



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

BURGER ET CIE ZI BOIS L'ABBESSE 68660 LIEPVRE

RAPPORT DE MISSION :

N° 2019.268.1314-v3

Annule et remplace le rapport N° 2019.268.1352-v2

EVALUATION DU SYSTEME DE FIXATION INVISIBLE GRAD POUR BARDAGE ET SOUS- FACES

Lames de Bardage en bois traité thermiquement avec
rainurage spécifique en contreparement

FCBA

Pôle Industrie Bois & Construction

Equipe Ingénierie / Mathieu Gizard

☎ 05.56.43.63.14 – mathieu.gizard@fcba.fr

Siège social

10, rue Galilée
CS 81050 Champs-sur-Marne
77420 MARNE LA VALLEE CEDEX 2
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

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

Bordeaux

Allée de Boutaut – BP227
33028 Bordeaux Cedex
Tél +33 (0)5 56 43 63 00

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

10 novembre 2023

SOMMAIRE



1. Objectif de la mission et présentation du système de fixation	3
2. Description de la mission	5
2.1 Préambule	5
2.2 Essais d'arrachement du système de fixation du rail vis-à-vis du support ossature Bois.....	6
2.3 Essais d'arrachement du système lame de bardage + clips sur rails.....	7
3. Evaluation de la performance du système de fixation	9
3.1 Généralités	9
3.2 Définition du domaine d'emploi	9
3.3 Calculs des performances du système rail sur équerre	11
3.4 Calculs des performances du système lame de bardage + clips sur rails.....	16
3.5 Limitation du domaine d'emploi lié aux efforts de vent	18
4. Conclusion sur l'aptitude à l'usage du système de fixation invisible pour bardage et préconisations.....	19



1. Objectif de la mission et présentation du système de fixation

Le groupe BURGER et Cie souhaite mettre sur le marché un système de clips invisibles pour la fixation de lames de bardage en bois traitées thermiquement et en bambou, avec rainurage spécifique en contreparement.

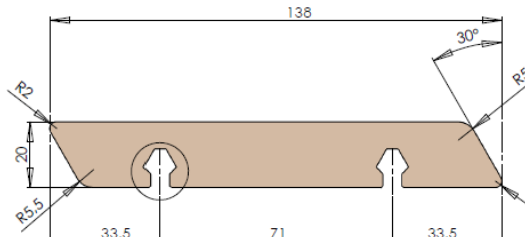
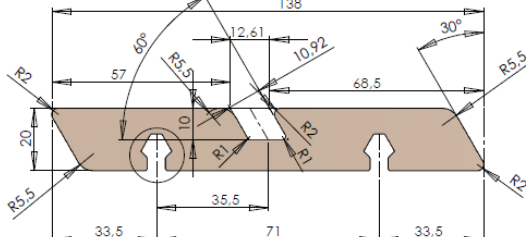
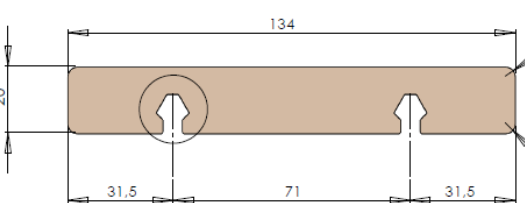
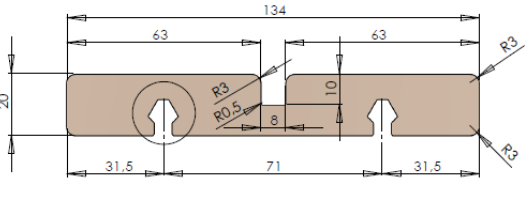
Dans le cadre du développement de ce système de fixation, différentes lames de bardages ont été sélectionnées pour leur propriété en terme de stabilité et de durabilité intrinsèque. Les profils de lames ont été conçus pour s'adapter au système de clips invisibles.

Les lames de bardages traitées thermiquement et en bambou ont les dénominations suivantes :

- **Thermo Pin** : Essence Pin Sylvestre (THERMORY® Pine est produit par traitement thermique à température maximale 215°C) ;
- **Thermo Clear Pine** : Essence Pin Radiata (THERMORY® Clear Pine est produit par traitement thermique à température maximale 220°C) ;
- **Thermo Frêne** : Essence Frêne (THERMORY® Ash est produit par traitement thermique à température maximale 215°C) ;
- **Bamboo X-Trême®** : Fibres de bambou comprimées et thermo-traitées de marque Moso®.

