

EVALUATION TECHNIQUE DE PRODUITS ET MATERIAUX N° ETPM-22/0089 du 14 septembre 2023

Béton de bois TimberRoc F800



Titulaire : CCB Greentech
515 route de Marcollin
38270 Beaurepaire

Usine : CCB Greentech
515 route de Marcollin
38270 Beaurepaire

Cette Evaluation Technique comporte 40 pages. Sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral sauf accord particulier du CSTB.

AVERTISSEMENT

Cette Evaluation Technique de Produits et Matériaux, du fait qu'elle ne vise qu'à déterminer des caractéristiques intrinsèques d'un produit ou d'un matériau, n'a pas de valeur d'Avis Technique au sens de l'arrêté modifié du 21 mars 2012. Elle ne dispense pas de vérifier l'aptitude du produit ou matériau à être incorporé dans un ouvrage déterminé, par consultation de documents de références de l'application considérée (NF-DTU, CPT, Avis Technique, ...).

EVALUATION TECHNIQUE

Béton de bois TimberRoc F800

DEFINITION SUCCINCTE

Le béton de bois TimberRoc F800 est fabriqué à partir d'un granulats de bois additivé.

Le béton de bois mis au point par la société CCB Greentech appartient à la famille des bétons légers à matrice cimentaire et charges végétales de forme granulaire à destination de produits préfabriqués.

Le granulats de bois est obtenu à partir de billons de bois bruts résineux ou de chutes de scieries, provenant de France, écorcés et broyés. Le granulats de bois reçoit ensuite un traitement de minéralisation. Il est fabriqué par le groupe CCB Greentech. Ce granulats est commercialisé sous le nom de « granulats TimberRoc » auprès des usines de préfabrication partenaires ayant contractualisées la licence technologique TimberRoc.

Les usines de préfabrication ont ensuite la charge de la réalisation du béton de bois, en respectant le cahier des charges communiqué dans un document spécifique transmis au licencié par la société CCB Greentech. L'eau et le ciment sont ajoutés au granulats de bois dans un malaxeur pour fabriquer un béton de granulats bois TimberRoc et sa mise en œuvre suit un process et un plan d'assurance qualité établis.

A partir de la technologie TimberRoc, des bétons de bois avec des caractéristiques spécifiques sont possibles.

Seul le béton de bois TimberRoc F800 est évaluée dans le cadre de cette première version d'ETPM.

Formulation béton de granulats bois Timberoc	Résistance en compression moyenne σ	Conductivité thermique déclarée λ	Densité ρ_{moyen}	Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau μ	Coefficient de dilatation thermique α	Chaleur de combustion mobilisable CCM
F800	> 4 MPa	0,16 W/m.K	800 kg/m ³ (Stabilisé en utilisation)	10 (coupelle humide)	18.10 ⁻⁶ (K-1)	0,108MJ/kg (en épaisseur 24 cm)

Tableau 1 : Caractéristiques principales béton de bois TimberRoc F800

Les démarches d'essais qualités s'appuient sur le référentiel de la norme NF EN 14474, même si le béton à base de granulats de bois TimberRoc n'est pas couvert par la norme NF EN 14474¹, du fait que les granulats sont exclusivement des granulats de bois.

En effet, la norme NF EN 14474 §3.1 précise qu'un béton de bois doit posséder une structure ouverte dont 50% à 90% de granulats (en terme de volume) sont des copeaux de bois (des particules de dimension > 0,5 mm). Le béton de bois TimberRoc possède une « structure ouverte » (porosité interconnectée) dont 100% des granulats sont des copeaux de bois.

Les applications envisagées (avec une préfabrication en usine) avec le béton de bois TimberRoc F800 sont les suivantes (non exhaustif) :

Béton de bois	Applications
F800	Murs porteurs
	Murs de façade non porteurs
	Murs remplissage
	Murs de remplissage structurel (contreventant)
	Murs à ossature bois rapporté
	Murs sandwichs
	Eléments de modules 3D
	Prédalles pour planchers nervurés béton
	Entrevous dalle

Tableau 2 : Applications principales béton de bois TimberRoc F800

¹ NF EN 14474 (mai 2005) : Produits préfabriqués en béton - Béton utilisant des copeaux de bois comme granulats - Exigences et méthodes d'essai

Il n'est pas visé un emploi en tant que béton de bois armé avec armatures acier.

Cette Évaluation Technique de Produits et Matériaux ne visant qu'à déterminer des caractéristiques intrinsèques d'un produit ou d'un matériau, les applications visées devront faire l'objet d'une évaluation technique formulée favorablement pour le domaine d'emploi envisagé.

EVALUATION TECHNIQUE

Les propriétés du béton de bois TimberRoc F800 fabriqué à base de granulats de bois TimberRoc présentées ci-après résultent principalement de l'analyse des résultats d'essais réalisés sur les granulats entrants dans la composition du béton de bois TimberRoc F800 ainsi que d'essais sur des corps d'épreuve de béton de bois TimberRoc F800, présentés au paragraphe 5 du Dossier Technique.

Caractéristiques du granulat de bois TimberRoc

Le granulat de bois additivé est fabriqué uniquement par la société CCB Greentech qui dispose actuellement d'une unique usine de production située sur le site de Beaurepaire (38270).

Les propriétés physiques (teneur en eau, granulométrie et densité apparente) du granulat de bois TimberRoc sont définies et vérifiées conformément au Plan d'Assurance qualité production de granulat (LT0 – PAQ) du demandeur. Le Contrôle de Production de l'usine fait l'objet d'un suivi par un organisme indépendant.

Caractéristiques du béton à base de granulat de bois TimberRoc

Les caractéristiques du béton à base de granulat de bois TimberRoc sont présentées dans les paragraphes ci-dessous.

1) Résistances mécaniques

Résistance en compression

La résistance en compression est mesurée selon la norme NF EN 12390-3, sur des éprouvettes de dimensions minimales 15x15x15cm, prélevées sur des panneaux conformément à la méthodologie établie dans le plan d'assurance qualité.

Les caractérisations ont été effectuées en interne et par des laboratoires externes.

Les traitements des résultats des essais montrent que le béton de bois TimberRoc F800 présente :

- une **résistance en compression moyenne supérieure à 4.0 MPa.**
- une **résistance caractéristique** correspondante calculée à **3,00 MPa.**

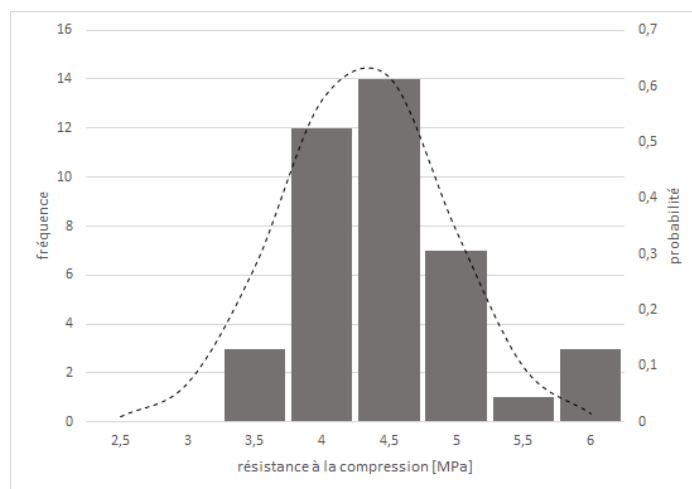


Figure 1 : Dispersion de la résistance en compression

Le béton de bois TimberRoc F800 présente une résistance moyenne en compression supérieure à 4.0 MPa. Cela permet, en fonction des besoins des projets, d'assurer le bon dimensionnement de portance des ouvrages (cf. §2.202 du cahier CSTB 2703²)

Résistance à la flexion

La résistance à la flexion a été caractérisée par le CSTB sur des panneaux entiers, en s'inspirant de la norme NF EN 1052-2 (flexion 4 points).

Le détail des résultats est présenté au §5.2.1 du Dossier Technique.

Le traitement des résultats des essais montre que le béton de bois TimberRoc F800 présente :

- une **résistance moyenne à la flexion minimale retenue de 2.1 MPa.**
- une **résistance caractéristique** correspondante calculée à **1,39 MPa.**

Le ratio entre résistance en compression et résistance en traction par flexion pour le béton de bois TimberRoc F800 est de l'ordre de 2 (contre 10 pour un béton traditionnel).

Module d'élasticité

De ces campagnes d'essais réalisés au CSTB, les modules de Young expérimentaux suivant ont été calculés (moyenne sur les valeurs déterminées par essais) :

Module d'élasticité	$E = 1850 \text{ MPa}$
(coefficient de variation inférieur à 12%)	

Le module d'élasticité a été mesuré du même ordre de grandeur, que celui-ci soit établi par des essais de compression ou par des essais de flexion.

Les résultats des essais de résistance mécanique sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.1 et §5.2.2

2) Fluage en compression

Le fluage en compression a été déterminé sur des éprouvettes de béton de bois de dimensions 16 cm x 16 cm x 25 cm. Le béton de bois TimberRoc caractérisée a été formulé avec un ciment de type CEM II 42.5.

Le béton de bois TimberRoc F800 présente, pour un chargement de 0.8 MPa (avec un taux de chargement de 23% par rapport à sa résistance en compression), une **déformation de fluage projeté à 10 ans de l'ordre de 2,3%**, pour une déformation instantanée de 0,7648 mm/m soit un **coefficient de fluage de 1.9.**

² Cahier CSTB 2703 (1994) Etude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois

Le coefficient de fluage du béton de bois TimberRoc F800 peut être considéré similaire à celui d'un béton de granulats légers (cf. NF EN 1996-1-1+A1/CN §5.8.4).

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.3.

3) Capacité à recevoir des fixations mécaniques

Des essais de résistance pleine masse à l'arrachement, de divers types et diamètres de fixations (tirefonds, vis à bois, vis à béton), ont été réalisés par le LMC² et la société SFS sur des éléments entiers de panneaux de béton de bois TimberRoc F800.

La résistance caractéristique (fractile 5%, niveau de confiance 75%) de chaque configuration testée est indiquée sur les tableaux 14 à 18 du dossier technique.

Cette étude sur différentes familles de fixations mécaniques permet de définir la capacité de recevoir des fixations mécaniques sur béton à base de granulat de bois TimberRoc F800.

En complément, des essais pour mesurer l'impact de la distance limite de bord ont été menés en interne. Ils montrent qu'à moins de 3 cm du bord, la performance de l'ancrage (tirefonds) est dégradée. La pratique d'un repérage permet de limiter cet impact de la distance du bord.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.4.

4) Capacité de cisaillement du béton de bois interne / mortier / béton traditionnel

Des essais de cisaillement (statiques et cycliques), selon la norme NF EN 1052-3, ont été réalisés sur plusieurs configurations avec le béton de bois TimberRoc F800 (collage avec mortier-colle, reprise de bétonnage avec un béton traditionnel).

Pour un assemblage de blocs en béton de bois F800 TimberRoc avec un mortier colle (Type PCI), la résistance au cisaillement (statique ou cyclique) au niveau des jonctions est d'environ 50% de la résistance au cisaillement de sa cohésion interne.

Pour un assemblage de blocs en béton de bois F800 TimberRoc avec un béton coulé traditionnellement, la résistance au cisaillement au niveau des jonctions est d'environ 75% (en statique) et 50% (en dynamique) de la résistance au cisaillement de sa cohésion interne.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.5.

5) Capacité à recevoir des ancrages de levage

Trois modèles de boucles de levage, en acier doux, Re 235, conforme à la norme NF A35-015 et de diamètre 12 mm ont été testés, selon le protocole d'essai pour les éléments de levage incorporés dans les MCI/MCII/panneau sandwich (protocole de la CCFAT, en vigueur en octobre 2021), pour vérifier la capacité maximale pour un levage en position verticale des éléments en béton à base de granulat de bois TimberRoc F800.

Cette étude permet de définir la charge maximale sur béton à base de granulat de bois TimberRoc, par type de boucle de levage en position verticale et de spécifier les conditions d'enrobage.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.6.

7) Stabilité dimensionnelle

Les variations dimensionnelles (gonflement dans l'eau et retrait de séchage) ont été déterminées par le LMC² conformément à la norme NF EN 772-14 sur des éprouvettes de béton de dimensions 25 cm x 20 cm x 50 cm (e x l x L), et conduisent aux résultats du tableau ci-dessous.

