

EVALUATION TECHNIQUE DE PRODUITS ET MATERIAUX N° ETPM-19/0060-B du 1^{er} juin 2023

concernant les produits de Coulis de ciment moussé
« **Airium® A** » et « **Airium® B** »

Airium A 40-150 kg/m ³		Airium B 150-500 kg/m ³	
Isolation des combles perdus 40-55 kg/m ³	Remplissage de blocs béton 40-150 kg/m ³	Toiture terrasse	Ravaillage
			

Première édition :

Evaluation Technique de Produits et Matériaux
ETPM-19/0060 du 8 novembre 2016

ETPM-19/0060-A du 2 juin 2021 (corrections mineures)

Troisième édition :

Evaluation Technique de Produits et Matériaux
ETPM-19/0060-B du 1^{er} juin 2023

Titulaire : LAFARGEHOLCIM France
2 avenue du Général de Gaulle
92148 CLAMART Cedex

Distributeur : LAFARGEHOLCIM France
2 avenue du Général de Gaulle
92148 CLAMART Cedex

Cette Evaluation Technique comporte 28 pages. Sa reproduction n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral sauf accord particulier du CSTB.

AVERTISSEMENT

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

EVALUATION TECHNIQUE

Les propriétés du coulis de ciment moussé Airium® présentées ci-après résultent principalement de l'analyse d'un grand nombre de résultats d'essais réalisés par le Laboratoire Central de Recherche (LCR) de Lafarge et du CERIB, présentés au paragraphe 4 du Dossier Technique.

Les essais ont été réalisés sur deux formulations Airium® A et Airium® B à base de :

- ciment portland courant (conforme à la norme NF EN 197-1) ;
- ajout minéraux (< 10%) ;
- eau ;
- agent moussant (< 1%) ;
- et adjuvant (< 1%).

Réaction au feu

Les matériaux **Airium® A** et **Airium® B** bénéficient d'un classement de réaction au feu (Euroclass) A1.

Performances thermiques

Des essais de détermination de la conductivité thermique à l'état sec, déterminés sur des éprouvettes de **Airium® A** et **Airium® B**, sont présentées figures 1 et 2 du Dossier Technique. Des essais de recoupements ont été réalisés au CSTB, au CERIB et au LNE.

Les valeurs λ_{mes} sont comprises entre 0.034 et 0.039 W/m.K pour **Airium® A Comble** (densité sèche de 40 à 55 kg/m³).

Les valeurs λ_{mes} sont comprises entre 0.039 et 0.055 W/m.K pour **Airium® A** (densité sèche de 55 à 150 kg/m³).

Les valeurs λ_{mes} sont comprises entre 0.072 et 0.135 W/m.K pour **Airium® B** (densité sèche de 250 à 500 kg/m³).

Les graphiques montrent que les conductivités thermiques mesurées sont très corrélées avec les densités.

Des essais de détermination de la conductivité thermique utile à 23°C et 50%HR ont été effectués sur des éprouvettes d'**Airium® A** et **Airium® B** par le CERIB en 2020.

Le coefficient de passage est déterminé égal à $F_m=1.015 [60]$

Résistance en compression

Les résistances à la compression, déterminées sur des éprouvettes **Airium® A** et **Airium® B**, sont données dans le tableau 3. Les valeurs moyennes de résistance sur 3 ou 6 éprouvettes sont déterminées après 28 jours en cure humide puis stabilisation à 23°C 50%HR sur cubes de dimensions 10x10x10 cm.

Pour **Airium® A**,

- Pour une densité sèche de 40 à 55 kg/m³ (utilisation en comble perdu), la valeur moyenne est de 0,006 MPa (valeurs comprises entre 0,0058 et 0,0065 MPa).
- Pour une densité sèche de 75 kg/m³ (utilisation en remplissage de blocs), la valeur moyenne est de 0,027 MPa (valeurs comprises entre 0,025 et 0,030 MPa).

Airium® A n'a pas de fonction mécanique à part soutenir son propre poids.

