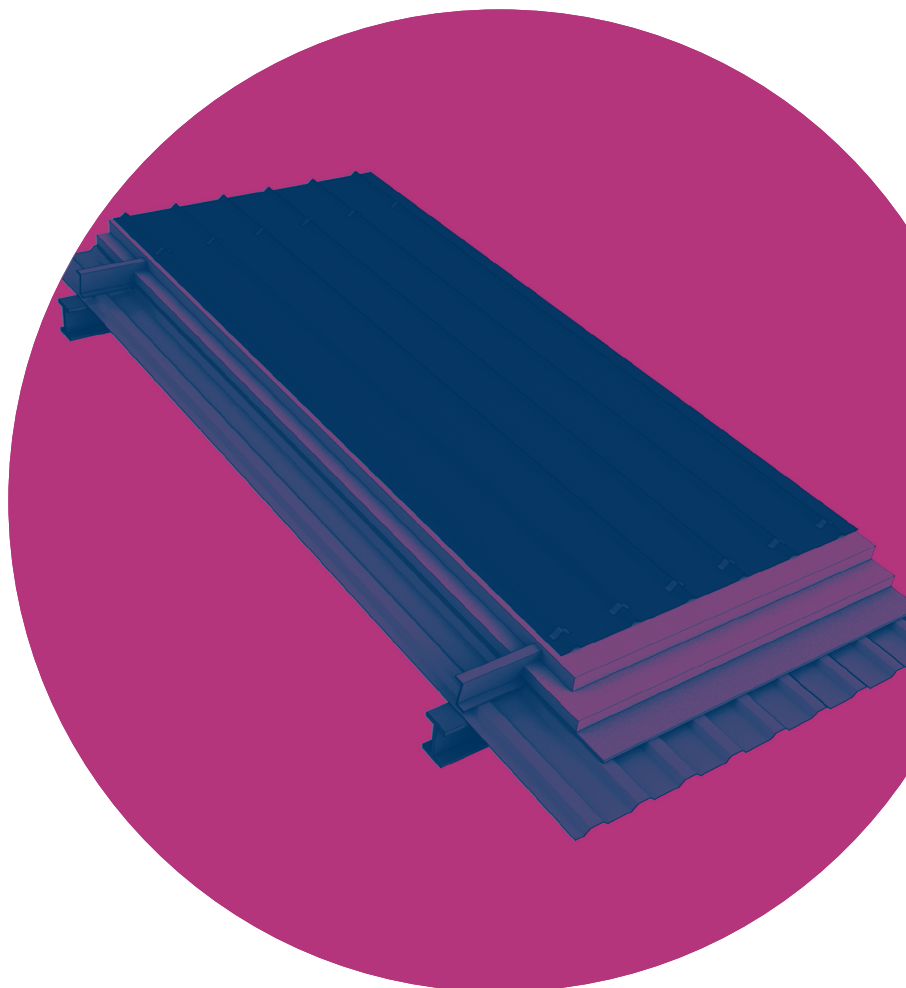


SYSTÈMES INNOVANTS DE COUVERTURE DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

MARS 2022



RAPPORT DE SYNTHÈSE SUR LES COUVERTURES ACIER ÉQUIPÉES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS

AVANT-PROPOS

Avec le programme PROFEEL, la filière Bâtiment s'est rassemblée pour répondre collectivement aux défis de la rénovation énergétique. 16 organisations professionnelles ont été à l'initiative de cette démarche et, continuent aujourd'hui à la porter activement.

PROFEEL se compose concrètement de 9 projets, positionnés sur trois grands enjeux : favoriser le déclenchement des travaux de rénovation, garantir la qualité des travaux réalisés et consolider la relation de confiance entre les professionnels. Ces projets s'appuient sur l'innovation, qu'elle soit technique ou numérique, afin de mieux outiller les professionnels du bâtiment, d'améliorer les pratiques sur le marché de la rénovation énergétique et de garantir la qualité des travaux réalisés. Ces outils permettront d'accompagner les acteurs durant toutes les étapes d'un projet de rénovation : en amont, pendant et après les travaux.

Dans le cadre du projet BONNES PRATIQUES, un des 9 projets PROFEEL, 14 nouveaux outils pratiques sont développés pour accompagner les professionnels dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance de solutions techniques, clés ou innovantes de rénovation énergétique. Cette nouvelle collection d'outils s'inscrit dans la continuité des référentiels techniques produits dans le cadre de précédents programmes portés par la filière Bâtiment : PACTE et RAGE.

Le présent document est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Pour plus d'information : <https://programmeprofeel.fr/>

PARTENAIRES PROFEEL :

Pouvoirs Publics



Porteurs



Financiers



Filière Bâtiments

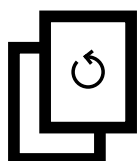


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

○	INTRODUCTION	4
1	OBJET DU RAPPORT DE SYNTHÈSE	5
2	ÉTAT DE L'ART	6
3	DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS : SYSTÈMES INNOVANTS DE COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS	7
4	CONCLUSION	37
5	ANNEXE 1 : PLANS DE LA MAQUETTE RÉALISÉE	38
6	ANNEXE 2 : PHOTOS DU DÉMONSTRATEUR	45
7	BIBLIOGRAPHIE	49



VERSION
Initiale

DATE DE LA PUBLICATION
Mars 2022

MODIFICATIONS



INTRODUCTION

Le contexte de la réglementation environnementale RE2020 d'une part, de la mise en application des lois ESSOC et ELAN d'autre part, implique de faire évoluer les technologies d'enveloppe afin d'améliorer leur bilan carbone tant en émission qu'en stockage tout en assurant une excellente performance thermique.

La révision du CCH tend à assurer, en plus des performances thermiques et techniques habituelles, des performances environnementales afin notamment de limiter l'empreinte carbone des bâtiments. Il revient ensuite à chaque maître d'ouvrage d'utiliser les matériaux qui permettront de limiter cette empreinte carbone. Les isolants biosourcés, qui font l'objet de ce rapport, sont une option possible.

L'enveloppe métallique et notamment la technologie des couvertures double peau est majoritairement présente dans le secteur tertiaire (grands halls chauffés comme les centres commerciaux, les gymnases, etc).

Cependant, le référentiel des couvertures double peau en acier (DTU 40.35) ne vise pas les isolants biosourcés.

Le programme PROFEEL a pour objectif de stimuler l'innovation technique au profit de la rénovation énergétique des bâtiments. C'est dans ce cadre que ce projet vise à tester des systèmes de couverture double peau en acier avec des isolants biosourcés en rénovation énergétique de bâtiments non résidentiels.

1

OBJET DU RAPPORT DE SYNTHÈSE

L'objectif de ce rapport est :

- D'effectuer un état de l'art en matière de connaissances et référentiels sur le sujet des couvertures double peau en acier avec des isolants biosourcés,
- D'établir des éléments techniques permettant de compléter cet état de l'art en matière de durabilité et de comportement thermique et hygrothermique,
- D'établir un domaine d'emploi potentiel de cette technique des couvertures double peau en acier avec des isolants biosourcés,
- De proposer les bases techniques d'un futur référentiel sur la rénovation de couvertures existantes avec des isolants biosourcés, en complément du DTU 40.35 (CPT, DTA, RP).

En vue de faciliter le développement de cette technique tout en maîtrisant de manière raisonnable les aléas

techniques liés au fonctionnement et la durabilité des couvertures en acier avec des isolants biosourcés ce document comprend :

- Un volet durabilité des couvertures double peau en acier avec des isolants biosourcés qui s'appuie sur le rapport « SUIVI INSTRUMENTÉ DE COUVERTURES ACIER INTEGRANT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS – ETUDE HYGROTHERMIQUE » rédigé dans le cadre du programme PROFEEL,
- Un volet performances thermiques des couvertures en acier avec isolants biosourcés qui s'appuie sur un rapport « COUVERTURE ACIER INTEGRANT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS : ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES ET HYGROTHERMIQUES » rédigé dans le cadre du programme PROFEEL.

2

ÉTAT DE L'ART

Technique des couvertures avec isolants biosourcés

Il n'existe aucun référentiel sur la mise en œuvre d'isolants biosourcés dans les couvertures acier double peau. Le DTU 40.35 ne vise pas les isolants biosourcés.

NOTE



Les couvertures double peau à trames croisées porteuses ne font pas à ce jour, l'objet d'un référentiel technique consensuel du type DTU ou Règles Professionnelles.

Caractéristiques des isolants biosourcés (performances, pathologies, etc)

Les documents suivants abordent le sujet :

- Isolants biosourcés de bonne performance thermique, novembre-décembre 2012 n°135 qualité construction,
- AQC isolants biosourcés points de vigilance,
- Guide FFB les matériaux biosourcés dans le bâtiment.

Performance thermique par défaut réglementaire des isolants biosourcés

L'arrêté suivant peut être cité :

Arrêté du 4 août 2021 (annexe XII) relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation, entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.

Méthodologie pour tester les isolants biosourcés (thermique, hygrothermique)

In Situ Performance Assessment of a Bio-Sourced Insulation Material from an Inverse Analysis of Measurements

on a Demonstrator Building- Advanced Engineering Forum 2017 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.

Comportement hygrothermique des isolants biosourcés

Document technique C et B 2012 « Etat des lieux des connaissances actuelles sur le fonctionnement hygrothermique des matériaux biosourcés »

Le Cahier du CSTB 3728 de décembre 2012 Isolation thermique des murs par l'intérieur : Procédés d'isolation à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application DE

Le Cahier du CSTB 3713-V3 publié le 3 décembre 2021 Guide technique spécialisé pour la constitution d'un dossier de demande d'Avis Technique : Isolants à base de fibres végétales ou animales.

NOTE



L'attention est attirée sur le fait que des investigations complémentaires peuvent être nécessaires dans le cadre de l'évaluation des isolants mentionnés dans le présent document.



DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS : SYSTÈMES INNOVANTS DE COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

3

1

DOMAINE D'APPLICATION ET ISOLANTS BIOSOURCÉS VISÉS EN COUVERTURE

Sur la base des 9 mois de mesures pour la couverture, le domaine d'application est identique aux DTU 40.35 sous réserve des modifications suivantes devant toutes être respectées :

- Les locaux visés sont à faible hygrométrie,
- Seule la France métropolitaine et uniquement le climat de plaine sont visés (altitude inférieure à 900 m).

NOTE



Les locaux à moyenne hygrométrie, visés par le DTU 40-35, ne sont donc pas admis dans le présent document
Ces dispositions sont proposées afin de limiter les flux de vapeur à l'intérieur des parois compte tenu de la capacité hygroscopique moyenne des isolants biosourcés.

Sous réserve d'une justification vis-à-vis de la sécurité incendie par un laboratoire ou couple de laboratoires agréés en réaction et résistance au feu, les cinq isolants biosourcés suivants peuvent être envisagés en fond de plateau uniquement sous forme de panneau et de feutre déroulé :

- La fibre de bois,
- Laine de chanvre,
- Ouate de cellulose,
- Textile recyclé,
- Isolant mixte composé de chanvre, de coton et de lin.

NOTE



La laine de mouton est exclue car elle a une capacité hygroscopique forte.
La paille est exclue car la conductivité thermique est supérieure à $0,08 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ en panneau d'une part, impliquant des augmentations d'épaisseur de paroi trop importantes par rapport à la technique des couvertures double peau actuelle, et ne se présente pas sous forme de feutre (rouleau souple) d'autre part.
Le liège est exclu car les rouleaux et panneaux sont de minces épaisseurs.

Sont visés uniquement : Les bâtiments du DTU 40.35

NOTE



Seule cette typologie de bâtiments est retenue compte tenu de l'absence d'étude incendie sur le sujet.

Les points suivants n'ont pas été étudiés dans le cadre de ce domaine d'application car non visés par le programme PROFEEL :

- Les performances acoustiques des parois,
- Les performances de réaction et résistance au feu des parois,
- Les performances au feu extérieur de couverture
- Les performances de feu couvant au sein des parois,
- Les performances environnementales liées à la qualité de l'air intérieur,
- Les performances environnementales (FDES, ACV, etc.).

3

2

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE

- DTU 40.35
- Arrêté du 4 août 2021 (annexe XII) relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation, entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.
- AQC isolants biosourcés points de vigilance
- Les matériaux biosourcés dans le bâtiment FFB
- Document technique C et B 2012 état des lieux des connaissances actuelles sur le fonctionnement hygro-thermique des matériaux biosourcés
- Le Cahier du CSTB 3728 de décembre 2012 Isolation thermique des murs par l'intérieur : Procédés d'isolation à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales faisant l'objet d'un Avis Technique ou d'un Document Technique d'Application DE
- Le Cahier du CSTB 3713-V3 publié le 3 décembre 2021 Guide technique spécialisé pour la constitution d'un dossier de demande d'Avis Technique : Isolants à base de fibres végétales ou animales.

3

3

TERMINOLOGIE – DÉFINITIONS

Couverture double peau à trames parallèles

Couverture double peau constituée d'une peau intérieure (plaques nervurées ou plateaux), de nervures parallèles au rampant, de fausses pannes éventuelles reposant ou non sur des pontets, d'une isolation thermique et d'une peau extérieure constituée de plaques nervurées ou ondulées dont les nervures ou ondulations sont parallèles aux lèvres des plateaux ou nervures des plaques de la peau intérieure.

Couverture double peau à trames croisées

Couverture double peau constituée d'une peau intérieure (plaques nervurées ou plateaux), perpendiculaire au rampant, de fausses pannes éventuelles reposant ou non sur des pontets, d'une isolation thermique et d'une peau extérieure constituée de plaques nervurées ou ondulées dont les nervures ou ondulations sont perpendiculaires aux lèvres des plateaux ou nervures des plaques de la peau intérieure.

NOTE

Les couvertures double peau à trames croisées porteuses ne font pas à ce jour, l'objet d'un référentiel technique consensuel du type DTU ou Règles Professionnelles.

Pont thermique

Le pont thermique correspond à une partie de l'enveloppe du bâtiment où la résistance thermique, par ailleurs considérée uniforme, est modifiée de façon sensible par une absence, une discontinuité ou une dégradation locale de l'isolation (acrotère non isolée, etc.).

Plateau

Le plateau est un élément profilé en forme de C en acier protégé présentant une face plane ou légèrement nervurée (plage) formant la paroi intérieure du bâtiment et deux semelles (lèvres) de chaque côté de cette plage. Le plateau a une fonction de support des isolants et de son poids propre.

Ecarteurs ou fausses pannes

Zed ou sigma d'épaisseur 1,5 mm minimum, simples ou reconstitués par vissage, positionnés entre deux peaux en acier dans le but d'assurer un espacement continu entre ces dernières.

Isolant thermique

Un isolant thermique est un matériau ayant une faible conductivité thermique, c'est-à-dire un matériau capable d'opposer au flux thermique qui le traverse, une grande résistance thermique.

Isolant biosourcé

Matériau entièrement ou partiellement issu de la biomasse végétale ou animale.

Plaques nervurées et ondulées

Les plaques nervurées en acier protégé ou auto-protégé sont à nervures trapézoïdales ou ondulées donnant l'inertie et la rigidité en flexion. Elles sont fixées directement sur l'ossature principale, sur l'ossature secondaire, sur des écarteurs, sur fausse panne.