La dilatation thermique du béton de bois selon des protocoles internes FCBA basés sur la norme ISO 11359-23 sur des éprouvettes de béton de dimensions 10 cm x 20 cm x 50 cm (e x l x L), et conduisent aux résultats du tableau ci-dessous.

	Béton de bois TimberRoc F800
Gonflement (immersion en eau 20°C pendant 96 heures)	234 µm/m
Retrait de séchage (séchage à 33°C pendant 21 jours)	628 µm/m
Variations entre états conventionnels extrêmes	862 µm/m
Coefficient de dilatation thermique (entre +60°C et -20°C)	Sens de la longueur : $19,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ Sens de la largeur : $15,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$

Tableau 3 : Stabilité dimensionnelle du béton de bois TimberRoc F800

La dilatation hygrothermique du béton de bois a été mesurée selon des protocoles internes FCBA basés sur La norme NF EN 13171 sur des éprouvettes de béton de dimensions 10 cm x 20 cm x 20 cm (e x l x L).

Les échantillons sont stabilisés à 20°C et 65% HR puis exposés pendant 48 h à une température de 70°C et une humidité relative de 90% HR. Les essais conduisent aux résultats du tableau ci-dessous.

	Variation dimensionnelle moyenne (%)
Longueur	+ 0.1%
largeur	+ 0.1%

Tableau 4 : Dilatation dimensionnelle hygrothermique du béton de bois

Les dilatations (thermiques et hydriques) ne semblent pas impactées par l'orientation du matériau.

Vis-à-vis des **variations entre états conventionnels extrêmes**, la caractéristique mesurée à **862 µm/m** est en dessous de la valeur cible de 1 mm/m indiquée dans le tableau 7 du cahier CSTB 2703⁴)

Vis-à-vis de la **dilatation thermique**, la propriété du matériau mesurée en moyenne à **$18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$** .

A titre indicatif, cette valeur est à peu près le double de celle d'un béton courant ($10 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) et est sur la fourchette haute de celle d'un béton à granulats légers, selon l'Eurocode NF EN 1992-1-1 dont la dilatation thermique varie de 4 à $14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.8 et §5.2.9 .

6) Capacité à recevoir des enduits

Pour une application en tant que mur de façade exposée aux intempéries, le béton de bois TimberRoc sera systématiquement revêtu.

Le support béton de bois TimberRoc F800 a été caractérisé et dispose d'un classement de résistance à l'arrachement Rt3 (au sens du DTU 26.1 P1-2 tableau 3). Ce classement est valable pour la face rugueuse (opposée à la face fond de coffrage).

Pour la face "fond de coffrage", le classement de résistance à l'arrachement est inférieur et est fonction des conditions de production du béton de bois TimberRoc F800.

Des essais d'adhérence ont été ensuite effectués sur plusieurs références d'enduit, de type OC1 et OC2, et le béton à base de granulats de bois TimberRoc F800.

A noter : Bien que le support soit classé Rt3, les catégories d'enduits validées pour le béton de bois TimberRoc F800 sont uniquement des enduits monocouche de type OC1 et OC2.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.7.

³ ISO 11359-2 (octobre 1999) : Analyse thermomécanique (TMA) – partie 2 : Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse

⁴ Cahier CSTB 2703 (1994) Etude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois

8) Etanchéité et diffusion de la vapeur d'eau

La perméabilité à la vapeur d'eau sur le béton de bois TimberRoc F800 a été mesurée selon la norme NF EN 12572 par le FCBA.

Le coefficient d'absorption d'eau par immersion partielle, la porosité accessible à l'eau et la sorption/désorption hygroscopique sur le béton de bois TimberRoc (formule F800) ont été mesurés réciproquement par le LNE.

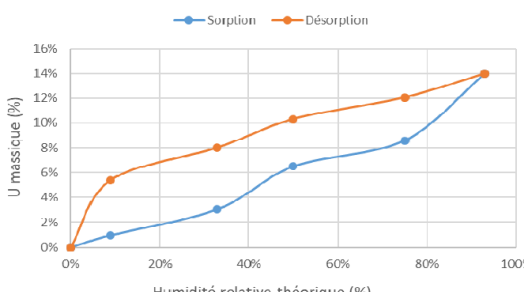
Béton de bois TimberRoc F800	
Perméabilité à la vapeur d'eau μ (selon la norme NF EN 15572)	$\mu = 10$ (coupelle humide)
Porosité accessible à l'eau ε (selon NF P18-459)	$\varepsilon = 61,4 \%$ (masse volumique apparente ρ_d : 750 kg/m ³)
Coefficient d'absorption d'eau A_w et W_w (selon la norme NF EN ISO 15148)	$A_w = 2,55 \cdot 10^{-2} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{0,5})$ $W_w = 1,53 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0,5})$
Propriétés de sorption/désorption hygroscopique (selon la norme NF EN ISO 12571)	

Tableau 5 : Comportement hygroscopique du béton de bois TimberRoc F800

A titre indicatif, le béton de bois TimberRoc F800 a une perméabilité à la vapeur d'eau comparable à un béton cellulaire.

La porosité accessible à l'eau, le coefficient d'absorption capillaire, les propriétés de sorption hygroscopique, la porosité ouverte et la tortuosité du béton de bois TimberRoc F800 facilitent l'absorption et la rétention d'eau.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.10.

9) Conductivité et capacité thermique

Conductivité thermique :

La conductivité thermique utile du béton de bois TimberRoc F800 présente un **λ de 0.16 W/m.K.**

Capacité thermique :

La capacité thermique à 23°C du béton de bois TimberRoc F800 présente un **Cp de 1221 J/(Kg.K)**

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.11.

10) Résistance au brouillard salin

Une étude comparative du vieillissement en milieu salin, sur 1008h, du béton de bois TimberRoc F800 et d'un béton cellulaire » a été menée par le laboratoire Capacités.

L'étude a consisté à déterminer l'impact du vieillissement en enceinte à brouillard salin (BS) avec un vieillissement en conditions des température et d'humidité relative contrôlées en laboratoire à 20°C et 50%HR sur 1008h sur les propriétés de résistance mécanique à la compression de quatre types de matériaux : un béton cellulaire et le béton de bois TimberRoc F800 (avec et sans enduit sur la face exposée) . Des essais de résistance mécanique ont été réalisés sur des éprouvettes avant et après vieillissement en conditions normales et en conditions de BS, après stabilisation de la masse à 20°C/50%HR (variation de masse inférieure à 0.2% en 24h).

Les essais en brouillard salin, réalisés selon la norme ISO 10289 et la norme ISO 9227 (en conditions neutres : NSS), nous permettent donc de conclure que le brouillard salin n'affecte pas les caractéristiques mécaniques du béton de bois TimberRoc, son usage est possible en zone côtière.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.12.

11) Durabilité vis à vis de la résistance au gel-dégel

La résistance au gel/dégel du béton de bois TimberRoc F800 a été réalisée selon la norme NF EN 771-1/CN (annexe C). Ce protocole diffère de celui de la norme NF EN 14474 pour les points suivants : une stabilisation avant essais à 105°C au lieu de 20°C et une température du bain d'eau pour le cycle de dégel de +15°C au lieu de +20°C. A l'issue des 25 cycles, **la perte de masse est mesurée à 0,7 %**.

La norme NF EN 14474⁵, relative aux produits préfabriqués en béton de bois demande à ce que la perte de masse n'excède pas 10%, sans affecter une épaisseur de 5 mm. Malgré les écarts de protocoles, nous pouvons juger ces essais représentatifs du protocole de la norme EN 14474. **La perte de masse mesurée est très en deçà du seuil requis pour les éléments relevant de la norme NF EN 14474.**

Pour information, la norme NF EN 771-1 est relative aux éléments de maçonnerie en terre cuite, le critère pour satisfaire à l'essai est fixé à 1% dans la pire des configurations, seuil qui est au-delà de celui mesuré sur béton de bois TimberRoc. **Le béton de bois TimberRoc F800 est donc résistant au gel-dégel.**

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.13.

12) Durabilité vis à vis des risques mycologiques et des termites

La résistance au développement des moisissures du béton de bois TimberRoc F800 a été évaluée par le FCBA selon une méthode interne, adaptée de la norme NF X41-547 (trempage 2 jours dans l'eau puis exposition aux moisissures à 23°C et 95 % HR). Dans ces conditions climatiques (95% ±5% d'humidité relative et 23°C ±2°C, après un trempage préalable de 2 jours dans l'eau) d'exposition aux moisissures pendant 3 semaines, et malgré une humidité du béton de bois testé de 36,8% en fin d'essais (humidité favorable aux développements des moisissures), le béton de bois testé est résistant au développement des moisissures.

La résistance aux termites du béton de bois TimberRoc F800 a été évaluée par le FCBA selon une méthode adaptée de la norme NF EN 118⁶. Les termites pénètrent dans le Béton de bois sans dégrader les fibres pour faciliter leur passage, ni creuser de cavité : ils se déplacent en fonction de la porosité et de la tortuosité de la structure du béton de bois.

Il est à noter que :

- L'épaisseur de l'éprouvette était de 10 cm (soit plus faible que les épaisseurs minimum utilisées dans les différentes applications du béton de bois F800)
- Seul la face exposée aux termites était partiellement étanchée
- 3 des 6 éprouvettes ont permis aux termites de sortir du béton de bois TimberRoc F800

Le matériau béton de bois TimberRoc F800 ne fait donc pas obstacle sur de faibles épaisseurs au passage des termites, des essais complémentaires sont à réaliser dans des épaisseurs correspondant au domaine de mise en œuvre.

Il est démontré que ce matériau n'est donc pas une source de nourriture pour les termites.

⁵ NF EN 14474 (mai 2005) : Produits préfabriqués en béton - Béton utilisant des copeaux de bois comme granulat - Exigences et méthodes d'essai

⁶ NF EN 118 : Détermination de l'action préventive contre les espèces de Reticulitermes (termites européens) – méthode de laboratoire (janvier 2014)

En conclusion :

L'étude de résistance au développement des moisissures montre que le béton de bois testé est **résistant au développement des moisissures**.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.14

L'absence de dégradations des fibres montre qu'il n'y a **pas d'incidence sur les caractéristiques mécaniques** du matériau.

L'étude de résistance aux termites montre que le béton de bois testé est **résistant aux termites, les épaisseurs et les conditions du test permettent d'identifier un risque de passage des termites sans toutefois pouvoir confirmer le passage dans le sens de l'épaisseur**.

De par la nature du béton de bois F800 des mesures complémentaires simples (enduit de façade...) peuvent servir de dispositif anti-termite si le besoin est avéré.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.15.

13) Performance au feu

Le béton de bois TimberRoc F800 a été soumis à un test de détermination de la Chaleur Combustible Mobilisable (CCM) selon la norme EN 1363-1, sur deux échantillons de béton de granulat bois TimberRoc F800 éléments d'épaisseur 150 mm et 240 mm. **La CCM a été mesurée réciproquement à 0,188 et 0,108 MJ/kg.**

A titre indicatif, le bois massif présente un pouvoir calorifique supérieur de de 17-19 MJ/Kg¹.

Cette Chaleur Combustible Mobilisable est très faible, aussi dans le cadre des projets relevant de l'IT249, soumis à des exigences de C+D, l'incidence du béton de bois F800 sera très faible.

Le béton de granulat bois TimberRoc F800 a **un classement au feu : A2-s1, d0**.

Plusieurs configurations de panneaux préfabriqués bruts ont fait l'objet d'essais de résistance au feu pour déterminer leur REI. Les résultats montrent un bon comportement du matériau béton de granulat bois TimberRoc F800 dans les configurations testées. Néanmoins, l'évaluation de la résistance au feu des ouvrages en béton de granulat bois TimberRoc F800 nécessite la réalisation d'essais représentatifs de l'ouvrage considéré.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.16.

14) Emission de polluants volatils : Classement COV

Le béton de granulat bois TimberRoc F800 peut être **classé A+** conformément aux arrêtés du 19 avril 2011 et du 20 février 2012 relatifs à l'étiquetage des produits de construction ou de revêtement de mur ou de sol et des peintures et vernis sur leurs émissions de polluants volatils.



Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.17.

14) Impact environnemental

Des procédés constructifs en béton de granulat bois TimberRoc F800 ont fait l'objet de fiche FDES publiées sur la base INES.

Les résultats sont présentés dans le Dossier Technique §5.2.18.

SECURITE D'UTILISATION ET ENVIRONNEMENT

Le granulat de béton de bois, la préfabrication des éléments en béton de bois F800 et la mise en œuvre sur chantier fait l'objet de FDS spécifique faisant partie intégrante du plan d'assurance qualité et disponible à la demande.