Pour **Airium® B**, pour une densité sèche de 450 kg/m³, la valeur moyenne est de 1,43 MPa (valeurs comprises entre 1,16 et 1,85 MPa)

Module d'élasticité en compression

Les modules d'élasticité en compression, déterminées sur des éprouvettes **Airium® A** et **Airium® B** lors des essais en compression, sont donnée dans le tableau 3. Les valeurs moyennes de résistance sur 3 ou 6 éprouvettes sont

déterminées après 28 jours en cure humide puis stabilisation à 23°C 50%HR sur cubes de dimensions 10x10x10 cm.

Pour **Airium® A**, pour une densité sèche de 75 kg/m³, la valeur moyenne est de 1,5 MPa (valeurs comprises entre 1,4 et 1,6 MPa)

Pour **Airium® B**, pour une densité sèche de 450 kg/m³, la valeur moyenne est de 130 MPa (valeurs comprises entre 110 et 190 MPa)

Perméabilité à la vapeur d'eau

Pour **Airium® A**,

- Pour une densité sèche de 40 à 55 kg/m³ (utilisation en comble perdu), la valeur moyenne du facteur de diffusion de vapeur est de 2,48.
- Pour une densité sèche de 75 kg/m³ (utilisation en remplissage de blocs), la valeur moyenne du facteur de diffusion de vapeur est de 3. Ce facteur de diffusion de vapeur est comparable à celui d'une laine minérale.

Pour **Airium® B**, pour une densité sèche de 450 kg/m³, la valeur moyenne du facteur de diffusion de vapeur est inférieure à 6. Ce facteur de diffusion de vapeur est comparable à celui d'un béton cellulaire. Suivant le système constructif choisi, la mise en place d'un pare-vapeur est à prévoir.

Cinétique de séchage et retrait de séchage

Le retrait de séchage, déterminées sur des éprouvettes **Airium® A**, pour une densité sèche de 75 kg/m³, est de 5.6 mm/m [19].

Des mesures de cinétique de séchage, déterminées sur des éprouvettes **Airium® B**, pour une densité sèche de 450 kg/m³, sont données dans le graphique de la figure 8 [20]. La perte de masse est d'environ 22%.

Le retrait de séchage est de 4.7 mm/m [20].

Variations dimensionnelles

Pour **Airium® B**, pour une densité sèche de 450 kg/m³, des mesures de variations dimensionnelles en fonction de la température (mesures effectuées entre +23°C et +60°C), montrent que la **dilatation thermique** de **Airium® B** est de 10.10⁻⁶ m/(m.°C). Cette valeur correspond à celle généralement retenue pour les bétons.

Des mesures de variations dimensionnelles en fonction de l'humidité ont été menées sur des éprouvettes **Airium® A** et **Airium® B**.

Pour **Airium® A**, pour une densité de 75 kg/m³, la variation dimensionnelle mesurée entre 30% HR et 90%HR est de 6.2 mm/m [19].

Pour **Airium® B**, pour une densité de 450 kg/m³, la variation dimensionnelle mesurée entre 30% HR et 90%HR est de 1.2 mm/m [20].

Durabilité

Performances des propriétés de transmission de la vapeur d'eau après vieillissement

Pour **Airium® A**, pour la gamme de densité 40-45 kg/m³, des déterminations des propriétés de transmission de la vapeur d'eau après vieillissement ont été menés [32, 33, 34, 35]. L'impact sur le coefficient de résistance à la vapeur d'eau est résumé ci-dessous :

- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (référence) : 2,48
- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (après vieillissement Florida/Africain) : 2,44
- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (après vieillissement gel/dégel) : 1,99 à 2,11

Pour **Airium® A**, pour la gamme de densité 50-55 kg/m³, des déterminations des propriétés de transmission de la vapeur d'eau après vieillissement ont été menés [36, 37, 38, 39]. L'impact sur le coefficient de résistance à la vapeur d'eau est résumé ci-dessous :

- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (référence) : 2,08
- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (après vieillissement Florida/Africain) : 2,12
- coefficient de résistance à la vapeur d'eau μ (après vieillissement gel/dégel) : 2,09 à 2,22

La performance de la propriété de transmission de la vapeur n'est pas dégradée par les différents vieillissements pour la gamme 40-55 kg/m³ du Airium® A.