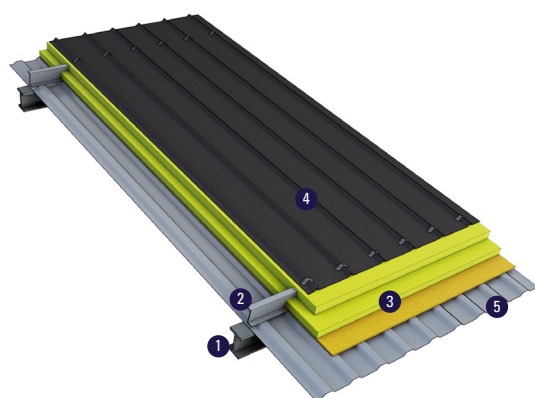
3

4

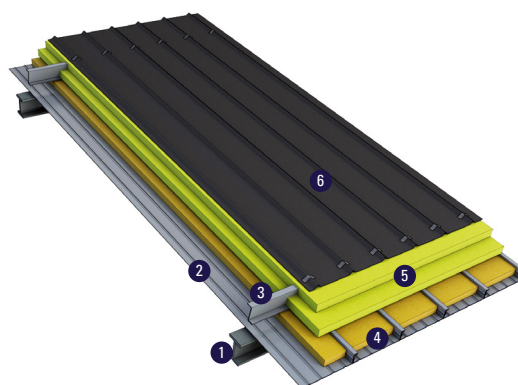
TYPES DE COUVERTURES EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

3.4.1 LES COUVERTURES DOUBLE PEAU À TRAMES PARALLÈLES

Couverture double peau constituée d'une peau intérieure (plaques nervurées ou plateaux), de nervures parallèles au rampant, de fausses pannes éventuelles reposant ou non sur des pontets, d'une isolation thermique et d'une peau extérieure constituée de plaques nervurées ou ondulées dont les nervures ou ondulations sont parallèles aux lèvres des plateaux ou nervures des plaques de la peau intérieure (cf. figure 1).



- ① Structure porteuse
- ② Fausse panne zed sur pontet
- ③ Isolant biosourcé
- ④ Profil nervuré extérieur
- ⑤ Profil nervuré intérieur



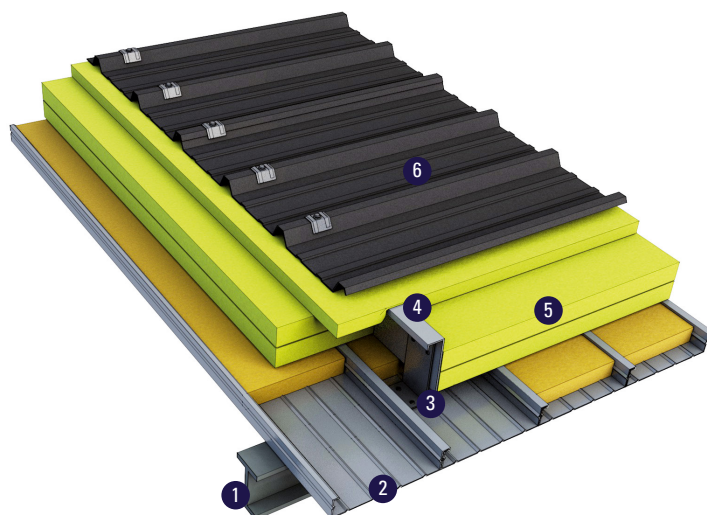
- ① Structure porteuse
- ② Plateau non porteur
- ③ Fausse panne zed sur pontet
- ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé
- ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé
- ⑥ Plaque nervurée extérieure

FIGURE 1 Couvertures double peau à trames parallèles

3.4.2 LES COUVERTURES DOUBLE PEAUX À TRAMES CROISÉES

Couverture double peau constituée d'une peau intérieure (plaques nervurées ou plateaux), perpendiculaire au rampant, de fausses pannes reposant sur des pontets ou échantignolles, d'une isolation thermique et d'une peau

extérieure constituée de plaques nervurées ou ondulées dont les nervures ou ondulations sont perpendiculaires aux lèvres des plateaux ou nervures des plaques de la peau intérieure (cf. figure 2)



- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| ❶ Structure porteuse | ❷ Fausse panne zed sur échantignolles |
| ❸ Plateau non porteur | ❹ Isolant en matériau biosourcé |
| ❺ Échantignolle | ❻ Profil nervuré extérieur |

FIGURE 2 Exemple de Couverture double peau à trames croisées

3

5

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA CONCEPTION D'OUVRAGES AVEC COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER ET ISOLANTS BIOSOURCÉS

3.5.1 GÉNÉRALITÉS

Les isolants biosourcés étant sujets à l'absorption d'humidité, ceci implique de protéger les profils acier en conséquence par des dispositions technologiques adaptées (voir ci-après).

NOTE



Le maître d'œuvre et l'entrepreneur devront préciser au plus tôt aux fournisseurs de profils que les isolants des couvertures sont à base d'isolants biosourcés afin que ceux-ci disposent dans les délais du chantier des bobines avec revêtements adaptés.

3.5.2 DURABILITÉ DES PLATEAUX

Pour les plateaux les dispositions du DTU 40.35 concernant les revêtements de protections s'appliquent.

NOTE



Dans le démonstrateur, les isolants étaient tous secs lors du démontage après 9 mois de recul.

3.5.3 DURABILITÉ DES ÉCARTEURS ET FAUSSES PANNES

Au bout de 9 mois de mise en œuvre il semble nécessaire d'avoir pour les écarteurs une catégorie de système de revêtement IV au sens de la NF P 34-301 ou de type Z350 au sens de la NF P 34-310.

NOTE



Ces dispositions sont formulées en considérant une humidité plus importante au sein de l'isolant biosourcé en complément de dispositions technologiques adéquates mais également que ces éléments ont une épaisseur minimum de 1,5 mm.

3.5.4 ECRAN PARE-PLUIE

Sans objet en couverture.

3.5.5 ECRAN PARE-VAPEUR

Il est obligatoire pour les couvertures ayant la paroi intérieure perforée ou crevée (cf DTU 40.35). Il est positionné du côté chaud de la paroi (règle des 1/3 – 2/3).

3.5.6 DURABILITÉ DE LA PEAU EXTÉRIEURE

Pour les plaques nervurées un revêtement intérieur de catégorie IIIa (NF P 34 301) 35 µm et de catégorie IV 25 µm extérieur minimum est nécessaire dans le cas d'isolants :

- en laine de chanvre,
- en fibre de bois,

- mixtes composés de chanvre, coton et de lin.

Dans les autres cas (autres natures d'isolant biosourcés étudiées durant les présent travaux), le DTU 40.35 s'applique.

3.5.7 DURABILITÉ DES VIS DE FIXATION

Les dispositions du DTU 40.35 s'appliquent.

3.5.8 POSITION DU POINT DE ROSÉE

Afin de limiter au maximum les risques de condensation dans les isolants biosourcés, le point de rosée doit être calculé pour ne pas produire de condensation au niveau de la peau extérieure. Le calcul est effectué par le bureau

d'études thermiques avec le concepteur de la paroi et au besoin avec l'assistance technique des fournisseurs de profils et d'isolants biosourcés.

3

6

SPÉCIFICATIONS TECHNIQUES DES MATÉRIAUX ET COMPOSANTS BIOSOURCÉS

3.6.1 CONDITIONNEMENT

Les isolants biosourcés livrés pour des couvertures doivent impérativement être conditionnés :

- sous forme de panneau,
- sous forme de rouleau ou feutre.

Les isolants biosourcés peuvent être stockés sous bâche ventilée, en accord avec les préconisations des fournisseurs. Les isolants biosourcés en vrac ne sont pas admis.

NOTE



Note

Ceci permet de conserver les principes de mise en œuvre définis dans le DTU 40.35 d'une part et d'éviter les envols d'isolants biosourcés lors de la mise en œuvre d'autre part.

3.6.2 MASSE VOLUMIQUE DE L'ISOLANT BIOSOURCÉ

Elle doit être comprise entre 20 et 150 kg/m³

NOTE



Afin de ne pas augmenter les charges permanentes par rapport aux constructions traditionnelles et ainsi permettre de justifier au séisme sans essais complémentaires des couvertures équipées d'isolants biosourcés.

3.6.3 PERFORMANCES THERMIQUES

Les performances thermiques sèches des isolants biosourcés sont celles des fiches techniques. Dans cette étude, la conductivité thermique maximale de l'isolant biosourcé est de 0,049 W/m.K.

3.6.4 SYNTHÈSE DES PERFORMANCES À TRANSMETTRE AUX BUREAUX D'ETUDES THERMIQUES

Les performances principales des isolants biosourcés à communiquer sont définies dans le tableau 1 ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres performances peuvent s'avérer nécessaires pour l'aptitude à l'emploi envi-

sagé. D'autres performances comme l'absorption d'eau et la stabilité dimensionnelle peuvent aussi s'avérer nécessaires pour caractériser les isolants aptes à l'emploi envisagé. Une certification ACERMI est également recommandée.

Caractéristique	Symbole	Unité
Densité	ρ	Kg/m ³
Capacité thermique massique	C_p	J/(kg.K)
Résistance thermique	R	M ² .K/W
Conductivité thermique	λ	W/mK
Perméabilité à la vapeur d'eau	μ	sans
Hygroscopie	-	% du poids
Réaction au feu	-	Euroclasse
Affaiblissement acoustique	R_w	dB
FDES	-	

TABEAU 1 Performance des isolants biosourcés

Isolant (*)	Référentiels techniques
Fibre de bois	NF EN 13 171 procédés manufacturés en fibre de bois
	NF EN 12 667 conductivité thermique et résistance thermique
	Semi rigidité : DTU 25.41 CGM P1-2 CGM
Ouate de cellulose	NF EN 12 667 conductivité thermique et résistance thermique
Laine de chanvre	NF EN 12 667 conductivité thermique et résistance thermique
Textile recyclé	NF EN 12 667 conductivité thermique et résistance thermique
Mixte (chanvre, coton et lin)	NF EN 12 667 conductivité thermique et résistance thermique

(*) Pour l'ensemble des isolants, voir *Cahier du CSTB 3560*v2 pour l'isolation de combles*.

TABEAU 1 BIS Référentiels techniques

NOTE



L'utilisation d'isolants biosourcés présentant un label biosourcé et une certification ACERMI est recommandée.

NOTE



Pour les procédés d'isolants biosourcés, afin de sécuriser leur utilisation dans le domaine des couvertures, il existe la procédure d'ATEC de la CCFAT.

3

7

MISE EN ŒUVRE DES COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Etant donné que les isolants biosourcés sont livrés en panneaux ou en rouleaux, la mise en œuvre s'effectue selon les spécifications du DTU 40.35 complétées par les précautions et dispositions suivantes compte tenu de leur caractère hygroscopique et putrescible :

- Pas de mise en œuvre par temps de pluie,
- Précaution au stockage sous bâche ventilée (stockage au sec) pour éviter tout contact avec des sources d'eau et d'humidité et ne pas risquer des stagnations d'eau,

- Mise en œuvre des isolants à l'avancement pour ne pas enfermer d'eau dans la paroi,
- Pas de travail par points chauds (soudure etc).

Lors des montages, les isolants biosourcés compte tenu de leur densité et pour certains en raison de leurs textures n'ont pas pu être pincés (ie coincés et/ou écrasés entre les différentes parties métalliques).

3

8

ENTRETIEN DES COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Les dispositions du DTU 40.35 s'appliquent.

3

9

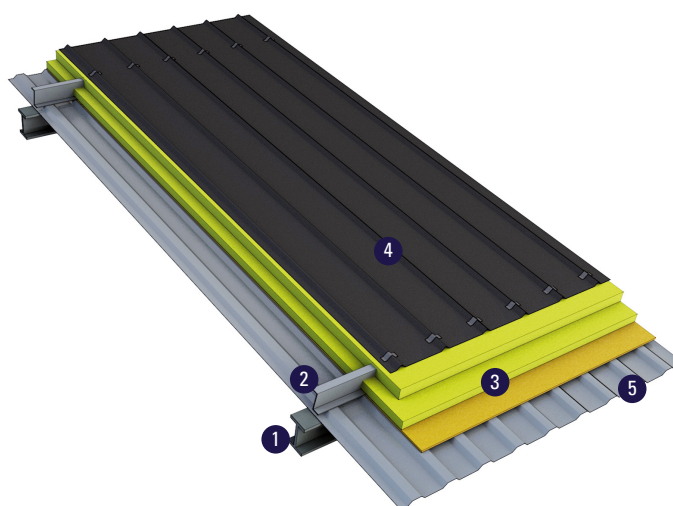
PERFORMANCES THERMIQUES DES COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Seules les techniques de couverture double peau avec fausses pannes à trames parallèles (profils/profils et plateaux/profils), c'est-à-dire la configuration 1 et la configuration 2, ont été testées. D'autres configurations, également présentées ci-dessous, sont aussi possibles.

Dans ce chapitre, la valeur de lambda des matériaux biosourcés est donnée par l'arrêté du 4 août 2021 (annexe XII), entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.

3.9.1 CONFIGURATION 1

Couverture double peau à trames parallèles avec fausses pannes, pontets et plaques nervurées intérieures, conforme aux DTU 40.35, mais avec un isolant biosourcé.



- ① Structure porteuse
- ② Fausse panne zed sur pontet
- ③ Isolant biosourcé
- ④ Profil nervuré extérieur
- ⑤ Profil nervuré intérieur

FIGURE 3 Couverture double peau à trames parallèles avec plaques nervurées intérieures

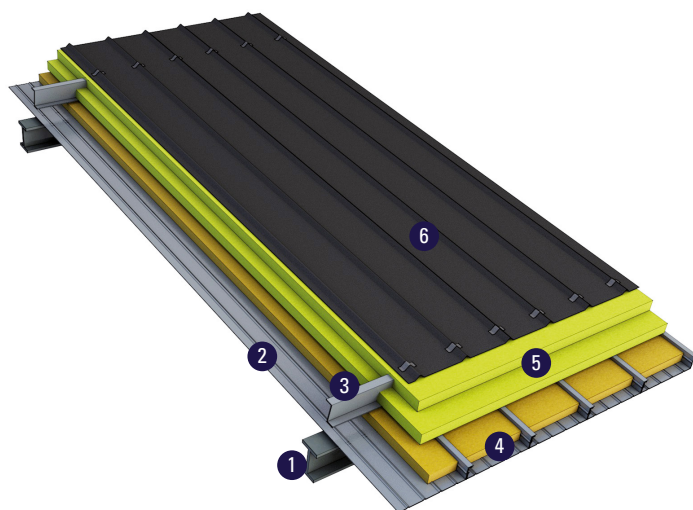
$\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ correspond aux matériaux biosourcés.

Résistance isolant total ($\text{m}^2.\text{K/W}$)	Entraxe fausse panne (m)	Espacement entretoise (m)	U_e	ΔU	U_p
			($\text{W/m}^2.\text{K}$)	($\text{W/m}^2.\text{K}$)	($\text{W/m}^2.\text{K}$)
3 (0,117 m)	1,50	1	0,318	0,102	0,42
		1,5	0,318	0,096	0,41
	2,00	1	0,318	0,077	0,40
		1,5	0,318	0,073	0,39
5 (0,195 m)	1,50	1	0,194	0,093	0,29
		1,5	0,194	0,089	0,28
	2,00	1	0,194	0,071	0,27
		1,5	0,194	0,067	0,26
7 (0,273 m)	1,50	1	0,140	0,083	0,22
		1,5	0,140	0,080	0,22
	2,00	1	0,140	0,062	0,20
		1,5	0,140	0,060	0,20

TABEAU 2 Performances thermiques U_p en $\text{W/m}^2.\text{K}$

3.9.2 CONFIGURATION 2

Couverture double peau à trames parallèles avec fausses pannes, pontets et plateaux pleins intérieurs, conforme aux DTU 40.35, mais avec un isolant biosourcé.



- | | |
|-------------------------------|---|
| ① Structure porteuse | ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé |
| ② Plateau non porteur | ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé |
| ③ Fausse panne zed sur pontet | ⑥ Plaque nervurée extérieure |

FIGURE 4 Couverture double peau à trames parallèles avec plateaux pleins intérieurs non porteurs

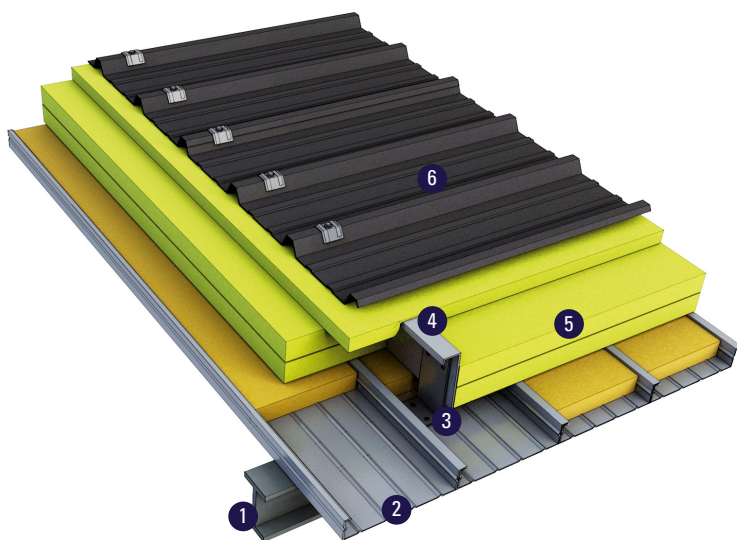
$\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ correspond aux matériaux biosourcés.