CONTROLES

La fabrication du granulat de bois TimberRoc et des éléments préfabriqués en bétons de bois TimberRoc F800 fait l'objet d'un suivi portant sur la conformité de la fabrication et de l'assurance qualité :

- Interne au site CCB Greentech : Granulats additivés pour béton de bois TimberRoc F800
 - o Production : Système de contrôle de production en usine (**CPU – CCB**)
 - o Plan d'Assurance qualité production de granulat (**LT0 – PAQ**)
- Interne au site ou chez les licenciés CCB : Préfabrication Béton de bois TimberRoc F800
 - o Plan d'Assurance Qualité Production Préfabrication Béton de Bois F800 (**LT1- PAQ**)
- Les contrôles à réaliser sont décrits au paragraphe 2.3 du Dossier Technique.

Un contrôle portant sur le système de Contrôles de Production en Usine (CPU) de la fabrication du granulat de bois TimberRoc est réalisé 1 fois par an, par un organisme de contrôle extérieur (CERIBOIS). Les contrôles et audits portent sur :

- l'examen des procédures de contrôles décrites dans le CPU,
- l'audit de l'usine pour vérification de la bonne application des procédures de contrôles.

La formulation, en usine, du béton de bois TimberRoc est effectuée en tenant compte des propriétés physiques du granulats de bois (humidité, densité apparente entre autres). Le Plan d'Assurance Qualité Production Préfabrication Béton de Bois F800 (LT1- PAQ) précise les modalités de formulation pour garantir les performances du béton de bois TimberRoc.

Les résultats des contrôles internes sont tenus à disposition du CSTB pour suivi.

CONCLUSIONS

Appréciation globale

Le dossier technique présenté dans ce rapport, a été établi dans l'hypothèse de l'utilisation du béton de bois TimberRoc F800 pour les applications précisées tableau 2.

Seule la préfabrication en usine est envisagée et il n'est pas visé un emploi en tant que béton de bois armé avec armatures acier.

Les éléments du dossier technique n'ont pas fait apparaître d'incompatibilité de nature à écarter à priori l'utilisation envisagée.

Dans le cadre du suivi de production du béton de granulat bois TimberRoc, il est proposé au demandeur d'ajouter un suivi périodique de la stabilité dimensionnelle du béton de granulat bois TimberRoc. La bonne maîtrise de cette propriété est jugée importante pour garantir notamment la bonne compatibilité avec les revêtements visés.

Il est rappelé que cette évaluation n'a pas vocation à couvrir l'ensemble des critères d'aptitude à l'emploi pour chacune des applications envisagées. C'est normalement l'objet des Avis Techniques qui pourront être instruits sur la base de la présente évaluation et des éventuelles justifications complémentaires nécessaires.

Validité : 5 ans

Validité jusqu'au : 14/09/2028 (5 ans)

Direction Sécurité, Structures et Feu
La Directrice

« Valérie GOURVES »

DOSSIER TECHNIQUE ETABLI PAR LE DEMANDEUR

1. INTRODUCTION

Le béton de bois TimberRoc F800 est fabriqué à partir d'un granulats de bois additivé, sa mise en œuvre est le résultat de la recherche et du développement effectués par la société CCB Greentech.

Le béton de bois mis au point par la société CCB Greentech appartient à la famille des bétons légers à matrice cimentaire et charges végétales de forme granulaire à destination de produits préfabriqués.

Le granulats de bois est obtenu à partir de billons de bois bruts résineux ou de chutes de scieries, provenant de France, écorcés et broyés. Le granulats de bois reçoit ensuite un traitement de minéralisation. Il est fabriqué par le groupe CCB Greentech.

Ce granulats est commercialisé sous le nom de « granulats TimberRoc » auprès des usines de préfabrication partenaires ayant contractualisées la licence technologique TimberRoc.

Les usines de préfabrication ont ensuite la charge de la réalisation du béton de bois, en respectant les consignes communiquées dans un document spécifique transmis au licencié par la société CCB Greentech.

Ce dossier technique considère la formulation F800 uniquement pour une préfabrication en usine et en aucun cas en coulage sur site.

L'eau et le ciment sont ajoutés au granulats de bois dans un malaxeur pour fabriquer un béton de granulats bois TimberRoc et sa mise en œuvre suit un process et un plan d'assurance qualité établis.

2. FABRICATION DU GRANULAT DE BOIS TIMBEROC

2.1. Matières premières

Les matières premières constituant le granulats de bois TimberRoc sont les suivantes :

- Bois issu de forêts françaises

Les billons de bois sont achetés uniquement à des prestataires et exploitants forestiers signataires du cahier des charges – Achats Bois de CCB Greentech. Ces prestataires sont certifiés PEFC à hauteur de 75%.

- Plaquettes de bois

Les achats de plaquettes de bois sont réalisés uniquement auprès de scieries ou d'exploitants forestiers. Cette plaquette provient de bois sains et non de process de recyclage ou de palettes par exemple.

- Additifs

Les additifs font l'objet d'un contrôle à réception et d'une analyse des bons de livraison afin de vérifier la conformité aux prescriptions de CCB Greentech et aux fiches techniques produits.

2.2. Fabrication

Le granulats de bois additivé est fabriqué uniquement par la société CCB Greentech qui dispose actuellement d'une usine de production située sur le site de Beaurepaire (38270).

Le granulats additivé est livré en vrac en remorques aux sites de production des licenciés. La fabrication du granulats additivé par CCB Greentech fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité [1] « LT0-PAQ PRODUCTION GRANULATS ADDITIVES » et d'un contrôle régulier par un organisme indépendant mandaté par CCB Greentech (CERIBOIS) dans le cadre d'un système de Contrôle de Production Usine (CPU) faisant partie prenante du LT0-PAQ.

2.3. Contrôles

Les contrôles sont réalisés sur les matières premières, lors du process de fabrication et sur les produits finis (granulats additivés).

- Contrôles internes pour chaque lot de billons à la livraison
- Contrôle des plaquettes de Bois
- Contrôle des additifs
- Chaque production journalière est contrôlée.

Différentes méthodes de test ont été définies et validées avec un organisme indépendant mandaté par CCB Greentech (CERIBOIS) pour réaliser des audits externes suivant une fréquence définie.

2.4. Condition de conservation

Les additifs pulvérulents sont stockés dans des silos dédiés, protégés de l'humidité extérieure.

Un contrôle du taux d'humidité est effectué à fréquence régulière afin de s'assurer du bon fonctionnement de la ligne.

2.5. Conditionnement et livraison

De façon à éviter tout apport d'humidité, les granulats de bois TimberRoc sont livrés en camion bâché à fond mouvant.

3. FABRICATION DU BETON DE BOIS TIMBERROC A BASE DE GRANULAT DE BOIS TIMBERROC

3.1. Centres de fabrication

Le granulat de bois TimberRoc est utilisé pour fabriquer des bétons de bois F800 fabriqués à l'aide de centrales à béton disposées dans les unités de préfabrication des licenciés ou par la société CCB Greentech qui dispose actuellement d'une usine de production située sur le site de Beaurepaire (38270).

Le titulaire dispose de plusieurs centres de fabrication de béton de bois TimberRoc à base de granulat de bois Timberoc. La liste des licenciés en septembre 2023 est précisée ci-dessous, celle-ci a pour vocation de se développer.

(désignation du fabricant)	(adresse de l'atelier)
CCB Greentech	515 route de Marcollin, 38270 Beaurepaire
Michal	44 Av. Jean Jaurès, 38270 BEAUREPAIRE
R-Technologies – HOLDING CHEMINAL	229 Route des Grands Champs Sud, 74580 VIRY
Spurgin Ile de France / Ouest	1 allée du Petit Courtin, ZA des Bois Gueslin, 28630 MIGNIERES
Spurgin Grand Est	Rue Louis Renault Z.I, 68127 SAINTE-CROIX-EN-PLAINE
Spurgin Nord	Route de Ham, 80190 NESLE
Spurgin Rhône-Alpes	Allée des noisetiers, 01150 BLYES
Spurgin Sud	ZAC du grand pont, rue de l'Ouest, 13640 LA ROQUE D'ANTHERON

Tableau 6 : Centres de fabrication (en date de septembre 2023)

3.2. Compositions

Le béton de bois TimberRoc F800 à base de granulats TimberRoc est préparé par mélange des constituants suivants :

- Ciment CE ou NF de type CEM I, CEM II ou CEM III d'indice 42,5 ou 52,5 ;
- Additifs
- Granulats de bois résineux broyés TimberRoc ;
- Eau
- Adjuvants.

3.3. Fabrication des éléments préfabriqués en béton de bois TimberRoc

La fabrication des produits est réalisée par la société CCB Greentech ou sur les sites industriels des licenciés. La préfabrication d'élément en béton de bois par CCB Greentech ou les sites industriels licenciés fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité [2] « LT1-PAQ PRODUCTION PREFABRICATION ».

Les sites de production sont équipés des moyens nécessaires définis dans le LT1-PAQ document [2].

La préfabrication comporte plusieurs phases, à savoir :

Stockage du granulat bois

Les granulats de bois additivés sont stockés sur une zone dédiée, permettant de répondre aux exigences des CPU et PAQ. Un contrôle des qualités du granulat de bois additivé stocké est réalisé selon les préconisations du LT1-PAQ document [2] en veillant aux délais de vérification.

Préparation des coffrages

Cette préparation doit se faire conformément au LT1-PAQ document [2].

Préparation du béton de bois

Le granulat additivé est contrôlé à réception par rapport exigences définies dans le LT1- PAQ document [2].

Coulage des éléments préfabriqués type

Après malaxage, le béton de bois est coulé suivant LT1-PAQ document [2].

Nivelage et compactage

Après coulage, le béton de bois est travaillé suivant LT1-PAQ document [2] .

3.4. Conditions de conservation et traitement thermique

Plusieurs solutions de séchage ou étuvage sont acceptables selon les équipements disponibles dans le centre de fabrication (§ 3.1) :

- Séchage naturel du panneau à l'air libre de l'atelier,
- Passage de l'élément préfabriqué en étuve pour accélérer le processus de prise du ciment.

Le temps de séchage est défini en fonction des conditions de séchage pour obtenir les caractéristiques minimums de résistance du béton de bois pour le levage : voir Annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – CMU » du dossier technique du procédé CS2 [3].

3.5. Réception de la gâchée et contrôle

Marquage du produit

Un marquage de chaque élément en béton de bois TimberRoc est réalisé avec les informations de suivi figurant dans un dossier de conception – production par étude (affaire) conformément au classement des différents produits et codification/traçabilité décrits dans le LT1-PAQ document [2].

Procédures de contrôle internes de fabrication

La fabrication des éléments en béton de bois TimberRoc est soumise à une procédure de contrôles internes, sur les bases et modalités du document [2] dans lequel est indiqué un Contrôle Production Usine (CPU) défini, allant de

l'approvisionnement des matières premières jusqu'à la fin du process de fabrication des éléments en béton de bois TimberRoc.

Une attention particulière est portée sur les différentes étapes du process.

Pour suivre la qualité du béton de bois, des tests sont conduits sur des jeux d'éprouvettes cubiques. Ces essais sont réalisés suivant le LT1-PAQ document [2].

En fin de chaîne de production, des contrôles sont effectués suivant le LT1-PAQ document [2].

Un contrôle portant sur le système de Contrôles de Production en Usine (CPU) est réalisé 1 fois par an, par un organisme de contrôle extérieur (CERIBOIS). Les contrôles et audits portent sur :

- l'examen des procédures de contrôles décrites dans le CPU,
- l'audit de l'usine pour vérification de la bonne application des procédures de contrôles.

4. APPLICATIONS ENVISAGEES

Les applications envisagées des bétons à base de granulats TimberRoc (avec une préfabrication en usine) peuvent être les suivantes :

Béton de bois	Application
F800	Murs porteurs
	Murs de façade non porteurs
	Murs de remplissage
	Murs de remplissage structurels – contreventement
	Murs à ossature bois rapportée
	Murs sandwichs
	Composants de Modules 3D
	Prédalles pour planchers nervurés béton
	Entrevous dalle

Tableau 7 : Applications visées (non exhaustif)

5. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Note générale : Les résultats expérimentaux ci-dessous sont issus de plusieurs campagnes d'essais sur les granulats entrants dans la formulation du béton de bois TimberRoc ainsi que d'essais sur le béton de bois TimberRoc F800.

