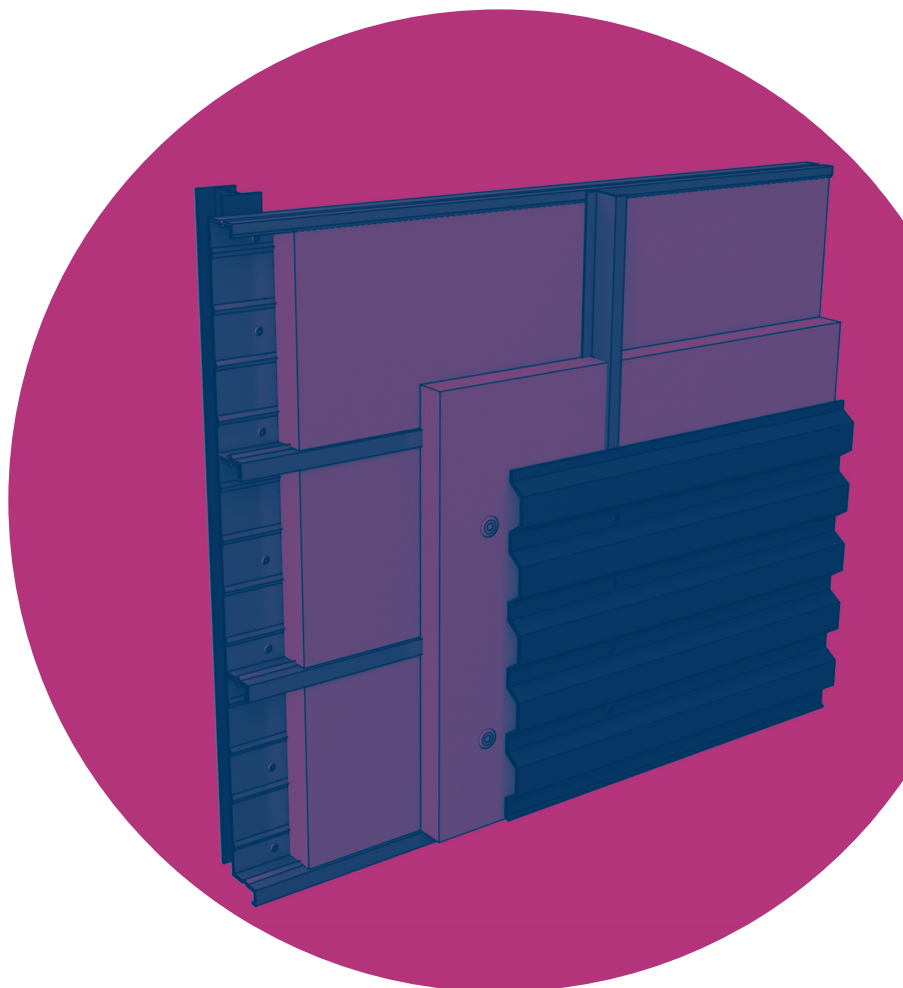


# SYSTÈMES INNOVANTS DE BARDAGE ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

MARS 2022



RAPPORT DE SYNTHÈSE SUR LES BARDAGES ACIER ÉQUIPÉS 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

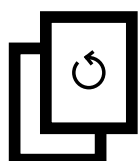


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



# SOMMAIRE

○	INTRODUCTION	4
①	OBJET DU RAPPORT DE SYNTHÈSE	5
②	ETAT DE L'ART	6
③	DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS. SYSTÈMES INNOVANTS DE BARDAGE ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS	8
④	CONCLUSION	52
⑤	ANNEXE 1	53
⑥	ANNEXE 2	61
⑦	BIBLIOGRAPHIE	69



VERSION  
Initiale

DATE DE LA PUBLICATION  
Mars 2022

MODIFICATIONS



# INTRODUCTION

Le contexte de la réglementation environnementale RE 2020 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 bardages double peau, est majoritairement présente dans

le secteur tertiaire (grands halls chauffés comme les centres commerciaux ou les gymnases par exemple).

La technologie des bardages rapportés en acier sur maçonnerie ou voile béton est aussi largement répandue en tertiaire et logement.

Cependant, le référentiel des bardages acier (Recommandations Professionnelles pour les bardages en acier protégé et en acier inoxydable de juillet 2014) 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 innovants de bardages acier avec 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 bardages 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 bardages acier avec des isolants biosourcés,
- De proposer les bases techniques d'un futur référentiel sur la rénovation de bardages existants avec des isolants biosourcés, en complément des Recommandations Professionnelles RAGE bardages en acier protégé et en acier inoxydable de juillet 2014.

En vue de faciliter le développement de cette technique tout en maîtrisant de manière raisonnable les aléas techniques liés au fonctionnement et à la durabilité des bardages en acier avec des isolants biosourcés ce document comprend :  
Un volet durabilité des bardages acier avec des isolants biosourcés qui s'appuie sur le rapport « SUIVI INSTRUMENTÉ DE BARDAGES ACIER INTEGRANT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS – ETUDE HYGROTHERMIQUE » rédigé dans le cadre du programme PROFEEL,

Un volet performances thermiques des bardages en acier avec isolants biosourcés qui s'appuie sur le rapport « BARDAGES ACIER INTEGRANT DES ISOLANTS BIOSOURCÉS : ÉVALUATION DES PERFORMANCES THERMIQUES ET HYGROTHERMIQUES » rédigé dans le cadre du programme PROFEEL.

# 2

## ETAT DE L'ART

### Technique des bardages avec isolants biosourcés

Il n'existe aucun référentiel sur la mise en œuvre des isolants biosourcés dans les bardages acier (double peau, à peaux multiples, à peaux dissociées, rapportés sur maçonnerie).

Les Recommandations Professionnelles RAGE bardages en acier protégé et en acier inoxydable, conception et mise en œuvre de juillet 2014 excluent expressément les isolants biosourcés (cf. article 3.5 isolant thermique).

### Différents types d'isolants biosourcés (performance et pathologies)

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 :

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<sup>er</sup> janvier 2022.

### Méthodologie pour tester les isolants biosourcés (thermique, hygrothermique)

Le document suivant peut être cité :

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

Le document suivant peut être cité :

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

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

### Mise en œuvre des isolants biosourcés

Le document suivant peut être cité :

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 - Cahier des Prescriptions Techniques communes de mise en œuvre des procédés d'isolation thermique de murs à l'aide de produits manufacturés à base de fibres végétales ou animales (e-Cahiers du CSTB, Cahier 3728, décembre 2012).

### Performances environnementales des profils de bardage en acier et des plateaux de bardage

Quatre FDES collectives sont disponibles sur INIES

#### 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.



FIGURE 1 Exemple d'une FDES de bardage en acier



# DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS. SYSTÈMES INNOVANTS DE BARDAGE ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

3

1

## DOMAINE D'APPLICATION ET ISOLANTS BIOSOURCÉS VISÉS EN BARDAGE

Sur la base des 9 mois de mesures pour les bardages, le domaine d'application est identique aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages 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 900m).
- Mise en place d'un pare-pluie (facultative).
- Mise en place d'une lame d'air ventilée de 20 mm obligatoire quel que soit le sens de pose de la peau extérieure.

### NOTE



Les locaux à moyenne hygrométrie visés par les Recommandations Professionnelles RAGE bardages acier ne sont 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, et de respecter l'ensemble des dispositions du présent rapport, les cinq isolants biosourcés suivants peuvent être envisagés dans des systèmes double peau en acier :

- 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 bardages 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 des Recommandations RAGE bardages de juillet 2014.

## 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 de feu extérieur de façade,
- 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

- Recommandations Professionnelles bardages en acier protégé et en acier inoxydable – conception et mise en œuvre de juillet 2014
- 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<sup>er</sup> janvier 2022.
- AQC Isolants Biosourcés points de vigilance
- Les matériaux biosourcés dans le bâtiment FFB
- Document technique C et B 2012 Etat 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

## NOTE



Dans la suite du présent rapport les Recommandations Professionnelles RAGE bardages en acier protégé et en acier inoxydable, conception et mise en œuvre de juillet 2014 sont dénommées « Recommandations Professionnelles RAGE bardages ».

## 3

## 3

## TERMINOLOGIE – DÉFINITIONS

**Bardage rapporté**

Paroi composée de plaques nervurées ou ondulées posées horizontalement ou verticalement ou en oblique et fixées sur une ossature rapportée sur une paroi en béton ou maçonnerie avec ou sans isolant thermique.

**Bardage double peau courant**

Le bardage double peau est constitué de plateaux fixés sur la structure porteuse, verticalement ou horizontalement, d'écarteurs éventuels, d'isolant et d'un parement extérieur constitué de plaques nervurées ou ondulées posées horizontalement ou verticalement ou en oblique.

**Bardage à deux peaux dissociées**

Le bardage double peau peut être également constitué de deux peaux fixées de part et d'autre de l'ossature porteuse. Il est alors dénommé bardage à deux peaux dissociées.

**Bardage à peaux multiples (plus de deux peaux)**

C'est un bardage double peau dans lequel on rajoute une ou plusieurs peaux intermédiaires. Il peut être constitué de plateaux, d'isolants d'une ou plusieurs peaux en acier intermédiaire(s), d'écarteurs et d'une peau extérieure.

**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 de la peau extérieure. L'utilisation du plateau en tant que support de peaux extérieures autres que les plaques nervurées ou ondulées n'est pas visée.

**Ecarteurs**

Zed ou oméga ou U 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.

**Lame d'air**

La lame d'air est constituée par un intervalle continu compris entre deux matériaux dont les faces sont sensiblement parallèles.

La lame d'air doit être située entre la peau extérieure et l'isolant. La présence d'une lame d'air ventilée est systématique pour les isolants biosourcés testés ici dans le cadre du projet Profeel. Cette présence est liée à la nature de l'isolant biosourcé et à la pose de la peau extérieure.

**Plaques nervurées et ondulées**

Les plaques pleines 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 une ossature rapportée ou sur les lèvres des plateaux.

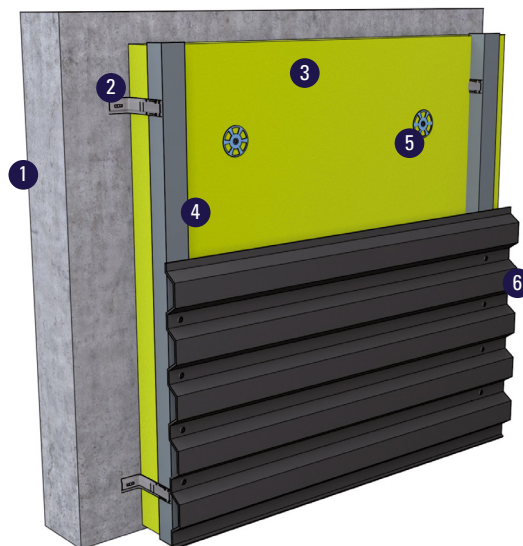
3

4

## TYPES DE BARDAGES EN ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

### 3.4.1 LES BARDAGES RAPPORTÉS

Le bardage rapporté est une paroi composée de plaques nervurées ou ondulées posées horizontalement, verticalement ou en oblique et fixées sur une ossature rapportée sur une paroi en béton ou maçonnerie avec isolant thermique. (cf. figure 2).



① Support

② Patte équerre

③ Isolant en matériau biosourcé

④ Ossature rapportée (Montant)

⑤ Cheville étoile

⑥ Peau extérieure

FIGURE 2 Bardage rapporté

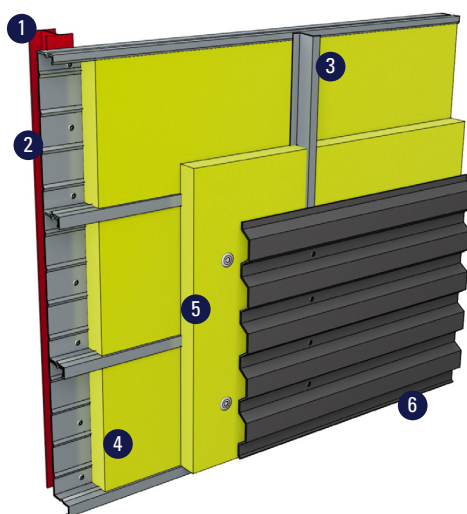
### 3.4.2 LES BARDAGES DOUBLE PEAU

Le bardage double peau est constitué de plateaux fixés sur la structure porteuse, verticalement ou horizontalement, d'écarteurs éventuels, d'isolant et d'un parement

extérieur constitué de plaques nervurées ou ondulées posées horizontalement ou verticalement ou en oblique. On peut distinguer plusieurs configurations :

#### 3.4.2.1 CONFIGURATION A

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant (cf. figure 3.1).



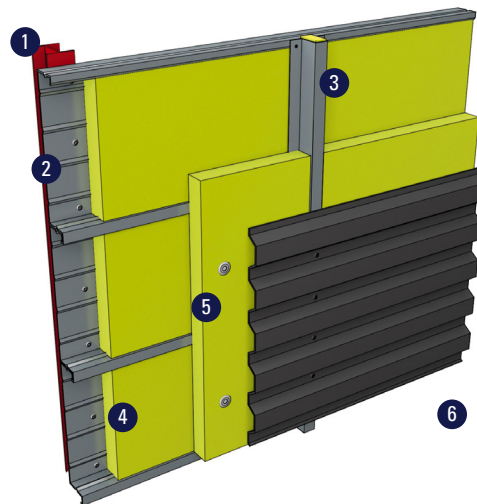
- |                      |   |
|----------------------|---|
| ① Structure porteuse | ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé                   |
| ② Plateau            | ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé non pincé sous l'écarteur zed |
| ③ Écarteur Zed       | ⑥ Bardage extérieur   |

**FIGURE 3.1** Bardage double peau courant-écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant



### 3.4.2.2 CONFIGURATION B

Bardage double peau courant, écarteurs Omega verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant (cf. figure 3.2).



- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| ① Structure porteuse              | ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé                     |
| ② Plateau                         | ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé non pincé sous l'écarteur omega |
| ③ Ecarteur oméga rempli d'isolant | ⑥ Bardage extérieur   |

**FIGURE 3.2** Bardage double peau courant-écarteurs Omega verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant

### 3.4.2.3 CONFIGURATION C

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – pincement de l'isolant (cf. figure 3.3).

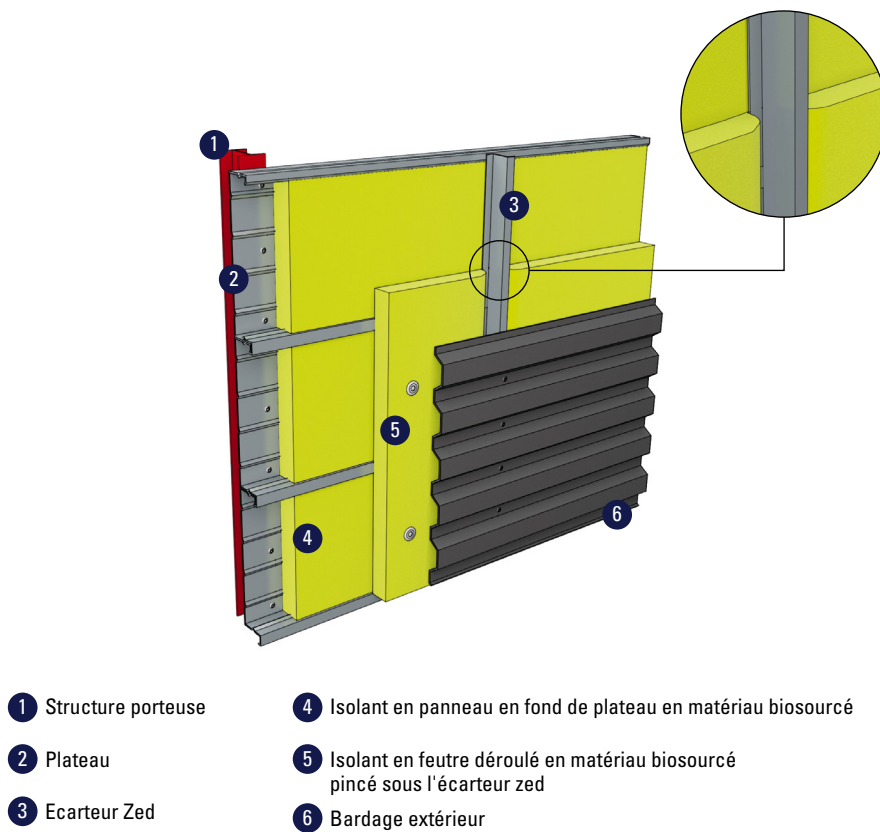
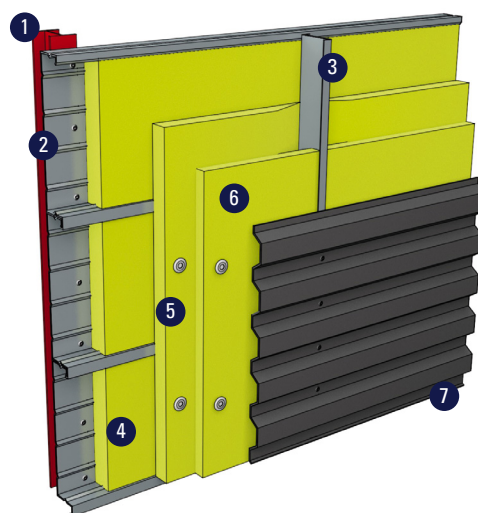


FIGURE 3.3

Bardage double peau courant-écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – pincement de l'isolant

### 3.4.2.4 CONFIGURATION D

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 3 lits d'isolants (cf. figure 3.4).