Résistance isolant total (m ² .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	Largeur plateaux (mm)	Espacement entretoise (m)	U _c	ΔU	U _p
				(W/m ² .K)	(W/m ² .K)	(W/m ² .K)
3 (0,117 m)	1,50	400	0,8	0,318	0,148	0,47
			1,2	0,318	0,144	0,46
		450	0,9	0,318	0,133	0,45
			1,35	0,318	0,129	0,45
		500	1	0,318	0,121	0,44
			1,5	0,318	0,118	0,44
	2,00	400	0,8	0,318	0,135	0,45
			1,2	0,318	0,132	0,45
		450	0,9	0,318	0,121	0,44
			1,35	0,318	0,118	0,44
		500	1	0,318	0,110	0,43
			1,5	0,318	0,107	0,43
7 (0,273 m)	1,50	400	0,8	0,140	0,078	0,22
			1,2	0,140	0,076	0,22
		450	0,9	0,140	0,072	0,21
			1,35	0,140	0,070	0,21
		500	1	0,140	0,068	0,21
			1,5	0,140	0,065	0,21
	2,00	400	0,8	0,140	0,064	0,20
			1,2	0,140	0,062	0,20
		450	0,9	0,140	0,059	0,20
			1,35	0,140	0,057	0,20
		500	1	0,140	0,055	0,20
			1,5	0,140	0,053	0,19

TABLEAU 3 Performances thermiques U_p en W /m².K -

3.9.3 CONFIGURATION 3

Couverture double peau à trames croisées avec fausses pannes, échantignolles et plateaux pleins intérieurs, conforme aux DTU 40.35, mais avec un isolant biosourcé.



- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| ① Structure porteuse | ④ Fausse panne zed sur échantignolles |
| ② Plateau non porteur | ⑤ Isolant en matériau biosourcé |
| ③ Échantignolle | ⑥ Profil nervuré extérieur |

FIGURE 5 Couverture double peau à trames croisées avec fausses pannes, échantignolles et plateaux pleins intérieurs non porteurs

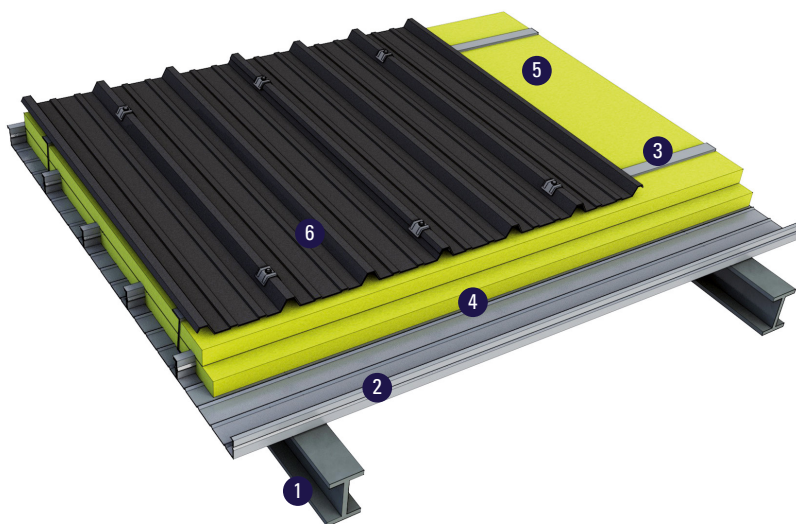
$\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ correspond aux matériaux biosourcés.

Résistance isolant total (m ² .K/W)	Entraxe fausse panne (m)	Largeur plateaux (mm)	Espacement Echantignolle (m)	U _c	ΔU	U _p
				(W/m ² .K)	(W/m ² .K)	(W/m ² .K)
3 (0,117 m)	1,50	400	1	0,318	0,125	0,44
			1,5	0,318	0,120	0,44
		450	1	0,318	0,124	0,44
			1,5	0,318	0,119	0,44
		500	1	0,318	0,115	0,43
			1,5	0,318	0,110	0,43
	2,00	400	1	0,318	0,094	0,41
			1,5	0,318	0,090	0,41
		450	1	0,318	0,094	0,41
			1,5	0,318	0,090	0,41
		500	1	0,318	0,085	0,40
			1,5	0,318	0,085	0,40
7 (0,273 m)	1,50	400	1	0,140	0,052	0,19
			1,5	0,140	0,049	0,19
		450	1	0,140	0,051	0,19
			1,5	0,140	0,048	0,19
		500	1	0,140	0,500	0,19
			1,5	0,140	0,047	0,19
	2,00	400	1	0,140	0,040	0,18
			1,5	0,140	0,037	0,18
		450	1	0,140	0,039	0,18
			1,5	0,140	0,036	0,18
		500	1	0,140	0,038	0,18
			1,5	0,140	0,035	0,18

TABEAU 4 Performances thermiques U_p en W /m².K -

3.9.4 CONFIGURATION 4

Couverture double peau à trames croisées avec écarteurs sur plateaux pleins intérieurs, conforme au DTU 40.35, mais avec un isolant biosourcé.



- | | |
|-------------------------------------|---|
| ① Structure porteuse | ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé |
| ② Plateau non porteur | ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé |
| ③ Fausse panne zed sur échantignole | ⑥ Plaque nervurée extérieure |

FIGURE 6 Couverture double peau à trames croisées avec écarteurs sur plateaux pleins intérieurs non porteurs

$\lambda = 0,039 \text{ W/m.K}$ correspond aux matériaux biosourcés.

Résistance isolant total ($\text{m}^2.\text{K/W}$)	Entraxe fausse panne (m)	Largeur plateaux (mm)	Espacement entretoise (m)	U_c	ΔU	U_p
				($\text{W/m}^2.\text{K}$)	($\text{W/m}^2.\text{K}$)	($\text{W/m}^2.\text{K}$)
3 (0,117 m)	1,50	400	0,8	0,318	0,148	0,47
			1,2	0,318	0,144	0,46
		450	0,9	0,318	0,133	0,45
			1,35	0,318	0,129	0,45
		500	1	0,318	0,121	0,44
			1,5	0,318	0,118	0,44
	2,00	400	0,8	0,318	0,135	0,45
			1,2	0,318	0,132	0,45
		450	0,9	0,318	0,121	0,44
			1,35	0,318	0,118	0,44
		500	1	0,318	0,110	0,43
			1,5	0,318	0,107	0,43
7 (0,273 m)	1,50	400	0,8	0,140	0,078	0,22
			1,2	0,140	0,076	0,22
		450	0,9	0,140	0,072	0,21
			1,35	0,140	0,070	0,21
		500	1	0,140	0,068	0,21
			1,5	0,140	0,065	0,21
	2,00	400	0,8	0,140	0,064	0,20
			1,2	0,140	0,062	0,20
		450	0,9	0,140	0,059	0,20
			1,35	0,140	0,057	0,20
		500	1	0,140	0,055	0,20
			1,5	0,140	0,053	0,19

TABEAU 5 Performances thermiques U_p en $\text{W/m}^2.\text{K}$ -

3

10

ESSAI DE DURABILITÉ DES COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Le présent chapitre explicite pour les configurations 1 et 2 mises en œuvre dans le démonstrateur, les résultats et les tendances d'ensemble obtenus quant à la durabilité du

système [résultats obtenus dans le temps pour les performances thermiques et hygrométriques compte tenu du vieillissement des isolants].

3.10.1 OBJECTIF DE L'ESSAI GRANDEUR

L'objectif de l'essai est :

- de quantifier en conditions réelles:
 - Les variations d'hygrométrie au sein des isolants au cours d'un cycle de 9 mois,
 - Les variations de résistance thermique de la paroi au cours d'un cycle de 9 mois,
- de comparer le comportement des isolants entre eux (biosourcés et laine minérale),
- de détecter au bout de 9 mois d'éventuelles dégradations des isolants lors du démontage de la peau extérieure.

3.10.2 CRITÈRES D'ACCEPTATION DE L'ESSAI POUR L'ASPECT HYGROMÉTRIE

La comparaison du comportement des différents isolants porte sur :

- L'humidité des isolants,
- La capacité des isolants à restituer l'humidité en période de chauffage,
- Les flux thermiques associés à l'humidité de chacun des isolants,

3.10.3 INFORMATIONS DE L'ESSAI SUR LE COMPORTEMENT THERMIQUE

La mesure des flux de température au sein des différentes couches d'isolants permet d'identifier une valeur représentative de la conductivité thermique de l'ensemble constitué

de l'enveloppe métallique et de l'isolant, tout en prenant en compte les conditions de l'utilisation de l'isolant.

3.10.4 CARACTÉRISTIQUES DE LA MAQUETTE ET DES ÉCHANTILLONS INSTALLÉS

DESCRIPTION DE LA MAQUETTE D'ESSAI (VOIR ANNEXES 1 ET 2 ET RAPPORT D'ESSAI DE COUVERTURE)

La maquette d'essai est un petit bâtiment de 2,60 m x 6,4 m x 2,50 m de haut (structure en éléments minces d'épaisseur 1,5 mm minimum ou laminées).

Chaque façade est recouverte d'un bardage double peau (cf. rapport bardage).

La couverture double peau est constituée de deux rampants :

Rampant 1 : trames parallèles

- Plateaux pleins de largeur 400 mm et de hauteur 92 mm, d'ép. 0,75 mm d'acier de nuance S 320 GD,
- 240 mm d'isolants biosourcés [5] (Λ 0,038/0,040 W/m.K) (cf. fiches techniques des fabricants),
- Fausses pannes Zed de section 40 x 140 x 40 mm, d'ép. 1,5 mm d'acier de nuance S 280 GD espacées tous les 0,807 m sur pontets oméga de section 40 x 100 x 80 x 100 x 40 mm et de 100 mm de long, en acier de nuance S 280 GD d'ép. 1,5 mm,
- Profil de couverture 3 x 333 x 1000 mm de 45 mm de hauteur de nervure, d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,
- Fixations (inox et « classiques » 12 cycles Kesternish) et couturage DTU 40.35,

- Bac 1 recouvrement 150 mm,
- Pas de complément d'étanchéité

Rampant 2 : trames parallèles système acoustique

- Profil de couverture perforé 3 x 333 x 1000 de 45 mm de hauteur de nervure ; d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,
 - 60 mm déroulés de laine minérale,
 - Pare-vapeur,
 - 180 mm d'isolants biosourcés [5] (Λ 0,038/0,040 W/m.K) (cf. fiches techniques des fabricants),
 - Fausses pannes Zed de section 40 x 160 x 40 mm, d'ép. 1,5 mm d'acier de nuance S 280 GD espacées tous les 0,807 m sur pontets oméga de section 40 x 80 x 80 x 80 x 40 mm et de 100 mm de long, en acier de nuance S 280 GD d'ép. 1,5 mm,
 - Profil de couverture 3 x 333 x 1000 de 45 mm de hauteur de nervure, d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,
 - Fixations (inox et « classiques » 12 cycles Kesternish) et couturage DTU 40.35,
- Hauteur totale : 240 mm et 285 mm hors tout

NOTE



La différence de hauteur entre les fausses pannes permet de faire coïncider l'épaisseur globale des deux types de couvertures testées d'une part et de faire varier l'épaisseur d'isolant biosourcé d'autre part.

Par groupe de deux plateaux sont testées les 2 familles d'isolants : les biosourcés et la laine minérale (cf. figures 7 et 8). L'expérimentation en couverture permettra de comparer le comportement des isolants biosourcés avec la laine minérale dans le cas d'une couverture chaude double peau non ventilée.

Face 1 : isolant biosourcé en contact avec la couverture extérieure et sans écran pare-pluie.

Vis inox et vis classique 12 cycles Kesternich utilisées.

Pour tous les isolants : panneau mis en fond de plateau et feutre déroulé devant

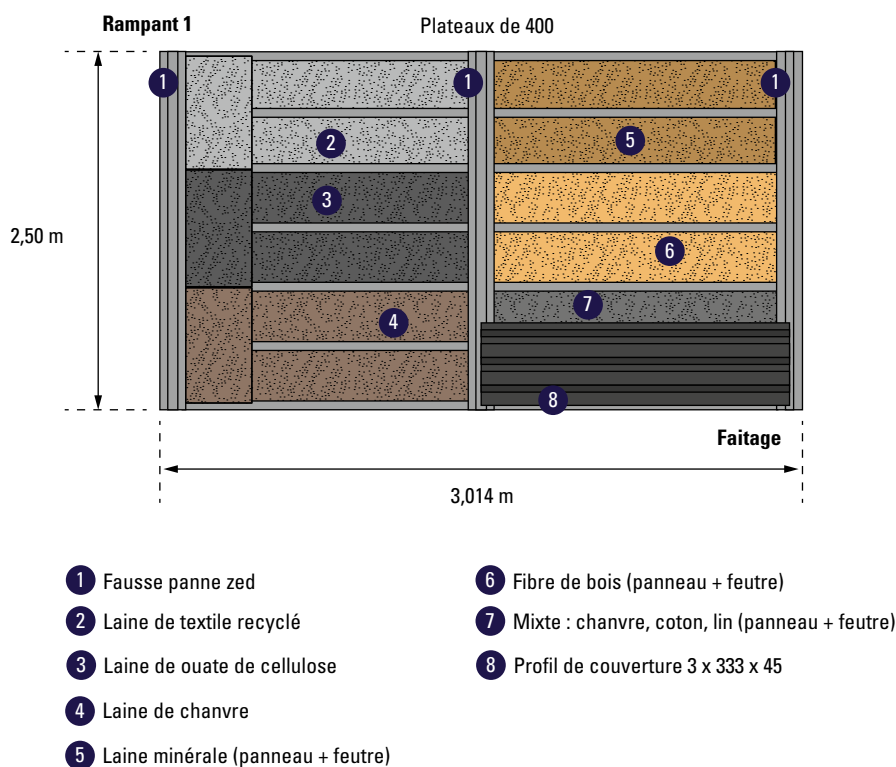


FIGURE 7 Répartition des isolants biosourcés dans les plateaux rampant 1

Rampant 2 : isolant biosourcé en contact avec la paroi extérieure.

Vis inox et vis classique 12 cycles Kesternich utilisées.