Performances mécaniques après vieillissement

Pour **Airium® A**, pour la gamme de densité 40-45 kg/m³, des essais de compression ont été menés [40, 41, 42, 43]. L'impact sur la résistance en compression est résumé ci-dessous :

- Résistance en compression (référence) : 6,2 kPa
- Résistance en compression (après vieillissement Florida/Africain) : 8,1 kPa
- Résistance en compression (après vieillissement gel/dégel) : 5,1 à 5,8 kPa

Pour **Airium® A**, pour la gamme de densité 50-55 kg/m³, des essais de compression ont été menés [44, 45, 46, 47]. L'impact sur la résistance en compression est résumé ci-dessous :

- Résistance en compression (référence) : 13 kPa
- Résistance en compression (après vieillissement Florida/Africain) : 18 kPa
- Résistance en compression (après vieillissement gel/dégel) : 15 à 16 kPa

La performance mécanique n'est pas dégradée par les différents vieillissements pour la gamme 40-55 kg/m³ du Airium® A.

Comportement au gel-dégel

Pour **Airium® A**, des essais de gel-dégel [21] ont été menés sur des éléments de maçonnerie dont les alvéoles ont été remplies. Après 25 cycles de gel/dégel, l'intégrité du matériau est préservée.

Pour **Airium® B**, des essais de gel-dégel [22] ont été menés sur des échantillons. Après 20 cycles de gel/dégel, aucun désordre n'est apparu.

Performances mécaniques après cyclage thermique

Pour **Airium® B**, des essais de compression après 15 cycles thermique +10°C/+50°C ont été menés [18]. La performance mécanique n'est pas dégradée (pas de baisse de la résistance en compression).

Performances mécaniques après immersion dans l'eau

Pour **Airium® B**, des essais de compression après immersion en eau (2 heures) puis séchage ont été menés [18]. La diminution de la résistance est limitée. Elle est de 11%.

Réaction au feu

Les produits Airium® A et Airium® B sont classifiés EURO classe A1 selon la norme NF EN 13501-1 [7] et ne requièrent pas d'essais¹. Des essais de qualification suivant la norme NF EN 13501-1 ont néanmoins été menés, justifiant de la conformité à la qualité Euroclasse A1 [27].

¹ Selon l'arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction, traduisant la décision de la Commission Européenne du 9 septembre 1994 (94/611/CE) publiée au Journal Officiel des Communautés Européennes N° L 241/25, du 9 septembre 1994

CONTROLES

La fabrication doit faire l'objet d'un contrôle portant sur la régularité de la fabrication. Les contrôles à réaliser sont décrits au paragraphe B.3 du Dossier Technique.

CONCLUSIONS

Appréciation globale

Le dossier technique présenté dans ce rapport, a été établi dans l'hypothèse de l'utilisation du coulis de ciment moussé Airium® pour les deux applications suivantes :

- Pour l'Airium® A - applications isolantes : remplissage de bloc de construction et application en comble non aménagé
- Pour l'Airium® B - applications isolantes ou une résistance mécanique minimale est nécessaire : système isolant support d'étanchéité des toitures plates et ravaillage isolant

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

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

Validité jusqu'au : 01.06.2028 (5 ans)

Direction Sécurité, Structures et Feu
La Directrice

« Valérie GOURVES »

DOSSIER TECHNIQUE ETABLI PAR LE DEMANDEUR

A. INTRODUCTION

Airium® A est un isolant thermique réalisé à base d'un coulis de ciment moussé. Airium® B est un béton allégé aussi réalisé à base d'un coulis de ciment moussé mais à des densités supérieures. Le matériau se présente comme un béton moussé permettant d'atteindre différentes gammes de densité.

	Airium A		Airium B
Densité sèche	40-55 kg/m ³	55 – 150 kg/m ³	150 – 500 kg/m ³
Résistance mécanique	0,005 – 0,020 MPa	0,020 – 0,2 MPa	0,2 – 3 MPa
Conductivité thermique mesurée	0,034- 0,039 W/m.K	0,039 – 0,055 W/m.K	0,055 – 0,140 W/m.K
Applications	Isolation comble sous l'appellation « Airium Comble »	X	Toiture terrasse
	Remplissage bloc béton		Ravaillage

Tableau 2 : Données Techniques

Pour toutes les applications, le matériau sera protégé de l'extérieur et sans renforts acier. C'est pourquoi, les classes d'exposition correspondant au domaine prévu sont X0, définies dans la norme NF EN 206 [1].