Les profils retenus par le groupe BURGER et Cie sont les suivants :

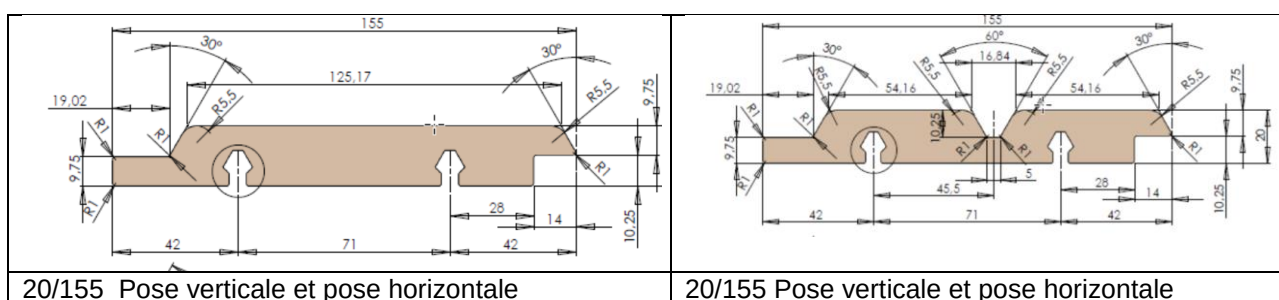
- Profils en **Thermo Pin et Thermo Clear Pine** :

	
20/138 mm bord 30° (pose horizontale)	20/138 mm bord 30° rainure inclinée (pose horizontale)
	
20/134 mm bord droit (pose verticale)	20/134 mm bord droit rainure centrale U (pose verticale)

- Profils en **Thermo Frêne** :



- Profils en **Bamboo X-Trême®** :



Ces lames de bardage ont été conçues pour s'adapter à deux supports d'assemblage, à savoir :

- Un système « Flat rail » : Rail aluminium de 12 mm d'épaisseur fixé sur le support. Le rail supporte lui-même les clips de fixation des lames de bardages. Une lame d'air d'environ 15 mm est ménagée à l'arrière du bardage ;
- Un système « Rail PR39 » : Rail aluminium de 39 mm d'épaisseur fixé sur le support par équerre déportée. Le rail supporte lui-même les clips de fixation des lames de bardages.

Ce système de fixation par clips s'écarte des standards définis dans le NF DTU 41.2 - Revêtements extérieurs en bois. Il doit donc faire l'objet d'une évaluation pour vérifier son aptitude à l'usage.

Dans le cadre de la caractérisation du système de fixation par clips, il a été convenu de réaliser les essais sur les profils estimés les plus fragiles (profils rainurés).

Ce rapport présente les résultats de caractérisation mécanique du système de fixation des lames de bardages, à savoir :

- Essais d'arrachement du rail sur les équerres d'ancrage ;
- Essais d'arrachement des lames de bardages + clips sur le rail ;
- Détermination par le calcul de la performance du système de fixation.

Ces résultats permettront de déterminer les hypothèses pour exposer les configurations les plus pénalisantes aux essais sous sollicitations hygrothermiques extrême décrits dans le DTU 41-2 partie CGM.

Le présent document constitue le rapport d'analyse et d'interprétation des essais mécaniques.

2.2 Essais d'arrachement du système de fixation du rail vis-à-vis du support ossature Bois

2.2.1 Généralités

La détermination par essai de l'ancrage du système « Flat rail » sur le support n'est pas nécessaire compte tenu du choix retenu d'utiliser des fixations traditionnelles au sens du NF DTU 41.2 (vis conforme à NF EN 14592), dont la tête n'est pas fraisée et dont la propriété $f_{ax,Rk}$ est déclarée dans la DoP (Déclaration de Performances).

Dans le cas du système « Rail PR39 », il en est de même pour les fixations de l'équerre sur la structure porteuse.

Par contre les essais ont été menés sur la jonction Rail PR39/équerre qui est réalisée au moyen d'un boulon spécifique et considérée comme non traditionnelle.

Les essais ont été menés sur des éprouvettes fixées avec 2 équerres pour obtenir un comportement symétrique et ne pas induire de flexion parasite.

Les essais ont été menés sur le profil de rail PR 39 en aluminium EN AW-6060 T66 dont les caractéristiques et le profil sont détaillées ci-dessous :

Alliages			EN AW-6060				EN AW-6063
traitement thermique			T5	T6	T64	T66	T66
Résistance de rupture	R_m min	MPa	160	190	180	215	245
Limite élastique	$R_{p0.2}$ min	MPa	120	150	120	160	200
Épaisseur de paroi		mm	≤ 5	≤ 3	≤ 15	≤ 3	≤ 10
Allongement minimum	A_{50}	%	6	6	10	6	6
Module d'élasticité	E	MPa	70000				
Coefficient de dilatation linéaire	α	$10^{-6}/K$	24				
Température de fusion	T_{SM}	$^{\circ}C$	585-655				
Coefficient de transmission thermique	λ	W/mK	160				