Pour tous les isolants : panneau mis en fond de plateau et feutre déroulé devant

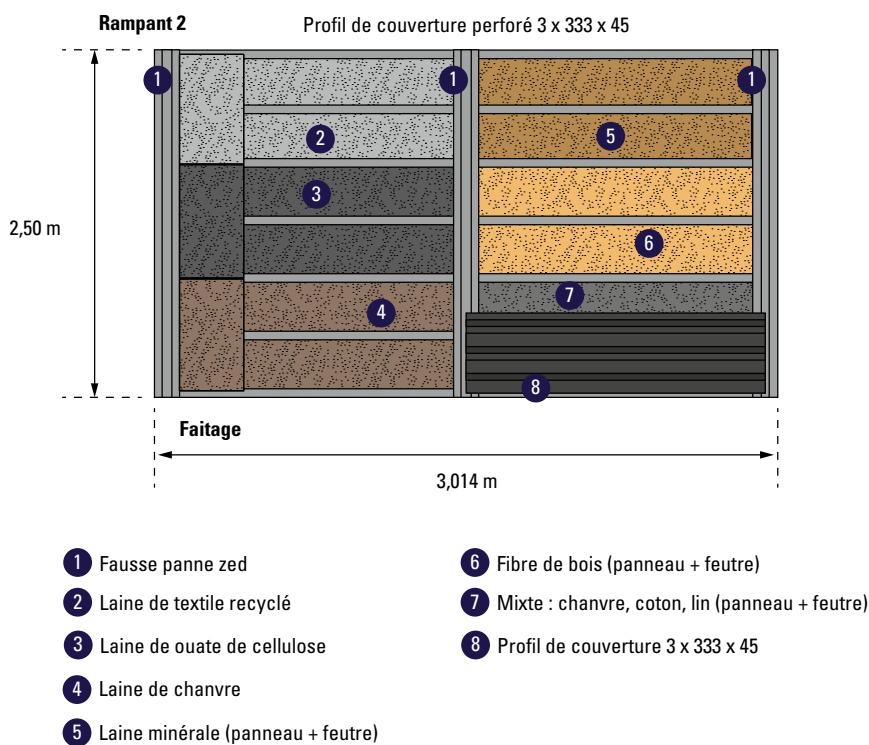


FIGURE 8 Répartition des isolants biosourcés sur les profils rampant 2

Traitement des points singuliers et rives

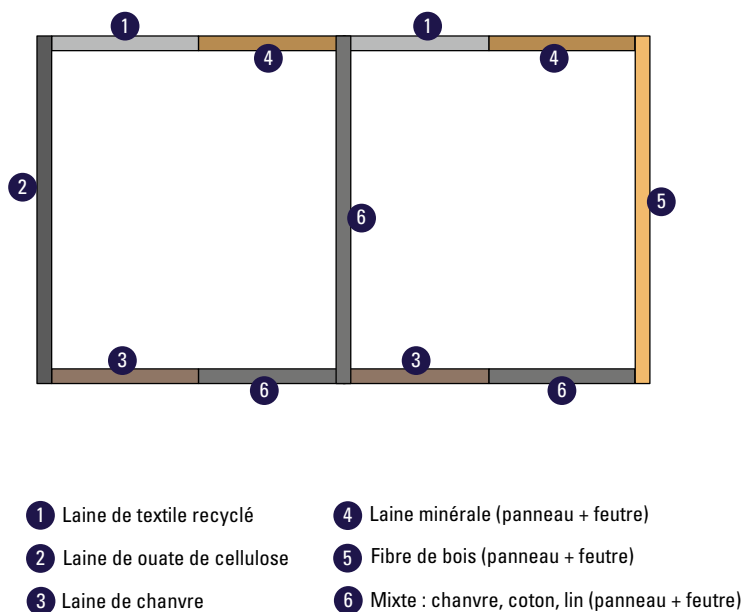


FIGURE 9 Principe de répartition des isolants biosourcés sur les rives et faitages

SITE RETENU

Le site retenu est la station d'essai du 16, route de la Forge à Haironville 55000, dans le département de la Meuse représentatif du domaine d'emploi visé par les isolants biosourcés.

On précise que le local a été chauffé afin de créer un flux thermique représentatif et afin de mesurer la performance thermique effective des isolants in situ

3.10.5 TYPOLOGIES DE COUVERTURES CHOISIES ET SUIVIES

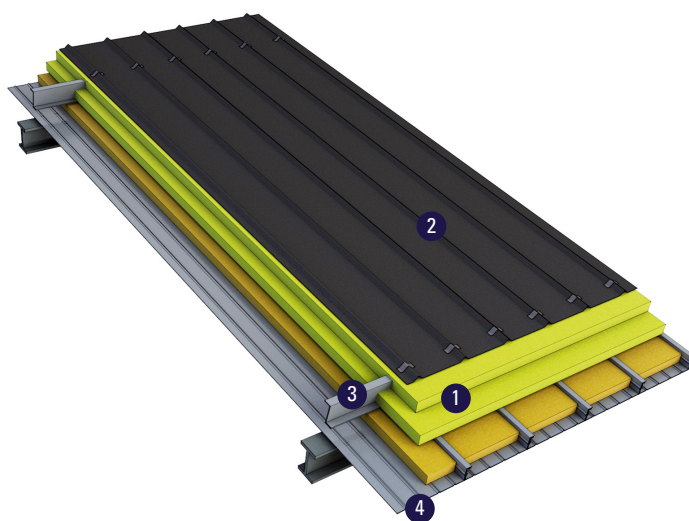
Il s'agit d'une des techniques de couvertures double peau à trames parallèles visées par le DTU 40.35. Les épaisseurs d'isolants retenues permettent de viser un U_p de $0,25 \text{ W.m}^2.\text{K}$.

3.10.6 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES COUVERTURES ET DE LEURS CONSTITUANTS

Sont retenus pour les tests :

Rampant 1 : trames parallèles

- Plateaux pleins de largeur 400 mm et de hauteur 92 mm, d'ép. 0,75 mm d'acier de nuance S 320 GD,
- 240 mm d'isolants biosourcés (λ 0,038/0,040 W/m.K),
- Fausses pannes Zed de section 40 x 140 x 40 mm, d'ép. 1,5 mm d'acier de nuance S 280 GD espacées tous les 0,807 m sur pontets oméga de section 40 x 100 x 80 x 100 x 40 mm et de 100 mm de long, en acier de nuance S 280 GD d'ép. 1,5 mm,
- Profil de couverture 3 x 333 x 1000 mm de 45 mm de hauteur de nervure, d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,
- Fixations (inox et « classiques » 12 cycles Kesternish) et couturage DTU 40.35,
- Bac 1 recouvrement 150 mm,
- Pas de complément d'étanchéité.



- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1 Isolant biosourcé | 3 Fausse panne zed sur pontet |
| 2 Profil avec envers de bande 35 µm | 4 Plateau plein non porteur |

FIGURE 10 Principe du rampant 1

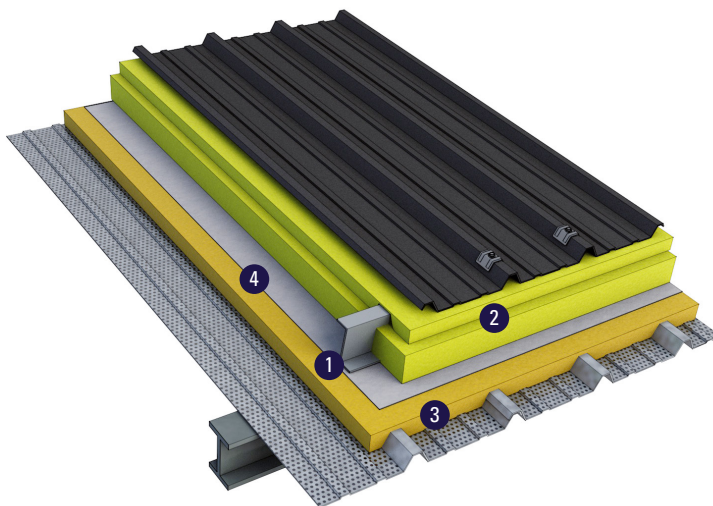
Il s'agit d'un procédé avec plateaux sans écran ni lame d'air.

Rampant 2 : Trames parallèles système acoustique

- Profil de couverture perforé 3 x 333 x 1000 de 45 mm de hauteur de nervure ; d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,
- 60 mm déroulés de laine minérale,
- Pare-vapeur,
- 180 mm d'isolants biosourcés (λ 0,038/0,040 W/m.K),
- Fausses pannes Zed de section 40 x 160 x 40 mm, d'ép. 1,5 mm d'acier de nuance S 280 GD espacées tous les 0,807 m

- les 0,807 m sur pontets oméga de section 40 x 80 x 80 x 80 x 40 mm et de 100 mm de long, en acier de nuance S 280 GD d'ép. 1,5 mm,
- Profil de couverture 3 x 333 x 1000 de 45 mm de hauteur de nervure, d'ép. 0,63 mm d'acier de nuance S 280 GD,

- Fixations (inox et « classiques » 12 cycles Kesternish) et couturage DTU 40.35,
- Bac 1 recouvrement 150 mm,
- Pas de complément d'étanchéité,
- Hauteur totale : 240 mm et 285 hors tout.



- 1 Fausse panne zed sur pontet 3 Laine minérale
2 Isolant biosourcé 4 Pare-vapeur

FIGURE 11 Principe du rampant 2

Il s'agit d'un système acoustique sans écran pare-pluie et sans lame d'air.
Isolant biosourcé et laine minérale selon tableau 6 ci-dessous :

Isolant	Conductivité thermique λ	Capacité hygroscopique	Conditionnement Panneaux	Conditionnement Rouleaux	Représentativité sur le marché	Epaisseur de paroi (mm)
Laine minérale	0,032 à 0,050	non	Oui	Oui	Oui	160
Isolants biosourcés Testés (**)	(*)	moyenne	Oui	Oui	Oui	160

(*) Selon l'arrêté du 4 août 2021 (annexe XII), entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.

(**) Caractérisation des isolants, cf. fiches techniques des fabricants.

TABLEAU 6 Synthèse des caractéristiques des isolants (Guide FFB les matériaux biosourcés dans le bâtiment)

3.10.7 POSITIONNEMENT DES DIFFÉRENTS CAPTEURS ET PLANS DE MONTAGE

La maquette est équipée par rampant comme indiquée à la figure 12 ci-dessous :
Les capteurs se trouvent entre les deux couches d'isolants.

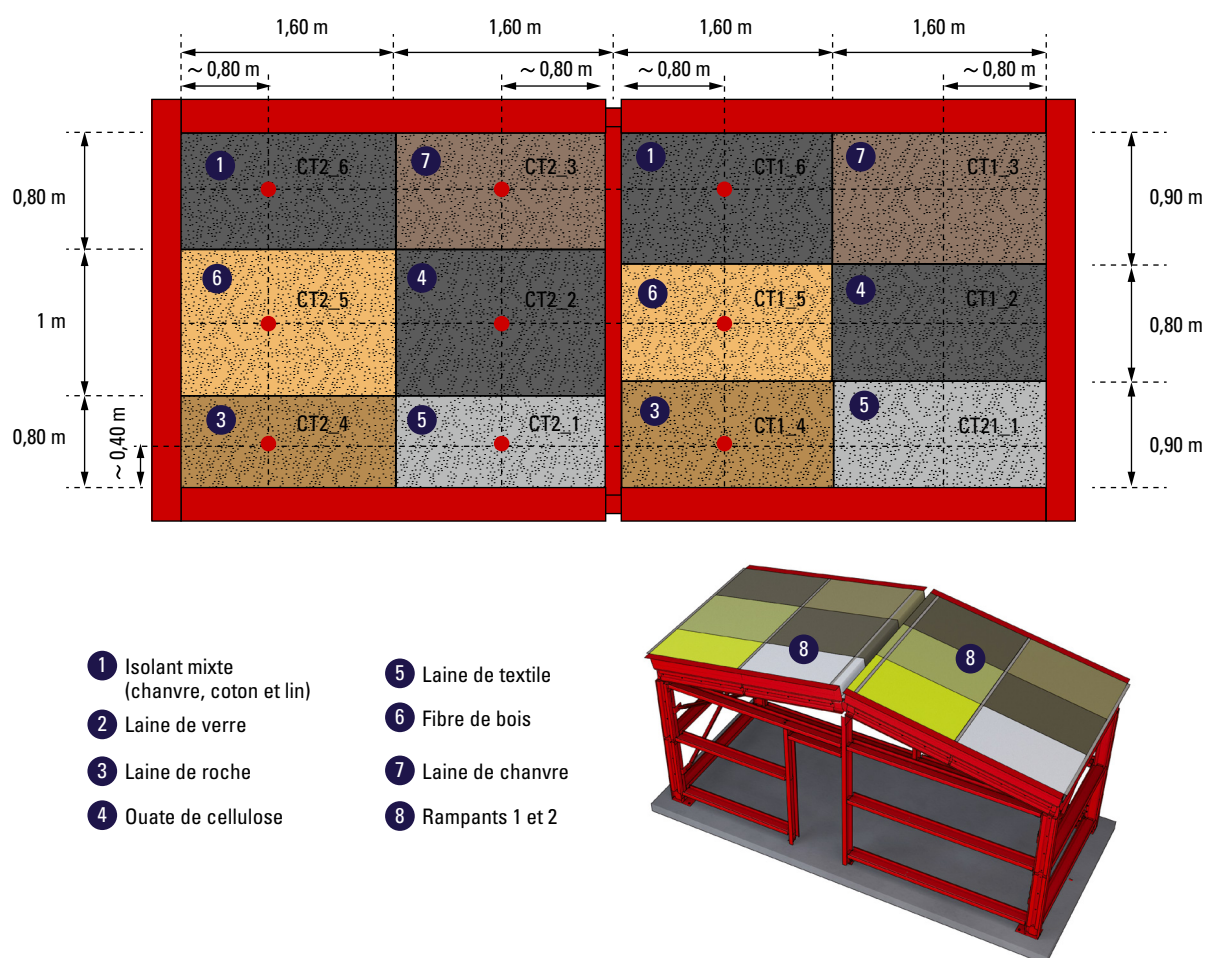


FIGURE 12 Répartition des fluxmètres et capteurs d'hygrothermie en couverture

3.10.8 MOYENS HUMAINS MIS EN ŒUVRE

Deux mois d'examen des données d'un ingénieur thermicien pour :

Au lancement de l'étude et pendant la période de mesure :

- Vérifier le fonctionnement des capteurs dans le temps,
- Vérifier l'enregistrement des données.

En fin de mesure :

- Tracer la courbe du degré d'humidité relative Hr sur 9 mois :
 - Pour la laine minérale servant de référence,
 - Pour chaque isolant biosourcé,

- Tracer la courbe des flux thermiques $\phi(t)$ sur un an :
 - Pour la laine minérale servant de référence,
 - Pour chaque isolant biosourcé.

3.10.9 PRINCIPAUX RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE DE SUIVI INSTRUMENTÉ – RAPPORT D'ESSAI

3.10.9.1 ASPECT DES ISOLANTS APRÈS 9 MOIS D'UTILISATION

Les tableaux 7A et 7B récapitulent les éléments constatés visuellement après démontage de la peau extérieure et des fausses pannes après 9 mois d'exposition aux intempéries.

Isolant	Aspect visuel	Humidité	Présence d'insecte	Présence de moisissure en surface uniquement	Tassement ou gonflement d'isolant	Autres
Laine minérale	RAS	sec	Présence faible au faitage (3/4 nids de guêpe) Aucun insecte vivant	RAS	Non	RAS
Fibre de bois	Petites taches noires	sec	RAS	Oui (à confirmer par analyse bactériologique)	A gonflé	Quelques traces marrons en partie centrale (30 x 30 cm) sur la tôle et décrochement de peinture
Laine de chanvre	Grosses traces noires	sec	Présence faible au faitage (3/4 nids de guêpe) Aucun insecte vivant	Oui (à confirmer par analyse bactériologique)	Non	Traces noires sur le bac sur une zone plus importante
Ouate de cellulose	RAS	sec	RAS	RAS	Non	RAS
Textile recyclé	RAS	sec	RAS	RAS	Non	RAS
Isolant mixte composé de chanvre, de coton et de lin	Traces blanches et traces noires au niveau des nervures	sec	Présence faible au faitage (3/4 nids de guêpe) Aucun insecte vivant	Oui (à confirmer par analyse bactériologique)	Non	Leger cloquage ponctuel du revêtement

TABLEAU 7A

Etat des isolants après démontage de la peau extérieure du système de couverture double peau avec plateaux pleins

Isolant	Aspect visuel	Humidité	Présence d'insectes	Présence de moisissure en surface uniquement	Tassement d'isolant	Autres
Laine minérale	RAS	sec	Présence faible au faitage (3/4 nids de guêpe) Aucun insecte vivant	RAS	Non	RAS
Fibre de bois	Petites taches noires	sec	RAS	Oui (à confirmer par analyse bactériologique) un peu plus étendu que sur l'autre face	A gonflé	RAS. Rien dans les deux couches biosourcées au-dessus du pare-vapeur
Laine de chanvre	Grosses traces noires très répandues	sec	RAS	Oui (à confirmer par analyse bactériologique)	Non	RAS. Rien dans les deux couches biosourcées au-dessus du pare-vapeur
Ouate de cellulose	Zone à côté de la laine chanvre avec traces noires	sec	RAS	Quelques traces noires près du chanvre	Non	RAS. Rien dans les deux couches biosourcées au-dessus du pare-vapeur
Textile recyclé	RAS	sec	RAS	RAS	Non	RAS. Rien dans les deux couches biosourcées au-dessus du pare-vapeur
Isolant mixte composé de chanvre, de coton et de lin	Traces blanches et noires au niveau des nervures	sec	RAS	Oui (à confirmer par analyse bactériologique) au niveau de la trace de la nervure	Non	RAS. Rien dans les deux couches biosourcées au-dessus du pare-vapeur

TABLEAU 7B Etat des isolants après démontage de la peau extérieure du système de couverture double peau avec profils perforés

Les photos des isolants après démontage sont données dans le rapport d'essai grandeur de couverture, annexe D.

POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

La centrale de mesure et son positionnement sont définis ci-dessous :

Présentation schématique des centres de mesures

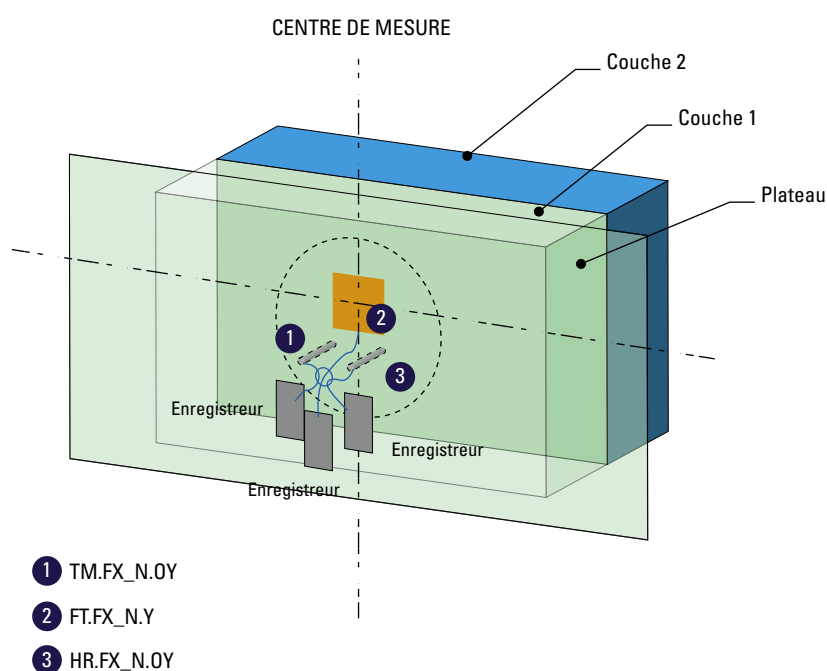


FIGURE 13A Centrale de mesure et positionnement

3.10.9.2 VARIATION D'HUMIDITÉ AU COURS DU TEMPS

Les capteurs utilisés sont montrés à la figure 13B.



FIGURE 13B Dispositif de mesure de la température et de l'humidité

Comparaison de l'humidité relative dans les isolants biosourcés avec la laine minérale :

Les variations de l'humidité relative dans les isolants biosourcés et dans la laine minérale servant de référence sont données à la figure 13C.

A noter que la saison de chauffe a commencé au mois d'octobre et s'est terminée au mois de juin.

FIGURE 13C – VARIATION DE L'HUMIDITÉ DANS LES ISOLANTS BIOSOURCÉS ET DANS LA LAINE MINÉRALE AU COURS DU TEMPS

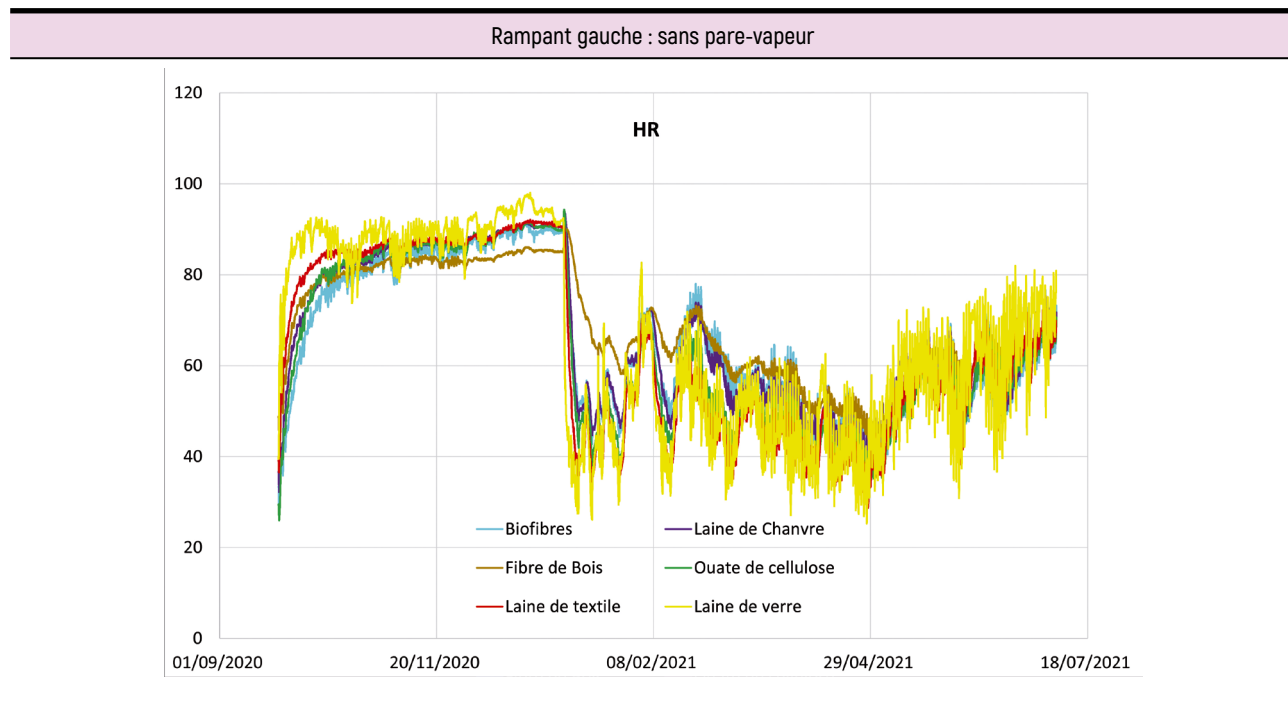


FIGURE 13C1 Face rampant gauche sans pare-vapeur - humidité au cours du temps

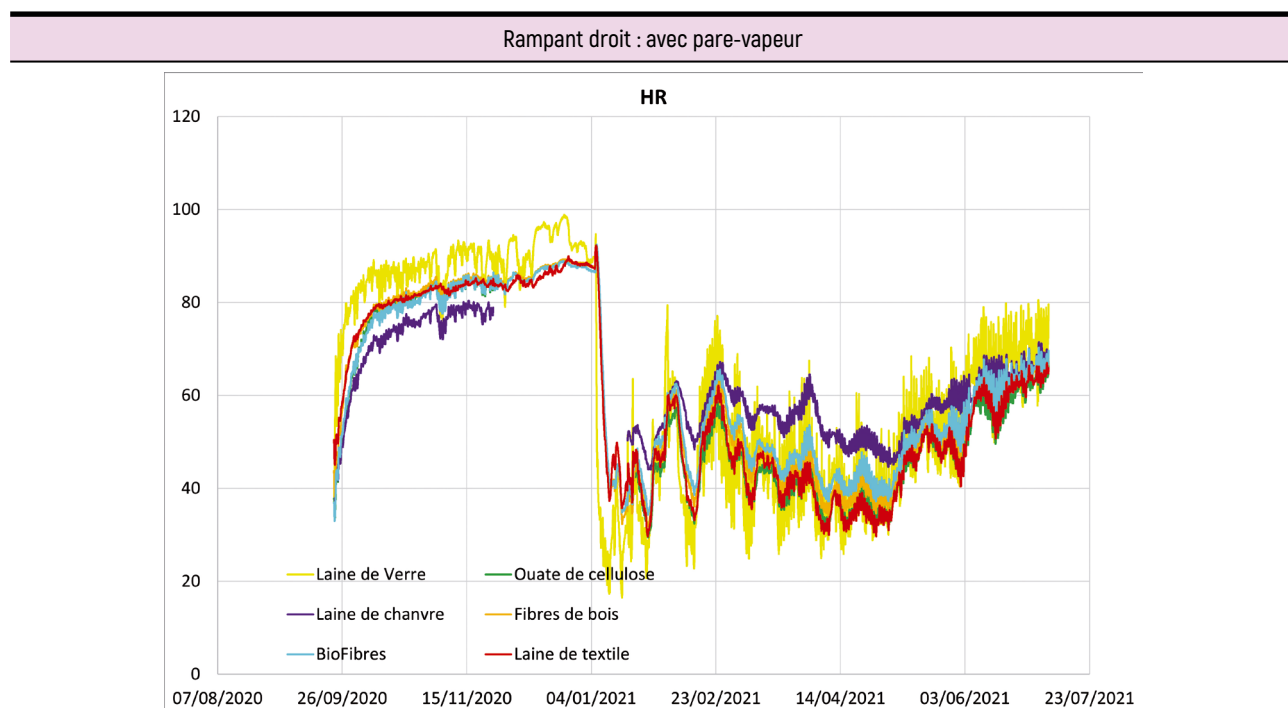


FIGURE 13C2 Face rampant droit avec pare-vapeur - humidité au cours du temps

CONCLUSION



Les isolants en laine minérale ont des variations d'humidité plus rapides englobant celles des biosourcés : les valeurs maximales et minimales de Hr sont obtenues dans la laine de verre. Les isolants ont des réponses similaires lorsqu'on compare entre eux les isolants biosourcés utilisés pour l'essai ou par rapport à la laine minérale. Les différences s'expliquent notamment par les différences d'emplacement sur le démonstrateur.

3.10.9.3 PERFORMANCE THERMIQUE AU COURS DU TEMPS

Les capteurs de température utilisés sont montrés à la figure 14A et les capteurs de flux thermiques sont montrés à la figure 14B.



FIGURE 14A Dispositif de mesure de la température

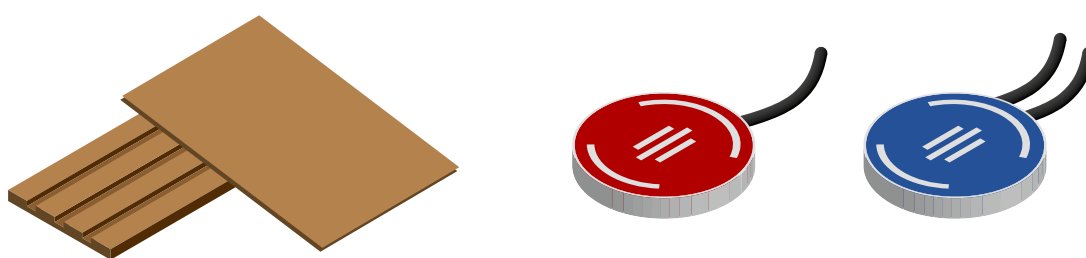


FIGURE 14B Dispositif de mesure des flux thermiques

Les variations de température pendant 9 mois dans les isolants biosourcés et dans la laine minérale servant de référence sont données à la figure 14C. Les variations de

flux thermique pendant un an dans les isolants biosourcés et dans la laine minérale servant de référence sont données à la figure 14D.

FIGURE 14C – VARIATION DE TEMPÉRATURE DANS LES ISOLANTS BIOSOURCÉS ET DANS LA LAINE MINÉRALE AU COURS DU TEMPS

Rampant gauche : sans pare-vapeur

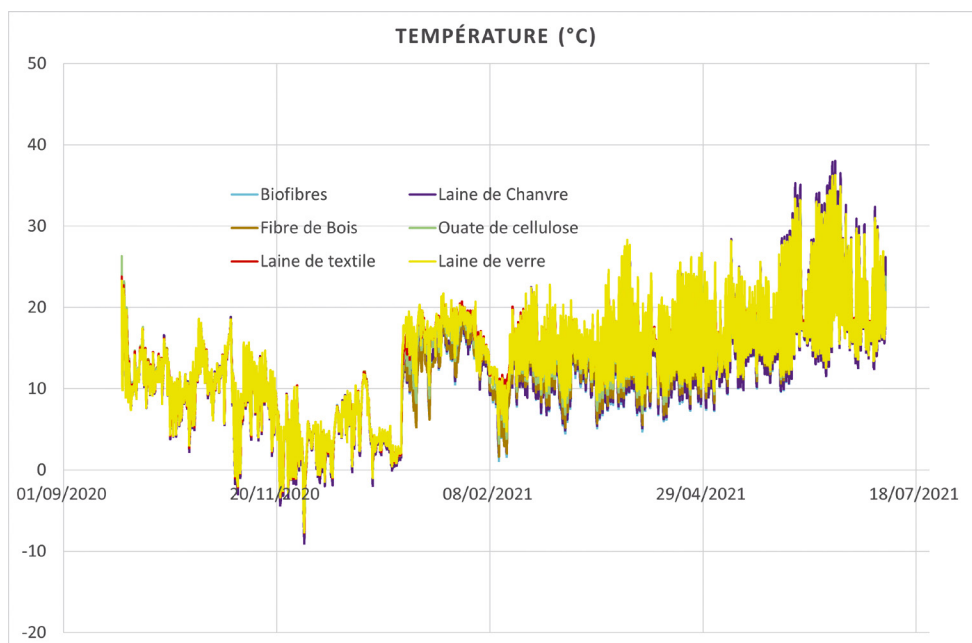


FIGURE 14C1 Face rampant gauche sans pare-vapeur – température au cours du temps

Rampant droit avec pare-vapeur

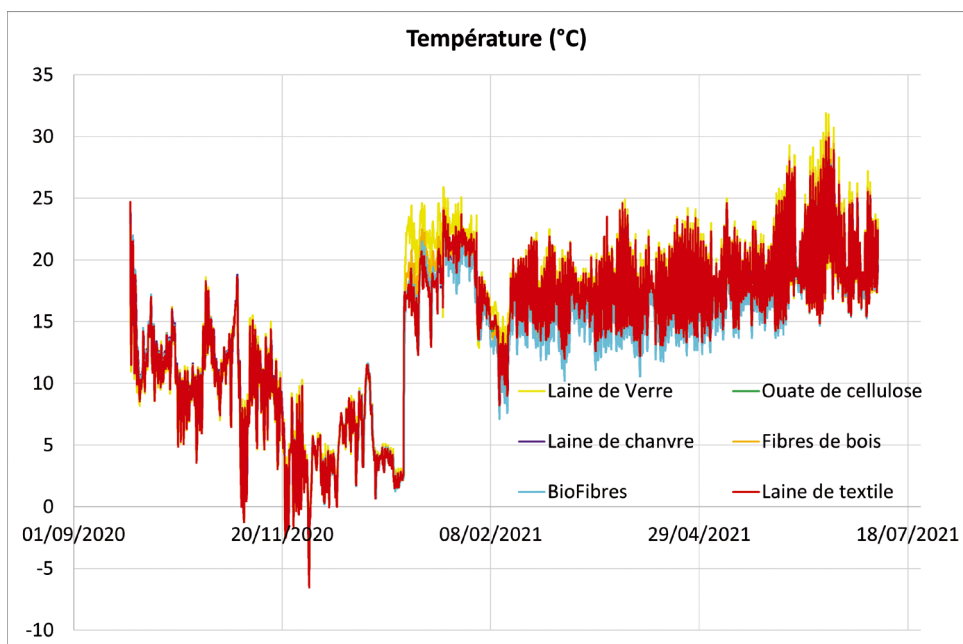


FIGURE 14C2 Face rampant droit avec pare-vapeur – température au cours du temps

CONCLUSION



Les réponses thermiques et hydriques de tous les isolants confondus, en termes de variation de températures sont similaires.