5.1. Caractérisation du granulat de bois TimberRoc

Les essais de caractérisation du granulat TimberRoc sont réalisés quotidiennement sur des échantillons représentatifs de la production courante. Les caractéristiques définies dans le LT0-PAQ [1] sont suivies et le CPU de l'usine fait l'objet d'un suivi par organisme externe indépendant.

5.2. Caractérisation du béton de bois TimberRoc F800, fabriqué à partir des granulats de bois TimberRoc

Le béton de bois TimberRoc F800 a les performances suivantes, présentées dans le tableau ci-dessous.

Une note de justification, regroupant les différentes justifications a été fournie au CSTB [35].

Paramètres	Valeurs	Unités	Définitions
f_m	4,00	MPa	Résistance moyenne à la compression
f_k	3,00	MPa	Résistance caractéristique à la compression
f_{d_ELU}	1,36	MPa	Valeur de calcul ELU pour la résistance à la compression ($\gamma_{M_ELU} = 2,2$)
$f_{d_ELU_séisme}$	2,00	MPa	Valeur de calcul de la résistance à la compression pour les actions sismiques ($\gamma_{M_ELU_séisme} = 1,5$)
f_{xk}	1,39	MPa	Résistance caractéristique à la flexion
f_{vk0_m}	0,38	MPa	Résistance initiale au cisaillement de l'interface béton de bois / mortier
f_{vk0_b}	0,53	MPa	Résistance initiale au cisaillement de l'interface béton de bois / béton
E_{fl}	1850	MPa	Module d'élasticité en flexion
E	1850	MPa	Module d'élasticité en compression
α_t	18×10^{-6}		Coefficient de dilatation thermique
r	800	kg/m ³	Masse volumique

Tableau 8 : Principales propriétés du béton de bois TimberRoc F800

5.2.1. Résistance à la compression, résistance à la flexion

Résistance à la compression

La résistance à la compression est déterminée au moyen d'essais d'un laboratoire externe CERIBOIS [4] et interne.

Les éprouvettes de caractérisation à destination des laboratoires sont obtenues par découpe dans des panneaux de grandes dimensions et suivent un process décrit dans le plan d'assurance qualité (PAQ – LT1).

La norme de référence NF EN 12390-3 (Juin 2019) est utilisée pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes.

Laboratoire	Dates	Teneur en eau	Masse volumique moyenne [kg/m ³]	Format et nombre d'éprouvettes	Résistance moyenne [MPa]
CERIBOIS	Janv. 2022	17%	776	8 cubes 15 cm	4,2 MPa
CCB Greentech	2021	Entre 5% et 20%	849	40 cubes 15 cm	4,3 MPa

Tableau 9 : résultats des essais de résistance à la compression du béton de bois TimberRoc F800

La résistance moyenne minimale retenue est : 4,00 Mpa

La résistance caractéristique correspondante est calculée à : 3,00 Mpa

Un essai de sorption-désorption selon la norme NF EN ISO 12571 a été réalisé par le LNE [5]. La courbe de cet essai montre que, pour un taux d'humidité de l'air pouvant varier entre 50 et 90%, la teneur en eau du matériau varie entre 6 et 14%.

Des simulations réalisées par le CSTB [6] montrent que selon les configurations de complexes de murs (enduit, ITI, ITE, ...), la saison et la zone climatique montre que la teneur en eau des murs béton de bois en usage peut varier entre 5% et 12%.

⇒ Ainsi, nous retenons que la teneur en eau du béton de bois TimberRoc F800 en usage varie entre 5% et 15%

Ces résultats sont corroborés par les observations et mesures réalisées sur les bâtiments réalisés depuis 2007 ainsi que sur les échantillons existants.

Dans le cadre du plan d'assurance qualité, les contrôles qui se font en cours de production permettent de vérifier une résistance minimale moyenne de 4 MPa en usage pour une teneur en eau comprise entre 5% et 15%.

Le suivi de la dispersion des valeurs moyennes de résistance à la compression est réalisé lors de campagnes d'essais externes et internes dans le cadre du plan d'assurance qualité de production du béton de bois TimberRoc F800 (PAQ LT1).

Ces données sont enregistrées et analysées dans le cadre de l'amélioration continue des méthodes de production.

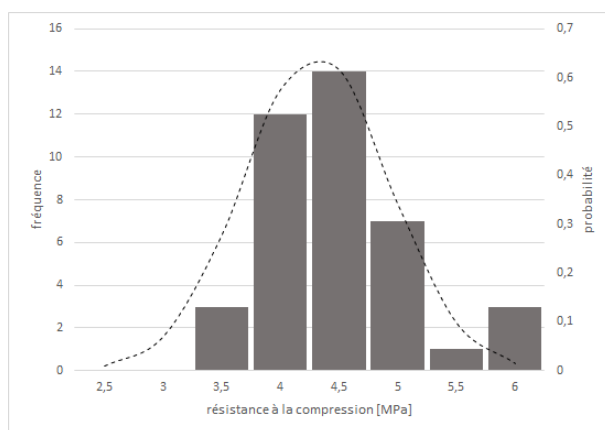


Figure 2 : Dispersion de la résistance en compression

Résistance à la flexion

La résistance à la flexion est déterminée selon la norme NF EN 1052-2 sur la base d'essais de flexion 4 points réalisés au CSTB en mars 2022 [8].



Les essais ont été réalisés sur 4 panneaux d'épaisseurs et de longueurs variables, la valeur moyenne de résistance à la traction par flexion est de 2,1 MPa.

Ce résultat est conforme à ce qu'on retrouve dans la littérature scientifique sur les bétons de bois : le rapport entre résistance à la compression et résistance à la traction est de l'ordre de 2 (contre 10 pour les bétons traditionnels). Selon la norme NF EN 1052-2, la résistance caractéristique est définie comme la contrainte moyenne divisée par un coefficient égal à 1,5.

N°essai	22 033 A	22 033 B	22 033 C	22 033 D
Portée [m]	3,25	3,25	2,25	2,25
Largeur [m]	1,0	1,0	1,0	1,0
Epaisseur [m]	0,16	0,24	0,16	0,24
Résistance à la flexion [MPa]	1,98	1,93	2,34	2,06

Tableau 10 : Résultats des essais de résistance à la flexion

La résistance moyenne minimale retenue est : 2,10 Mpa

La résistance caractéristique correspondante est calculée à : 1,39 Mpa

5.2.2. Loi de comportement « contrainte-déformation »

Afin de disposer d'une valeur de module d'élasticité représentative du comportement des éléments de structure, deux types d'essai ont été retenus pour cette analyse :

- Des essais de compression sur trumeaux ;
- Et des essais de flexion 4 points sur panneaux de 2 à 3 mètres de longueur.

Essai de compression sur trumeaux

Le module d'élasticité en compression est issu d'essais de compression sur un procédé en béton de bois (TimberRoc) réalisés par le CSTB [9].

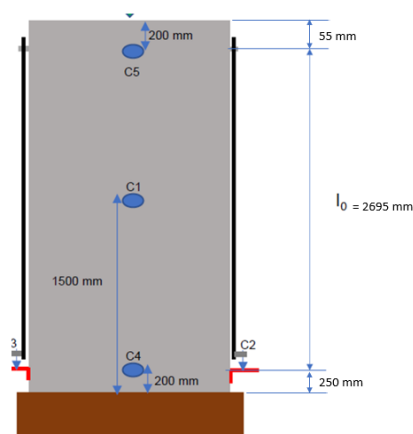
La détermination du module d'élasticité se fonde sur les normes NF EN 12390-13 et NF EN 1052-1 qui proposent une méthode de détermination du module sécant d'élasticité en utilisant la relation suivante :

$$E_c = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b}$$

Où :

- E_c : module sécant d'élasticité ;
- σ_a : contrainte correspondant à la limite supérieure prise égale à $f_c/3$ où f_c est la contrainte maximale atteinte lors de l'essai ;
- σ_b : contrainte correspondant à la limite inférieure prise égale à $f_c/8$;
- ε_a : déformation à la limite supérieure de contrainte ;
- ε_b : déformation à la limite inférieure de contrainte.

Afin de rendre compte du comportement des éléments de structure, le module d'élasticité a été déterminé à partir des essais de compression sur trumeaux car la mesure des déformations est plus juste à l'échelle d'un panneau complet (Du fait de la maille granulométrique du béton de bois. Lors des essais de compression, les trumeaux ont été équipés de capteur de déplacement vertical C2 et C3.


Figure 3 : schéma du montage expérimental pour les essais de compression

Le module de Young expérimental est calculé sur les 3 épaisseurs de murs rentrant dans 95% des applications, les épaisseurs 240, 280 et 300. La compression excentrée est retenue pour être cohérent avec les efforts et déformation mis en œuvre dans les modes constructifs des murs structurelles (murs de rives CS2 par exemple).

Il est obtenu une valeur moyenne du module de Young de 1858 MPa avec, pour chacune des configurations testées, des coefficients de variation inférieurs à 12%.

La norme NF EN 1052-1 recommande de calculer le module d'élasticité moyen E à 100 N/mm² près.

Module d'élasticité en compression

$E = 1850 \text{ MPa}$

Module d'élasticité en flexion

Le module d'élasticité en flexion est issu d'essais de flexion sur un procédé en béton de bois (TimberRoc) réalisés par le CSTB et des calculs réalisés par le bureau d'études STEBAT [8].

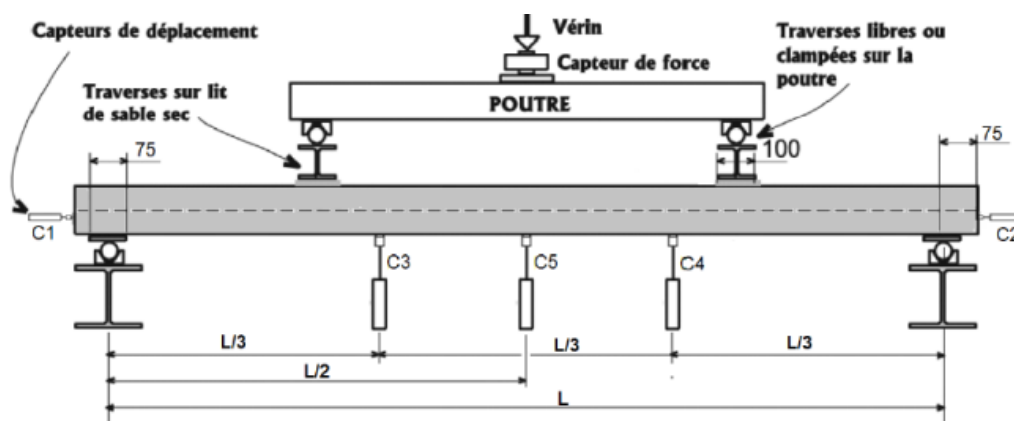


Figure 4 : schéma du montage expérimental pour les essais de flexion

Module d'élasticité en flexion

$E = 1850 \text{ MPa}$

5.2.3. Fluage en compression

Les essais de fluage ont été réalisés au laboratoire LMC² [10] sur une durée de six mois. Les éprouvettes sont soumises à une contrainte de compression constante de 0,8 MPa. Au bout de 104 jours d'essai, les déformations sont stabilisées et le coefficient de fluage, au sens de l'EC2 est égal à 1,9.

Note : les éprouvettes utilisées pour les essais de fluage sont issues du même lot que celles des essais de gel/dégel. La résistance en compression mesurée est de 3,5 MPa. Le chargement de 0,8 MPa représente un taux de chargement de 23%.



Montage d'essai de fluage

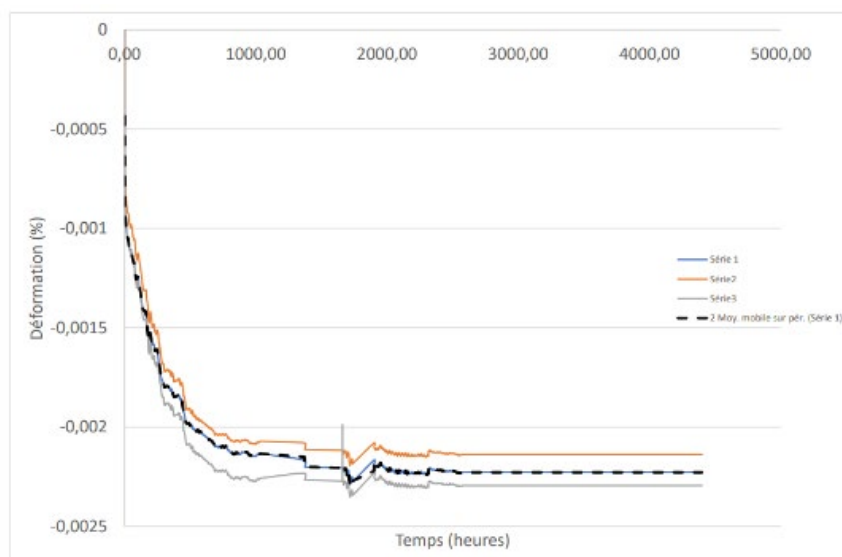


Figure 5 : évolution des déformations avec le temps

Déformation élastique	Déformation totale différée (4400 heures)	Coefficient de fluage
- 0,07648 %	- 0,2224 %	1,9

Tableau 11 : Résultats des essais de fluage du béton de bois TimberRoc F800

5.2.4. Capacité à recevoir des fixations mécaniques

5.2.4.1 Caractérisation par le LMC2

La résistance à l'arrachement de tirefonds et vis à béton, dans le béton à base de granulats TimberRoc, ont été déterminées par le LMC² [11].