Les essais ont été menés sur le rail PR39 dont le profil est le suivant :

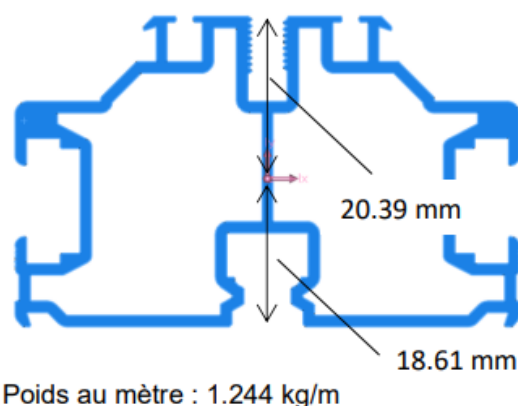
Moments d'inertie :

$$I_{xx} = 75650 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} = 178369 \text{ mm}^4$$

Modules d'inertie :

$$I_{xx}/v = 3710 \text{ mm}^3$$



2.2.2 Résistances déterminées par « calcul assisté par essais »

Le calcul est réalisé avec les hypothèses suivantes :

- Coefficient partiel sur les matériaux $\gamma_{M2} = 1,25$ selon NF EN 1999 (Eurocode 9),
- Coefficient partiel sur l'action du vent $\gamma_Q = 1,5$ selon NF EN 1990 (Eurocode 0).

Pour son application, il est également nécessaire de caractériser la résistance caractéristique de la fixation rail PR39/boulon.

Les essais ont été réalisés par le laboratoire de mécanique de FCBA. Le rapport d'essais N° 403/19/177 du 15/11/2019 est joint en annexe.

La valeur caractéristique de résistance de la fixation rail PR39/boulon a été déterminée conformément à l'annexe D de l'Eurocode 0 :

Valeurs	F
Moyenne	4563 N
Ecart-type	173,7
CV	3,8%
F_{ax,Rk}	4229 N

L'application des règles de calcul conduit à la résistance de calcul suivante :

$$F_{ax,Rd} = 3383 \text{ N}$$

Attention, ces résultats sont valables pour les rails testés (profil et matériau) indiqués au §2.2.1 uniquement.

2.3 Essais d'arrachement du système lame de bardage + clips sur rails

2.3.1 Généralités

Le comportement à l'arrachement du système complet « lame + clip » sur rail est caractérisé par essai.

Le nœud de croisement testé comporte une lame de bardage, un rail et 2 clips de fixation.

Les profils de fixation des clips sur les rails sont identiques entre le « Flat rail » et le « rail PR39 ».

Les essais ont été menés uniquement sur le rail PR39.

Chaque type de lame retenue et présenté en préambule a été testé (Thermo Pin, Thermo Clear Pine, Thermo Frêne et Bambou X-trème).

2.3.2 Résistances déterminées par « calcul assisté par essais »

Le calcul est réalisé avec les hypothèses suivantes :

- Classe de service 3 et durée de chargement instantané, soit coefficient $k_{mod} = 0,9$,
- Coefficient partiel sur les matériaux $\gamma_M = 1,3$,
- Coefficient partiel sur l'action du vent $\gamma_Q = 1,5$ selon NF EN 1990 (Eurocode 0).

Pour son application, il est également nécessaire de caractériser la résistance caractéristique de la fixation complète du système rail PR39/clips/lame de bardage.

Les essais ont été réalisés par le laboratoire de mécanique de FCBA. Le rapport d'essais N° 403/19/177 du 15/11/2019 est joint en annexe.

La valeur caractéristique de résistance de la fixation rail PR39/clips/lame de bardage a été déterminée conformément à la norme NF EN 14358 pour chaque type de lame :

- **Thermo Pin :**

Valeurs	F
Moyenne	1854 N
Ecart-type	135,3
CV	7,3%
F_{ax,Rk}	1589 N

L'application des règles de calcul conduit à la résistance de calcul suivante :

$$F_{ax,Rd} = 1100 \text{ N}$$

- **Thermo Clear Pine :**

Valeurs	F
Moyenne	2063 N
Ecart-type	200,4
CV	9,7%
F_{ax,Rk}	1689 N

L'application des règles de calcul conduit à la résistance de calcul suivante :

$$F_{ax,Rd} = 1169 \text{ N}$$

- **Thermo Frêne :**

Valeurs	F
Moyenne	1210 N
Ecart-type	59,5
CV	4,9%
F_{ax,Rk}	1089 N

L'application des règles de calcul conduit à la résistance de calcul suivante :