La présence de pare-vapeur n'affecte que très faiblement voire pas du tout la réponse thermique des isolants en laine minérale et des isolants biosourcés utilisés pour l'essai.

FIGURE 14D – VARIATION DES FLUX THERMIQUES DANS LES ISOLANTS BIOSOURCÉS ET DANS LA LAINE MINÉRALE AU COURS DU TEMPS

Rampant gauche : sans pare-vapeur

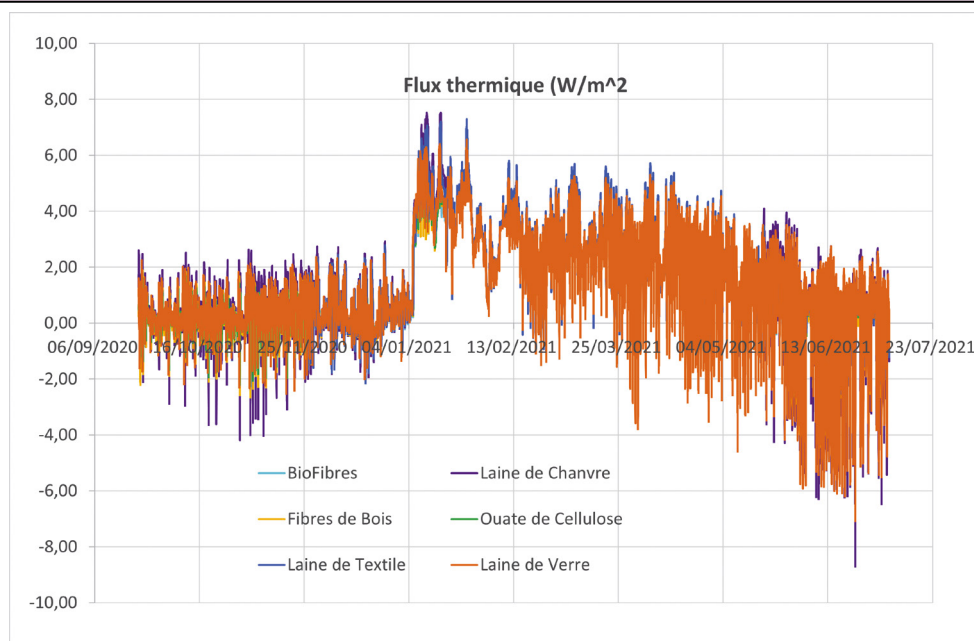
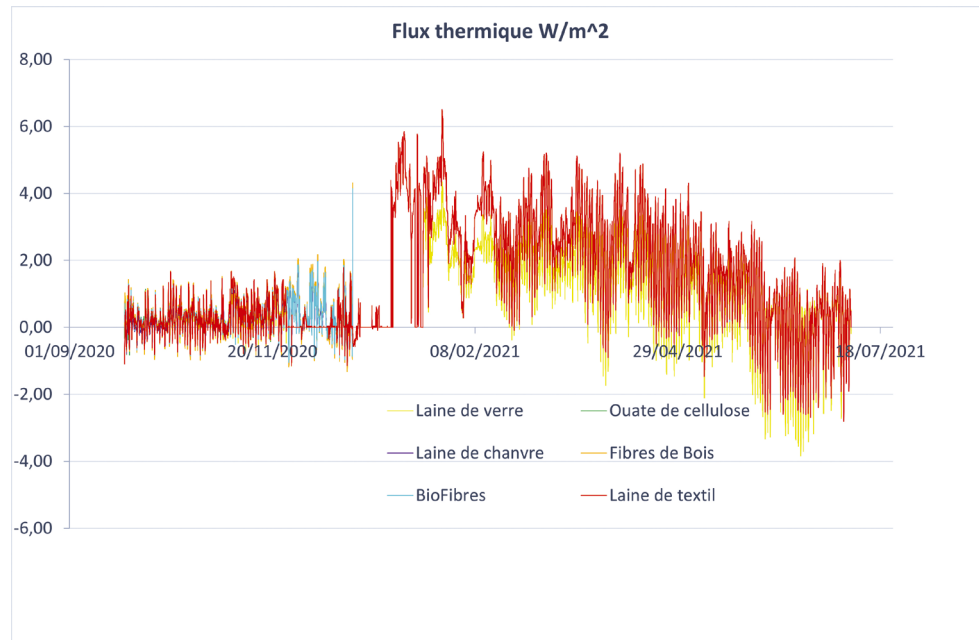


FIGURE 14D1 Face rampant gauche sans par vapeur - flux thermique au cours du temps

Rampant droit avec pare-vapeur

**FIGURE 14D2** Face rampant droit avec pare-vapeur – flux thermique au cours du temps

CONCLUSION



Les réponses thermiques, en termes de flux thermique, de tous les isolants sont similaires et se confondent indépendamment de la présence ou pas de pare-vapeur.

3

11

PERFORMANCE THERMIQUE PAR DÉFAUT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS

PERFORMANCE PAR DÉFAUT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS

A défaut de pouvoir justifier une valeur de conductivité thermique utile d'un isolant biosourcé définie selon les modalités précisées par l'arrêté du 28 décembre 2021 à l'article 8 (annexe IX) et repris par l'arrêté du 4 août 2021

(annexe XII) entrant en vigueur le 1^{er} janvier 2022, la valeur à utiliser est la valeur par défaut définie dans le tableau 8 ci-après :

Type d'isolant			Masse volumique sèche (ρ) en kg/m ³	Conductivité thermique utile (λ) en W/(m.K)
Isolants dérivés du bois	Liège défini conformément à la norme NF B 57-000	Comprimé	$\rho \leq 500$	0,10
		Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB)	$100 \leq \rho \leq 150$	0,049
		Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques	$100 \leq \rho \leq 150$	0,049
			$150 \leq \rho \leq 250$	0,055
	Panneaux de fibres de bois définis selon la norme NF EN 316		$750 \leq \rho \leq 1000$	0,20
			$550 \leq \rho \leq 750$	0,18
			$350 \leq \rho \leq 550$	0,14
			$200 \leq \rho \leq 350$	0,10
			$\rho \leq 200$	0,07
	Panneaux de laine de bois	Panneaux de laine de bois agglomérés avec un liant hydraulique, définis conformément à la norme NF EN 13168	$350 < \rho < 450$	0,10
			$30 \leq \rho \leq 350$	0,08
		Panneaux de laine de bois agglomérés	$450 \leq \rho \leq 600$	0,10
Isolants à base de fibres végétales	Cellulose		$20 \leq \rho \leq 100$	0,049
	Chanvre et lin	Fibres liées	$20 \leq \rho \leq 200$	0,048
		Fibres lâches (isolant en vrac, fibres non liées)	$20 \leq \rho \leq 200$	0,056
	Paille comprimée	Transversalement au sens de la paille	$80 \leq \rho \leq 120$	0,052
		Dans le sens de la paille	$80 \leq \rho \leq 120$	0,080
	Autres isolants à base de fibres végétales		$20 < \rho < 40$	0,065
			$40 \leq \rho < 60$	0,060
			$60 \leq \rho < 200$	0,065
Isolants à base de fibres animales	Laine de mouton		$10 \leq \rho < 200$	0,046
	Autres isolants à base de fibres animales		$10 \leq \rho < 20$	0,065
			$20 \leq \rho < 50$	0,060
			$50 \leq \rho < 100$	0,050

TABLEAU 8 Performance thermique des isolants biosourcés

4

CONCLUSION

Les mesures (cf. Rapport « SUIVI INSTRUMENTE DES COUVERTURES ACIER EQUIPEES D'ISOLANTS BIOSOURCÉS. ETUDE HYGROTHERMIQUE ») réalisées avec 9 mois de recul, montrent un comportement correct des isolants biosourcés utilisés sur les maquettes de couvertures double peau. Les résultats obtenus montrent que :

- Les isolants en laine minérale et les isolants biosourcés ont des réponses thermiques similaires en termes de variations de températures. Le peu de différence observée s'explique par la température de l'air non uniforme à l'intérieur du démonstrateur.
- Les réponses hydriques de tous les isolants, minéraux et biosourcés, sont très peu sensibles à la présence d'un pare-pluie.
- Les différents isolants peuvent être distingués par leur inertie hydrique répondant plus au moins rapidement aux changements de l'humidité de l'air.

Ces résultats sont obtenus sous réserve que :

- Les ouvrages sont en faible hygrométrie et hors climat de montagne,
- Les dispositions du DTU 40.35 sont respectées pour la peau intérieure et les fixations,
- Les écarteurs sont revêtus d'un revêtement de catégorie IV au sens de la NF P 34-301 ou en Z350,
- La peau extérieure présente un revêtement double face 35 µm dans le cas d'isolant biosourcé :
 - Mixte composé de chanvre, de coton et de lin,
 - Fibre de bois,
 - Laine de chanvre,
- Une analyse de sécurité incendie du bâtiment est à réaliser par un laboratoire agréé en réaction et résistance au feu.

La mise œuvre d'un isolant biosourcé dans les couvertures double peau implique également de connaître à minima :

- Sa capacité d'absorption d'eau,
- Sa résistance au développement fongique selon le cahier CSTB 3713-V3,
- Sa conductivité thermique vieillie.
- Son hygroscopie ou l'hydrophilie
- Sa densité
- Sa stabilité dimensionnelle
- Ses performances mécaniques
- ...

Les isolants biosourcés visés sont à caractéristiques et performances identiques pour celles testées

- Fibre de bois,
- Laine de chanvre,
- Ouate de cellulose,
- Textile recyclé,
- Isolant mixte composé de chanvre, de coton et de lin.

Au terme de 9 mois de tests et d'exposition en situation réelle, aucune différence de comportement n'est apparue entre les isolants biosourcés et la laine minérale.

L'expérience de mise en œuvre sur le démonstrateur montre que les isolants biosourcés testés ne peuvent pas être pincés. Ainsi, les isolants biosourcés ne peuvent pas être coincés ou écrasés entre les éléments métalliques (par exemple entre le plateau et l'écarteur).

Compte tenu du caractère innovant de cette technique utilisée au sein de couvertures double peau et compte tenu du faible nombre d'ouvrages réalisés, il est recommandé pour l'aspect assurabilité des ouvrages de respecter l'ensemble des dispositions relatives aux techniques innovantes reconnues par l'AQC (ATEC ou ATEx par exemple) sur la base du présent rapport en attendant des règles/recommandations professionnelles reconnues par la C2P.