Le principe consiste à appliquer un effort de traction perpendiculaire au plan de fixation à l'aide d'un dynamomètre de traction. L'effort maximal est mesuré pour déterminer la charge de ruine. Dix essais sont effectués pour chaque type de vis ou tirefond.



Deux différents types de fixation sont testés :

- des tirefonds à tête hexagonale zingué blanc conformes à la norme DIN 571,
- des vis TLL conformes à l'ETA 11/0030



Pour chaque modèle de vis ou de tirefond, dix essais sont réalisés. Les valeurs moyennes et caractéristiques sont données dans les tableaux ci-dessous.

Tirefonds			
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	8x140/115	10x140/115	12x140/115
Moyenne [kN]	6,01	7,27	7,86
Coefficient de variation	0,16	0,14	0,13
Valeur caractéristique (kN)	4,17	6,08	6,43

Tableau 12 : Résultats des essais de traction sur tirefonds dans un panneau épaisseur 160 mm

Tirefonds					
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	12x160/135	12x180/155	12x200/175	12x240/215	14x160/135
Moyenne (kN)	10,17	11,32	13,13	20,62	12,76
Coefficient de variation	0,11	0,15	0,14	0,15	0,14
Valeur caractéristique (kN)	7,93	8,06	9,72	14,60	9,22

Tableau 13 : Résultats des essais de traction sur tirefonds dans un panneau épaisseur 240 mm

VIS TLL		
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	6x140/115	8x140/115
Moyenne (kN)	3,9928	6,321
Coefficient de variation	0,09	0,11
Valeur caractéristique (kN)	3,30	4,97

Tableau 14 : Résultats des essais de traction sur vis TLL dans un panneau épaisseur 240 mm

5.2.4.2 Caractérisation par le service technique de SFS

La résistance à l'arrachement de tirefonds, vis à bois et vis à béton, dans le béton à base de granulats TimberRoc, a été déterminée par le service technique de SFS [12] [13].

Le principe consiste à appliquer un effort de traction perpendiculaire au plan de fixation à l'aide d'un dynamomètre de traction. L'effort maximal est mesuré pour déterminer la charge de ruine. Dix essais sont effectués pour chaque type de vis ou tirefond, la méthodologie est exactement la même que le LMC2

Deux différents types de fixation sont testés :

- Une vis béton FB-SK-7.5x132 ref SFS conforme DTU 36.5
- Des vis à bois HTP-T- CS conformes à l'ETE n°19/0553 de différentes longueurs et diamètres

Pour chaque modèle de vis ou de tirefond, dix essais sont réalisés. Les valeurs moyennes et caractéristiques sont données dans les tableaux ci-dessous.

Vis Béton	
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	7.5x132/100
Moyenne (kN)	5,91
Coefficient de variation	0,12
Valeur caractéristique (kN)	4,49

Tableau 15 : Résultats des essais de traction sur vis à béton dans un panneau épaisseur 200 mm

VIS à bois							
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	6x140/100	8x200/100	10x120/100	8x220/200	10x280/200	8x180/140	13x400/300
Moyenne (kN)	3,73	4,67	5,60	10,77	14,28	7.90	29,03
Coefficient de variation	0,19	0,11	0,13	0,09	0,06	0,15	0,03
Valeur caractéristique (kN)	2,41	3,69	4,26	8,98	12,69	5.53	27,52

Tableau 16 : Résultats des essais de traction sur vis à bois dans un panneau épaisseur 200 mm

5.2.4.3 Caractérisation par le laboratoire d'essais interne CCB Greentech - Effet de bord

L'effet de bord, par des essais de résistance à l'arrachement de tirefonds dans le béton à base de granulats TimberRoc, a été déterminée en interne par la société CCB Greentech [36], sur 2 types de tirefonds. Des séries de trois essais sont effectués pour chaque configuration.

Tirefonds DIN 551			
Diamètre x longueur/Longueur d'ancrage [mm]	Ø12/140/115	Ø14/160/135	Ø14/160/135 (pré percée Ø6)
Moyenne (kN) / distance au bord 4 cm	7.295	11.393	10.853
Moyenne (kN) / distance au bord 3 cm	7.000	11.601	12.055
Moyenne (kN) / distance au bord 2 cm	5.506	8.143	10.708
Dégradation distance au bord 3 cm / 4 cm	4%	-2%	-11%
Dégradation distance au bord 2 cm / 4 cm	25%	29%	1%

Tableau 17 : Tableau de sensibilité des effets de bord pour les tirefonds DIN 571 Ø12 et Ø14

Il est à noter que sans pré-perçage, la dégradation à l'arrachement par effet de bord est significative pour une distance par rapport au bord inférieure à 3 cm pour les diamètres de tirefonds supérieurs ou égaux à 12 mm.

5.2.4.4 Précisions sur les fixations

D'une façon générale, on réalise les fixations par vissage dans le béton de bois, d'éléments rapportés tels que mentionnés ci-dessus, avec des vis ou tirefonds de diamètres supérieurs à 6mm.

Pour chaque type d'éléments à fixer on peut retenir les spécifications suivantes :

Type d'éléments	Type de fixation	Caractéristiques	Mise en œuvre
Equerres d'ancrage	Tirefonds	D12*160 D14*160	Pré perçage D6 Pré perçage D8
Ossatures ou fixations de bardages	Tirefonds Vis à bois à tête large	D8 minimum	Selon Diamètre
Menuiseries	Vis à bois	D6 minimum	Selon Diamètre
Brise-soleil et autres	Tirefonds Vis à bois à tête large	D8 minimum	Selon Diamètre
ETICS	Cheilles à frapper	Spécifiées par le fabricant Ex : Webertherm SLD-5	Spécifiée par le fabricant Pré-perçage selon fabricant
Planches de coffrage	Tirefonds	D10 * 160 minimum	Selon Diamètre
Consoles Garde-corps chantier	Tirefonds	D12 *160 minimum	Selon Diamètre

Tableau 18 : Tableau des préconisations des fixations par type d'élément

Pré-perçage – Vis :

- Pour les vis, il est conseillé de pré-percer avec une mèche à bois pour les diamètres ≥ 8 mm, en fonction du type de vis et des recommandations des fabricants.

Pré-perçage – Tirefonds (usage structurel définitif) :

- Pour les tirefonds de D10, il est conseillé de pré-percer avec une mèche à bois de diamètre 5mm
- Pour des tirefonds de D12, il faut pré-percer avec une mèche à bois de diamètre 6mm
- Pour des tirefonds de D14, il faut pré-percer avec une mèche à bois de diamètre 8mm

La profondeur de pré-perçage est celle du tirefond.

Pas de pré-perçage pour les tirefonds et vis de diamètres inférieurs à 8mm.

Les fixations à utiliser dans le béton de bois doivent être en matière non déformable.

5.2.5. Capacité de cisaillement du béton de bois interne / mortier / béton traditionnel

La capacité de cisaillement béton / béton de bois a été déterminée par le LMC² [14], selon le protocole d'essais de la norme NF EN 1052-3⁷.

Des essais de cisaillement statique ont été réalisés, ainsi que des essais de cisaillement cyclique. Chaque série est composé de 5 essais.

Plusieurs configurations ont été testées :

- Bloc unitaire de béton de bois sans joint (cisaillement interne du matériau : Valeur de référence)
- Montage de 3 blocs de béton de bois, jointoyés avec un mortier de type PCI
- Montage deux blocs de béton de bois avec un béton traditionnel

Désignation		statique	cyclique
Bloc sans joint	F_u [kN]	$180,6 \pm 10,4$	$223,7 \pm 9,8$
	f_{v0} [MPa]	$0,90 \pm 0,05$	$1,12 \pm 0,05$
3 blocs + joint	F_u [kN]	$97,0 \pm 2,4$	$96,8 \pm 1,1$
	f_{v0} [MPa]	$0,49 \pm 0,01$	$0,48 \pm 0,01$
2 blocs + béton	F_u [kN]	$135,0 \pm 11,1$	$120,3 \pm 4,1$
	f_{v0} [MPa]	$0,75 \pm 0,06$	$0,66 \pm 0,02$

Tableau 19 : Résultats des essais de cisaillement de deux types d'assemblage du béton de bois F800

Selon la norme NF EN 1052-3, la résistance caractéristique f_{v0k} est définie comme la contrainte moyenne f_{v0} multipliée par un coefficient égal à 0.8. Nous arrivons, par conséquent au tableau suivant :

Configurations et résultats expérimentaux	Bloc seul	Assemblage mortier-colle	Assemble béton
			
	Pleine masse béton de bois	Assemblage des 3 blocs par un mortier colle de type PCI	Coulage du béton en frais entre les 2 blocs en béton de bois
Contrainte de cisaillement f_{v0k} (NF EN 1052-3)	0,72 MPa	0,38 MPa	0,53 MPa

Tableau 20 : Contraintes de cisaillement f_{v0k} du béton de bois F800

⁷ NF EN 1052-3 (2003) : Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement.

5.2.6. Capacité à recevoir des ancrs de levage

La capacité maximale utile (CMU) de boucles de levage pour des éléments en béton de bois a été déterminée par le LMC² [15], selon le protocole d'essai pour les éléments de levage incorporés dans les MCI/MCII/panneau sandwich (protocole de la CCFAT, en vigueur en octobre 2021).

3 types de boucles de levage, en acier doux, Re 235 conforme à la norme NF A 35-015 et de diamètre 12 mm, ont été testés.

Référence boucle	Diamètre boucle	Epaisseur Nominal paroi [mm]	Enrobages Nominaux [mm]	Levage en position verticale CMU ₁ [kN]
Boucle L01 25 GH	12	≥160	≥75	10
Boucle L01 25 GH	12	≥240	≥110	12
Boucle L01 50 PH	12	≥240	≥110	10
Boucle L01 50 GH	12	≥240	≥110	20
Boucle L01 50 GH	12	≥160	≥75	15

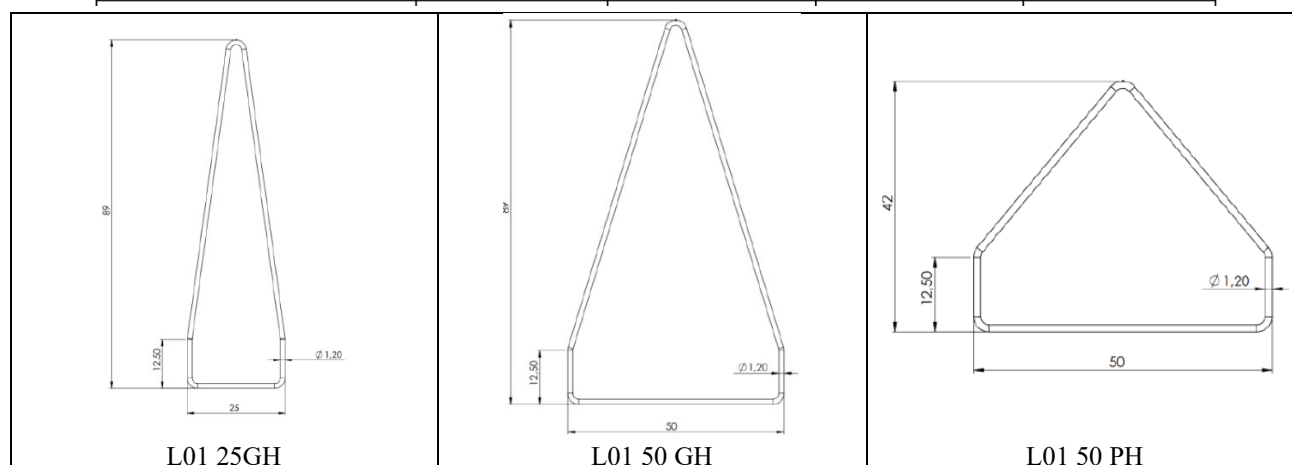


Tableau 21 : Valeur de CMU₁ de différentes ancrs de levage sur murs en béton de bois F800

Les caractéristiques de résistance en compression du béton de bois pour atteindre les résultats de ces essais de CMU des ancrages sont précisées dans l'annexe du rapport LMC² [15], on retient :

- Avec une formulation suivant l'abaque « Procédure 1 : Licence- CCB / P1 »,
- Au 5^{ème} jour de séchage naturel à plat sur les plaques métalliques de coffrage posées à même le sol,
- Retrait des joues de coffrage dans les 3 heures après coulage,
- Aucune cure du béton de bois – aucun étuvage.