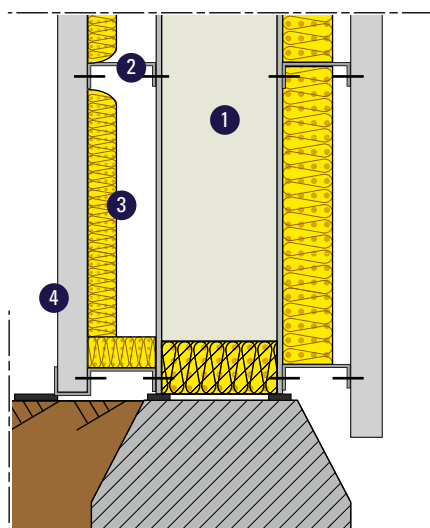


- |                      |   |
|----------------------|---|
| ① Structure porteuse | ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé (1 <sup>er</sup> lit)                   |
| ② Plateau            | ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé (2 <sup>ème</sup> lit)<br>pincé sous l'écarteur zed |
| ③ Ecarteur Zed       | ⑥ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé (3 <sup>ème</sup> lit)                              |
|                      | ⑦ Bardage extérieur   |

**FIGURE 3.4** Bardage double peau courant-écarteurs Zed verticaux ou biais – 3 lits d'isolants – pincement de l'isolant

### 3.4.3 LES BARDAGES À DEUX PEAUX DISSOCIÉES

Le bardage à deux peaux dissociées est un bardage double peau constitué de deux peaux fixées de part et d'autre de l'ossature porteuse (cf. figure 4).

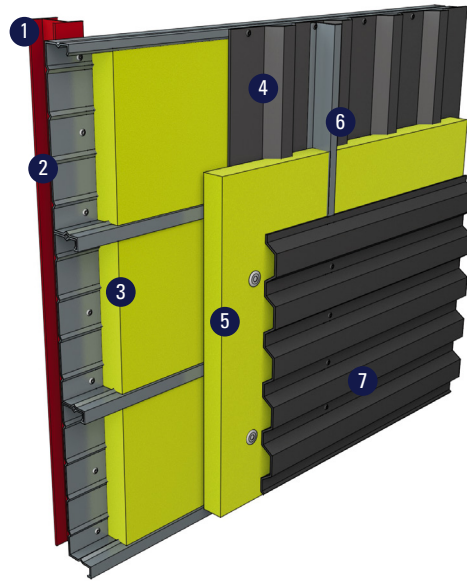


- |  |                     |
|--|---------------------|
| ① Structure porteuse en maçonnerie ou voile béton armé | ③ Isolant biosourcé |
| ② Ossature secondaire                                  | ④ Bardage           |

FIGURE 4 Bardage à deux peaux dissociées

### 3.4.4 LES BARDAGES À PEAUX MULTIPLES

Le bardage à peaux multiples est un bardage double peau dans lequel on rajoute une ou plusieurs peaux intermédiaires. Il peut être constitué de plateaux, d'isolants d'une ou plusieurs peaux en acier intermédiaire, d'écarteurs et d'une peau extérieure (cf. figure 5).



- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1 Structure porteuse en maçonnerie ou voile béton armé | 4 Peau intérieure métallique  |
| 2 Plateau  | 5 Isolant biosourcé en feutre |
| 3 Isolant biosourcé en panneau                         | 6 Écarteur                    |
|  | 7 Peau extérieure             |

FIGURE 5 Bardage à deux peaux multiples

3

5

## RETOUR D'EXPERIENCE SUR LA CONCEPTION D'OUVRAGES DE BARDAGE ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

### 3.5.1 GÉNÉRALITÉS

Les isolants biosourcés étant sujet à l'absorption d'humidité, ceci implique de protéger les profils acier en conséquence par des dispositions technologiques adaptées (lames d'air, pare-pluie éventuel). En revanche, les dispositions technologiques définies dans les Recommandations

Professionnelles RAGE bardages traditionnels restent applicables.

La spécificité de ce type de bardage est d'avoir une lame d'air de 20 mm entre la peau extérieure (quel que soit son sens de pose) et le plan des isolants.

#### NOTE



Les constats in situ n'ont pas montré de différence de comportement des isolants avec et sans pare-pluie (pas d'effet favorable ou défavorable des pare-pluie).

Le maître d'œuvre et l'entrepreneur devront préciser au plus tôt aux fournisseurs de profils que les isolants des bardages 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

En l'état actuel des mesures après 9 mois de recul, les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages s'appliquent.

### 3.5.3 DURABILITÉ DES ÉCARTEURS

En l'état actuel des mesures après 9 mois de recul, les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages s'appliquent.

### 3.5.4 ECRAN PARE-PLUIE

L'expérimentation n'a pas montré de différence dans le comportement des isolants avec et sans pare-pluie. Toutefois, étant donné que nous ne disposons que de 9 mois de recul, il est proposé de retenir les dispositions techniques suivantes :

- Isolant WS (absorption d'eau à court terme par immersion partielle de moins de 1 kg/m<sup>2</sup>) : un pare-pluie n'est pas nécessaire,
- Isolant non WS : un pare-pluie est nécessaire.

#### NOTE



Le pare-pluie mis en œuvre en bardage avait un Sd {+0,04/-0,01m}.

#### NOTE



Le CGM du DTU 31.2 définit les pare-pluie et admet un Sd de 18 cm au maximum.

### 3.5.5 DURABILITÉ DE LA PEAU EXTÉRIEURE

Les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages s'appliquent et notamment en ce qui concerne le respect des dispositions liées à la lame d'air minimale de 20mm.

### 3.5.6 DURABILITÉ DES VIS DE FIXATION

Les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages s'appliquent.

### 3.5.7 LAME D'AIR VENTILÉE

Une lame d'air ventilée de 20 mm est systématiquement mise en œuvre.

#### NOTE



Cette disposition technologique de la lame d'air systématique est privilégiée car elle permet de ventiler la peau extérieure.

### 3.5.8 POSITION DU POINT DE ROSÉE

Afin de limiter au maximum les risques de condensation dans l'isolant biosourcé, le point de rosée doit se trouver le plus près possible de la peau extérieure. Il doit être calculé et 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 bardages doivent impérativement être conditionnés :

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

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

#### NOTE



Ceci permet de conserver les principes de mise en œuvre définis dans les Recommandations Professionnelles RAGE bardages à l'article 8.4.8.

### 3.6.2 MASSE VOLUMIQUE DE L'ISOLANT BIOSOURCÉ

Elle doit être comprise entre 20 et 150 kg/m<sup>3</sup>.

#### NOTE



Ceci permet de ne pas augmenter les charges permanentes par rapport aux constructions traditionnelles et ainsi permettre de justifier en séisme sans essais complémentaires des bardages équipés d'isolant biosourcé.

### 3.6.3 PERFORMANCES THERMIQUES

Les performances thermiques sèches des isolants biosourcés sont celles indiquées dans les 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. 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. Les performances des isolants biosourcés à communiquer sont définies dans le tableau ci-dessous. Cette liste n'est pas exhaustive et d'autres performances peuvent s'avérer nécessaires pour l'aptitude à l'emploi envisagé.

Caractéristique	Symbole	Unité
Densité	$\rho$	kg/m <sup>3</sup>
Capacité thermique massique	$C_p$	J/(kg.K)
Résistance thermique	R	m <sup>2</sup> .K/W
Conductivité thermique	$\lambda$	W/m.K
Perméabilité à la vapeur d'eau	M	sans
Hygroscopie	-	% du poids
Réaction au feu	-	Euroclasse
Affaiblissement acoustique	$R_w$	dB
Energie grise	-	kWh/m <sup>2</sup>
FDES	EGES	-

**TABEAU 1 Performances 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 3728 pour l'isolation des parois verticales*.

**TABEAU 1 BIS Référentiels techniques**

#### NOTE



L'utilisation d'un isolant biosourcé 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 bardages, il existe notamment la procédure volontaire d'ATEC de la CCFAT.

3

7

## MISE EN ŒUVRE DES BARDAGES ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Etant donné que les isolants biosourcés sont livrés en panneaux et rouleaux, la mise en œuvre s'effectue selon les spécifications des Recommandations Professionnelles RAGE bardages – article 8.4.8, complétées par les précautions et dispositions suivantes, compte tenu de leur caractère hygroscopique et putrescible :

- Précaution au stockage (pas d'exposition aux intempéries) 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).
- Nécessité d'avoir des isolants de dimensions adaptées aux plateaux.
- 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 BARDAGES ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages s'appliquent (cf. chapitre 10).

3

9

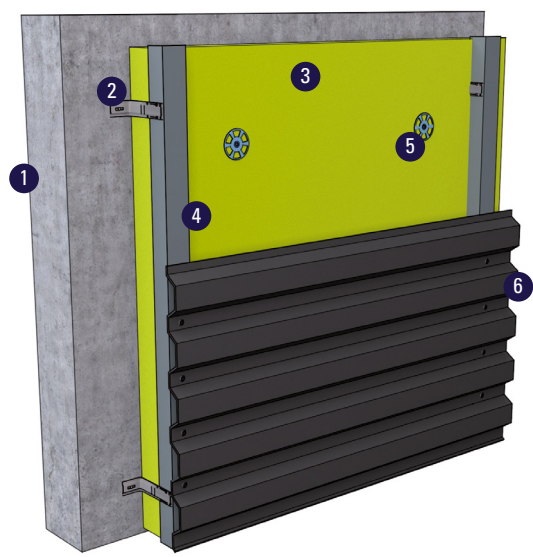
## PERFORMANCES THERMIQUES DES BARDAGES ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Seul le bardage acier configuration 3, avec l'ajout d'un oméga de 20 mm sur l'écarteur oméga afin de maintenir une lame d'air ventilée (cf Fig. 16), a été testé. 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<sup>er</sup> janvier 2022.

3.9.1 CONFIGURATION 1

Bardage rapporté sur maçonnerie ou voile béton, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.  
Avec e (pénétration d'un montant dans l'isolant) : 40 mm



- 1 Support

2 Patte équerre

3 Isolant en matériau biosourcé
- 4 Ossature rapportée (Montant)

5 Cheville étoile

6 Peau extérieure

FIGURE 6 Bardage rapporté

Cas 1 : Pattes équerre 150 mm<sup>2</sup> (section transversale) tous les 1000 mm dans les 2 sens et lame d'air ventilée de 20 mm.  $\lambda_{isolant} = 0,039 \text{ W/m.K}$ . Montants : cornière en acier de 120 x h x 2 mm.

Ep paroi béton (mm)	Epaisseur isolant (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
150	100	0,345	0,063	0,41
	200	0,183	0,034	0,22
	250	0,148	0,028	0,18
	300	0,125	0,023	0,15
200	100	0,342	0,062	0,40
	200	0,182	0,034	0,22
	250	0,148	0,028	0,18
	300	0,125	0,023	0,15

TABEAU 2A Performance thermique du bardage rapporté avec un  $\lambda = 0,039 \frac{W}{m.K}$ .

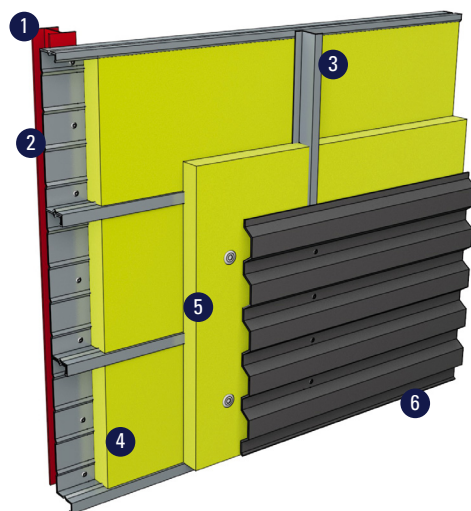
Cas 2 : Pattes équerre 360 mm<sup>2</sup> (section transversale) tous les 1000 mm dans les 2 sens et lame d'air ventilée de 20 mm.  
 $\lambda_{\text{isolant}} = 0,039 \text{ W/m.K}$ . Montants : cornière en acier de 120 x h x 2 mm.

Ep paroi béton (mm)	Epaisseur isolant (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
150	100	0,345	0,117	0,46
	200	0,183	0,071	0,25
	250	0,148	0,059	0,21
	300	0,125	0,051	0,18
200	100	0,342	0,115	0,46
	200	0,182	0,070	0,25
	250	0,148	0,059	0,21
	300	0,125	0,051	0,18

**TABLEAU 2B** Performance thermique du bardage rapporté avec un  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

### 3.9.2 CONFIGURATION 2

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE Bardages mais avec un isolant biosourcé.



- ① Structure porteuse
- ② Plateau
- ③ Écarteur Zed
- ④ Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé
- ⑤ Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé non pincé sous l'écarteur zed
- ⑥ Bardage extérieur

**FIGURE 7** Bardage double peau courant- écarteurs Zed deux lits d'isolants-aucun pincement de l'isolant

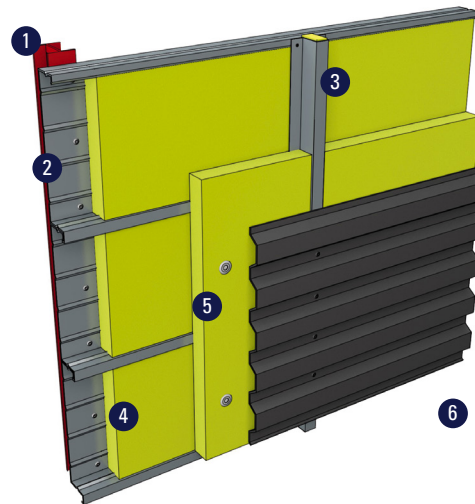
Lame d'air ventilée de 20 mm.  $\lambda_{isolant} = 0,039 \text{ W/m.K}$ .

Profondeur du plateau h (mm)	Largeur du plateau bu (mm)	Epaisseur isolant devant plateaux (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
70	400	80	0,244	0,122	0,37
		140	0,177	0,096	0,27
		180	0,150	0,086	0,24
	450	80	0,244	0,111	0,36
		140	0,177	0,087	0,26
		180	0,150	0,080	0,23
	500	80	0,244	0,100	0,34
		140	0,177	0,082	0,26
		180	0,150	0,074	0,22
90	400	80	0,217	0,127	0,34
		140	0,162	0,099	0,26
		180	0,139	0,088	0,23
	500	80	0,217	0,105	0,32
		140	0,162	0,083	0,25
		180	0,139	0,075	0,21
	600	80	0,217	0,089	0,31
		140	0,162	0,073	0,24
		180	0,139	0,065	0,20

**TABEAU 3** Performance thermique du bardage double peau avec écarteurs Zed deux lits d'isolants-aucun pincement de l'isolant avec  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

### 3.9.3 CONFIGURATION 3

Bardage double peau courant, écarteurs Omega verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – aucun pincement de l'isolant, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.



- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| 1 Structure porteuse              | 4 Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé                     |
| 2 Plateau                         | 5 Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé non pincé sous l'écarteur oméga |
| 3 Écarteur oméga rempli d'isolant | 6 Bardage extérieur   |

**FIGURE 8** Bardage double peau courant- écarteurs oméga deux lits d'isolants-aucun pincement de l'isolant

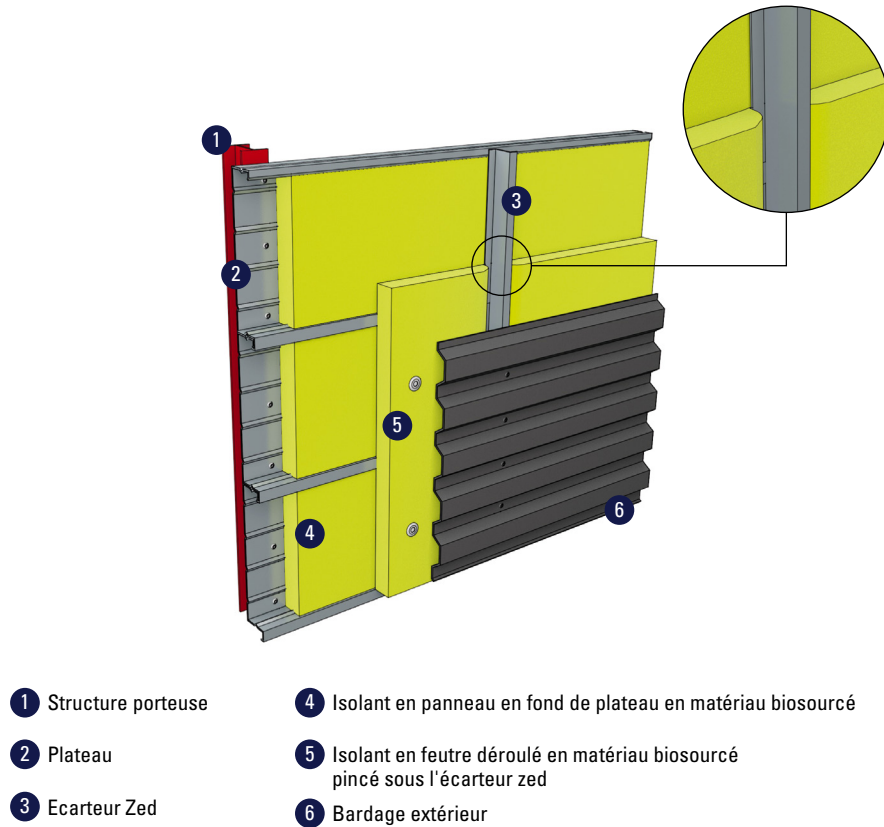
Lame d'air ventilée de 20 mm.  $\lambda_{isolant} = 0,039 \text{ W/m.K}$ .