B. FABRICATION DU AIRIUM®

1. Matières premières

Le matériau est composé de :

- Ciments portland courant relevant de la NF EN 197-1 [2]
- Ajouts minéraux (< 10 %) relevant de la NF EN 12620 [3]
- Eau
- Agent moussant (<1%)
- Adjuvants (<1%) relevant de la norme NF EN 934-2 [4]

L'ensemble des adjuvants et de l'agent moussant représentent moins de 1% des constituants du matériau.

2. Fabrication

Le processus de fabrication comporte plusieurs étapes :

- 1) Un coulis de ciment est préparé dans un malaxeur adapté
- 2) L'eau et l'agent moussant sont mélangés puis transférés dans un mousser avec de l'air comprimé pour générer une mousse aqueuse
- 3) Le coulis et la mousse aqueuse sont alors mélangés afin de créer un coulis moussé
- 4) Le coulis moussé est coulé en usine dans un élément préfabriqué ou directement sur chantier.

3. Contrôles Qualité

Le plan de contrôle qualité est décrit dans la procédure interne. Les contrôles sont les suivants :

- Contrôle des matières premières ;
- Mesure de densité ;
- Mesure de conductivité thermique.

Ces contrôles et leurs fréquences sont définis suivant le cadre normatif de l'application.

B.3.1. Fabrication en usine

Lors d'une fabrication en usine, un suivi qualité sera réalisé par Lafarge France et/ou le gestionnaire de l'usine.

A titre d'exemple, ce suivi pourra comporter :

- Contrôle des matières premières (ciment, adjuvant)
- Contrôle de la production : masse volumique fraîche
- Contrôle produit fini : masse volumique sèche, conductivité thermique

Suivant le référentiel normatif appliqué, ces contrôles et la démarche qualité seront validés par un organisme tiers afin de valider la bonne qualité du produit.

B.3.2. Fabrication sur site

Lors d'une fabrication sur chantier, le suivi qualité sera réalisé par Lafarge France et/ou l'applicateur.

A titre d'exemple, ce suivi pourra comporter :

- Equipement de mise en œuvre spécifique, à titre d'exemple : Bunker S8 CM, ASTON Foamcem Machine, Isoltech Mignon 20CP, FoamBox
- Contrôle des matières premières via fourniture d'un ciment prémélangé et/ou via un suivi des dosages par l'applicateur avec abaques.
- Contrôle de la production : masse volumique fraîche
- Contrôle produit fini : masse volumique sèche et/ou conductivité thermique réalisé en laboratoire qualité.

Suivant le référentiel normatif appliqué, ces contrôles et la démarche qualité seront validés par un organisme tiers afin de valider la bonne qualité du produit.

C. DOMAINE D'EMPLOI

1. Airium® A

Airium A est destiné aux applications isolantes.

C.1.1. Remplissage de bloc de construction

Airium® A est injecté dans le bloc de construction en usine. Il a pour fonction principale de participer grandement à la performance thermique du bloc de maçonnerie. Airium® A n'est pas destiné à participer à la tenue mécanique du bloc de construction. A titre d'exemple, une telle application pourra être réalisée avec une densité sèche de 72 kg/m³.

L'ensemble des caractéristiques demandant d'être évaluées pour cette application et qui ne sont pas définies dans cet ETPM seront traitées dans l'Avis Technique concerné.

C.1.2. Application en comble non aménagé

Airium® A est produit sur site pour être appliqué en horizontal comme isolation thermique de combles perdus. Une telle application pourra être réalisée avec une densité sèche de 40-55 kg/m³.

L'ensemble des caractéristiques demandant d'être évaluées pour cette application et qui ne sont pas définies dans cet ETPM seront traitées dans l'Avis Technique concerné, notamment l'impact de l'apport d'humidité généré par l'application du produit.