5

ANNEXE 1 : PLANS DE LA MAQUETTE RÉALISÉE

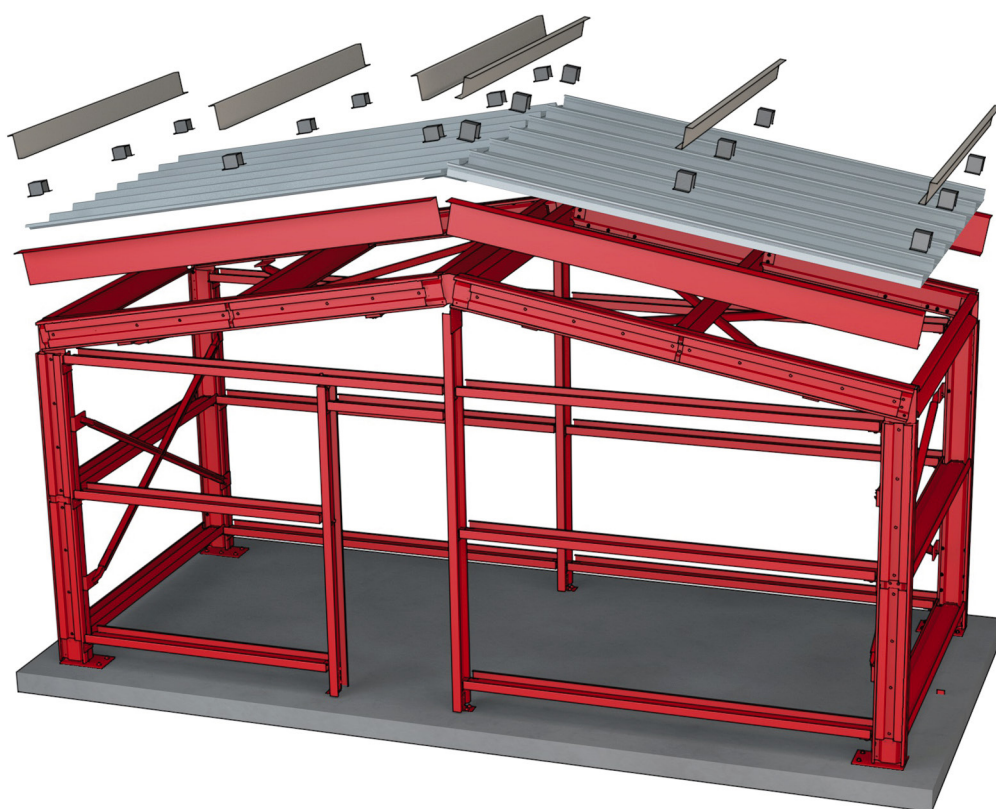


FIGURE A1 Vue en élévation du démonstrateur -

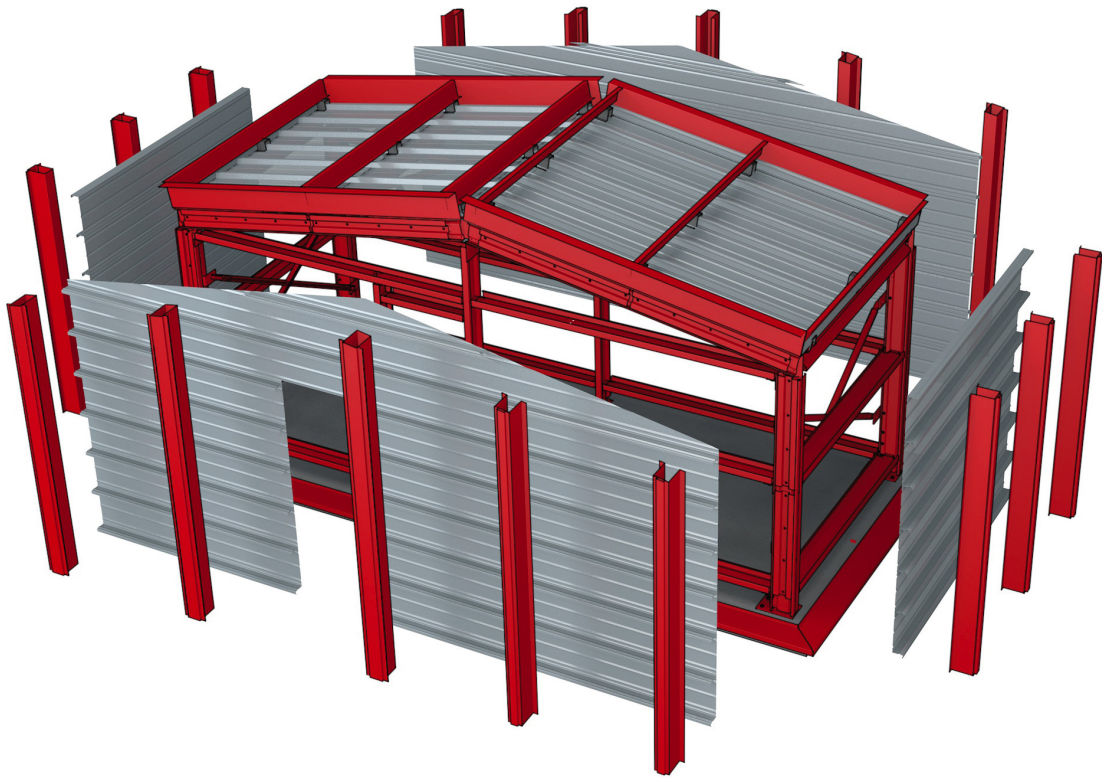


FIGURE A2 Vue éclatée des composants de l'enveloppe métallique

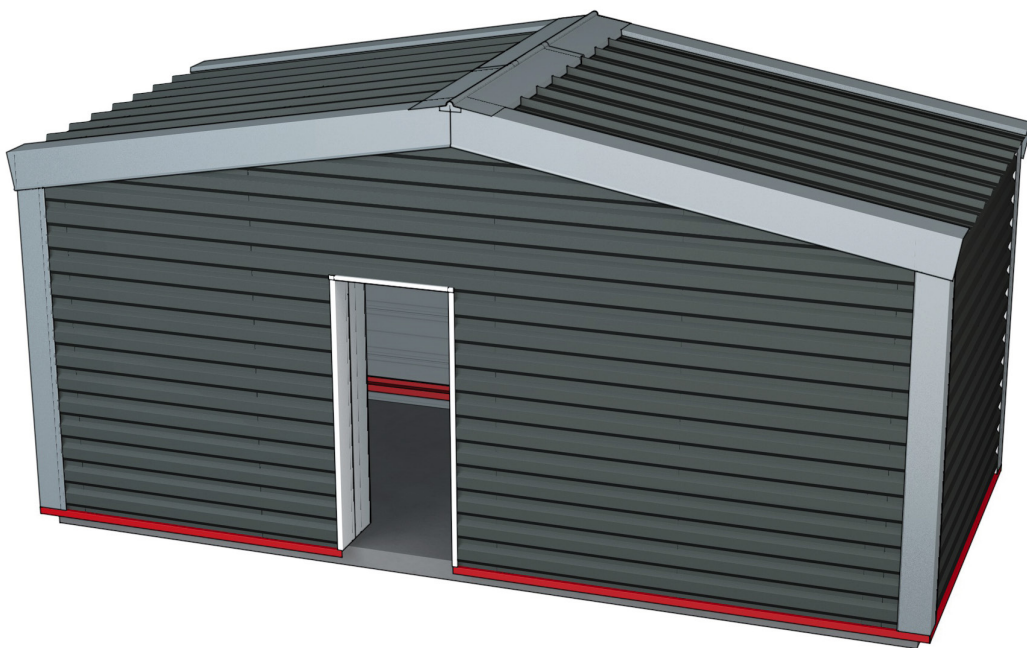


FIGURE A3 Vue de l'enveloppe extérieure du démonstrateur

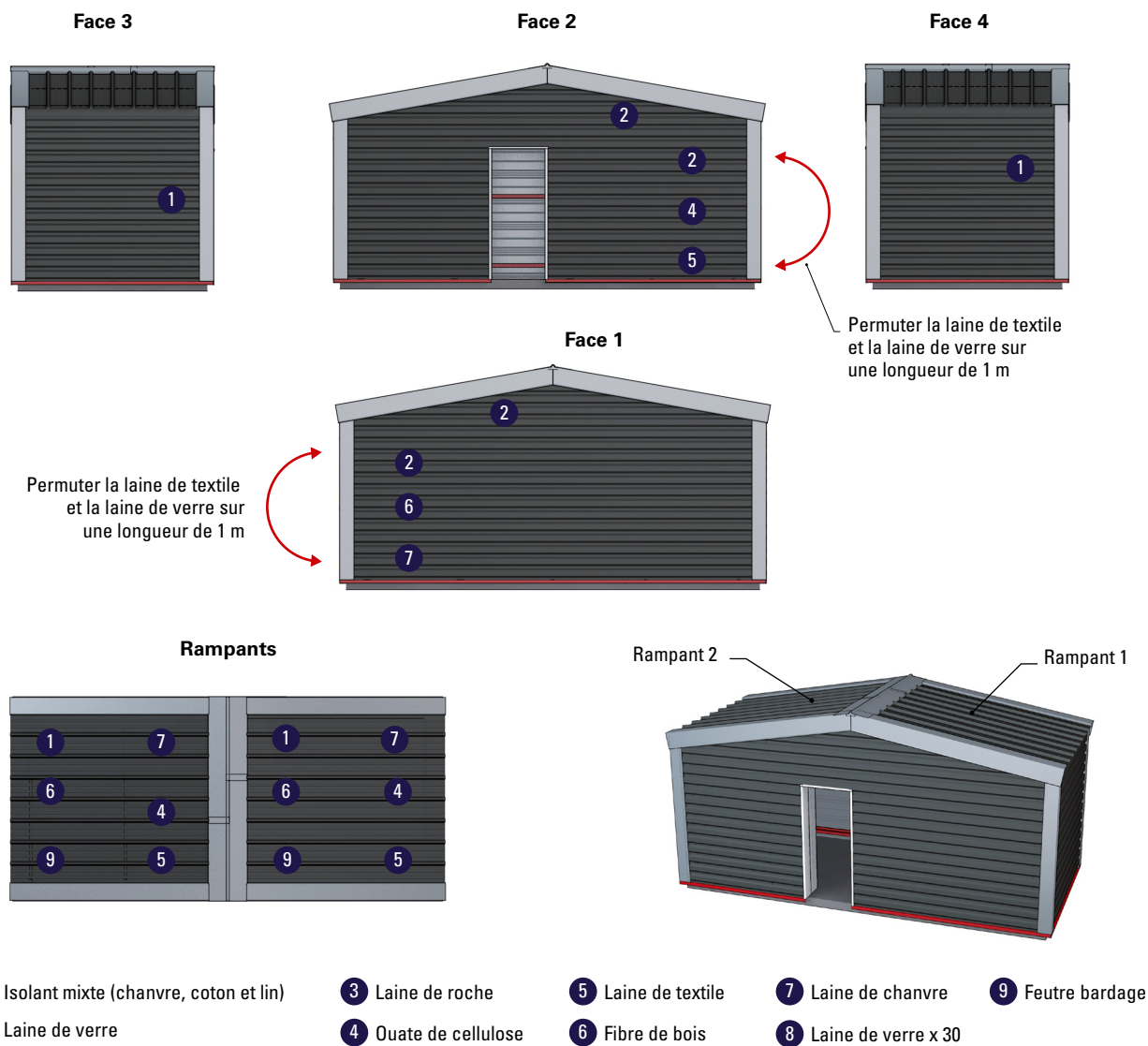


FIGURE A4 Vue du positionnement des isolants testés

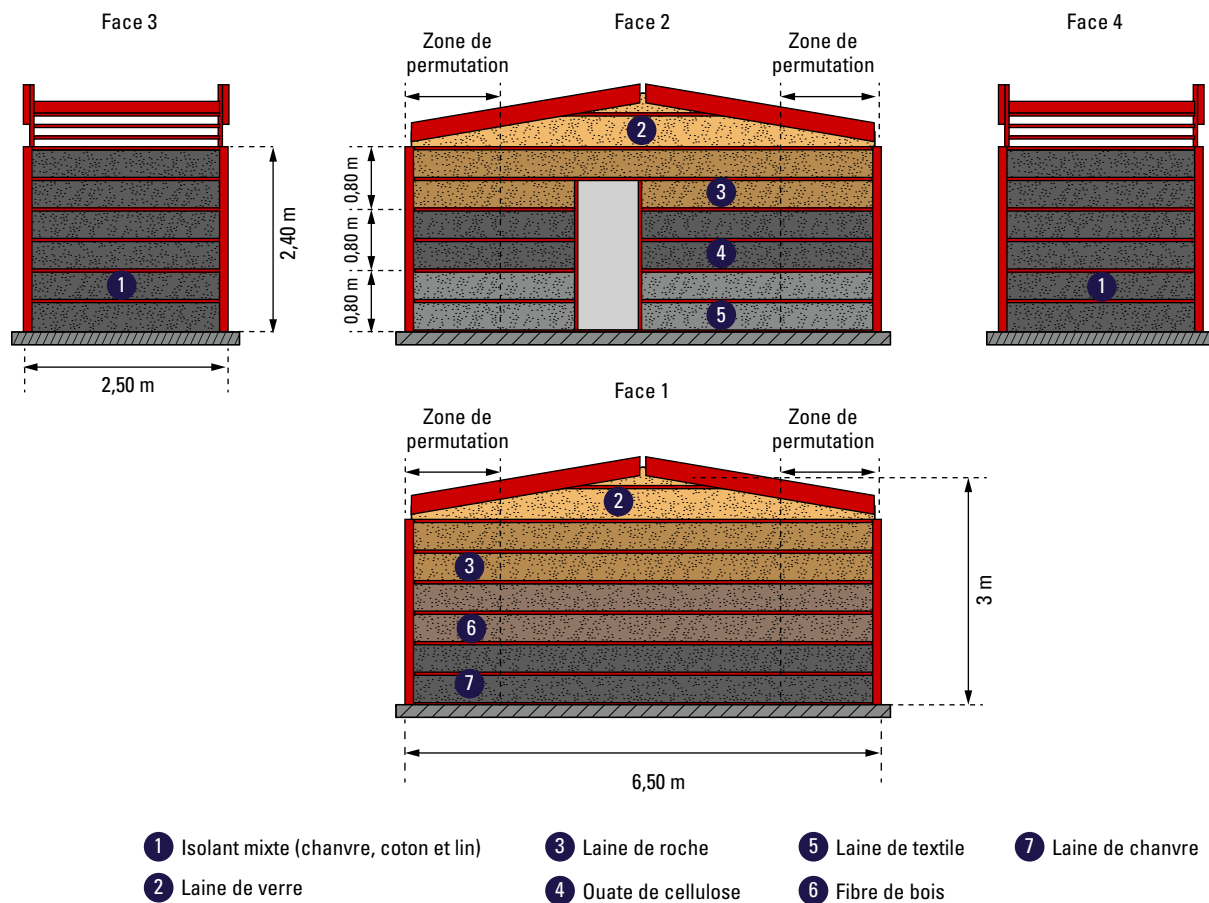


FIGURE A5

Vue détaillée de la première couche d'isolants en panneaux ép. 90 mm installée dans les plateaux en bardage

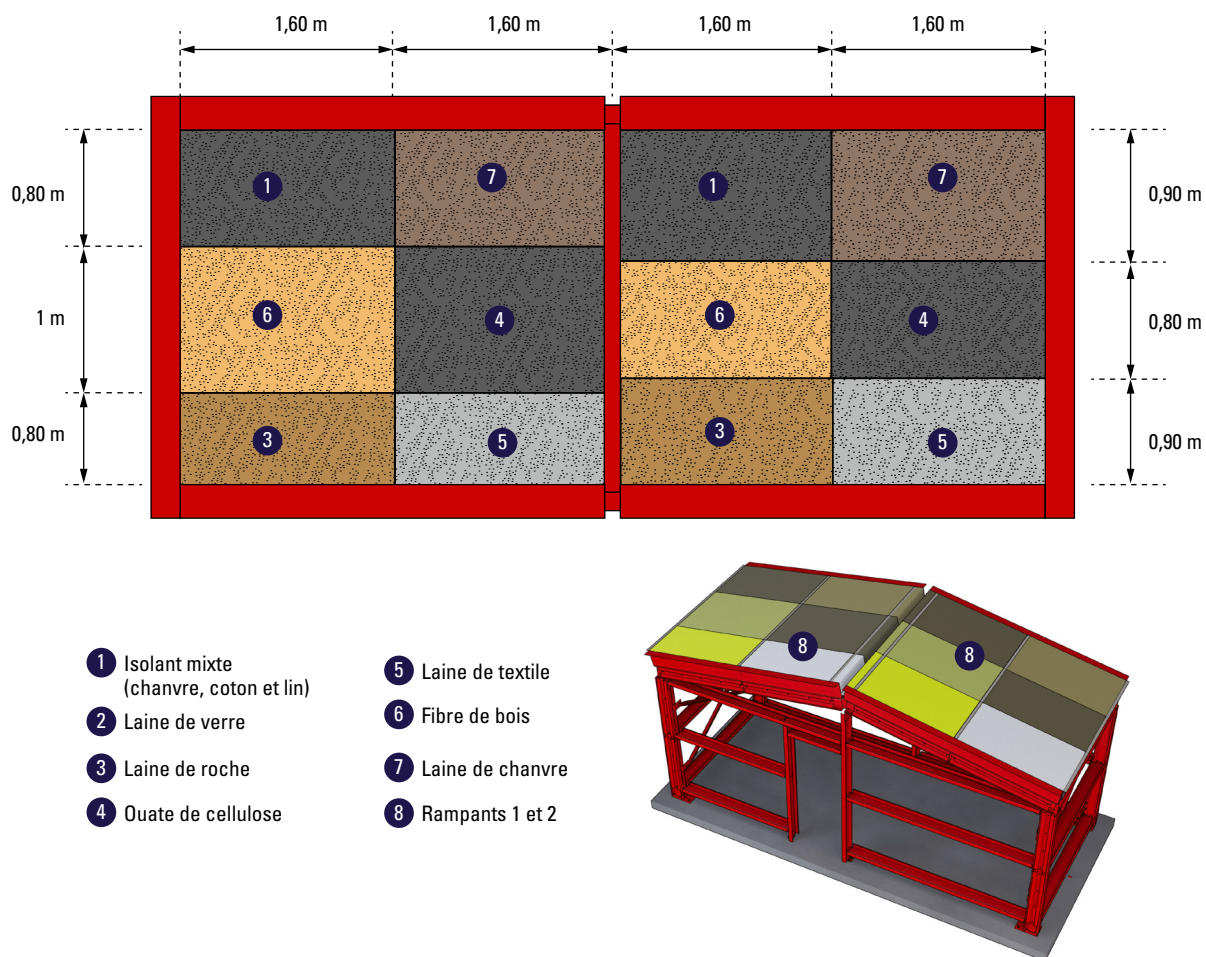


FIGURE A6 Vue détaillée de la première couche d'isolants en panneaux d'ép. 100 mm installée dans les plateaux, 100 mm en bio sourcé sur 60mm de laine de verre sur les profils

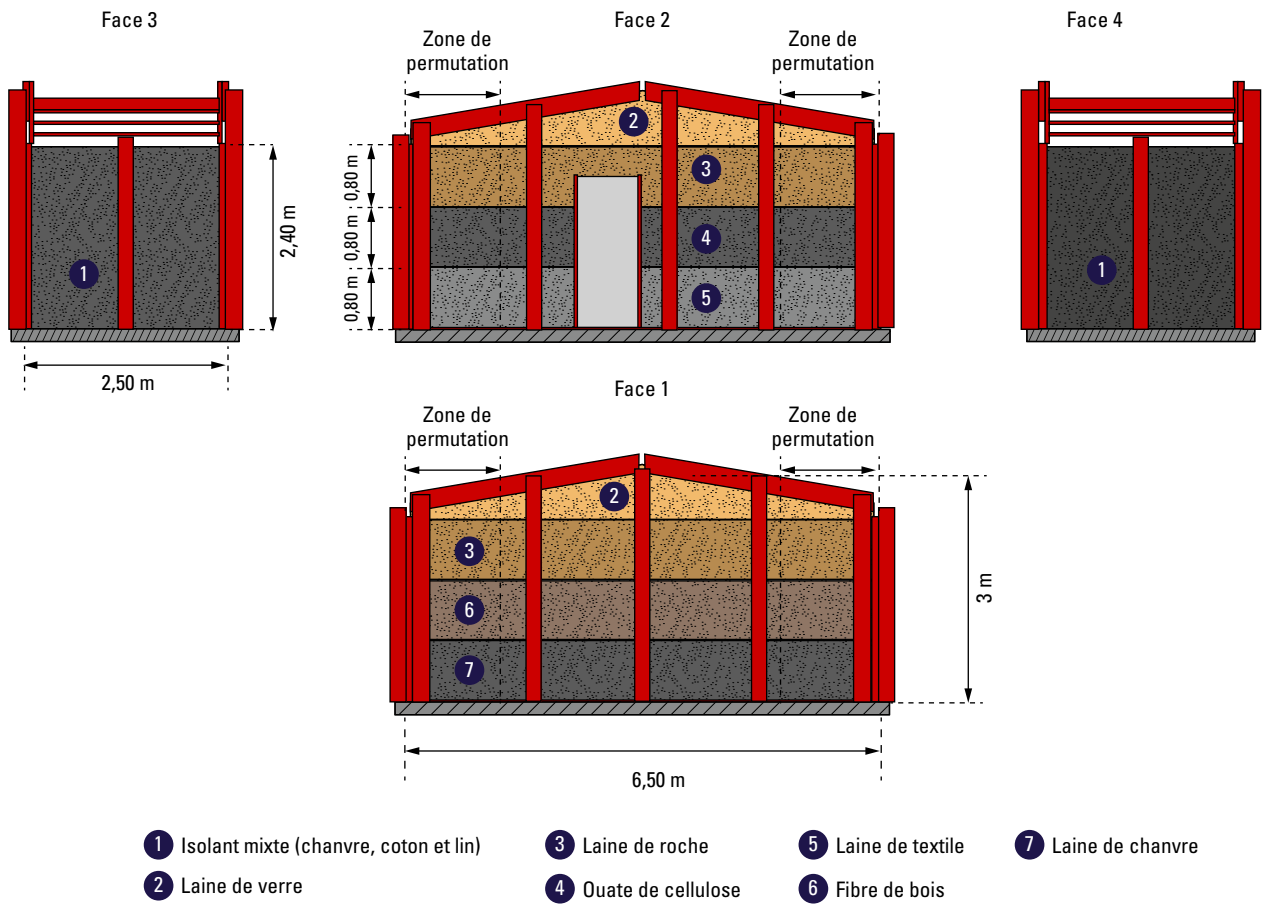


FIGURE A7

Vue détaillée de la deuxième couche d'isolants en panneaux ép. 180 mm installée en deux couches sur les plateaux en bardage