$$F_{ax,Rd} = 754 \text{ N}$$

- **Bamboo X-Trême :**

Valeurs	F
Moyenne	2437 N
Ecart-type	104,9
CV	4,3%
$F_{ax,Rk}$	2225 N

L'application des règles de calcul conduit à la résistance de calcul suivante :

$$F_{ax,Rd} = 1540 \text{ N}$$

3. Evaluation de la performance du système de fixation

3.1 Généralités

Une approche par calcul est réalisée pour déterminer les performances du système étudié au regard de la résistance au vent. L'approche effectuée a pour objectif de fournir le domaine d'emploi conformément aux règles de calcul Eurocodes avec les hypothèses de dimensionnement retenues dans NF DTU 41.2.

A noter que cette démarche ne concerne pas les performances du système vis-à-vis des efforts sismiques.

3.2 Définition du domaine d'emploi

3.2.1 Hypothèses

Le domaine d'emploi de l'approche effectuée est celui défini dans NF DTU 41.2 :

- Pressions maximales sur l'enveloppe du bâtiment (généralement dépression dans les angles de l'ouvrage) calculées avec les coefficients de pression suivants :
 - $C_{pe} = -1,4$
 - $C_{pi} = 0$
- Ouvrages de hauteur limitée à 10 m et 28 m,
- Toutes les zones de vent en France métropolitaine et DOM,
- Toutes les catégories de rugosité de site (ex-site protégé, normal et exposé),
- Type de terrain plat (pente moyenne $\leq 5\%$, coefficient d'orographie $C_o = 1$).

3.2.2 Efforts de dépression dus au vent

Les dépressions de vent résultantes pour le domaine d'emploi rappelé ci-dessus sont données dans les tableaux de l'annexe C de NF DTU 41.2, rappelés ci-dessous.

En complément, le cas du terrain à orographie marquée maximale est également traité (Coefficient d'orographie $C_o = 1,15$ conformément à l'EN 1991-1-4).

Les valeurs de dépressions sont données en kN/m^2 .

Terrain plat ($C_o=1$), $H = 10 \text{ m}$					
	rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	1,20	1,01	0,75	0,58	0,54
2	1,43	1,21	0,90	0,70	0,64
3	1,67	1,41	1,05	0,82	0,75
4	1,94	1,64	1,22	0,95	0,87
Guadeloupe	3,21	2,71	2,02	1,57	1,44
Guyane	0,72	0,60	0,45	0,35	0,32
Martinique	2,53	2,14	1,60	1,24	1,14
Réunion	2,86	2,42	1,80	1,40	1,28
Mayotte	2,24	1,81	1,42	1,09	1,00

Tableau 1 : efforts de dépression à 10 m de hauteur (kN/m^2) - terrain plat

Terrain plat ($C_o=1$), $H = 28 \text{ m}$					
	rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	1,49	1,28	1,07	0,90	0,73
2	1,77	1,53	1,28	1,07	0,86
3	2,08	1,79	1,50	1,25	1,01
4	2,41	2,08	1,74	1,45	1,18
Guadeloupe	3,99	3,43	2,88	2,40	1,94
Guyane	0,89	0,77	0,64	0,54	0,43
Martinique	3,15	2,71	2,27	1,90	1,54
Réunion	3,56	3,06	2,57	2,14	1,73
Mayotte	2,72	2,34	1,96	1,62	1,31

Tableau 2 : efforts de dépression à 28 m de hauteur (kN/m^2) - terrain plat

Orographie maxi ($C_o=1,15$), $H = 10 \text{ m}$					
	rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	1,59	1,34	0,99	0,77	0,71
2	1,89	1,60	1,19	0,93	0,85
3	2,21	1,86	1,39	1,08	0,99
4	2,57	2,17	1,61	1,26	1,15
Guadeloupe	4,25	3,58	2,67	2,08	1,90
Guyane	0,95	0,79	0,60	0,46	0,42
Martinique	3,35	2,83	2,12	1,64	1,51
Réunion	3,78	3,20	2,38	1,85	1,69
Mayotte	2,96	2,39	1,88	1,44	1,32

Tableau 3 : efforts de dépression à 10 m de hauteur (kN/m^2) - orographie maxi

Orographie maxi (Co=1,15), H = 28 m					
Zone	rugosité				
	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	1,97	1,69	1,42	1,19	0,97
2	2,34	2,02	1,69	1,42	1,14
3	2,75	2,37	1,98	1,65	1,34
4	3,19	2,75	2,30	1,92	1,56
Guadeloupe	5,28	4,54	3,81	3,17	2,57
Guyane	1,18	1,02	0,85	0,71	0,57
Martinique	4,17	3,58	3,00	2,51	2,04
Réunion	4,71	4,05	3,40	2,83	2,29
Mayotte	3,60	3,09	2,59	2,14	1,73

Tableau 4 : efforts de dépression à 28 m de hauteur (kN/m²) - orographie maxi

3.2.3 Sollicitation liée au poids de la lame de bardage

Dans le cas d'emploi en sous-face de bardage, il convient de prendre en compte le poids propre de la lame de bardage. Nous prendrons comme hypothèse de calcul la lame de bardage ayant la densité la plus forte c'est-à-dire celle en Bamboo X-Trème®, soit 1150 kg/m³.