Profondeur du plateau h (mm)	Largeur du plateau bu (mm)	Epaisseur isolant devant plateaux (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
70	400	80	0,244	0,162	0,41
		140	0,177	0,137	0,31
		180	0,150	0,127	0,28
	450	80	0,244	0,147	0,39
		140	0,177	0,126	0,30
		180	0,150	0,117	0,27
	500	80	0,244	0,134	0,38
		140	0,177	0,117	0,29
		180	0,150	0,109	0,26
90	400	80	0,217	0,163	0,38
		140	0,162	0,136	0,30
		180	0,139	0,125	0,26
	500	80	0,217	0,134	0,35
		140	0,162	0,115	0,28
		180	0,139	0,107	0,25
	600	80	0,217	0,115	0,33
		140	0,162	0,100	0,26
		180	0,139	0,094	0,23

**TABEAU 4** Performance thermique du bardage double peau courant- écartereurs oméga deux lits d'isolants-aucun pincement de l'isolant avec un  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

### 3.9.4 CONFIGURATION 4

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 2 lits d'isolants – pincement de l'isolant, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.



**FIGURE 9** Bardage double peau courant- écarteurs Zed deux lits d'isolants- pincement du deuxième lit (5mm)

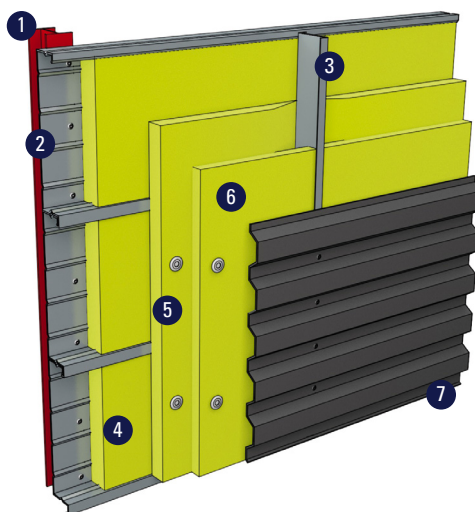
Lame d'air ventilée de 20 mm.  $\lambda_{\text{isolant}} = 0,039 \text{ W/m.K}$ .

Profondeur du plateau h (mm)	Largeur du plateau bu (mm)	Epaisseur isolant devant plateaux (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
70	400	80	0,244	0,105	0,35
	450	80	0,244	0,095	0,34
	500	80	0,244	0,087	0,33
90	400	80	0,217	0,110	0,33
	500	80	0,217	0,091	0,31
	600	80	0,217	0,077	0,29

**TABLEAU 5** Performance thermique du bardage double peau avec un écarteurs Zed deux lits d'isolants- pincement du deuxième lit (5 mm) avec un  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

### 3.9.5 CONFIGURATION 5

Bardage double peau courant, écarteurs Zed verticaux ou biais – 3 lits d'isolants, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.



- |                      |  |
|----------------------|--|
| 1 Structure porteuse | 4 Isolant en panneau en fond de plateau en matériau biosourcé (1 <sup>er</sup> lit)                |
| 2 Plateau            | 5 Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé (2 <sup>ème</sup> lit) pincé sous l'écarteur zed |
| 3 Ecarteur Zed       | 6 Isolant en feutre déroulé en matériau biosourcé (3 <sup>ème</sup> lit)                           |
|                      | 7 Bardage extérieur  |

FIGURE 10 Bardage double peau courant- écarteurs Zed trois lits d'isolants



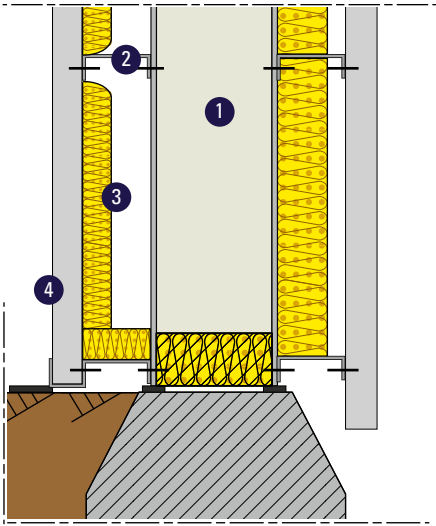
Lame d'air ventilée de 20 mm. Cavité d'air au niveau de l'écarteur non ventilée.  $\lambda_{\text{isolant}} = 0,039 \text{ W/m.K}$ .

Profondeur du plateau h (mm)	Largeur du plateau bu (mm)	Epaisseur isolant devant plateaux (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
70	400	140	0,177	0,074	0,25
		180	0,150	0,067	0,22
	450	140	0,177	0,068	0,25
		180	0,150	0,062	0,21
	500	140	0,177	0,064	0,24
		180	0,150	0,059	0,21
90	400	140	0,162	0,078	0,24
		180	0,139	0,069	0,21
	500	140	0,162	0,066	0,23
		180	0,139	0,060	0,20
	600	140	0,162	0,058	0,22
		180	0,139	0,053	0,19

**TABLEAU 6** Performance thermique du bardage double peau avec écarteurs Zed trois lits d'isolants avec un  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

### 3.9.6 CONFIGURATION 6

Bardage à deux peaux dissociées, conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.



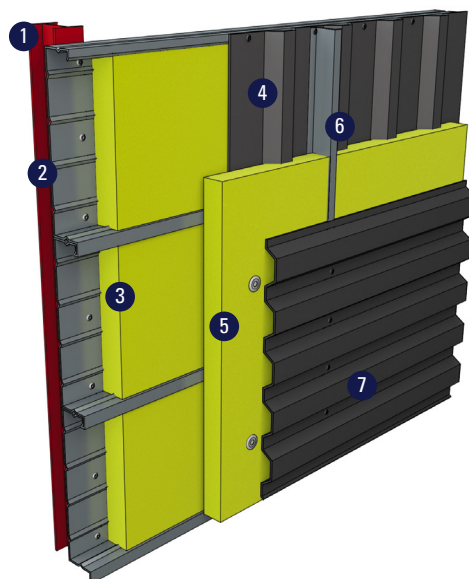
- ① Structure porteuse en maçonnerie ou voile béton armé
- ② Ossature secondaire
- ③ Isolant biosourcé
- ④ Bardage

**FIGURE 11** Bardage à deux peaux dissociées

Non calculé, établi à partir de la somme des performances des parois établies ci-avant.

### 3.9.7 CONFIGURATION 7

Bardage à peaux multiples conforme aux Recommandations Professionnelles RAGE bardages mais avec un isolant biosourcé.



- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| ① Structure porteuse en maçonnerie ou voile béton armé | ④ Peau intérieure métallique  |
| ② Plateau  | ⑤ Isolant biosourcé en feutre |
| ③ Isolant biosourcé en panneau                         | ⑥ Écarteur                    |
|  | ⑦ Peau extérieure             |

FIGURE 12 Bardage à peaux multiples

Lame d'air ventilée de 20 mm. Cavités d'air au niveau de la peau intérieure (ondes des plaques) non ventilées.  $\lambda_{isolant} = 0,039 \text{ W/m.K}$ .

Profondeur du plateau h (mm)	Largeur du plateau bu (mm)	Epaisseur isolant devant plateaux (mm)	$U_c$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> .K)	$U_p$ (W/m <sup>2</sup> .K)
70	400	80	0,237	0,192	0,43
		140	0,173	0,138	0,31
		180	0,147	0,119	0,27
	450	80	0,237	0,179	0,42
		140	0,173	0,131	0,30
		180	0,147	0,113	0,26
	500	80	0,237	0,168	0,41
		140	0,173	0,124	0,30
		180	0,147	0,108	0,26
90	400	80	0,211	0,199	0,41
		140	0,159	0,142	0,30
		180	0,137	0,121	0,26
	500	80	0,211	0,173	0,38
		140	0,159	0,127	0,29
		180	0,137	0,109	0,25
	600	80	0,211	0,154	0,37
		140	0,159	0,115	0,28
		180	0,137	0,100	0,24

**TABLEAU 7** Performance thermique du bardage à peaux multiples avec avec un  $\lambda = 0,039 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}$ .

3

10

## ESSAI DE DURABILITÉ DES BARDAGES ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS

Le présent chapitre explicite pour la configuration 3 mise en œuvre dans le démonstrateur, avec l'ajout d'un oméga de 20 mm sur l'écarteur oméga afin de maintenir une lame d'air ventilée (cf figures 15 et 16), 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 ;
- L'influence du pare-pluie.

### 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, de la lame d'air 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

#### 3.10.4.1 DESCRIPTION DE LA MAQUETTE D'ESSAI (VOIR AUSSI ANNEXES 1 ET 2 ET RAPPORT D'ESSAI DE BARDAGE)

La maquette d'essai est un petit bâtiment de 2,6 m x 6,4 m x 2,40 m de haut (structure en éléments minces).

Chaque face est recouverte d'un bardage double peau réalisé à partir de :

- Plateaux de 400 mm x 92 mm ép. nominale 0,75 mm acier 320 GD 35  $\mu$ m coté isolation,
- Ecarteurs oméga (2 montages) galvanisés Z275 de section 40 x 180 x 120 x 180 x 40 mm en ép. 1,5 mm de nuance d'acier S280 GD posés en vertical tous les 2,0 m maximum,
- Pare-pluie type Deltavent N hvp,
- Contre-oméga de 20 mm,
- Lame d'air ventilée 20 mm (même caractéristique que l'écarteur oméga),
- D'un bardage horizontal épaisseur nominale 0,75 mm en acier de nuance S280 GD,
- Mise en œuvre de deux types de vis : inox  $\varnothing$  5,5 mm et classique  $\varnothing$  6,3 mm, pour voir le comportement.

Un des pignons est réalisé avec un système acoustique (plateau perforé) sur toute la hauteur, l'autre pignon (pla-

teau non perforé) en chanvre, coton et lin également sur toute la hauteur.

Chaque isolant biosourcé est mis en œuvre sur deux plateaux consécutifs et testé. La laine minérale est également mise en œuvre sur 2 plateaux consécutifs et testée pour permettre une comparaison.

L'expérimentation permet de voir les effets bénéfiques ou non d'une lame d'air ventilée en bardage uniquement pour assurer l'assèchement des isolants biosourcés.

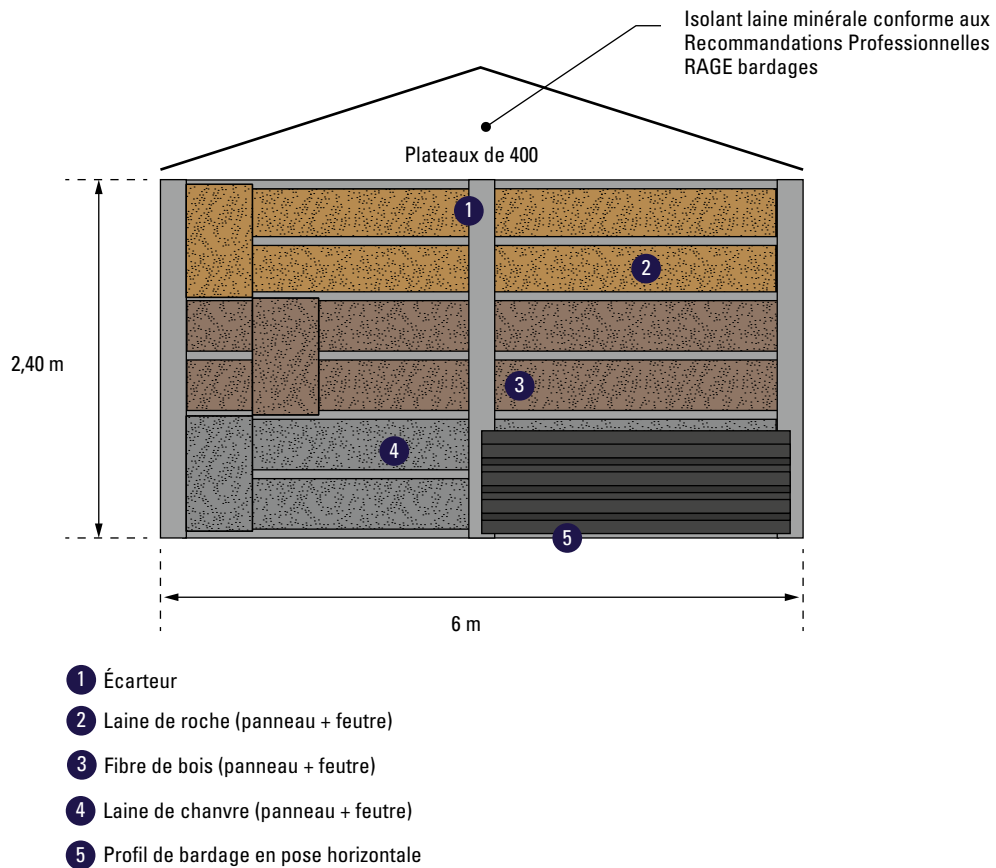
Le positionnement des isolants varie sur chaque face afin de voir une éventuelle influence en fonction du positionnement dans le mur.

Pour fermer le bâti, une couverture est réalisée en couverture double peau bacs secs 3 x 333 x 1000 + isolant laine de roche et 5 isolants biosourcés + fausse panne en vue d'avoir un Up de 0,35 W/m<sup>2</sup>.K sur un rampant et à partir d'une couverture double peau constituée d'un plateau en peau intérieure, de fausses pannes et d'un bac sec en peau extérieure avec les 5 isolants biosourcés (Up 0,35 W/m<sup>2</sup>.K) sur l'autre rampant.

**Face 1 avec lame d'air ventilée de 20 mm entre l'isolant et la paroi extérieure (test des différents isolants)**

Vis inox  $\varnothing$  5,5 mm et vis classique 12 cycles Kesternich  $\varnothing$  6,3 mm.

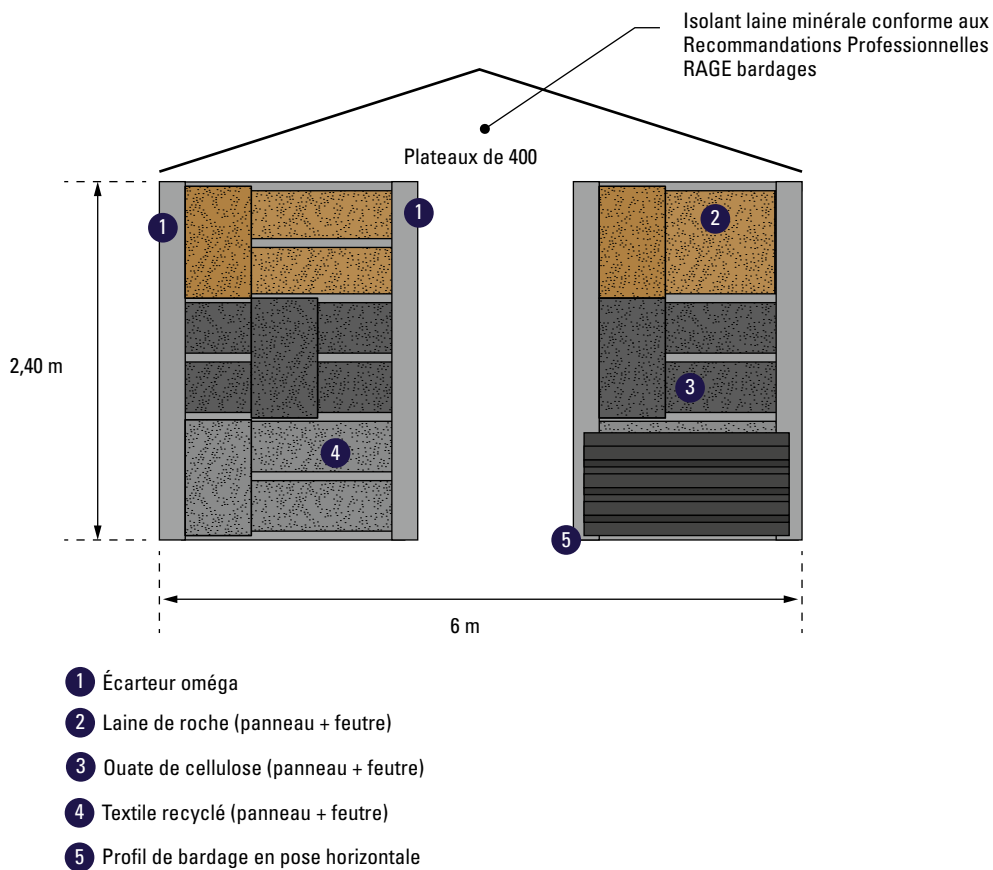
Pour tous les isolants : panneaux mis en fond de plateau et feutre déroulé devant.



**FIGURE 13** Répartition de principe en partie courante des isolants biosourcés dans les plateaux en long pan face 1

### Face 2 avec lame d'air ventilée de 20 mm entre l'isolant et la paroi extérieure (test des différents isolants)

Pour tous les isolants : panneaux mis en fond de plateau plein et feutre déroulé devant. Tympan remplissage laine de roche + feutre. Vis inox  $\varnothing$  5,5 mm et vis classique 12 cycles Kesternich  $\varnothing$  6,3 mm.