Les conditions climatiques lors de la période des essais, offraient une température extérieure moyenne d'environ 10°C et un temps relativement sec, la température ambiante de l'atelier était autour de 12 à 15°C.

Les propriétés du béton de bois à 5 jours, lors du levage, se caractérisaient par :

- Une résistance à la compression supérieure à **1,6 MPa** pour tous les essais (dans le plan des panneaux)
- La densité moyenne au levage à 5 jour de l'ordre de : **900 à 950 kg/m³**

5.2.7. Résistance à l'arrachement des enduits

La capacité du béton de bois à recevoir des enduits a été déterminée par le CERIB [16] [17] [18].

La caractérisation de la classe Rt, du béton de bois au sens du DTU 26.1, a été déterminée sur la base de 5 essais réalisés selon conformément aux modalités de la norme NF EN 1015-12.

La colle utilisée est une colle structurale multiusage thixotrope de dénomination commerciale SIKADUR[®] conforme à la norme NF EN 1015-12.

La face rugueuse (opposée à la face fond de coffrage) a été testée, pour la face "fond de coffrage", le classement de résistance à l'arrachement est inférieur et est fonction des conditions de production du béton de bois TimberRoc F800.

La résistance en traction du béton de bois TimberRoc F800 est **de 1.11 MPa**. Selon le tableau 3 de la P1-2 du NF DTU 26.1 « Résistance à l'arrachement de la surface des éléments de maçonnerie à enduire », le classement de résistance à l'arrachement de la surface des éléments de maçonnerie à enduire est classée **Rt 3** ($R_t > 0.8$ MPa).

L'adhérence de plusieurs références d'enduits a ensuite été caractérisée selon la norme NF EN 1015-12. Pour chaque référence d'enduit, 5 essais ont été réalisés.

Référence enduit	Catégorie de l'enduit	Contrainte d'adhérence moyenne (MPa)
Weberpral G (Weber)	OC 2	0,62
Parexal (Parex Lanko)	OC 2 semi allégé	2 séries : 0,23 et 0,28
Superbrut (PRB)	OC 2 semi allégé	0,29
Monopass (VPI)	OC 2 semi allégé	0,28
Fassacouche (Fassa Bortolo)	OC 2 semi allégé	0,40
Crépilor TM (VPI)	Non précisé	0,36
Monopass GF (VPI)	OC 1 semi allégé	0,27

Tableau 22 : Résultats des essais d'adhérence de plusieurs références d'enduit sur béton de bois F800

A noter : Bien que le support soit classé Rt3, les catégories d'enduits validées pour le béton de bois TimberRoc F800 sont uniquement des enduits monocouche de type OC1 et OC2.

5.2.8. Stabilité dimensionnelle

Les variations dimensionnelles entre états conventionnels extrêmes du béton de bois TimberRoc ont été déterminées par le LMC² [19] conformément aux modalités décrites dans la norme NF EN 772-14.

Trois éprouvettes (n°2, 4 et 6) sont placées dans un bac d'eau à 20°C ±2°C pendant une durée de 96 heures. Les éprouvettes sont ensuite sorties de l'eau et laissées à égoutter pendant 10 minutes avant la mesure. Cet essai permet la caractérisation du gonflement.

Désignation	Distance initiale l_0 [mm]	Distance après immersion l_1 [mm]	Coefficient de gonflement $\Delta l_g/l$ [mm/m]
Eprouvette 2	200,893	200,929	0,1792
Eprouvette 4	200,871	200,898	0,1344
Eprouvette 6	201,069	201,147	0,3879
moyenne			0,2338 ± 0,1353

Tableau 23 : Mesure de gonflement sur les éprouvettes bois-béton n°2, 4 et 6

En parallèle, trois éprouvettes (n°1, 3 et 5) sont placées dans une étuve ventilée à une température de 33°C ±3°C pendant 21 jours. A la sortie d'étuve, les éprouvettes sont laissées à température ambiante pendant 6h. Cet essai permet la caractérisation du retrait.

Désignation	Distance initiale l_0 [mm]	Distance après immersion l_1 [mm]	Coefficient de retrait $\Delta l_r/l$ [mm/m]
Eprouvette 1	200,784	200,703	-0,4034
Eprouvette 3	201,212	201,071	-0,7008
Eprouvette 5	201,451	201,294	-0,7793
moyenne			-0,6278 ± 0,1983

Tableau 24 : Mesure de retrait sur les éprouvettes bois-béton n°1, 3 et 5

La variation dimensionnelle entre état conventionnel extrême est de 0,86 mm/m en valeur moyenne.

Le Cahier du CSTB 2703 : « Etude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois » préconise une valeur cible de 1 mm/m, valeur supérieure aux résultats des essais.

5.2.9. Propriétés thermiques et comportement hygrothermique

Essais de dilatation thermique

La caractérisation de la dilatation thermique du béton de bois a été effectuée selon un protocole interne FCBA basé sur la norme ISO 11359-2⁸ par le FCBA [20] sur six éprouvettes en béton de bois TimberRoc de dimensions 500 mm x 200 mm x 100 mm (L x l x e). La plage de température utilisée est de +60°C à -20°C (le retrait de séchage n'est donc pas intégré à la dilatation thermique). Après stabilisation à 20°C, la variation de dimension (longueur, largeur) subie par une éprouvette est mesurée en fonction de la température.



Les valeurs obtenues sont données dans le tableau ci-dessous :

Référence échantillons	Coefficient de dilatation moyen (K ⁻¹)		Ecart type	
	Longueur	Largeur	Longueur	Largeur
22765-4	19,9E-06	15,9E-06	6,89E-06	8,72E-06

Tableau 25 : Résultats des essais de dilatation thermique du béton de bois TimberRoc F800

Essais de dilatation hygrothermique

La caractérisation de la dilatation hygrothermique du béton de bois a été effectuée selon la norme NF EN 13171 de janvier 2013 par le FCBA [21]. Trois éprouvettes en béton de bois TimberRoc de dimensions 200 mm x 200 mm x 100 mm (L x l x e) sont utilisées pour cette caractérisation. Après stabilisation à 20°C et 65% HR, les éprouvettes ont été exposées pendant 48 h à une température de 70°C et une humidité relative de 90% HR. Les variations dimensionnelles moyennes sont données dans le tableau ci-dessous :

Référence éprouvette	Variations dimensionnelles moyennes [%]	
	Longueur	Largeur
22765-3-1	0,1	0,1
22765-3-2	0,1	0,1
22765-3-3	0,1	0,1

Tableau 26 : Résultats des essais de dilatation hygrothermique du béton de bois TimberRoc F800

⁸ ISO 11359-2 (octobre 1999) : Analyse thermomécanique (TMA) – partie 2 : Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse

5.2.10. Etanchéité et diffusion de la vapeur d'eau

Perméabilité à la vapeur d'eau

La détermination de la perméabilité à la vapeur d'eau est effectuée selon la norme NF EN 12572 par le FCBA [22]. Après une première étape de conditionnement à une température de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ et une humidité relative de $(50 \pm 5) \%$ jusqu'à stabilisation de leur masse, les échantillons en béton de bois TimberRoc sont disposés dans des coupelles (voir schéma ci-dessous). La partie inférieure de la coupelle contient, soit une solution aqueuse, du phosphate d'ammonium dihydrogène $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ pour maintenir un état humide, soit un dessiccant, du Chlorure de calcium CaCl_2 pour maintenir un état sec. Un produit de scellement de type cire vient assurer l'étanchéité entre l'éprouvette et la coupelle. Les coupelles sont placées dans une enceinte régulée en température et en humidité. Le flux de vapeur est déterminé via le suivi de la masse de chaque coupelle jusqu'à l'obtention d'une variation de masse constante.

Le facteur de diffusion de la vapeur d'eau, du béton de bois TimberRoc F800, est $\mu = 10$ (coupelle humide).

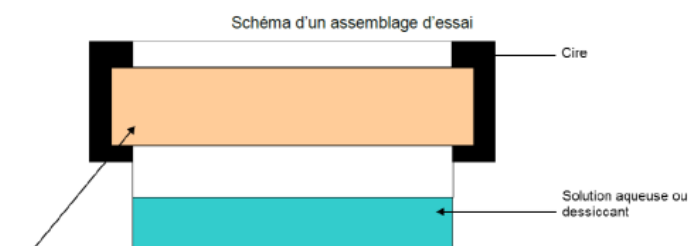


Figure 6 : Schéma de l'assemblage d'essai de coupelle

Absorption d'eau et de la porosité accessible à l'eau

Les essais de caractérisation de l'absorption d'eau à court terme par immersion partielle et de la porosité accessible à l'eau ont été réalisés par le LNE [23] selon la NF EN 15148, la norme NF EN 1609 et la norme NF P 18-459. Les éprouvettes ont été préalablement conditionnées jusqu'à stabilisation à 23°C et 50% HR.

Absorption d'eau à court terme par immersion partielle NF EN ISO 15148

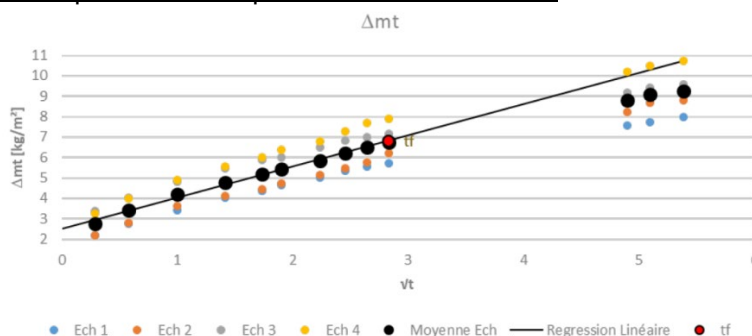


Figure 7 : Absorption d'eau à court terme par immersion partielle du béton de bois TimberRoc F800

Référence <i>Reference</i>	Eprouvette <i>Specimen</i>	l	b	d	ρ (kg/m³)	Type de courbe <i>Curve type</i>	$\Delta m_{\#}$ (kg/m²)	Δm_0 (kg/m²)	t _f (s / h)	A _w (kg/(m².s ^{0.5}))	W _w (kg/(m².h ^{0.5}))	
P212466	WS1	198	197	102,9	722,5	Type A	5,88	1,96	28800 / 8	2,31E-02	1,39	
	WS2	198	200	107,5	733,8	Type A	6,06	1,98		2,40E-02	1,44	
	WS3	197	199	104,1	690,0	Type A	7,41	3,19		2,49E-02	1,49	
	WS4	198	199	105,7	731,6	Type A	7,98	2,92		2,98E-02	1,79	
Essai réalisé du 16/09/21 au 17/09/21 <i>Test carried out from 16/09/21 to 17/09/21</i>										Résultats / <i>Results</i> :	2,55E-02	1,53

l longueur de l'éprouvette / length of specimen
b largeur de l'éprouvette / width of specimen
d épaisseur de l'éprouvette / thickness of specimen
t_r durée de l'essai / test duration
W_w Coefficient d'absorption d'eau, t_r en heure
Water absorption coefficient, t_r in hour

ρ masse volumique de l'éprouvette / density of specimen
 Δm_t Δm sur la droite au temps t
 Δm_0 absorption d'eau à court terme par immersion partielle
short term water absorption by partial immersion
A_w Coefficient d'absorption d'eau, t_r en seconde
Water absorption coefficient, t_r in second

Essai de Porosité accessible à l'eau selon NF P 18-459

Référence Reference	Eprouvette Specimen	M _{eau} (g)	M _{air} (g)	M _{sec} (g)	ρ_d (kg/m ³)	ρ_d moyenne (kg/m ³)	ε (%)	ε moyenne (%)
P212466	P212466-A	1187,3	4478,2	2461,6	750	750,0	61,3	61,4
	P212466-B	1137,0	4339,2	2370,3	740		61,5	

ρ_a : masse volumique apparente
Apparent density
M_{eau} : pesée hydrostatique après immersion
Hydrostatic weighing after immersion
M_{sec} : pesée après séchage à 105°C
Weighing after drying at 105°C

ε : Porosité accessible à l'eau
Porosity accessible to water
M_{air} : pesée dans l'air après immersion
Air weighing after immersion

Tableau 27 : résultats des essais de porosité accessible à l'eau du béton de bois TimberRoc F800

Sorption - désorption

La caractérisation de la sorption hygroscopique du béton de bois a été effectuée par le LNE [5] selon la NF EN ISO 12 571.