Pour une lame de bardage de 20 mm d'épaisseur, la surface de 1m² de bardage en Bamboo X-Trème® a pour poids propre 23kg. Les lames ayant une masse surface inférieure ou égale à 23kg/m² sont couvertes par le présent document.

Ainsi, il convient pour une utilisation en sous-face de bardage d'ajouter aux pressions dues aux vents une contrainte supplémentaire de pression de 0,23 kN/m² du au poids propre de la lame.

3.3 Calculs des performances du système rail sur équerre

Le calcul des performances (résistance) du système de la jonction Rail PR39/équerre décrit par le groupe BURGER et Cie est réalisé en considérant les hypothèses suivantes :

- Entraxe des rails supports : 650 mm (entraxe maxi conformément à NF DTU 41.2),
- Entraxe des équerres de fixations : entraxe maxi définit pour chaque zone,
- Coefficient partiel sur les matériaux : $\gamma_{M2} = 1,25$,
- Coefficient partiel sur l'action du vent : $\gamma_Q = 1,5$ selon NF EN 1990 (Eurocode 0).

Ces hypothèses permettent le calcul des entraxes maximum des équerres de fixation, sur la base de la valeur de résistance de la fixation rail PR39/boulon définit par essai.

Les tableaux suivants illustrent les entraxes des équerres en considérant un **entraxe de supports de 650 mm**.

Entraxe support 650 mm pour une hauteur maximale de 10 m :

Hauteur Bâtiment 10 m											
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m					
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)					
	rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	2,89	3,44	4,63	5,98	6,43	1	2,19	2,60	3,50	4,52	4,86
2	2,43	2,87	3,86	4,96	5,42	2	1,83	2,17	2,92	3,75	4,10
3	2,08	2,46	3,30	4,23	4,63	3	1,57	1,86	2,50	3,20	3,50
4	1,79	2,12	2,84	3,65	3,99	4	1,35	1,60	2,15	2,76	3,02
GUA	1,08	1,28	1,72	2,21	2,41	GUA	0,82	0,97	1,30	1,67	1,82
GUY	4,82	5,78	7,71	9,91	10,84	GUY	3,64	4,37	5,83	7,50	8,20
MART	1,37	1,62	2,17	2,80	3,04	MART	1,04	1,23	1,64	2,12	2,30
REUNION	1,21	1,43	1,93	2,48	2,71	REUNION	0,92	1,08	1,46	1,87	2,05
MAY	1,55	1,92	2,44	3,18	3,47	MAY	1,17	1,45	1,85	2,41	2,62

Tableau 5 : Entraxe max des équerres suivant essais - entraxe 650 mm - H = 10 m - terrain plat pour une mise en œuvre en façade uniquement

Hauteur Bâtiment 10 m											
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m					
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)					
rugosité						rugosité					
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1	2,56	2,98	3,84	4,73	5,00	1	1,99	2,33	3,03	3,77	4,00
2	2,19	2,55	3,29	4,07	4,37	2	1,70	1,98	2,58	3,22	3,47
3	1,90	2,22	2,88	3,56	3,84	3	1,47	1,72	2,25	2,80	3,03
4	1,66	1,93	2,53	3,14	3,39	4	1,28	1,49	1,96	2,46	2,66
GUA	1,03	1,21	1,60	2,01	2,18	GUA	0,79	0,93	1,23	1,56	1,69
GUY	3,97	4,61	5,75	6,89	7,33	GUY	3,14	3,66	4,64	5,63	6,02
MART	1,29	1,51	1,98	2,49	2,68	MART	0,99	1,16	1,53	1,93	2,09
REUNION	1,15	1,35	1,78	2,23	2,42	REUNION	0,88	1,03	1,37	1,73	1,88
MAY	1,45	1,77	2,21	2,79	3,01	MAY	1,11	1,36	1,71	2,18	2,35

Tableau 5 bis : Entraxe max des équerres suivant essais - entraxe 650 mm - H = 10 m - terrain plat pour une mise en œuvre en façade et en sous-face

Entraxe support 650 mm pour une hauteur maximale de 28 m :