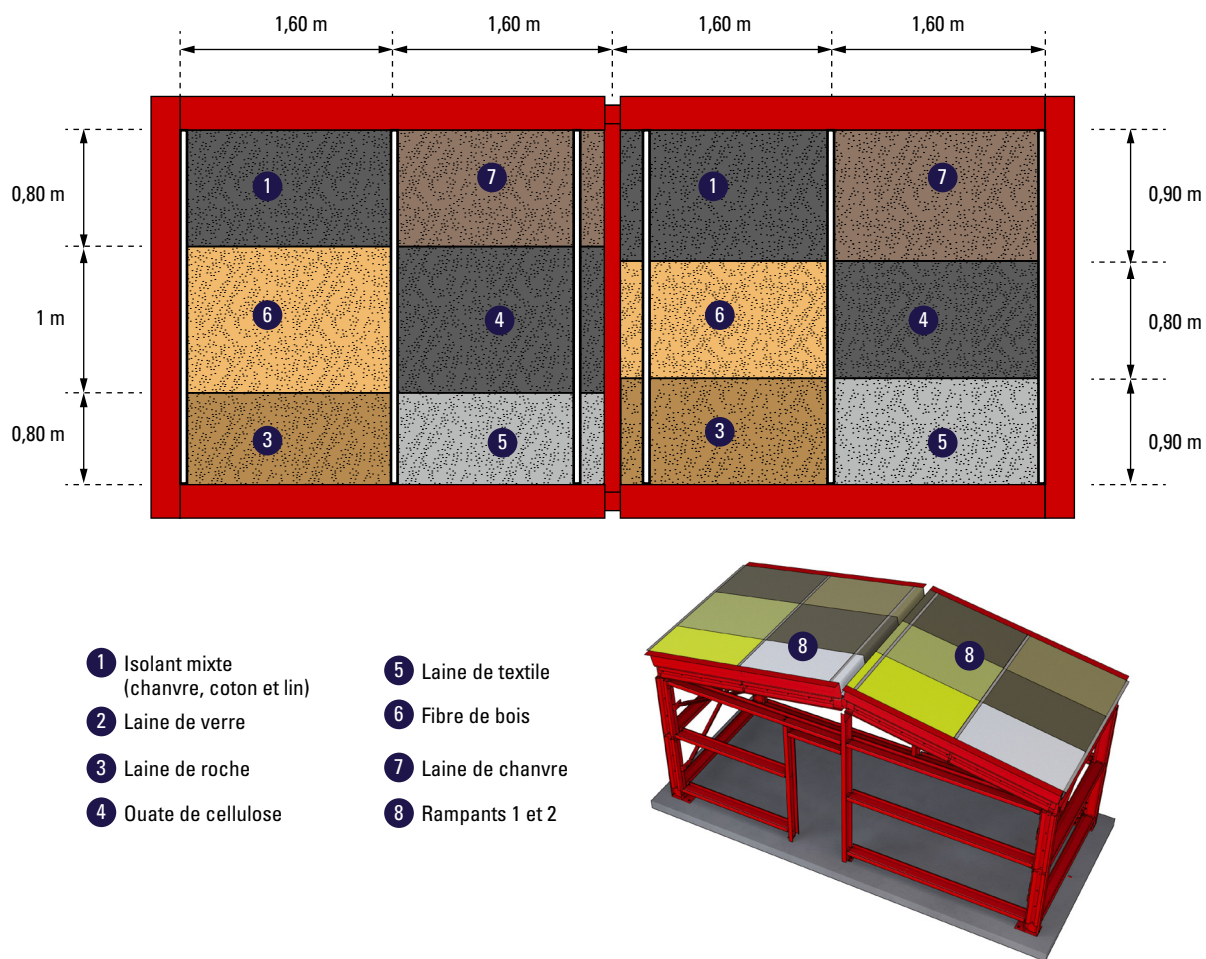


FIGURE A8 Vue détaillée de la deuxième couche d'isolants en feutre ép. 140 mm installée dans les plateaux et 80 mm installée sur les profils de couvertures

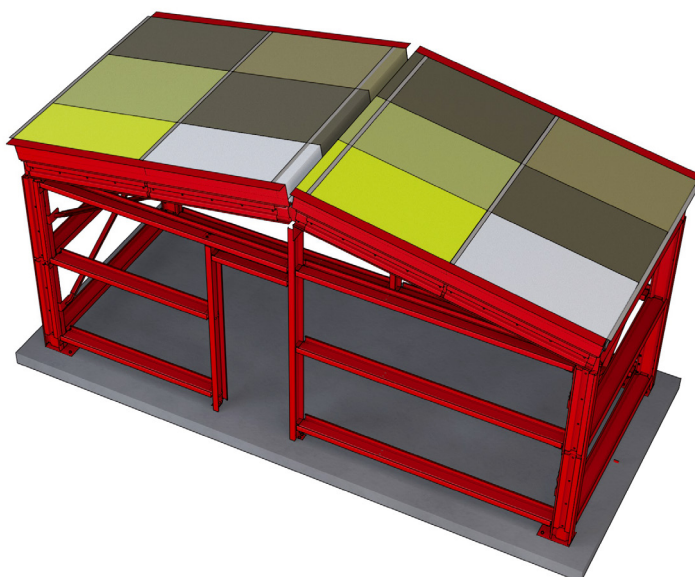


FIGURE A9 Vue détaillée de la couverture sans pare-pluie

6

ANNEXE 2 : PHOTOS DU DÉMONSTRATEUR

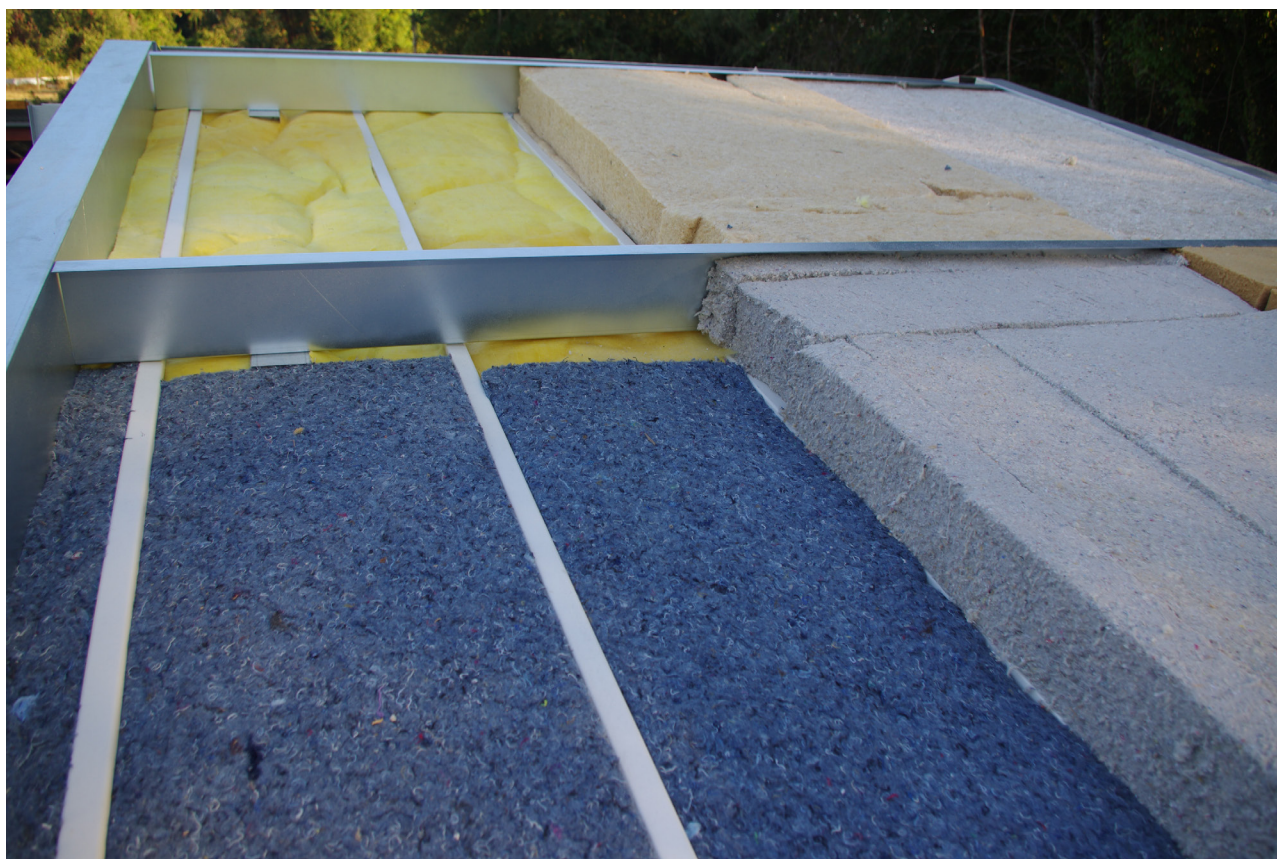


PHOTO 1

Vue des lèvres de plateaux, isolants et fausse panne suivant rampant



PHOTO 2 Démonstrateur terminé (avant pose de la porte)



PHOTO 3 Démonstrateur terminé (avant pose de la porte)



PHOTO 4 Vue arrière du démonstrateur



BIBLIOGRAPHIE

- [1] Isolants biosourcés de bonnes performances thermiques novembre-décembre 2012 n°135 qualité construction
- [2] AQC isolants biosourcés points de vigilance
- [3] Guide FFB les matériaux biosourcés dans le bâtiment
- [4] *In Situ* Performance Assessment of a Bio-Sourced Insulation Material from an Inverse Analysis of Measurements on a Demonstrator Building– Advanced Engineering Forum 2017 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland
- [5] L'arrêté du 4 août 2021 (annexe XII) relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine et portant approbation de la méthode de calcul prévue à l'article R. 172-6 du code de la construction et de l'habitation, entré en vigueur le 1^{er} janvier 2022.
- [6] DTU 40.35 Couverture en plaques nervurées issues de tôles d'acier revêtues
- [7] Document technique C et B 2012 Etat des lieux des connaissances actuelles sur le Fonctionnement Hygrothermique des matériaux biosourcés
- [8] Couverture double peau en acier avec isolant biosourcé – évaluation des performances thermiques et hygrothermique – juin 2020 V3 CTICM ABenlarbi

TABLE DES MATIÈRES

○	INTRODUCTION	4
①	OBJET DU RAPPORT DE SYNTHÈSE	5
②	ÉTAT DE L'ART	6
③	DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS : SYSTÈMES INNOVANTS DE COUVERTURES DOUBLE PEAU EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS	7
3.1	Domaine d'application et isolants biosourcés visés en couverture	7
3.2	Documents de référence	8
3.3	Terminologie – définitions	8
3.4	Types de couvertures en acier avec isolants biosourcés	9
3.4.1	Les couvertures double peau à trames parallèles	9
3.4.2	Les couvertures double peaux à trames croisées	10
3.5	Retour d'expérience sur la conception d'ouvrages avec couvertures double peau en acier et isolants biosourcés	11
3.5.1	Généralités	11
3.5.2	Durabilité des plateaux	11
3.5.3	Durabilité des écarteurs et fausses pannes	12
3.5.4	Ecran pare-pluie	12
3.5.5	Ecran pare-vapeur	12
3.5.6	Durabilité de la peau extérieure	12
3.5.7	Durabilité des vis de fixation	12
3.5.8	Position du point de rosée	12
3.6	Spécifications techniques des matériaux et composants biosourcés	12
3.6.1	Conditionnement	12
3.6.2	Masse volumique de l'isolant biosourcé	13
3.6.3	Performances thermiques	13
3.6.4	Synthèse des performances à transmettre aux bureaux d'études thermiques	13
3.7	Mise en œuvre des couvertures double peau en acier avec isolants biosourcés	14
3.8	Entretien des couvertures double peau en acier avec isolants biosourcés	14
3.9	Performances thermiques des couvertures double peau en acier avec isolants biosourcés	14
3.9.1	Configuration 1	15
3.9.2	Configuration 2	16
3.9.3	Configuration 3	18
3.9.4	Configuration 4	20

TABLE DES MATIÈRES

3.10	Essai de durabilité des couvertures double peau en acier avec isolants biosourcés	22
3.10.1	Objectif de l'essai Grandeur	22
3.10.2	Critères d'acceptation de l'essai pour l'aspect hygrométrie	22
3.10.3	Informations de l'essai sur le comportement thermique	22
3.10.4	Caractéristiques de la maquette et des échantillons installés	22
3.10.5	Typologies de couvertures choisies et suivies	25
3.10.6	Caractéristiques techniques des couvertures et de leurs constituants	25
3.10.7	Positionnement des différents capteurs et plans de montage	27
3.10.8	Moyens humains mis en œuvre	27
3.10.9	Principaux résultats de la campagne de suivi instrumenté - rapport d'essai	28
3.11	Performance thermique par défaut des isolants biosourcés	36
4	CONCLUSION	37
5	ANNEXE 1 : PLANS DE LA MAQUETTE RÉALISÉE	38
6	ANNEXE 2 : PHOTOS DU DÉMONSTRATEUR	45
7	BIBLIOGRAPHIE	49

RÉSUMÉ

Les émissions de gaz à effet de serre sont la principale cause du réchauffement climatique. Le bâtiment étant un des secteurs les plus émissifs en CO₂, les acteurs de la construction œuvrent pour réduire significativement son empreinte carbone.

Dans le cadre du programme PROFEEL, des solutions innovantes d'enveloppe acier (bardage et couverture double peau), visant à améliorer leur bilan carbone tant en émission qu'en stockage tout en assurant une excellente performance thermique, ont été étudiées. Ces solutions intègrent des isolants biosourcés.

Le présent rapport explicite les dispositions techniques (spécifications techniques, durabilité, domaines d'emploi, conditions de mise en œuvre, entretien) utiles au développement et à la mise en œuvre de systèmes de couverture double peau avec isolants biosourcés.

Il s'appuie sur les résultats d'une campagne de suivi instrumenté de neuf mois (étude hygrothermique en vraie grandeur) et d'une évaluation des performances thermiques et hygrothermiques des deux rampants de couvertures. Ces résultats font l'objet d'un rapport d'essais également disponibles dans le cadre du programme PROFEEL (*Suivi instrumenté des couvertures double peau en acier équipées d'isolants biosourcés _ Etude hygrothermique*). Les mesures ont été effectuées par un laboratoire indépendant, le Laboratoire de Mécanique Gabriel Lamé (Laboratoire LaMé).

L'ensemble de ces publications est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment dans le cadre du programme PROFEEL. Il complète la collection des référentiels techniques des programmes RAGE et PACTE.

La rédaction du présent rapport a été confiée à L'Enveloppe Métallique du Bâtiment (EMB).