2. Airium® B

Airium® B est destiné aux applications isolantes ou une résistance mécanique minimale est nécessaire.

C.2.1. Système support d'étanchéité des toitures plates à correction thermique

Airium® B est produit sur site pour être appliqué en horizontal comme correction thermique de toiture plate. Airium® B sert de support à l'étanchéité. A titre d'exemple, une telle application pourra être réalisée avec une densité sèche de 350 kg/m³.

L'ensemble des caractéristiques demandant d'être évaluées pour cette application et qui ne sont pas définies dans cet ETPM seront traitées dans l'Avis Technique concerné, notamment le comportement au cyclage en humidité, l'impact de la fissuration et la mise en place de joint de fractionnement.

C.2.2. Ravoirage à correction thermique

Airium® B est produit sur site pour être appliqué en horizontal comme ravoirage à correction thermique. Airium® B sert de support à la chape. A titre d'exemple, une telle application pourra être réalisée avec une densité sèche de 400 kg/m³.

L'ensemble des caractéristiques demandant d'être évaluées pour cette application et qui ne sont pas définies dans cet ETPM seront traitées dans l'Avis Technique concerné, l'impact de la fissuration et la mise en place de joint de fractionnement.

C.2.3. Remplissage pour travaux publics et génie civil

Airium® B est produit sur site pour des opérations de remplissage de cavités ou de remblais de réseaux par exemple. L'ensemble des caractéristiques demandant d'être évaluées pour cette application et qui ne sont pas définies dans cet ETPM seront traitées dans l'Avis Technique concerné.

D. RESULTATS EXPERIMENTAUX

1. Performances thermiques

Les essais de caractérisation de conductivité thermique sont réalisés en interne au Centre de Recherche LafargeHolcim avec un appareil de plaque chaude gardée TLP500 GX1 de Taurus. Les mesures sont réalisées suivant la norme NF EN 12667 [8]. Des essais de recoupements ont été aussi réalisés au CSTB et au CERIB.

D.1.1. Conductivité thermique à l'état sec

Des essais de conductivité thermiques à l'état sec et à 10°C ont été réalisés afin de déterminer les performances thermiques du matériau. Les résultats sont présentés en fonction de la masse volumique. Une incertitude de 2% sur la mesure est prise pour les mesures réalisées au centre de recherche LafargeHolcim [9] [10]. Les mesures réalisées au CERIB aussi présentées [11] [12] [13] [28] ;