Hauteur Bâtiment 28 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	2,33	2,71	3,24	3,86	4,75	1	1,76	2,05	2,45	2,92
2	1,96	2,27	2,71	3,24	4,03	2	1,48	1,71	2,05	2,45
3	1,67	1,94	2,31	2,78	3,44	3	1,26	1,47	1,75	2,10
4	1,44	1,67	1,99	2,39	2,94	4	1,09	1,26	1,51	1,81
GUA	0,87	1,01	1,20	1,45	1,79	GUA	0,66	0,76	0,91	1,09
GUY	3,90	4,51	5,42	6,43	8,07	GUY	2,95	3,41	4,10	4,86
MART	1,10	1,28	1,53	1,83	2,25	MART	0,83	0,97	1,16	1,38
REUNION	0,97	1,13	1,35	1,62	2,01	REUNION	0,74	0,86	1,02	1,23
MAY	1,28	1,48	1,77	2,14	2,65	MAY	0,96	1,12	1,34	1,62

Tableau 6 : Entraxe max des équerres suivant essais - entraxe 650 mm - H = 28 m - orographie max pour une mise en œuvre en façade uniquement

Hauteur Bâtiment 28 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	2,11	2,42	2,84	3,29	3,93	1	1,63	1,88	2,21	2,58
2	1,80	2,06	2,42	2,84	3,42	2	1,39	1,59	1,88	2,21
3	1,55	1,79	2,10	2,47	2,98	3	1,19	1,38	1,62	1,92
4	1,35	1,55	1,83	2,16	2,60	4	1,04	1,19	1,41	1,68
GUA	0,84	0,97	1,14	1,36	1,66	GUA	0,64	0,74	0,88	1,04
GUY	3,33	3,76	4,37	5,00	5,95	GUY	2,61	2,96	3,47	4,00
MART	1,05	1,21	1,43	1,69	2,05	MART	0,80	0,93	1,10	1,30
REUNION	0,93	1,08	1,27	1,51	1,84	REUNION	0,71	0,83	0,98	1,16
MAY	1,21	1,39	1,64	1,96	2,37	MAY	0,93	1,07	1,26	1,51

Tableau 6 bis: Entraxe max des équerres suivant essais - entraxe 650 mm - H = 28 m - orographie max pour une mise en œuvre en façade et en sous-face

La norme NF DTU 41.2, définit un minimum de 3 équerres de fixations disposées en quinconces pour les chevrons supports de bardage et limite à 1,35 m maximum l'entraxe entre éléments de fixations.

En appliquant cette restriction de 1,35 m, les tableaux suivants sont à prendre en compte pour déterminer le nombre d'équerres :

Entraxe 650 mm et limitation à 1,35 m entre équerre pour une hauteur maximale de 10 m :

Hauteur Bâtiment 10 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1,35	1,35	1,35	1,35
2	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	2	1,35	1,35	1,35	1,35
3	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	3	1,35	1,35	1,35	1,35
4	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	4	1,35	1,35	1,35	1,35
GUA	1,08	1,28	1,35	1,35	1,35	GUA	0,82	0,97	1,30	1,35
GUY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	GUY	1,35	1,35	1,35	1,35
MART	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	MART	1,04	1,23	1,35	1,35
REUNION	1,21	1,35	1,35	1,35	1,35	REUNION	0,92	1,08	1,35	1,35
MAY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	MAY	1,17	1,35	1,35	1,35

Tableau 7 : Entraxe max avec restriction 1,35 m - entraxe support 650 mm - H = 10 m - terrain plat pour une mise en œuvre en façade uniquement

Hauteur Bâtiment 10 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1,35	1,35	1,35	1,35
2	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	2	1,35	1,35	1,35	1,35
3	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	3	1,35	1,35	1,35	1,35
4	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	4	1,28	1,35	1,35	1,35
GUA	1,03	1,21	1,35	1,35	1,35	GUA	0,79	0,93	1,23	1,35
GUY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	GUY	1,35	1,35	1,35	1,35
MART	1,29	1,35	1,35	1,35	1,35	MART	0,99	1,16	1,35	1,35
REUNION	1,15	1,35	1,35	1,35	1,35	REUNION	0,88	1,03	1,35	1,35
MAY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	MAY	1,11	1,35	1,35	1,35

Tableau 7 bis: Entraxe max avec restriction 1,35 m - entraxe support 650 mm - H = 10 m - terrain plat pour une mise en œuvre en façade et en sous-face

Entraxe 650 mm et limitation à 1,35 m entre équerre pour une hauteur maximale de 28 m :