**FIGURE 14** Répartition des isolants biosourcés dans les plateaux en long pan face 2

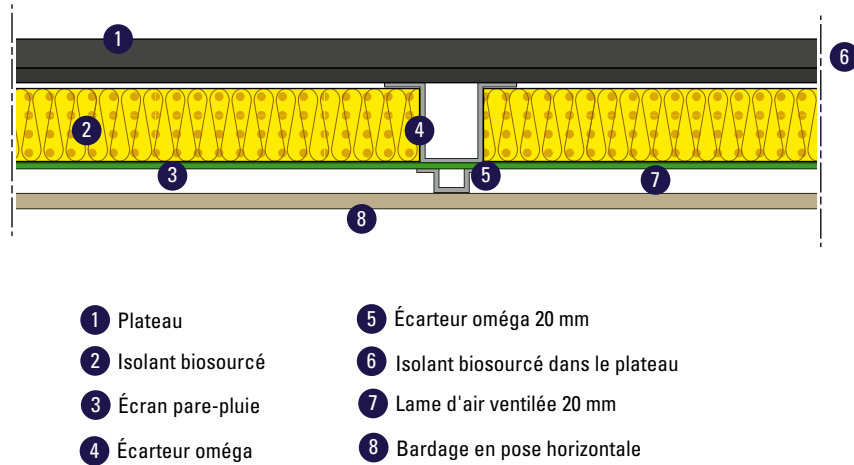


FIGURE 15 Coupe type au droit d'un écarteur (montage 1)

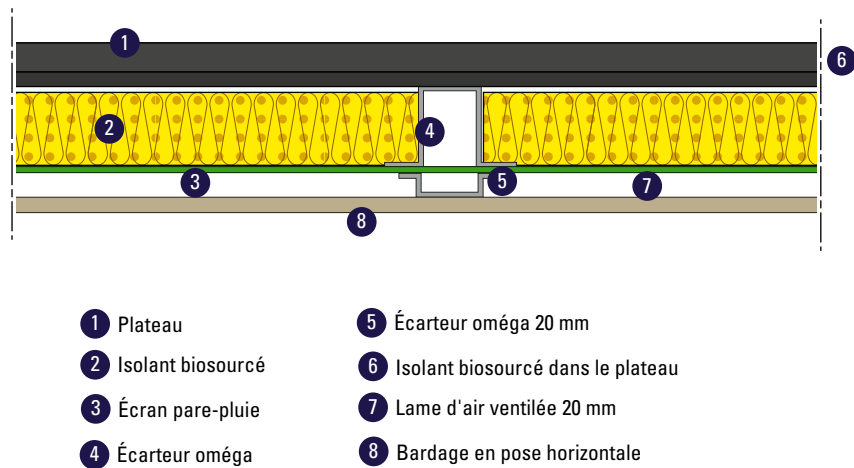
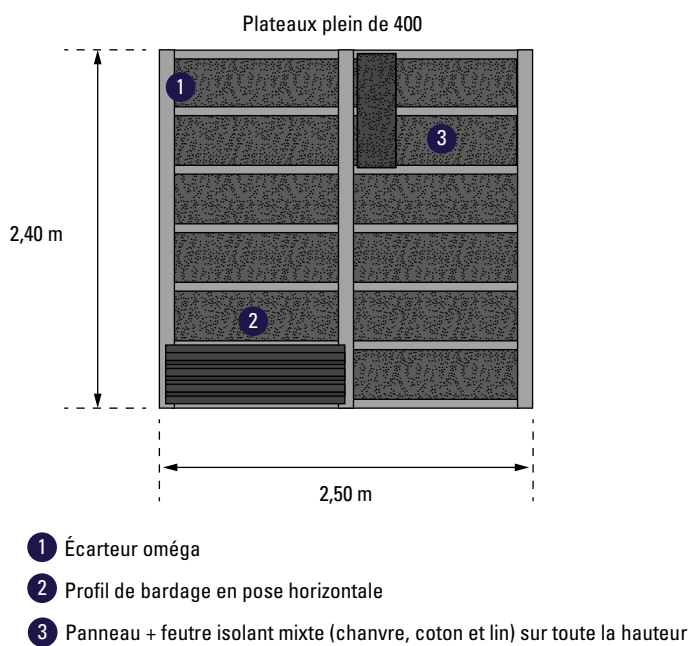


FIGURE 16 Coupe type au droit d'un écarteur (montage 2)

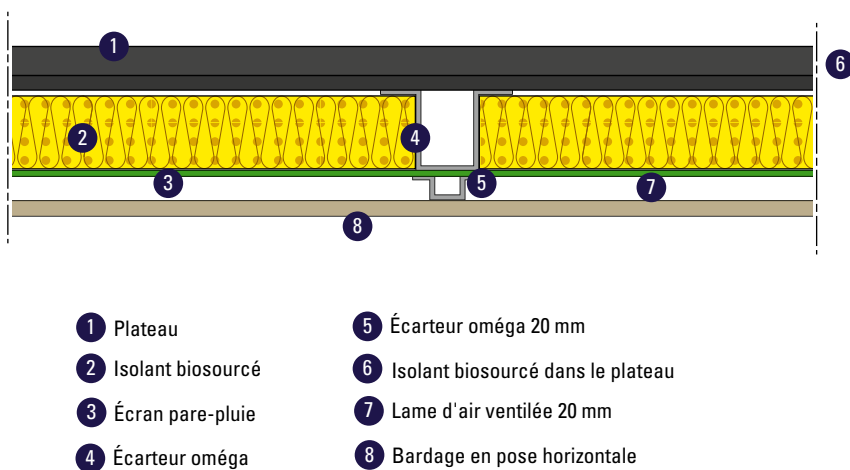
**Face 3 avec lame d'air de 20 mm entre l'isolant et la paroi extérieure – effet de l'hygrométrie sur la hauteur sur un même isolant**

Vis inox Ø 5,5 mm et vis classique 12 cycles Kesternich Ø 6,3 mm.

Pour tous les isolants : panneaux mis en fond de plateau plein et feutre déroulé devant.



**FIGURE 17** Schéma de principe de repartition des isolants biosourcés dans les plateaux pignons face 3



**FIGURE 18** Coupe type au droit d'un écarteur (montage 1)



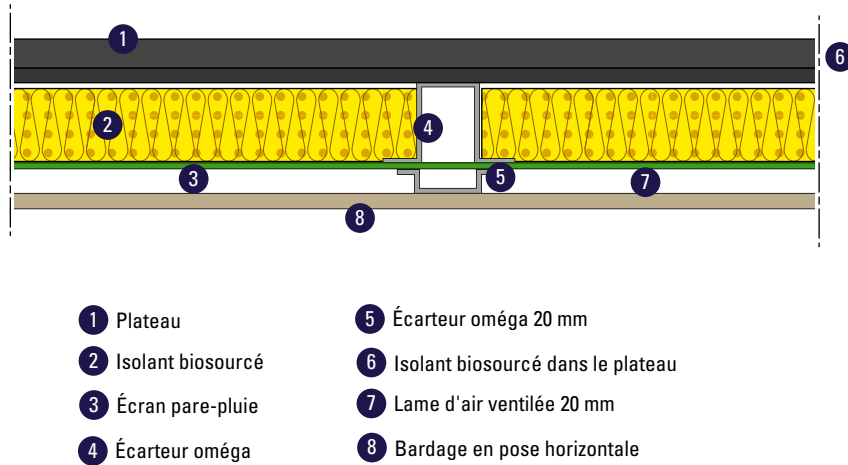


FIGURE 19 Coupe type au droit d'un écarteur (montage 2)

#### Face 4 avec lame d'air de 20 mm entre l'isolant et la paroi extérieure – effet acoustique

Vis inox Ø 5,5 mm et vis classique 12 cycles Kesternich Ø 6,3 mm.

Pour tous les isolants : panneaux mis en fond de plateau perforé et feutre déroulé devant.

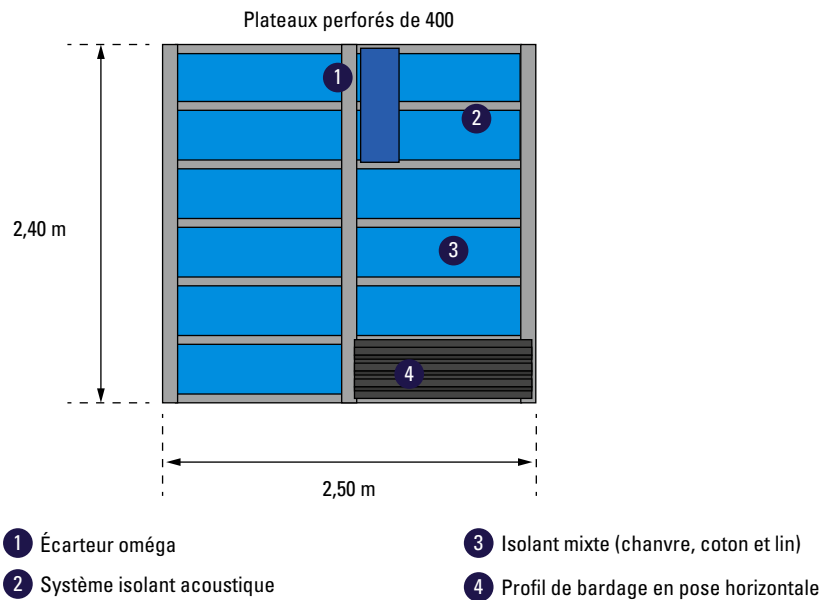
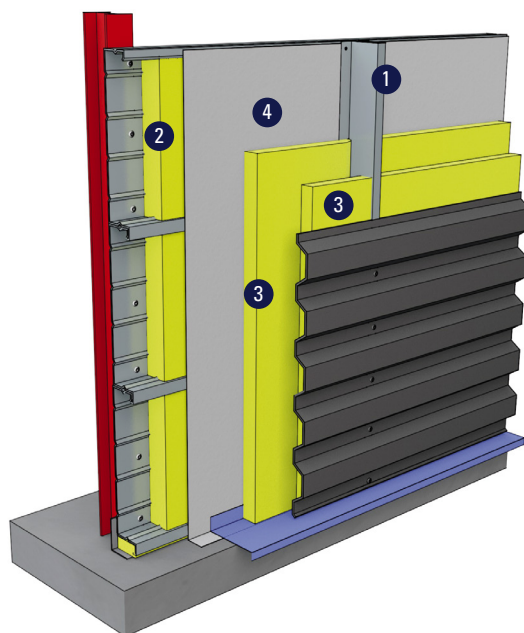


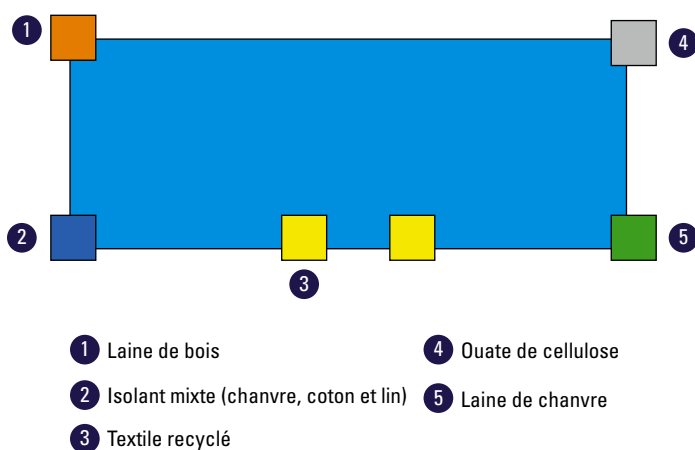
FIGURE 20 Schéma de principe de la Répartition des isolants biosourcés dans les plateaux perforés pignons face 4



- |                          |                     |
|--------------------------|---------------------|
| 1 Écarteur Oméga         | 3 Isolant biosourcé |
| 2 Isolant laine minérale | 4 Pare-vapeur       |

FIGURE 21 Coupe type de principe bardage acoustique

Accessoires –traitement des angles



- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1 Laine de bois                         | 4 Ouate de cellulose |
| 2 Isolant mixte (chanvre, coton et lin) | 5 Laine de chanvre   |
| 3 Textile recyclé                       |                      |

FIGURE 22 Schéma de principe de traitement des angles

Revêtement 35  $\mu\text{m}$  double face.

### 3.10.5 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

### 3.10.6 TYPOLOGIES DE BARDAGES CHOISIS ET SUIVIS

Il s'agit d'une des techniques de bardage visées par les Recommandations Professionnelle RAGE bardages. Les épaisseurs d'isolants retenues permettent de viser un Up de 0,25 W.m<sup>2</sup>.K.

### 3.10.7 CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES DES BARDAGES ET DE LEURS CONSTITUANTS

Sont retenus pour les tests :

- Des plateaux de largeur 400 mm et de 92 mm de hauteur en ép. 0,75 mm de nuance d'acier S 320 GD,
- Écarteurs oméga [2 montages] galvanisés Z275 de section 40 x 180 x 120 x 180 x 40 mm en ép. 1,5 mm,
- Écarteurs contre oméga galvanisés Z275 de section 40 x 20 x 120 x 20 x 40 mm en ép. 1,5 mm,
- Des profils de bardage d'ép. 0,75 mm de nuance d'acier S 328 GD,
- Des vis de fixation inox Ø 5,5 mm et classique 12 diamètre 12 cycles Kesternich Ø 6,3 mm (3 par plateau et 2,5 vis/m<sup>2</sup> en bardage),
- Des Isolants biosourcés et laine minérale selon tableau 8 ci-dessous.
- Lame d'air ventilée 20 mm.

Isolant	Conductivité $\lambda$	Capacité hygroscopique	Conditionnement en Panneaux	Conditionnement en Rouleaux	Représentativité sur le marché	Épaisseur de mur (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<sup>er</sup> janvier 2022.

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

**TABLEAU 8** Synthèse des caractéristiques des isolants biosourcés (GUIDE FFB LES MATERIAUX BIOSOURCES dans le BATIMENT)

### 3.10.8 POSITIONNEMENT DES DIFFÉRENTS CAPTEURS ET PLAN DE MONTAGE

#### 3.10.8.1 EQUIPEMENT NÉCESSAIRE

Par groupe de deux plateaux et par type d'isolant il est mis en œuvre :

- 3 capteurs d'hygrométrie soit 9 par face soit 36 au total,
- 3 capteurs de température soit 9 par face soit 36 au total,
- Un fluxmètre (3 par face) soit 12 au total

La maquette est équipée d'un système de climat réversible pour pouvoir avoir des gradients de température suffisants à la mesure.

### 3.10.8.2 POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

La maquette est équipée par face comme indiquée ci-dessous (principe figure 23A).  
Les capteurs se trouvent entre les deux couches d'isolants.

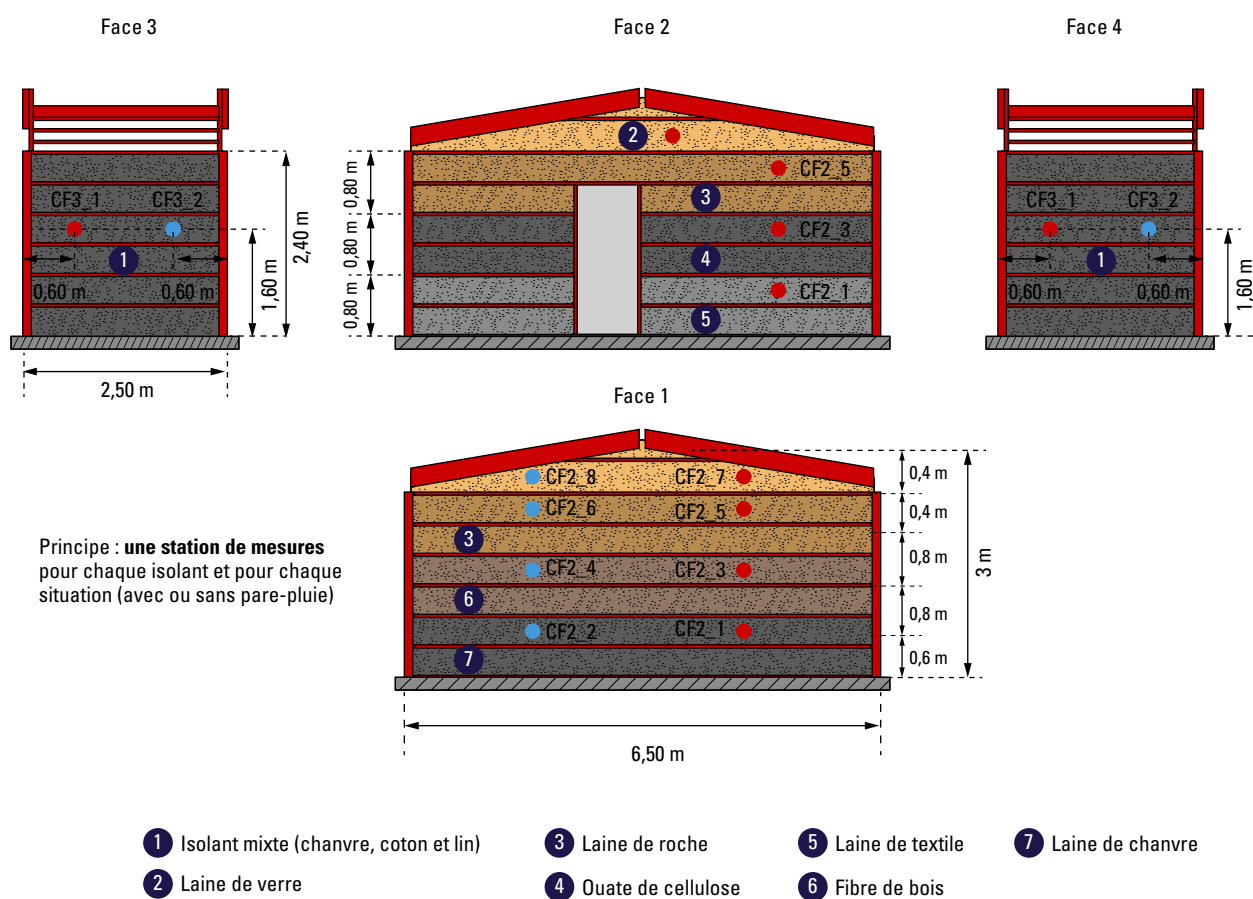


FIGURE 23A Répartition de principe des fluxmètres et capteurs hygrothermiques en façade

### 3.10.9 MOYENS HUMAINS MIS EN ŒUVRE

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

- Au lancement de l'étude et pendant l'année 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  $H_r$  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