Les courbes ci-dessous donnent l'état hygroscopique du béton de bois en fonction de l'hygrométrie extérieure, chaque point des courbes est le résultat d'une moyenne réalisée sur une série de 3 essais.

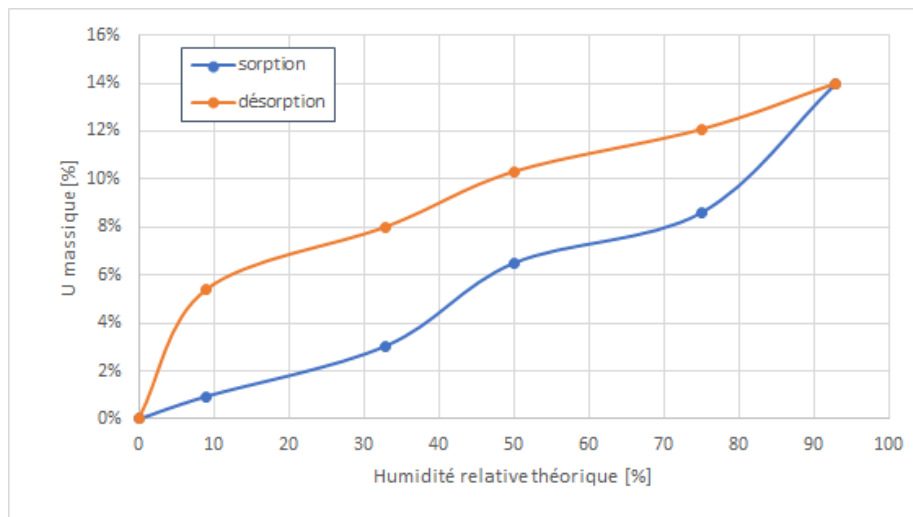


Figure 8 : Comportement hygroscopie du béton de bois TimberRoc en fonction de l'hygrométrie extérieure

5.2.11. Conductivité et capacité thermique

Conductivité thermique :

La conductivité thermique du béton de bois TimberRoc F800 présente un **λ utile de 0.16 W/m.K.**

Cette valeur est issue du § 2.2.6.1 du fascicule « matériaux » des règles Th-bat de la RT2012

Capacité thermique :

La détermination de la capacité thermique massique a été réalisés par le LNE [24] et est présentée dans le tableau ci-dessous.

Température (°C)	Capacité thermique Cp (J/(kg.K))
23	1221
30	1259
40	1324
50	1402

Tableau 28 : Résultats des mesures de capacité thermique du béton de bois TimberRoc F800

5.2.12. Résistance Brouillard salin

Une étude a été menée pour déterminer l'impact du vieillissement en enceinte à brouillard salin (BS) en conditions neutres avec un vieillissement en conditions des température et d'humidité relative contrôlées en laboratoire à 20°C et 50%HR sur 1008h sur les propriétés de résistance mécanique à la compression du béton de bois TimberRoc F800, en comparaison avec un béton cellulaire.

Les essais de mesure de la résistance au brouillard salin ont été réalisés par le laboratoire Capacités [25] selon un protocole spécifique, basé sur l'essai en brouillard salin selon les normes ISO 10289 et ISO 9227 (en conditions neutres NSS).

Quatre types de matériau ont été étudiés :

- Matériau A : TimberRoc F800 avec enduit (3x3 éprouvettes)
- Matériau B : TimberRoc F800 sans enduit (3x3 éprouvettes)
- Matériau C : Béton cellulaire avec enduit (3x3 éprouvettes)
- Matériau D : Béton cellulaire sans enduit (3x3 éprouvettes)

Pour chaque type de matériau, les 9 éprouvettes 15*15*15 ont été comparé suivant 3 conditions différentes :

- 3 éprouvettes à réception après stabilisation de la masse
- 3 éprouvettes après vieillissement en BS et stabilisation en masse
- 3 éprouvettes de la durée du vieillissement en BS à 20°C et 50%HR

Toutes les éprouvettes ont été étanchées afin qu'une seule face soit exposée aux différentes conditions extérieures.

Tous les essais de résistance mécanique sont réalisés sur toutes les éprouvettes avant et après vieillissement en conditions normales et en conditions de BS, après stabilisation de la masse à 20°C/50%HR (variation de masse inférieure à 0.2% en 24h).

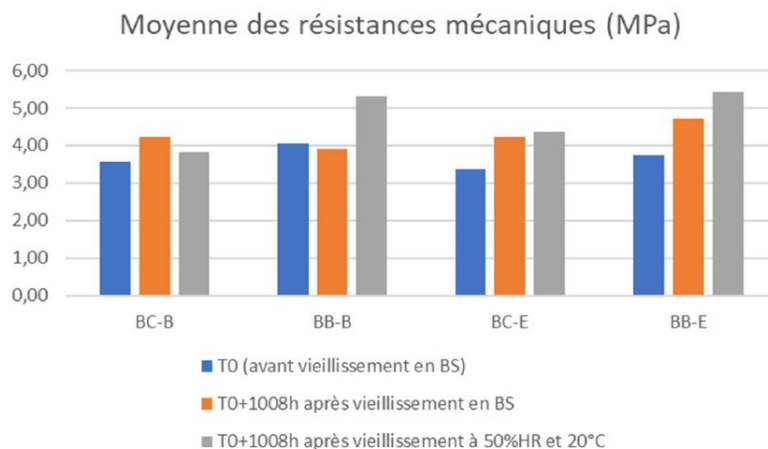


Figure 8 : Moyennes des résistances mécaniques calculées sur 3 éprouvettes pour chaque matériau (béton de bois enduit (BB-E) et non enduit (BB-B), béton cellulaire enduit (BC-E) et non enduit (BC-B)), avant et après vieillissement en BS et à 20°C/50%HR

Les essais en brouillard salin, réalisés selon la norme ISO 10289 et la norme ISO 9227 (en conditions neutres : NSS) , nous permettent donc de conclure que le brouillard salin n'affecte pas les caractéristiques mécaniques du béton de bois TimberRoc.

5.2.13. Durabilité - résistance au gel-dégel

La caractérisation de la résistance au gel/dégel du béton de bois TimberRoc a été réalisée par le LMC² [26] selon l'annexe C de la norme NF EN 771-1/CN : 2017-12.

Les éprouvettes sont soumises à 25 cycles de gel-dégel de telle sorte que le cœur de l'éprouvette atteigne les températures de -15°C et + 15°C. A l'issue de ces cycles, et d'une étape de stabilisation, les éprouvettes sont pesées à nouveau. Conformément au paragraphe 4.2.6 de la norme NF EN 14474 mai 2005, on vérifie bien que la perte de masse est inférieure à 10 % de la masse initiale et qu'elle n'affecte pas une épaisseur de plus de 5 mm.

Désignation	Masse initiale M [g]	Masse finale M' [g]	Perte de masse [%]
Eprouvette 1	2597,9	2571,9	1,0
Eprouvette 2	2489,5	2477,1	0,5
Eprouvette 3	2559,9	2544,5	0,6
Référence (non soumise aux cycles gel-dégel)	2490,1	2490,1	-
moyenne			0,7

Tableau 29 : perte de masse observée après gel-dégel sur béton de bois TimberRoc F800

5.2.14. Durabilité – Essais de résistance mycologique

L'évaluation de la résistance du matériau béton de bois TimberRoc au développement des moisissures a été évaluée par le FCBA [27] selon la méthode FCBA BIO M007. Ce protocole démontre que, après trempage pendant 48h dans l'eau suivi d'une exposition aux moisissures pendant 3 semaines à une température de (23 ± 2)°C et une humidité relative de (95 ± 5)%, le béton de bois testé est résistant au développement des moisissures. La cotation est réalisée sur des boîtes de Pétri inoculées par les moisissures.

	Cotation développement des moisissures
Témoign positif : moisissures sur boîtes de Pétri	4
Béton de bois TimberRoc	0

Tableau 30 : Essais de résistance mycologique sur béton de bois TimberRoc F800

5.2.15. Durabilité – Résistance termites

L'évaluation de la résistance aux termites du béton de bois TimberRoc a été réalisée par le FCBA [28] d'après la NF EN 118 : Détermination de l'action préventive contre les espèces de Reticulitermes (termes européens) – méthode de laboratoire (janvier 2014). Le protocole de la norme a été adapté de façon à tester un matériau plutôt qu'un produit de préservation du bois.

Six éprouvettes de béton de bois TimberRoc et trois éprouvettes témoins sont exposées aux termites pendant 56 jours. Un examen visuel est ensuite réalisé selon le référentiel de la norme qui définit 5 niveaux de dégradation : de 0, pas de trace de dégradation sur les fibres, à 4, attaque généralisée avec des cavités dans toute l'épaisseur du matériau testé.

	Degré d'attaque de l'éprouvette
Dispositifs témoins (3 éprouvettes)	4
Béton de bois TimberRoc (6 éprouvettes)	0

Tableau 31 : Essais de résistance aux termites sur béton de bois TimberRoc F800

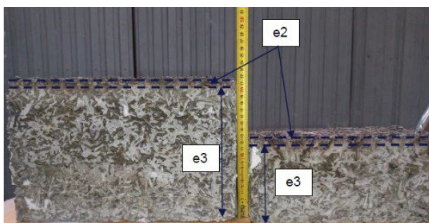
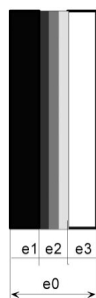
Le rapport d'essai [28] précise que le béton de bois TimberRoc ne fait pas obstacle à la pénétration des termites dans le bâtiment et qu'il n'y a pas de dégradations des fibres ce qui montre que l'activité des termites n'a pas d'incidence sur les propriétés physiques du matériau. Le matériau béton de bois n'est pas une source de nourriture pour les termites.

5.2.16. Performances au feu du béton de bois

Masse combustible mobilisable

Le béton de bois TimberRoc F800 a été soumis à un test de détermination de la Chaleur Combustible Mobilisable (CCM) selon la norme EN 1363-1 : 2020 et annexe A2 de l'instruction technique n°249 : 2010.

Les tests ont été réalisés par le laboratoire EFECTIS [29] sur deux échantillons de dimensions 300 x 400 x 150 mm (l x h x e) et 300 x 400 x 240 mm.



$$CCM = \frac{[\rho_1(e_0 - e_3) \times PCS1 - \rho_2 e_2 \times PCS2]}{\rho_1 e_0} \text{ (MJ/kg)}$$

- e₁ épaisseur du matériau solide disparu pendant l'essai ou éliminé par brossage après l'essai (car non adhérente à e₂).
- e₂ épaisseur moyenne endommagée par le feu ;
- ρ₂ masse volumique du matériau broyé ;
- e₃ épaisseur de l'éprouvette non endommagée par le feu ;

	Echantillon 1 (épaisseur 150 mm)	Echantillon 2 (épaisseur 240 mm)
Epaisseur e1	25 mm	25 mm
Epaisseur e2	10 mm	10 mm
Densité rho 2	670 kg/m ³	680 kg/m ³
Epaisseur e3	115 mm	205 mm
CCM	0,188 MJ/kg	0,108 MJ/kg

Tableau 32 : Masse combustible mobilisable sur béton de bois TimberRoc F800

Réaction au feu

Le classement au feu du béton de bois TimberRoc a été déterminé par le laboratoire EFACTIS [30] [31] [32] [33] selon les normes de référence :

- NF EN 13501-1: 2018 - Classement au feu des produits et éléments de construction – Partie 1 : Classement à partir des données d'essais de réaction au feu
- NF EN 13823:2020 - Essais de réaction au feu des produits de construction - Produits de construction à l'exclusion des revêtements de sol exposés à une sollicitation thermique provoquée par un objet isolé en feu
- NF EN ISO 1716:2018 - Essais de réaction au feu de produits - Détermination du pouvoir calorifique supérieur (valeur calorifique)

Classement de réaction au feu	A2-s1, d0
-------------------------------	-----------

Résistance au feu

Le matériau béton de bois TimberRoc F800, sous forme de panneaux préfabriqués bruts, a fait l'objet de plusieurs essais de résistance au feu REI.