Hauteur Bâtiment 28 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1,35	1,35	1,35	1,35
2	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	2	1,35	1,35	1,35	1,35
3	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	3	1,26	1,35	1,35	1,35
4	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	4	1,09	1,26	1,35	1,35
GUA	0,87	1,01	1,20	1,35	1,35	GUA	0,66	0,76	0,91	1,09
GUY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	GUY	1,35	1,35	1,35	1,35
MART	1,10	1,28	1,35	1,35	1,35	MART	0,83	0,97	1,16	1,35
REUNION	0,97	1,13	1,35	1,35	1,35	REUNION	0,74	0,86	1,02	1,23
MAY	1,28	1,35	1,35	1,35	1,35	MAY	0,96	1,12	1,34	1,35

Tableau 8 : Entraxe max avec restriction 1,35 m - entraxe support 650 mm - H = 28 m - orographie max pour une mise en œuvre en façade uniquement

Hauteur Bâtiment 28 m										
Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m						Entraxe max de calcul (pondéré ELU-STR) en m				
Terrain plat (Co=1)						Toute Orographie (Co=1,15)				
rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1	1,35	1,35	1,35	1,35
2	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	2	1,35	1,35	1,35	1,35
3	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	3	1,19	1,35	1,35	1,35
4	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	4	1,04	1,19	1,35	1,35
GUA	0,84	0,97	1,14	1,35	1,35	GUA	0,64	0,74	0,88	1,04
GUY	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	GUY	1,35	1,35	1,35	1,35
MART	1,05	1,21	1,35	1,35	1,35	MART	0,80	0,93	1,10	1,30
REUNION	0,93	1,08	1,27	1,35	1,35	REUNION	0,71	0,83	0,98	1,16
MAY	1,21	1,35	1,35	1,35	1,35	MAY	0,93	1,07	1,26	1,35

Tableau 8 bis: Entraxe max avec restriction 1,35 m - entraxe support 650 mm - H = 28 m - orographie max pour une mise en œuvre en façade et en sous-face

Les calculs ont été obtenus avec la résistance de calcul de la fixation rail PR39/boulon défini par essais, à savoir :

$$F_{ax,Rd} = 3383 \text{ N}$$

Dans le cas de l'utilisation d'une équerre du commerce conforme à ce type de mise en œuvre, une valeur de résistance est déclarée par le fabricant.

- Le calcul pour définir l'entraxe maximum des fixations du commerce est le suivant :

$$E_{\max,com} = E_{\max} \times F_1 / F_{ax,Rd}$$

Avec

$E_{\max,com}$: entraxe maximum de la fixation du commerce

$E_{\max}$: entraxe maximum suivant essais défini dans les tableaux 5, 5bis, 6 et 6bis

F_1 : résistance à l'arrachement déclarée par le fabricant

$F_{ax,Rd}$: Résistance de calcul de la fixation rail PR39/boulon obtenu par essais = **3383 N**

Nota : La restriction de 1.35 m maximum est également à appliquer suite à ce calcul.

- Dans le cas d'un entraxe entre support différent des 650 mm pris en hypothèse, le calcul à réaliser est le suivant :

$$E_{\max,com} = E_{\max} \times F_1 \times 0,65 / (F_{ax,Rd} \times E_{support})$$

Avec

$E_{\max,com}$: entraxe maximum de la fixation du commerce

$E_{\max}$: entraxe maximum suivant essais défini dans les tableaux 5, 5bis, 6 et 6bis

$E_{support}$: entraxe des chevrons supports

F_1 : résistance à l'arrachement déclarée par le fabricant

$F_{ax,Rd}$: Résistance de calcul de la fixation rail PR39/boulon obtenu par essais = **3383 N**

Nota : Le groupe BURGER et Cie doit s'assurer que les rails PR39 sont compatibles avec des points de fixations espacés de 1,35 m.

3.4 Calculs des performances du système lame de bardage + clips sur rails

Le calcul des performances (résistance) du système lame de bardage + clips sur les rails décrit par le groupe BURGER et Cie est réalisé en considérant les hypothèses suivantes :

- Entraxe des supports : 650 mm (entraxe maxi conformément à NF DTU 41.2),
- Entraxe des lames : 142 mm et 56 mm,
- Classe de service 3 et durée de chargement instantanée, soit $k_{mod} = 0,9$,
- Coefficient partiel sur les matériaux $\gamma_M = 1,3$,
- Coefficient partiel sur l'action du vent $\gamma_Q = 1,5$ selon NF EN 1990 (Eurocode 0).

Ces hypothèses permettent le calcul des performances de l'assemblage telles que l'arrachement des clips sur le rail ou de la lame de bardage sur les clips. Ces performances (résistances) sont alors comparées aux pressions mentionnées dans les tableaux précédents (§ 3.2.2) pour définir la compatibilité éventuelle avec le domaine d'emploi.