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

#### 3.10.10.1 ASPECT DES ISOLANTS APRÈS 9 MOIS D'UTILISATION

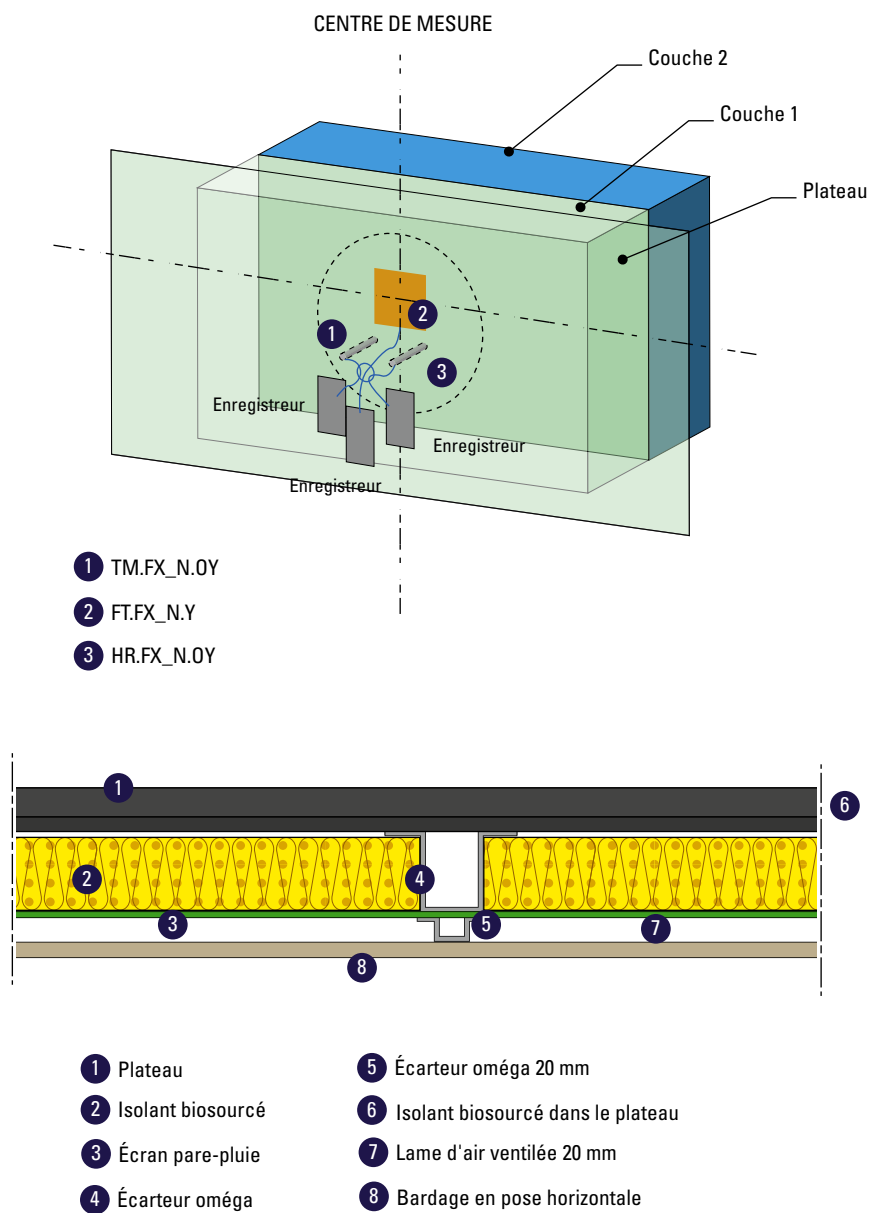
Le tableau 9 ci-dessous récapitule les éléments constatés visuellement après démontage de la peau extérieure et des écarteurs après 9 mois d'exposition aux intempéries.

Isolant	Aspect visuel	Humidité	Présence d'insectes	Présence de moisissure	Tassements et gonflement d'isolant	Autres
Laine minérale	Isolant OK Exceptée une zone en intérieur (problème montage)	sec	Présence faible d'insectes morts au niveau des rivés toiture bardage. Rien en angle de bâtiment	RAS	RAS	Les isolants sont bien restés en place, pas de tassement
Fibre de bois	RAS	sec		RAS	Gonflé (couche extérieure essentiellement)	
Laine de chanvre	Quelques points noirs	sec		Traces noires extrêmement minimales	RAS	Aucune différence entre les zones avec pare-pluie et sans pare-pluie
Ouate de cellulose	RAS	sec		RAS	RAS	
Textile recyclé	RAS	sec		RAS	RAS	
Mixte (chanvre, coton et lin)	RAS	sec		RAS	RAS	

**TABLEAU 9** Etat des isolants après démontage de la peau extérieure de BARDAGE DOUBLE PEAU avec plateau perforé ou non

### 3.10.10.2 POSITIONNEMENT DES CAPTEURS

La centrale de mesure et son positionnement est définie à la figure 23B.



**FIGURE 23B** Centrale de mesure et positionnement

### 3.10.10.3 VARIATION D'HUMIDITÉ AU COURS DU TEMPS

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

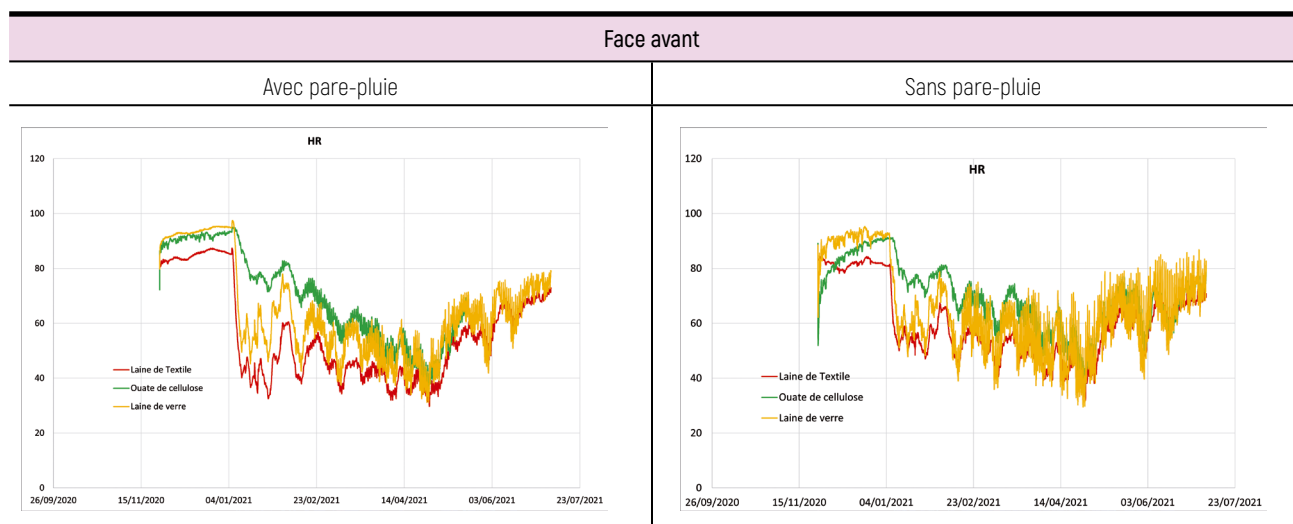
Les capteurs utilisés sont montrés à la figure 23C ci-après.



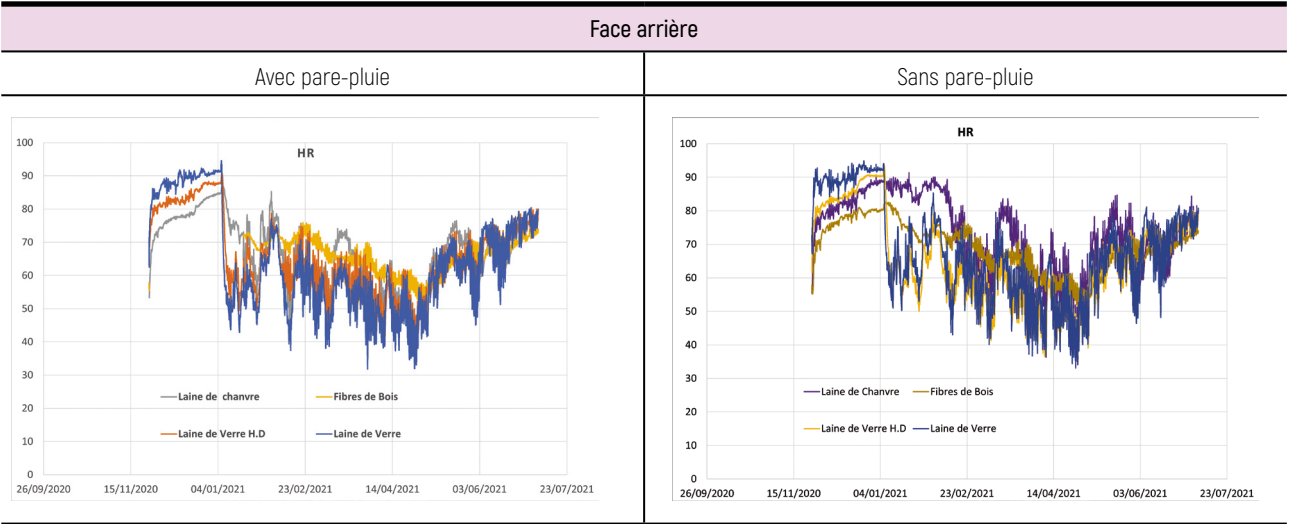
**FIGURE 23C** Dispositif de mesure de la température et de l'humidité

Les variations de l'humidité relative dans les isolants biosourcés et dans la laine minérale servant de référence sont données à la figure 23D.

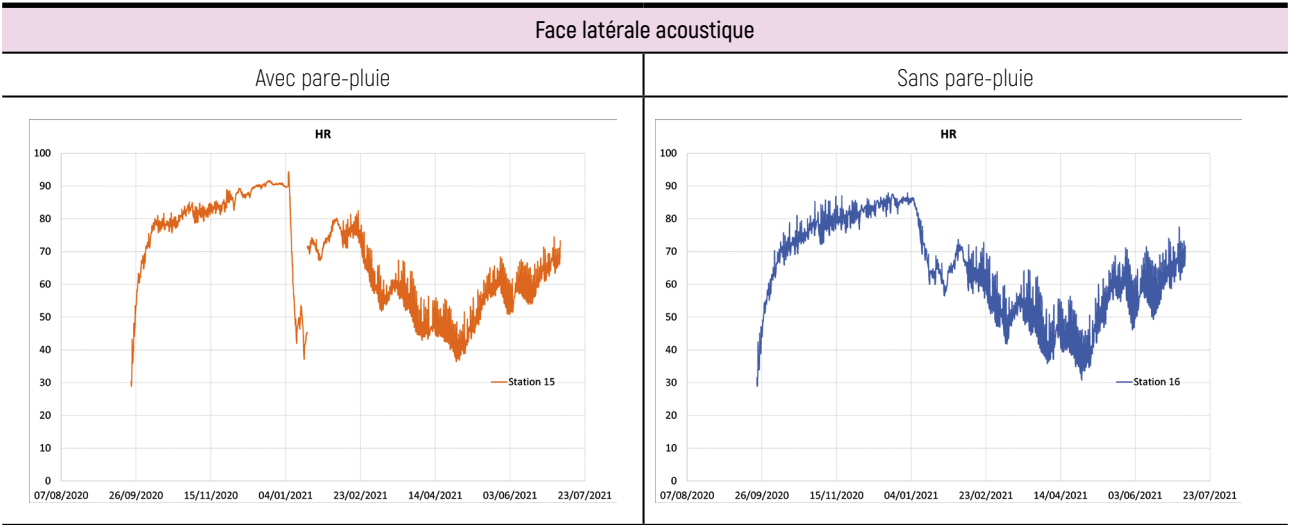
#### FIGURE 23D – VARIATION DE L'HUMIDITÉ DANS LES ISOLANTS BIOSOURCÉS ET DANS LA LAINE MINÉRALE AU COURS DU TEMPS



**FIGURE 23D1** Face avant avec et sans pare-pluie – humidité au cours du temps

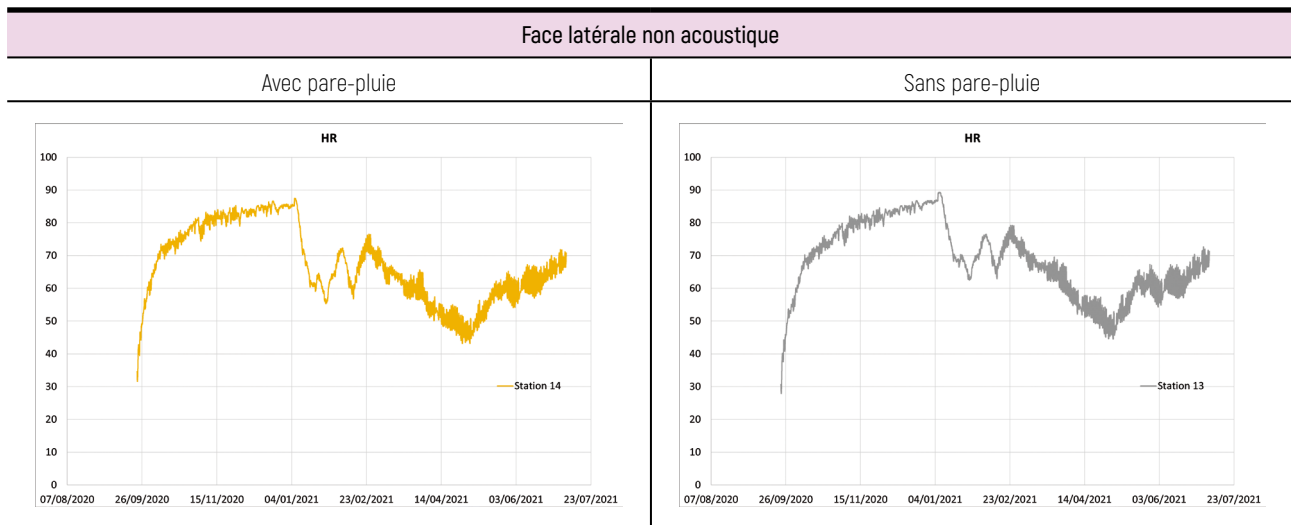


**FIGURE 23D2** Face arrière avec et sans pare-pluie – humidité au cours du temps



**FIGURE 23D3** Face latérale acoustique avec et sans pare-pluie – humidité au cours du temps





**FIGURE 23D4** Face latérale non acoustique avec et sans pare-pluie – humidité au cours du temps

## CONCLUSION



Les réponses hydriques de tous les isolants, minéraux et biosourcés utilisés pour l'essai, sont très peu sensibles à la présence d'un pare-pluie. Les différents isolants peuvent être distingués par leur inertie hydrique répondant plus ou moins rapidement aux changements de l'humidité de l'air.

#### 3.10.10.4 PERFORMANCE THERMIQUE AU COURS DU TEMPS

##### Comparaison de la performance thermique des isolants biosourcés avec la laine minérale

Les capteurs de température utilisés sont montrés à la figure 24A ci-dessous.



FIGURE 24A Dispositif de mesure de la température

Les capteurs de flux thermiques sont montrés à la figure 24B. Les variations de température pendant un an dans les isolants biosourcés et dans la laine minérale servant de référence sont données à la figure 24C. 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 24D.