Les résultats des essais sur des panneaux de 3,00m de hauteur sont détaillés dans les rapports et PV :

- 20-01910_A_CCB_MC_RE_V0 : essai REI Panneau 15cm – charge 22,5kN/ml : REI 120min
- 20-01910_B_CCB_MC_RE_V0 : essai REI Panneau 20cm – charge 160kN/ml : REI 60min
- 21-04560_CCB_RE_MC_V0 : essai REI Panneau 24cm – charge 220kN/ml : REI 60min
- 20-01910_C_CCB_MC_RE_V1 : essai REI Panneau 40cm – charge 320kN/ml : REI 180min

Une appréciation de laboratoire n° AL21-304 datant du 31 mars 2023 du CSTB donne l'analyse globale et loi de calcul pour des panneaux de hauteur jusqu'à 3,30m.

5.2.17. Emission de polluants volatils

La mesure du dégagement de certains composés volatils (COV, aldéhydes) d'un échantillon de béton de bois F800 a été effectuée par le LNE [34] selon le référentiel NF EN ISO 16000-9.



5.2.18. Impact environnemental

Les procédés constructifs utilisant le béton de bois, et sous agrément, font l'objet de fiches FDES publiées sur la base INIES.

Sur le module A des FDES, le bilan des matériaux du béton de bois TimberRoc donne un bilan négatif en carbone du fait du stockage important de CO2 dans les granulats de bois.

TABLEAU D'ANALYSE ENVIRONNEMENTALE DES SOLUTIONS CCB GREENTECH					Version du 23/02/2023	
		Données Etudes FDES avec KARIBATI				
		Liant ciment CEM II				
	Date Mise à jour Base INIES	Bilan Carbone FDES Statique A1	Bilan Carbone RE2020 - ACV Dynamique	Quantité de biosourcé	Proportion de bois en volume pour 1m3 de béton de bois	
Produits / Configurations		Fin de Vie : Enfouissement				
		kg eq CO2/m²	kg eq CO2/m²	kg/m²		
Panneau CS2 24cm	FDES déc 2022	-18,75	-11,4	44,37	79%	
Panneau CS2 30cm	FDES déc 2022	-26,29	-17,05	56,05	79%	
Panneau FP2/FP3 16cm	FDES déc 2022	-7,7	-3,14	30,48	79%	
Panneau FP2/FP3 20cm	FDES déc 2022	-13,2	-7,32	38,48	79%	

Tableau 33 : Tableau d'analyse environnementale des modes constructifs CCB Greentech sept 2023

6. CHANTIERS DE REFERENCE

Les chantiers de référence sont résumés ci-dessous :



Liste de quelques chantiers référencés de Lignoroc

mise à jour Novembre 2022

		lieu	année	mode constructif	épaisseur	long murs	Estimation Surface	Visuels		
1	Maison individuelle Rdc	Amplepuis - Rhône	2007	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	150			
2	Maison individuelle R+1	Savoie	2007	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	150			
3	Bâtiment de stockage Industrie	Isère	2009				400			
4	2 villas individuelles	ISERE	2010	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	260			
5	maison individuelle	DROME	2011	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	200			
6	3 chalets rdc	Meyzieu- Rhône	2012	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	Longueurs jusqu'à 6 m	170			
7	1 restaurant	Meyzieu - Rhône	2012	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	300			
8	1 Maison individuelle	Italie	2012	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	150			
9	1 Maison individuelle	Italie	2013	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	Panneaux de longueur max 5,00m	150			
10	3 chalets - rdc	Meyzieu 69	2014	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	Longueurs jusqu'à 6 m	180			
11	1 Maison individuelle	ITALIE	2014	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	5,00 M	150			
12	6 Chalets - rdc	Meyzieu 69	2014	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	jusqu'à 6 m	300			
13	1 chalet - rdc	ISERE	2014	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	jusqu'à 6 m	50			
14	4 CHALETS - rdc	ISERE	2015	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	jusqu'à 6 m - ITE	200			
15	1 chalet - rdc	ISERE	2015	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	Panneaux de longueur max 5,00m	50			
16	1 Maison individuelle	Sillingy 74	2015	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	grande long - max 7 m	250			
17	6 chalets - rdc	Meyzieu 69	2016	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	max 6 M	320			

18	1 Maison individuelle	Isere	2016	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	34	grande longueur - MUR max 5,40 m - pignons 8,00 M - ITE	160	
19	Habitation en bande 6 logements	Isere	2017	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	34	grande longueur - MUR 6,32 M	800	
20	1 VILLA individuelle	CUBLIZE	2017	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	34	grande longueur - MUR 7,40 M	140	
21	1 VILLA individuelle	haute SAVOIE	2017	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	34	grande longueur - MUR max 7,70 M	180	
22	1 VILLA individuelle	ISERE	2017	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23-34	Murs garage 8,60M ep 23 cm / murs villa max 5 M - ep 34 cm / 1 mur refend 9 M	210	
23	1 villa	hauteville sur fier	2018	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30		180	
24	1 villa	le Montel	2018	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30		180	
25	1 villa	LA ROCHETTE 73	2018	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30		180	
26	1 VILLA individuelle	CERNEX 74	2018	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	34	Mur rdc max 4,46m / R+1 Max 4,5m	250	
27	1 VILLA individuelle- reconstruction suite à incendie	DETRIER 73	2019	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23 et 34		160	
28	1 villa individuelle	LUMBIN 38	2019	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	HT MUR 3,50M ET 2,80 M	X	
29	2 villas jumelées	LA ROCHETTE 73	2019	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	mur 6,5 m ht 2,95 m	160	
30	3 villas jumelées	Isere	2019	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	23	garage 23 cm - mur max 5,95m	300	
31	Complex restaurant-piscine- séminaire	Var	2019	Principe WS1 (AT 2009 / ETN)	30	300 m2 de murs	300	
32	Villa individuelle architecte	Savoie	2020	Principe constructif CS2 et dalles DS1	30 et 20	environ murs 300m² et dalles 400m²	400	
33	Entrepôt + bureaux R+1	Var	2020	Principe constructif CS2-CS3	30	900 m²	900	
34	Villa individuelle	Isère	2021	Principe constructif CS2	30	150 m²	150	
35	Eglise Evangélique	Bouches-du-Rhône La Valette	2021	Principe constructif CS2-CS3	30	1200m²	1200	

36	Locaux du personnel Spurgin RDC	Bouches-du-Rhône La Farlede	2021	Principe constructif CS2	24	150 m²	150	 
37	4 Collectifs de 8 maisons en bande R+1	Loire	2021	Principe constructif CS2	24	4500 m²	4500	  
38	Usine La Meziere	Rennes	2022	Principe constructif CS2	24	1200m²	1200	
				Total:		en m²	15130	

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] LT0-PAQ PRODUCTION GRANULATS ADDITIVES
- [2] LT1-PAQ PRODUCTION PREFABRICATION
- [3] Dossier Technique d'Atex de cas A des panneaux porteurs CS2, septembre 2022.
- [4] Rapport RA-TCA0045 du CERIBOIS de Janvier 2022 intitulé « Essais de compression sur banc de rupture sur du béton de bois ».
- [5] Rapport d'Essais n°P212466.3 – Document DEC / 3 du LNE du 09/02/2022 : Essais de sorption-désorption.
- [6] Rapport d'étude n° 20-26088050, Simulation hygrothermique, CSTB, 21 septembre 2020
- [7] Rapport du LMC2 de Novembre 2019 intitulé « Essais de compression sur cylindre avec conditions hygrométriques ».
- [8] Rapport d'essais n° EEM 22-08281-B du CSTB du 27/6/2022 « Essai de flexion sur un procédé en béton de bois (TimbeRoc) » et note de calculs de STEBAT de S11/2022 « 2022_515_Analyse des essais de flexion 4 points »
- [9] Rapport d'essais n° EEM 22-08281-C du CSTB du 28/6/22 « Essai de compression sur murs en béton de bois »
- [10] Rapport d'essais du LMC² d'Août 2022 « Essais sur béton de bois : Essais de fluage en compression »
- [11] Rapport d'essais du LMC² de Avril 2022 « Essais d'ancrage par tirefond et vis sur support bois-béton ».
- [12] Rapport d'essais du SFS de Février 2023 « Essais d'arrachement de différentes fixations pour menuiserie sur support bois-béton ».
- [13] Rapport d'essais du SFS de Février 2023 « Essais d'arrachement de fixations bois sur support bois-béton ».
- [14] Rapport d'essais du LMC² de Novembre 2019 « Essais de cisaillement sur bloc bois-béton ».
- [15] Rapport d'essais du LMC² de Mai 2021 « Essai à rupture sur boucles de levage de mur en bois béton »
- [16] Rapport d'essais n°037516 du CERIB, mai 2022 « Caractérisation de la classe Rt d'un élément de maçonnerie au sens du DTU 26.1 et sur la base de la norme NF EN 1015-12 ».
- [17] Rapport d'essais n°036961 du CERIB, avril 2022 « Caractérisation de la résistance à l'adhérence d'un mortier d'enduit durci appliqué sur supports en béton de granulats de bois selon la norme NF EN 1015-12 ».
- [18] Rapport d'essais n°038343 du CERIB, juillet 2022 « Caractérisation de la résistance à l'adhérence d'un mortier d'enduit durci appliqué sur supports en béton de granulats de bois selon la norme NF EN 1015-12 ».
- [19] Rapport d'essais du laboratoire LMC² de l'Université Claude Bernard Lyon 1 de juin 2019 présentant les essais de variations dimensionnelles sur le béton de bois.
- [20] Rapport d'essais 403/21/0428/B-1-v3 du FCBA – 16/12/2021 : Dilatation thermique d'un système à base de béton de bois.
- [21] Rapport d'essais 403/21/0428/B-2-v3 du FCBA – 16/12/2021 : Dilatation hygrothermique d'un système à base de béton de bois.
- [22] Rapport d'Essais n°403/21/0428/B-4-v2 du FCBA – 16/12/2021 « Détermination des propriétés de transmission de vapeur d'eau d'un système à base de béton de bois ».
- [23] Rapport d'Essais n°P212466.2 – Document DEC / 2 du LNE du 7/10/2021 : Essais de détermination de l'absorption d'eau à court terme et de la porosité accessible à l'eau.
- [24] Rapport d'essais P212466.DSMI/1 du LNE du 8/6/21 « Détermination de la capacité thermique massique d'un matériau type béton de bois »
- [25] Rapport de Capacité SAS du 07/09/2023 : Etude comparative du vieillissement en milieu salin de matériaux cimentaires, béton de bois, et béton « cellulaire » sur 1008h
- [26] Rapport d'essais du LMC² de mai 2022 « Essais sur éprouvettes en béton de bois - Gel / Dégel ».
- [27] Rapport d'essais n° 401/19/077Z Bis/1/a du FCBA - 02/12/2019 présentant une évaluation de la résistance d'un matériau au développement des moisissures.
- [28] Rapport d'essais n° 401/19/077Z du FCBA - 06/01/2020 présentant une évaluation de la résistance du béton de bois aux termites.
- [29] Rapport d'essais RE EFR-21-F-001489 de EFECTIS « Rapport d'essais de Chaleur Combustible Mobilisable ».
- [30] Rapport d'essais RE EFR-21-HC-004492 de EFECTIS « Rapport d'essais du PCS ».
- [31] Rapport d'essais RE EFR-21-SBI-004492 de EFECTIS « Rapport d'essais de réaction au feu »
- [32] Rapport PV EFR-21-004492A de EFECTIS « Procès-Verbal de classement de réaction au feu du béton de bois ».
- [33] Rapport RC EFR-21-004492 de EFECTIS « Rapport de classement de réaction au feu du béton de bois ».
- [34] Rapport d'essais P217989_rapport_COV du LNE du 28/6/22 « Dossier 217989-document DEC/1 »

- [35] Document CCB Greentech du 27/09/2023, Synthèse des justifications des principales caractéristiques mécaniques du béton de bois F800
- [36] Rapport d'essais de CCB Greentech du 28/10/2022 « Effet de bord à l'arrachement »