En retenant les valeurs calculées selon les règles Eurocodes avec la résistance déterminée par essais, les domaines d'emploi possibles sont :

Code couleur

	OUI
	NON

La zone de vent et la catégorie de rugosité de terrain sont définies conformément à la NF EN 1991-1-4 et son annexe nationale.

Les tableaux suivants illustrent les résultats en considérant un **entraxe de supports de 650 mm pour les différents types de lames de bardage** (Thermo Pin, Thermo Clear Pine, Thermo Frêne et Bambou X-trême).

Hauteur Bâtiment : 10 m										
Terrain plat (Co = 1,0)						Orographie maxi (Co = 1,15)				
	rugosité						rugosité			
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1						1				
2						2				
3						3				
4						4				
GUA						GUA				
GUY						GUY				
MART						MART				
REUNION						REUNION				
MAY						MAY				
Hauteur Bâtiment : 28 m										
Terrain plat (Co = 1,0)						Orographie maxi (Co = 1,15)				
	rugosité						rugosité			
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb
1						1				
2						2				
3						3				
4						4				
GUA						GUA				
GUY						GUY				
MART						MART				
REUNION						REUNION				
MAY						MAY				

Pour une mise en œuvre en façade uniquement

Hauteur Bâtiment : 10 m											
Terrain plat (Co = 1,0)						Orographie maxi (Co = 1,15)					
	rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
GUA						GUA					
GUY						GUY					
MART						MART					
REUNION						REUNION					
MAY						MAY					

Hauteur Bâtiment : 28 m											
Terrain plat (Co = 1,0)						Orographie maxi (Co = 1,15)					
	rugosité						rugosité				
Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV	Zone	0	II	IIIa	IIIb	IV
1						1					
2						2					
3						3					
4						4					
GUA						GUA					
GUY						GUY					
MART						MART					
REUNION						REUNION					
MAY						MAY					

Pour une mise en œuvre en façade et en sous-face

3.5 Limitation du domaine d'emploi lié aux efforts de vent

Le domaine d'emploi des lames de bardages (Thermo Pin, Thermo Clear Pine, Thermo Frêne et Bambou X-trème) ne présente pas de limite vis-à-vis de la résistance à l'arrachement suivant les tableaux ci-dessus en ce qui concerne une utilisation en bardage et en sous-faces.

Les performances du système de lame de bardage + clips, ne présentent pas de limitations.

Le facteur limitant est donc reporté sur les fixations utilisées pour fixer les rails support de bardage sur l'ossature.

Dans le cas des configurations avec « Flat rail », l'ancrage sera déterminé en fonction du type de fixations traditionnelles retenues au sens du NF DTU 41.2 (vis conforme à NF EN 14592), dont la tête n'est pas fraisée et dont la propriété $f_{ax,Rk}$ est déclarée dans la DoP (Déclaration de Performances).

Dans le cas des configurations avec « Rail PR39 », l'ancrage sera déterminé en fonction du type d'équerres et de fixations traditionnelles retenues au sens du NF DTU 41.2 (vis conforme à NF EN 14592), dont la tête n'est pas fraisée et dont la propriété $f_{ax,Rk}$ est déclarée dans la DoP (Déclaration de Performances).

4. Conclusion sur l'aptitude à l'usage du système de fixation invisible pour bardage et préconisations

Les lames de bardage retenues par le groupe BURGER et Cie (Thermo Pin, Thermo Clear Pine, Thermo Frêne et Bambou X-trême) et le système de fixation par clips invisibles, présentent des performances mécaniques compatibles avec une utilisation en bardage et sous faces ventilé.

Il est toutefois rappelé que les conditions de réalisation du traitement à haute température influent de façon notable sur les caractéristiques des lames. Il appartient au demandeur de s'assurer de la maîtrise du process de traitement dans le temps.

Il en va de même pour la production des lames de bambou.

A noter également que la qualité du rainurage et la correspondance avec le système de fixation par clips sont des critères importants pour garantir les résultats dans le temps.

De plus, l'entraxe des fixations des « Flat rail » sera déterminé selon les règles Eurocodes et l'entraxe des équerres de fixation des « Rails PR39 » sera déterminé sur la base des résultats obtenus et selon les règles Eurocodes.

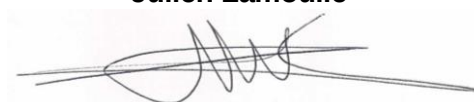
Pour FCBA

Mathieu Gizard



**Ingénieur Construction
Panneaux et Revêtements**

Julien Lamoulie



**Responsable de Secteur
Structures / Ossatures / Bardages**

ANNEXE

RAPPORT D'ESSAIS N°403/19/177