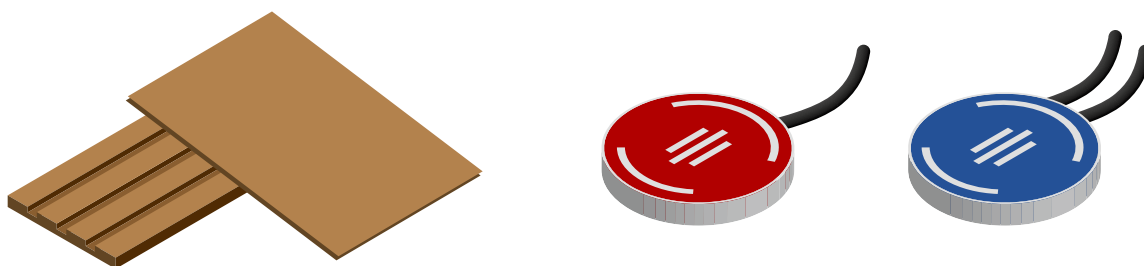


FIGURE 24B Dispositif de mesure des flux thermiques

FIGURE 24C VARIATION DE TEMPÉRATURE DANS LES ISOLANTS BIOSOURCÉ ET DANS LA LAINE MINÉRALE AU COURS DU TEMPS

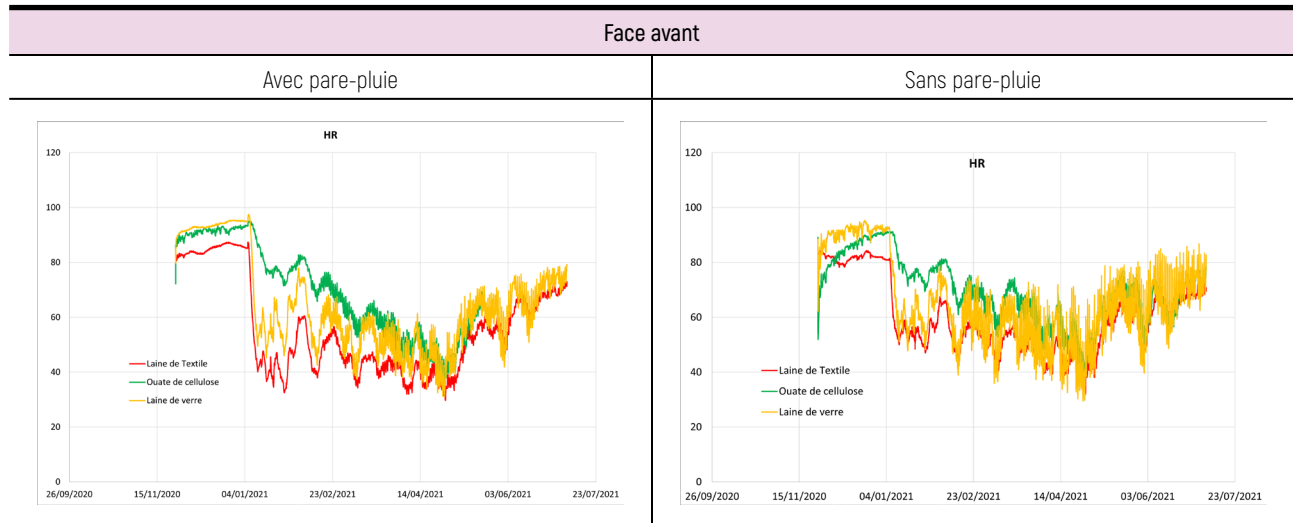


FIGURE 24C1 Face avant gauche avec et sans pare-pluie - température au cours du temps

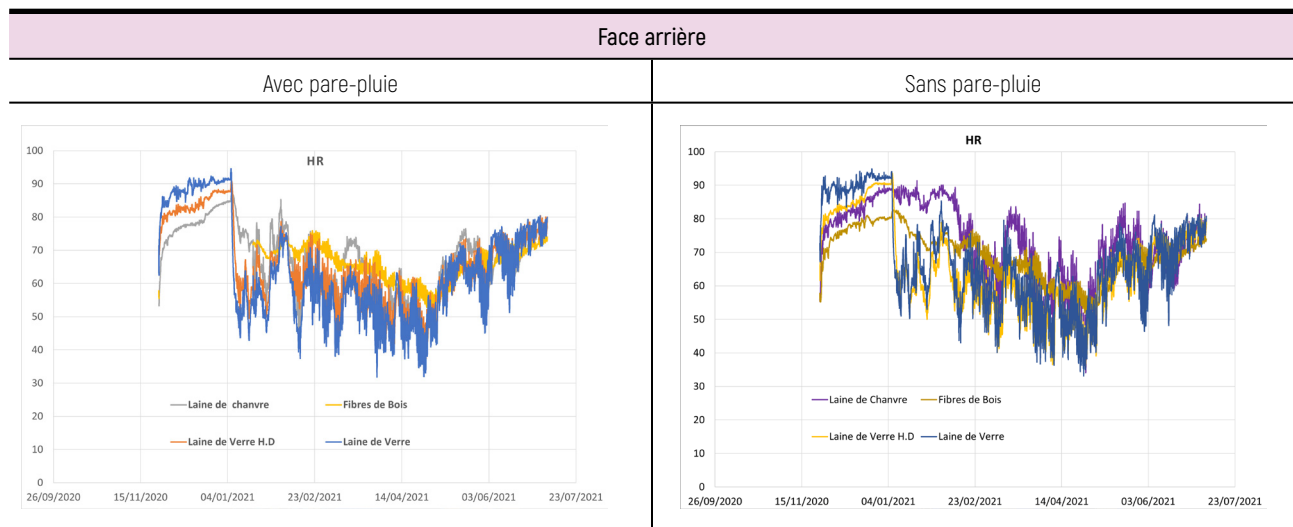
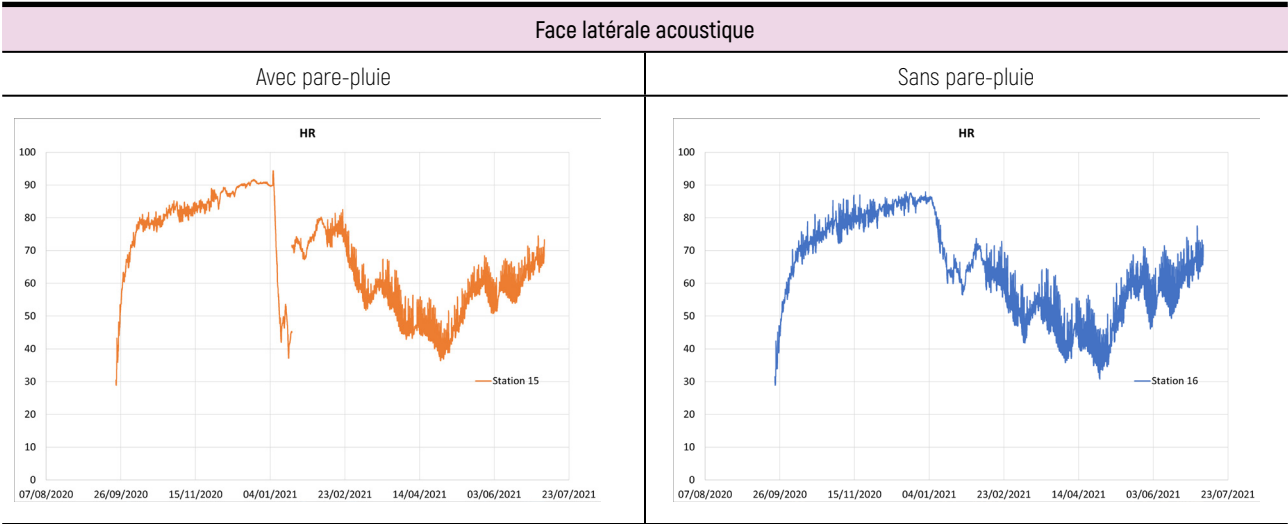
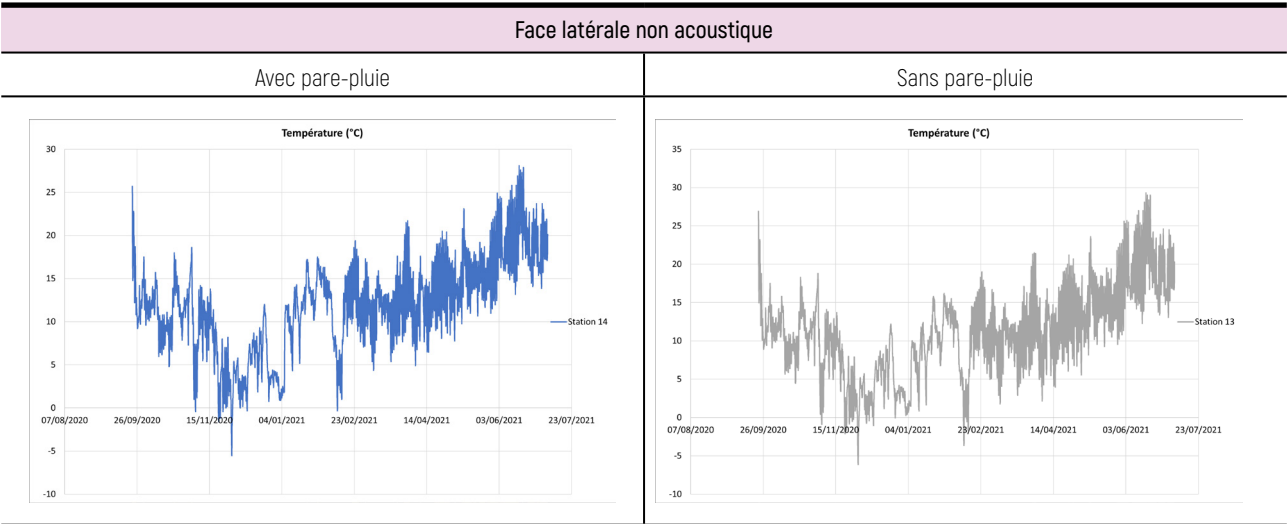


FIGURE 24C2 Face arrière avec et sans pare-pluie - température au cours du temps



**FIGURE 24C3** Face latérale acoustique avec et sans pare-pluie – température au cours du temps



**FIGURE 24C4** Face latérale non acoustique avec et sans pare-pluie – température au cours du temps

CONCLUSION

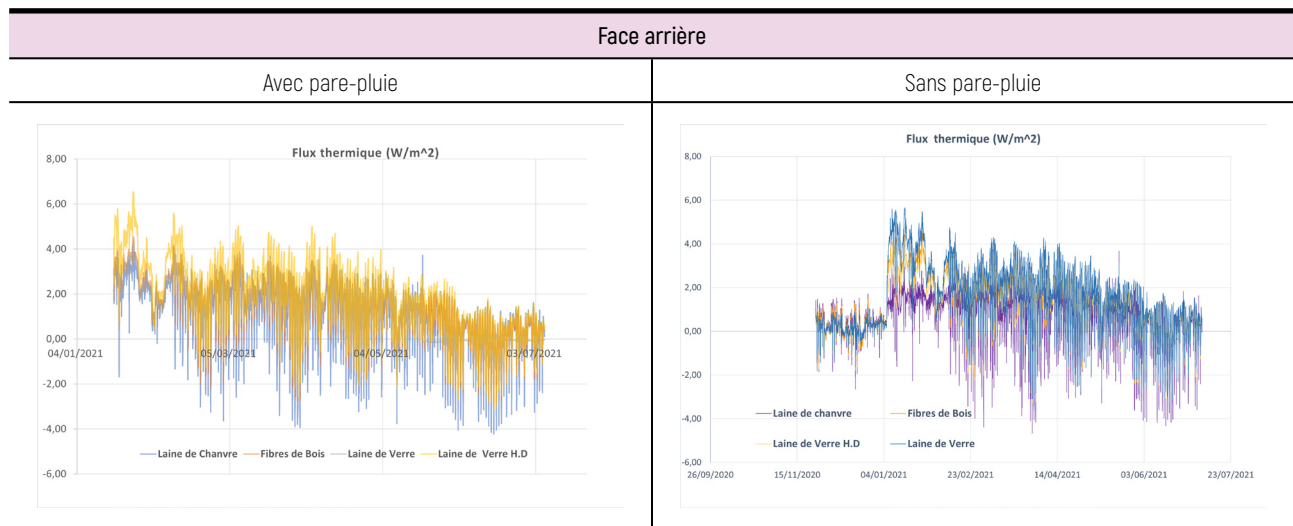


Les isolants en laine minérale et les isolants biosourcés utilisés pour l'essai, ont des réponses thermiques similaires en termes de variations de températures. Le peu de différence observée est à mettre sur le compte de la température de l'air non uniforme à l'intérieur du démonstrateur.

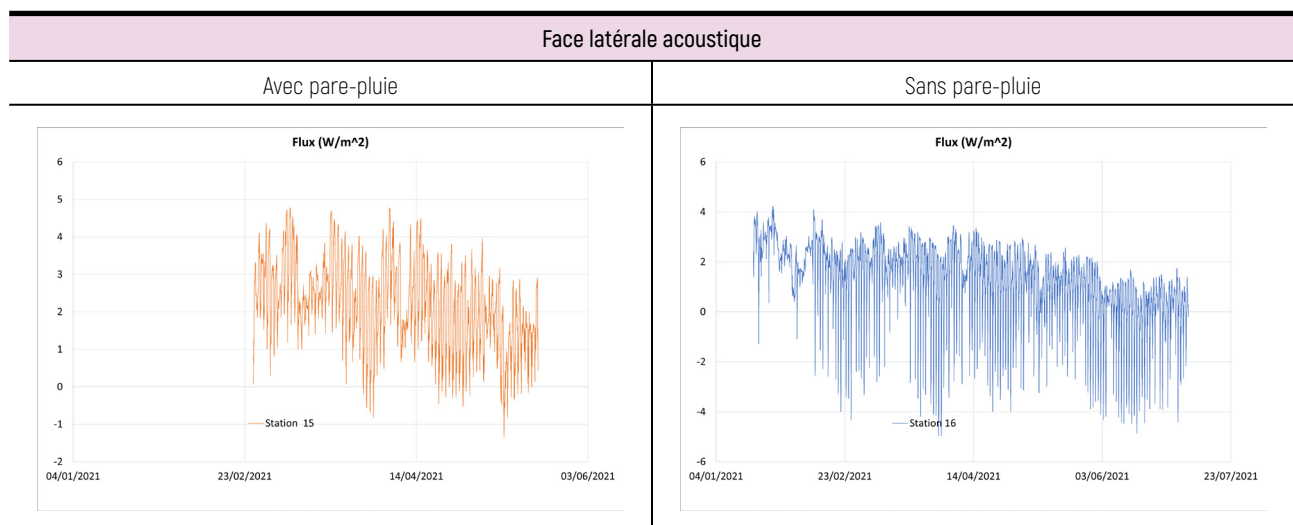
**FIGURE 24D VARIATION DES FLUX THERMIQUES DANS LES ISOLANTS BIOSOURCE ET DANS LA LAINE MINERALE AU COURS DU TEMPS**

Face avant gauche	
Avec pare-pluie	Sans pare-pluie
Pas de mesures exploitables dans la face avant	Pas de mesures exploitables dans la face avant

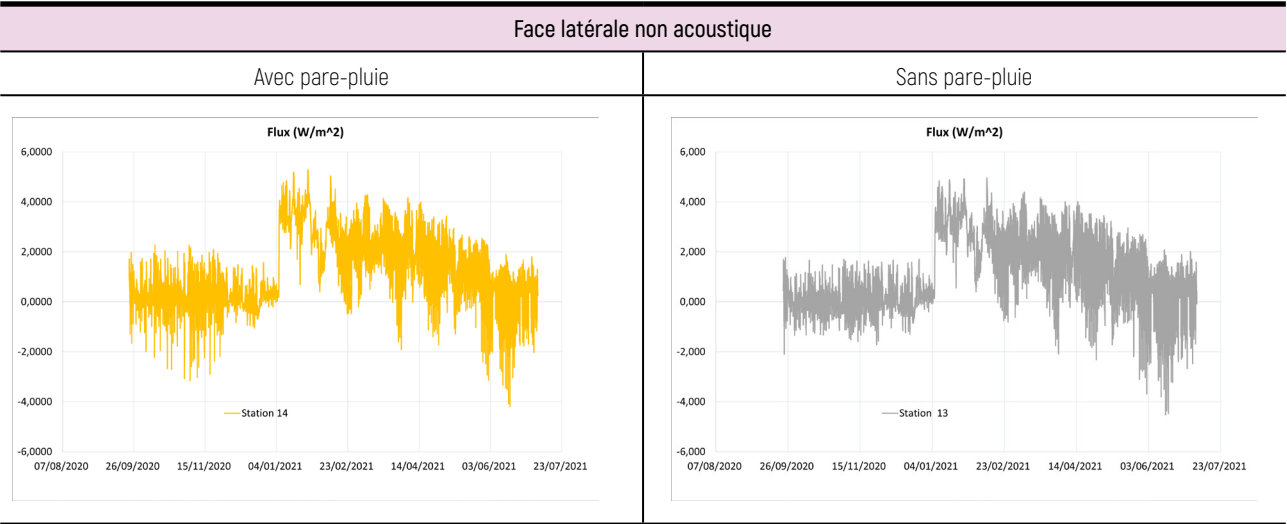
**FIGURE 24D1 Face avant gauche avec et sans pare-pluie - flux thermique au cours du temps**



**FIGURE 24D2 Face arrière avec et sans pare-pluie - flux thermique au cours du temps**



**FIGURE 24D3 Face latérale acoustique avec et sans pare-pluie - température au cours du temps**



**FIGURE 24D4** Face latérale non acoustique avec et sans pare-pluie – flux thermique au cours du temps

CONCLUSION



Les isolants, laine minérale et isolants biosourcés utilisés pour l'essai, ont des réponses thermiques similaires, avec un effet très réduit voire inexistant du pare-pluie.  
Le point de rosée est calculé à partir d'une hypothèse de pression atmosphérique constante.

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 1er janvier 2022, la valeur à utiliser est la valeur par défaut définie dans le tableau 10 ci-après :

Type d'isolant			Masse volumique sèche (ρ) en kg/m³	Conductivité thermique utile (λ) en W/ (m.K)
Isolants dérivés du bois	Liège défini conformément la norme NF B 57-000	Comprimé	ρ ≤ 500	0,10
		Expansé pur conforme à la norme NF EN 13170 (ICB)	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049
		Expansé aggloméré au brai ou aux résines synthétiques	100 ≤ ρ ≤ 150	0,049
			150 ≤ ρ ≤ 250	0,055
	Panneaux de fibres de bois définis selon la norme NF EN 316	750 ≤ ρ ≤ 1000	0,20	
		550 ≤ ρ ≤ 750	0,18	
		350 ≤ ρ ≤ 550	0,14	
		200 ≤ ρ ≤ 350	0,10	
		ρ ≤ 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 < ρ < 450	0,10
			30 ≤ ρ ≤ 350	0,08
Panneaux de laine de bois agglomérés		450 ≤ ρ ≤ 600	0,10	
Isolants à base de fibres végétales	Cellulose		20 ≤ ρ ≤ 100	0,049
	Chanvre et lin	Fibres liées	20 ≤ ρ ≤ 200	0,048
		Fibres lâches (isolant en vrac, fibres non liées)	20 ≤ ρ ≤ 200	0,056
	Paille comprimée	Transversalement au sens de la paille	80 ≤ ρ ≤ 120	0,052
		Dans le sens de la paille	80 ≤ ρ ≤ 120	0,080
	Autres isolants à base de fibres végétales	20 < ρ < 40	0,065	
		40 ≤ ρ < 60	0,060	
		60 ≤ ρ < 200	0,065	
Isolants à base de fibres animales	Laine de mouton		10 ≤ ρ < 200	0,046
	Autres isolants à base de fibres animales	10 ≤ ρ < 20	0,065	
		20 ≤ ρ < 50	0,060	
		50 ≤ ρ < 100	0,050	

**TABEAU 10** Performance thermique des isolants biosourcés extrait de l'arrêté

# 4

## CONCLUSION

Les mesures (cf. Rapport « SUIVI INSTRUMENTE DES BARDAGES ACIER EQUIPEES D'ISOLANTS BIOSOURCES. ETUDE HYGROTHERMIQUE ») réalisées avec 9 mois de recul, montrent un comportement correct des cinq isolants biosourcés utilisés sur les maquettes de bardages 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 profils métalliques respectent les dispositions des Recommandations Professionnelles RAGE bardages,
- Les locaux visés sont à faible hygrométrie,
- Seule la France métropolitaine et le climat de plaine sont visés (altitude inférieure à 900m).
- Soit mis en place une lame d'air ventilée de 20 mm (ajout oméga 20 mm sur les écarteurs oméga voir fig 18 et 19) quel que soit le type de pose de la peau extérieure (horizontale ou verticale),
- L'analyse de sécurité incendie du bâtiment ait été effectuée par un laboratoire agréé en réaction et résistance au feu,
- La mise en place d'un pare-pluie dépend de l'absorption d'eau de l'isolant.

