	1,6	1,7	1,7	0,038	1,6	1,6
1,8	0,038	1,7	1,7	1,8	0,038	1,7	1,7
1,9	0,038	1,8	1,8	1,9	0,038	1,7	1,7

Dans le cas étudié, les résultats obtenus sur la transmission thermique de la fenêtre montrent que l'utilisation de profils mixte Pin / liège permet un léger gain sur l'isolation de la fenêtre (5 à 8% pour le cas étudié). L'utilisation de carrelots mixtes bois/isolant paraît donc envisageable dans les cas de chantiers où des valeurs d'isolation thermique pour la fenêtre sont exigées et où un léger gain sur la performance thermique permet d'atteindre le niveau demandé. Des gains thermiques plus importants sont envisageables si les diverses contraintes techniques n'empêchent pas l'intégration de plus d'isolant dans le profil ou si des isolants plus performants peuvent être utilisés.

4. Conclusion

Les essais réalisés sur les profils mixtes bois/isolant étudiés et sur les fenêtres testées montrent que des performances satisfaisantes peuvent être atteintes avec des profils mixtes bois/isolant. Par ailleurs pas de problème particulier n'a été constaté en fabrication du fait de la présence d'isolant dans les carrelets usinés. **Il est donc bien possible d'envisager la fabrication de fenêtres mixtes bois/isolant.** Cependant, le type de profils mixtes bois/isolant envisageable est infini, tant sur le point des isolants envisageables que sur leur position dans le profil, de même les variantes techniques pour la fabrication de fenêtres sont multiples (types d'usinages, d'assemblages, de drainages, de calfeutrement...), cette étude ne permet donc pas de valider l'utilisation de profil mixte bois/isolant sans prévoir pour chaque conception envisagée de suivre un protocole d'essais. Pour un menuisier envisageant l'utilisation de tels profilés, une étude sur plan doit être réalisée pour que la position de l'isolant soit compatible avec la position des quincailleries, des drainages, le type d'assemblage.... Le premier essai à envisager est un essai AEVM de mise au point avant de poursuivre le protocole d'évaluation.

Le protocole d'évaluation bâti dans le cadre de cette étude a pu être réalisé comme prévu initialement, les essais proposés dans le protocole paraissent donc pertinents et réalisables pour ce type de profilés. **Cette étude peut servir de base à la réalisation d'un référentiel d'évaluation reconnu pour les fenêtres mixte bois / isolant.** Le référentiel futur pourra intégrer les évaluations réalisées dans le cadre de cette étude (voir le détail des essais dans les rapports d'essais). Les échantillonnages et notamment le nombre d'échantillons prévus pour chaque essai seront sans doute à redéfinir. Dans le cadre de l'étude le nombre d'échantillons pour chaque essai a été limité pour permettre de tester plusieurs compositions de profil tout en restant dans le budget de l'étude. Il faudra définir quel groupe pourra travailler sur ce référentiel et dans quel cadre (normalisation, certification, avis technique.....).

Certains aspects n'ont pas été traités dans le cadre de cette étude, notamment les aspects de durabilité biologique des isolants (résistance aux attaques de champignons, insectes.....), de recyclage, de composition chimique... Pour chaque isolant envisagé, il paraît donc nécessaire que des caractéristiques minimales soient à fournir pour le matériau isolant lui-même avant d'envisager son intégration dans un profil bois.

Concernant la pose des menuiseries sur le gros œuvre selon le DTU 36.5, dans le cas où le profil du dormant est un profil mixte bois/isolant, si des points de fixations avec le gros œuvre sont placés dans la partie isolante, il faudra apporter la preuve que ces points de fixation sont capables de reprendre les charges dues au vent et au poids de la menuiserie.

5. Annexes au rapport de synthèse

Rapport d'essais N° 403/11/577 Essais de flexion 4 points et Essais de fatigue sur profilés isolants de fenêtres

Rapport d'essais N° 403/11/577/1 Essais de stabilité dimensionnelle et de résistance mécanique sur joue de feuillure selon l'annexe B de la norme XP P 20-650-2 de janvier 2009

Rapport d'essais N° 403/11/577/2 Essais de résistance à la compression du fond de feuillure

Rapport d'essais N° 403/11/577/3 Essais de délamination et de cisaillement sur profilés isolants de fenêtres

Rapport d'essais N° 403/11/901 Essais sur la tenue des assemblages de type mécanique sur des vantaux de fenêtres

Rapport d'essais N° 404/12/201-1 Essais de stabilité diagonale (Profil bois / liège)

Rapport d'essais N° 404/12/201-2 Essais de stabilité diagonale (Profil bois / PU)

Rapport d'essais N° 404/12/201-3 Essais de comportement entre 2 climats (Profil bois / liège)

Rapport d'essais N° 404/12/201-4 Essais de comportement entre 2 climats (Profil bois / PU)

Rapport d'essais N° 404/12/201-5 Essais sur les risques de pourrissement suite à accumulation d'humidité par suite de la condensation ou de la diffusion de vapeur d'eau.