La mise œuvre d'un isolant biosourcé dans les bardages 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 publié le 3 décembre 2021,
- Sa conductivité thermique vieillie.
- Son hygroscopie ou l'hydrophilie
- Sa densité
- Sa stabilité dimensionnelle
- Ses performances mécaniques
- ...

Les isolants biosourcés étudiés 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 bardages double peau, à peaux dissociés ou multiples (sans isolant biosourcé entre la peau intermédiaire et la peau extérieure) 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 ATEEx par exemple) sur la base du présent rapport en attendant des règles/recommandations professionnelles reconnues par la C2P.

### NOTE



Les bardages rapportés n'ayant pas été testés, le présent rapport ne conclut pas sur le comportement des isolants biosourcés dans cet usage. Seules les performances thermiques des bardages rapportés avec isolants biosourcés figurent dans le présent rapport.



# 5

## ANNEXE 1

Plans du démonstrateur réalisé.

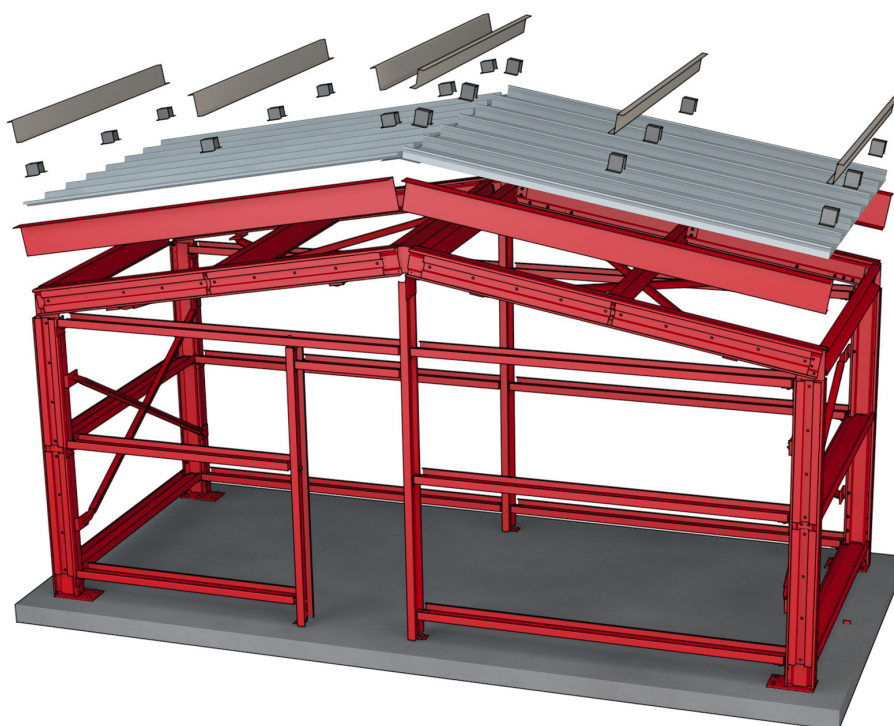


FIGURE A1 Vue en élévation du démonstrateur

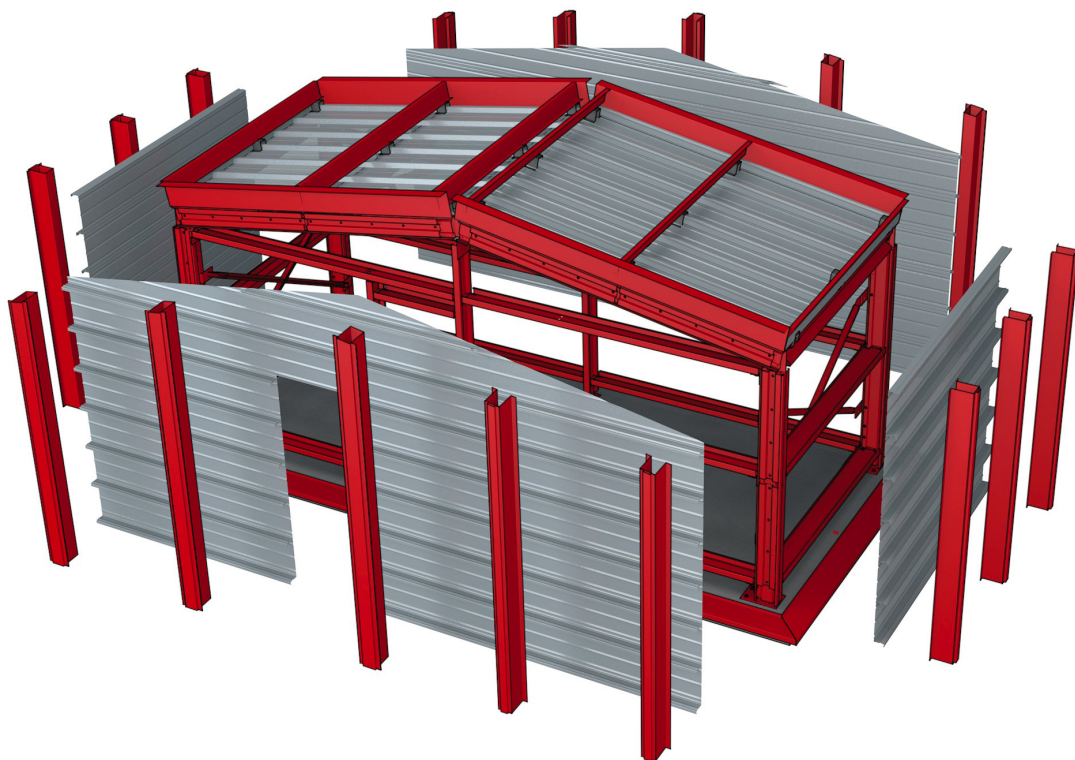


FIGURE A2 Vue en éclatée des composants de l'enveloppe métallique

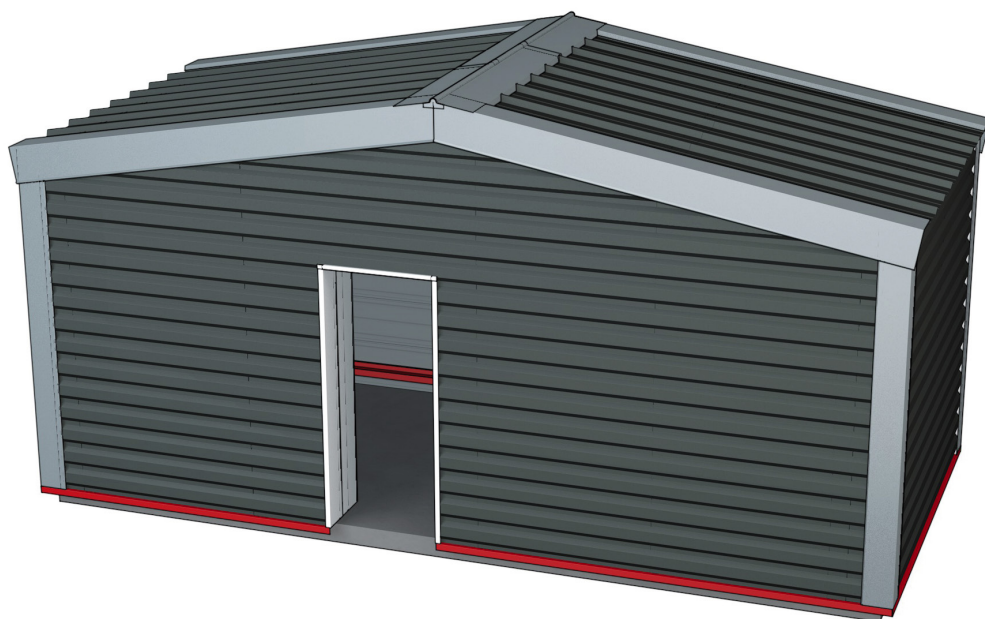


FIGURE A3 Vue de l'enveloppe extérieure du démonstrateur

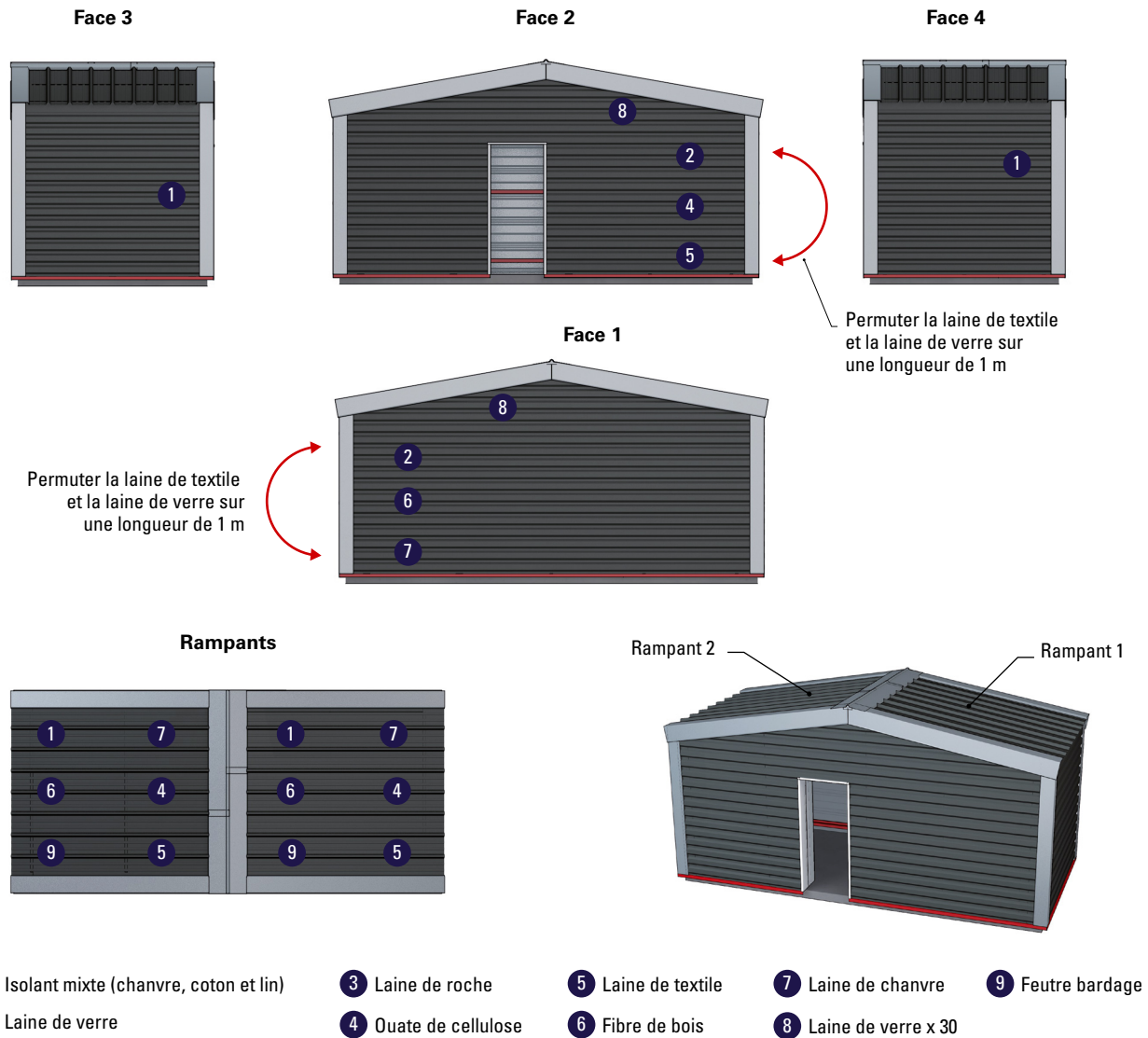
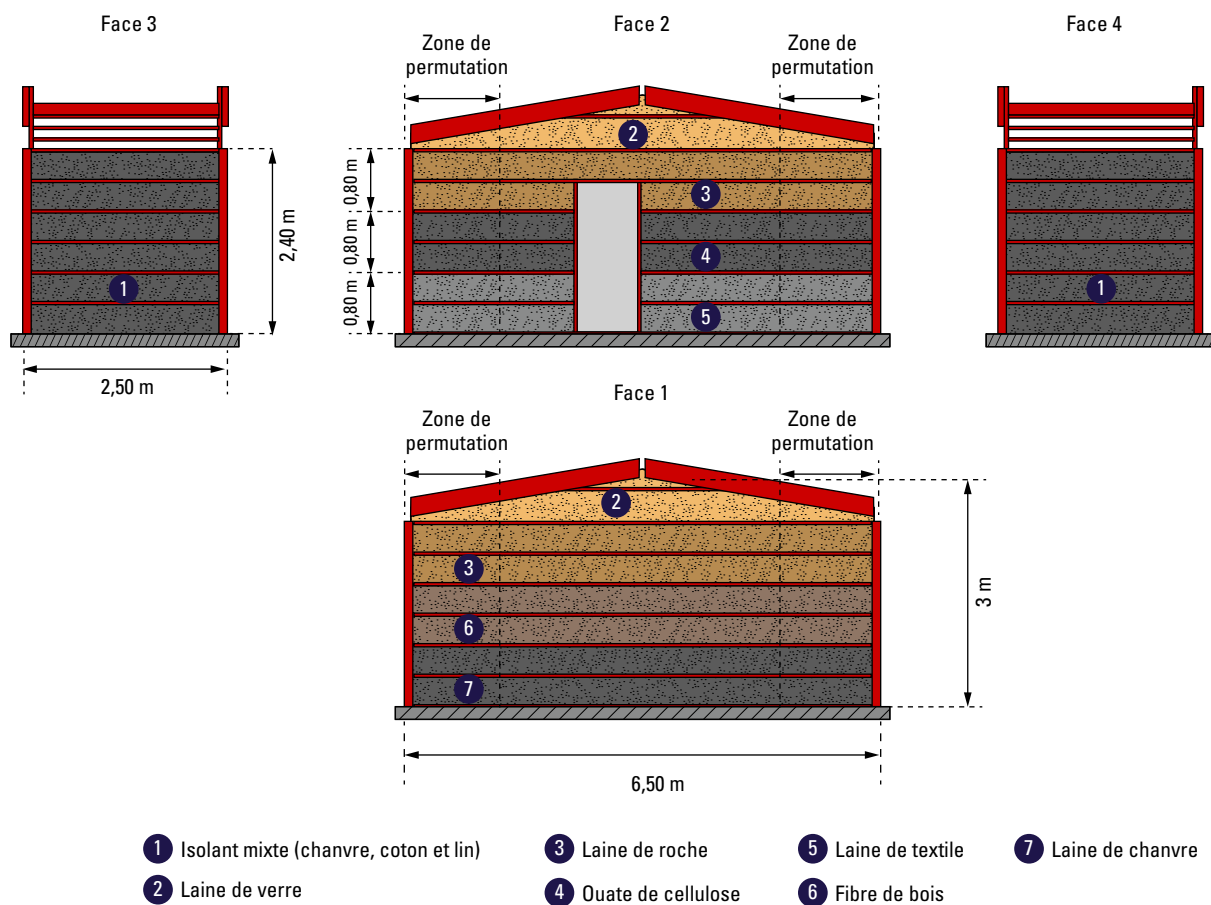
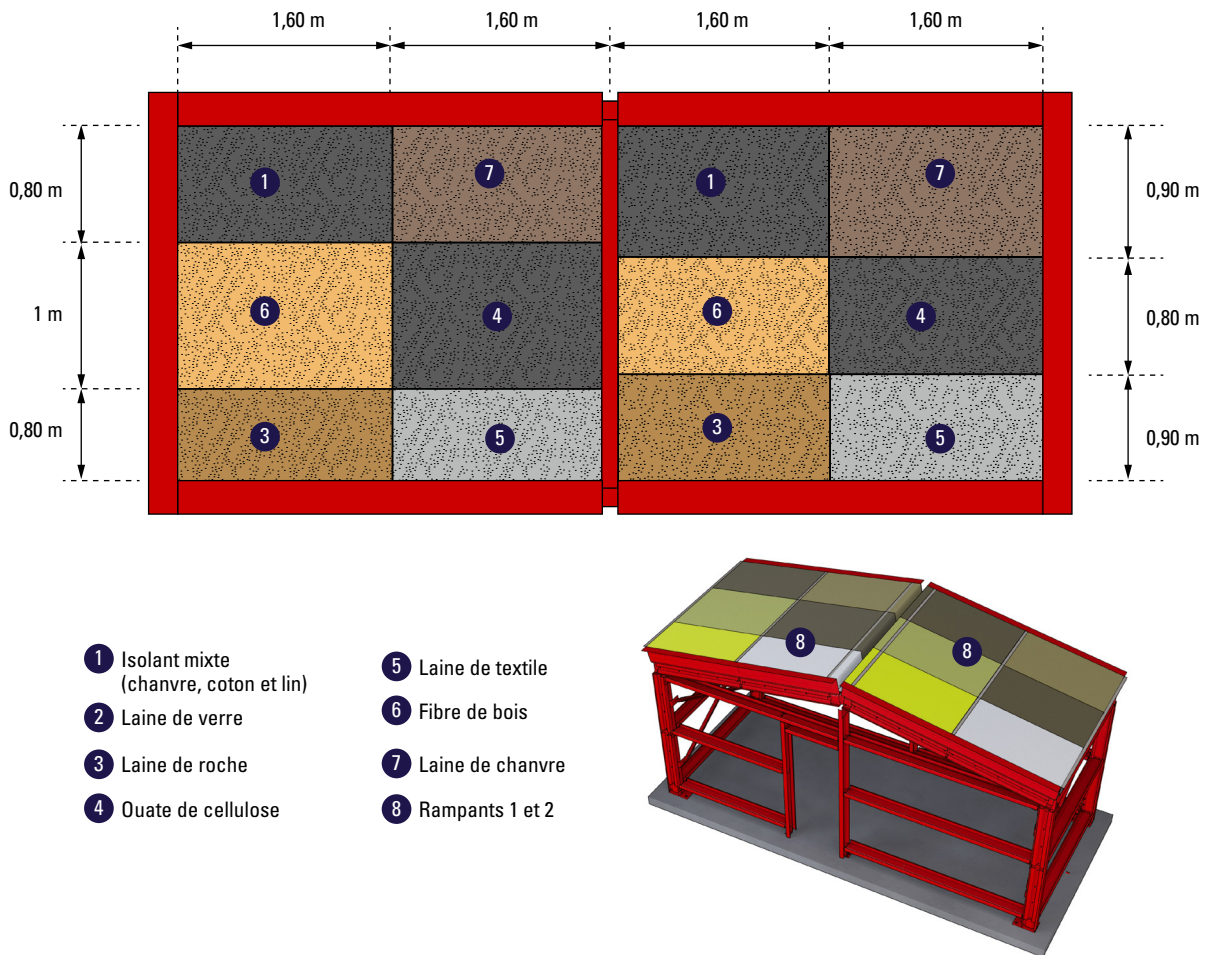


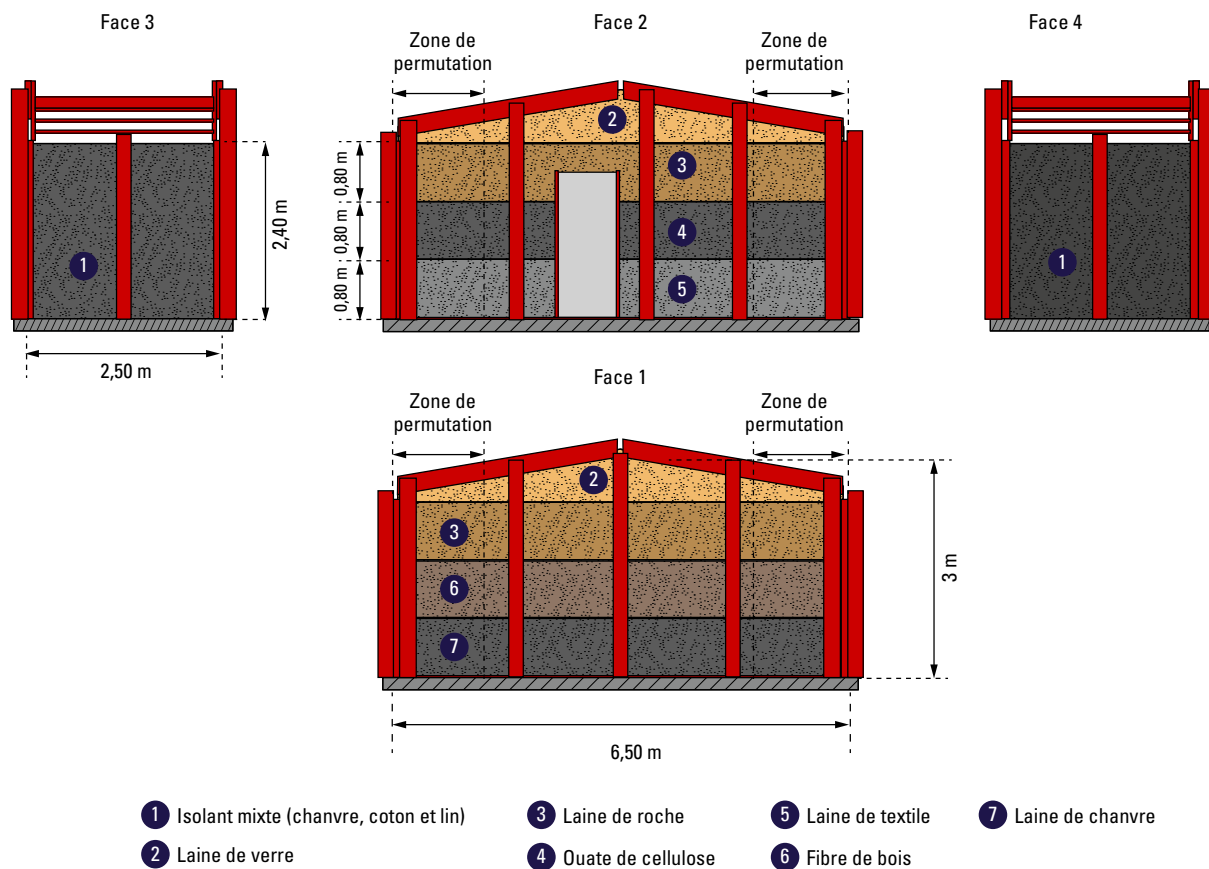
FIGURE A4 Vue du positionnement des isolants testés



**FIGURE A5** Vue détaillée de la première couche d'isolants en panneaux ep. 90mm installée dans les plateaux en bardage

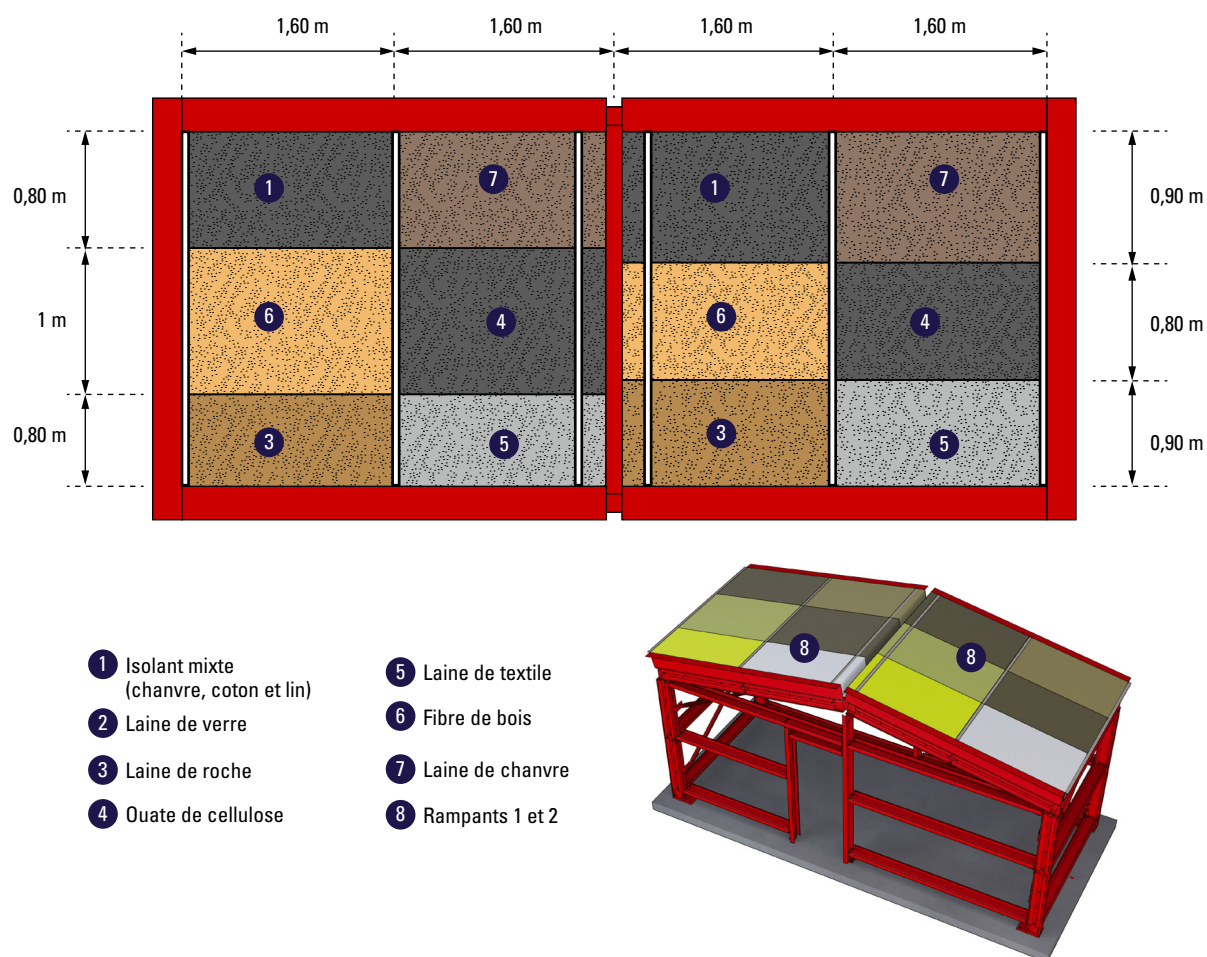


**FIGURE A6** Vue détaillée de la 1<sup>ère</sup> couche d'isolants en panneaux ep 100mm installée dans les plateaux - 100mm en biosourcé sur 60mm de laine de verre sur les profils

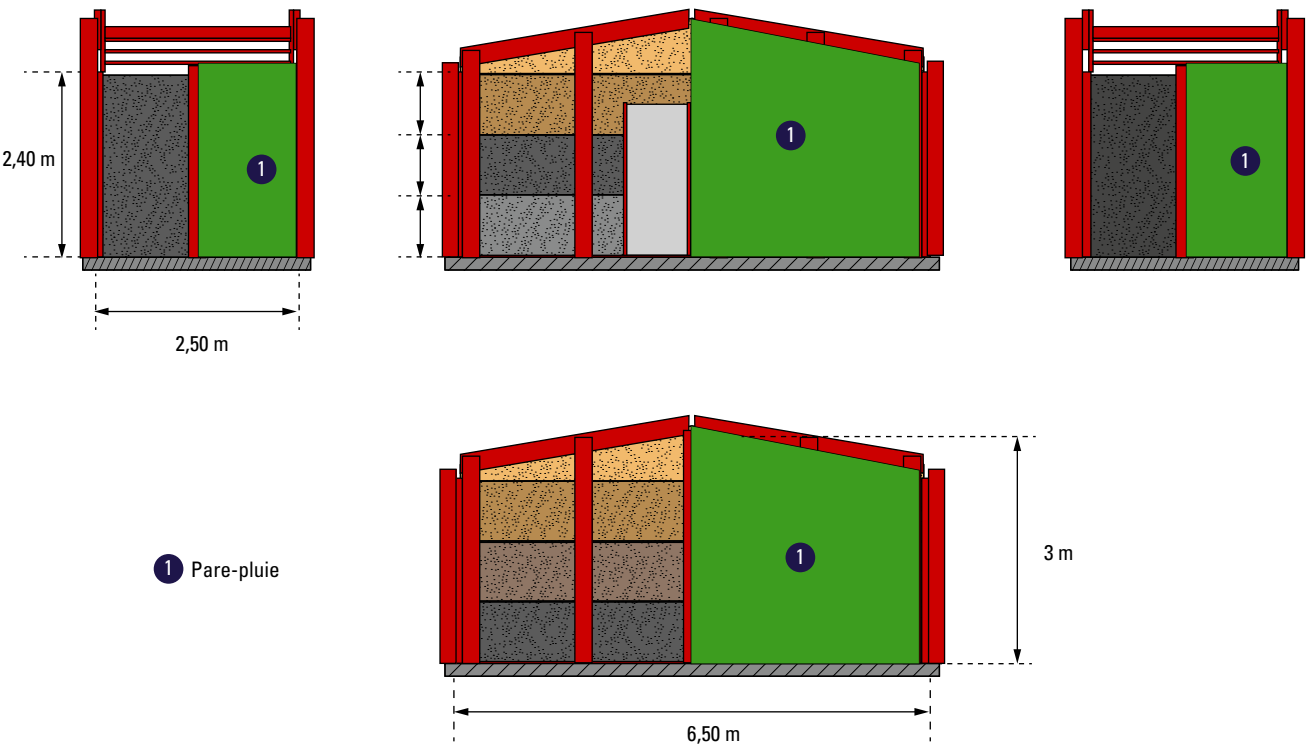


**FIGURE A7** Vue détaillée de la 2<sup>ème</sup> couche d'isolants en panneaux ep 180 mm installée en deux couches sur les plateaux en bardage





**FIGURE A8** Vue détaillée de la 2<sup>ème</sup> couche d'isolants en feutre ep 140mm installée dans les plateaux et 80mm installée dans les profils de couvertures



**FIGURE A9** Vue détaillée du pare-pluie



# 6

## ANNEXE 2

Photos montage du démonstrateur



PHOTO 1

Face arrière avant pose des pare-pluie





PHOTO 2 Face avant du démonstrateur avant pose des pare-pluie





**PHOTO 3** Face latérale 1 avant pose des pare-pluie





**PHOTO 4** Face latérale 2 avant pose des pare-pluie





**PHOTO 5** Face latérale 2 après pose des pare-pluie



**PHOTO 6** Démonstrateur terminé (avant pose de la porte)





PHOTO 7

Démonstrateur terminé face avant (avant pose de la porte)



**PHOTO 8** Démonstrateur terminé, vue arrière



# 7

## 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<sup>er</sup> janvier 2022.
- [6] Recommandations Professionnelles RAGE bardages en acier protégé et en acier inoxydable, conception et mise en œuvre de juillet 2014
- [7] Document technique C et B 2012 Etat des lieux des connaissances actuelles sur le Fonctionnement Hygro-thermique des matériaux biosourcés
- [8] Bardage acier avec Isolant biosourcé – Evaluation des performances thermiques – Bardage – Mai 2020 CTICM

# TABLE DES MATIÈRES

○	INTRODUCTION	4
①	OBJET DU RAPPORT DE SYNTHÈSE	5
②	ETAT DE L'ART	6
③	DISPOSITIONS TECHNIQUES POUR LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS NON RÉSIDENTIELS. SYSTÈMES INNOVANTS DE BARDAGE ACIER AVEC ISOLANTS BIOSOURCÉS	8
3.1	Domaine d'application et isolants biosourcés visés en bardage	8
3.2	Documents de référence	9
3.3	Terminologie –définitions	10
3.4	Types de bardages en acier avec isolants biosourcés	11
3.4.1	Les bardages rapportés	11
3.4.2	Les bardages double peau	12
3.4.3	Les bardages à deux peaux dissociées	16
3.4.4	Les bardages à peaux multiples	17
3.5	Retour d'expérience sur la conception d'ouvrages de bardage acier avec isolants biosourcés	18
3.5.1	Généralités	18
3.5.2	Durabilité des plateaux	18
3.5.3	Durabilité des écarteurs	18
3.5.4	Ecran pare-pluie	18
3.5.5	Durabilité de la peau extérieure	19
3.5.6	Durabilité des vis de fixation	19
3.5.7	Lame d'air ventilée	19
3.5.8	Position du point de rosée	19
3.6	Spécifications techniques des matériaux et composants biosourcés	19
3.6.1	Conditionnement	19
3.6.2	Masse volumique de l'isolant biosourcé	19
3.6.3	Performances thermiques	20
3.6.4	Synthèse des performances à transmettre aux bureaux d'études thermiques	20
3.7	Mise en œuvre des bardages acier avec isolants biosourcés	21
3.8	Entretien des bardages acier avec isolants biosourcés	21
3.9	Performances thermiques des bardages acier avec isolants biosourcés	21
3.9.1	Configuration 1	22
3.9.2	Configuration 2	23
3.9.3	Configuration 3	25
3.9.4	Configuration 4	27
3.9.5	Configuration 5	28
3.9.6	Configuration 6	29
3.9.7	Configuration 7	30

# TABLe DES MATIÈRES

3.10	Essai de durabilité des bardages acier avec isolants biosourcés	32
3.10.1	Objectif de l'essai grandeur	32
3.10.2	Critères d'acceptation de l'essai pour l'aspect hygrométrie	32
3.10.3	Informations de l'essai sur le comportement thermique	32
3.10.4	Caractéristiques de la maquette et des échantillons installés	32
3.10.5	Site retenu	39
3.10.6	Typologies de bardages choisis et suivis	39
3.10.7	Caractéristiques techniques des bardages et de leurs constituants	39
3.10.8	Positionnement des différents capteurs et plan de montage	39
3.10.9	Moyens humains mis en œuvre	40
3.10.10	Principaux résultats de la campagne de suivi instrumenté – rapport d'essai	41
3.11	Performance thermique par défaut des isolants biosourcés	51

4	CONCLUSION	52
5	ANNEXE 1	53
6	ANNEXE 2	61
7	BIBLIOGRAPHIE	69

## 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 CO<sub>2</sub>, 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 bardage 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 différentes parois. Ces résultats font l'objet d'un rapport d'essais également disponibles dans le cadre du programme PROFEEL (*Suivi instrumenté de bardages acier intégrant des 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).