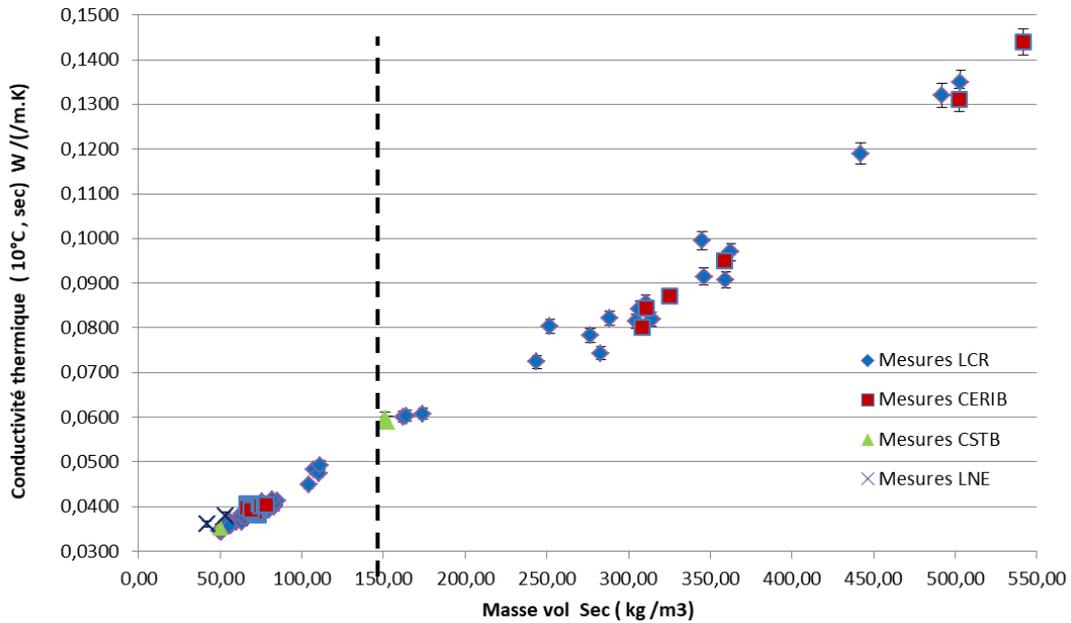


Figure 1 : Mesure Conductivité Thermique sèche à 10°C Airium® A et B

On constate une bonne corrélation entre la densité et la conductivité thermiques. Les valeurs mesurées au centre de recherche LafargeHolcim et au CERIB ne présentent pas d'écart significatifs.

D.1.2. Airium® A

La conductivité thermique de Airium® A été mesuré sur une gamme allant de 0,034 W/m.K à 0,041 W/m.K. Cette gamme pourra être élargie en jouant sur la densité du matériau.

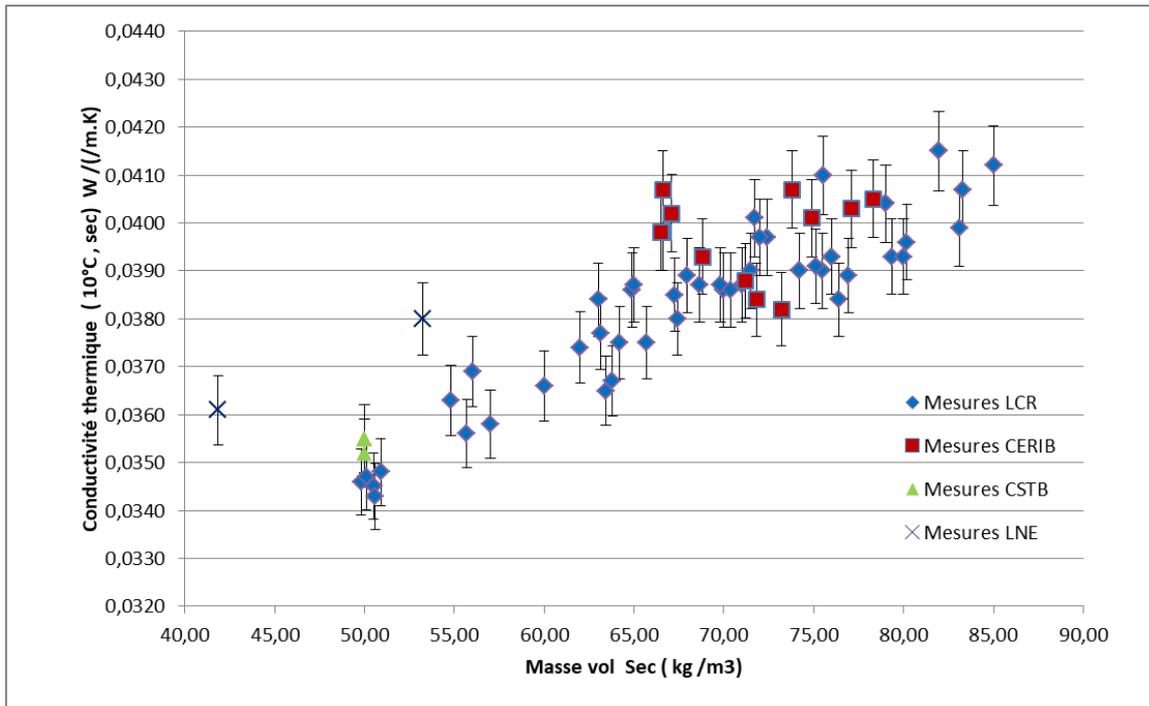


Figure 2 : Mesure Conductivité Thermique sèche à 10°C Airium® A

D.1.3. Airium® B

La conductivité thermique de Airium® B a été mesurée sur une gamme allant de 0,059 W/m.K à 0,135 W/m.K. Cette gamme pourra être élargie en jouant sur la densité du matériau.

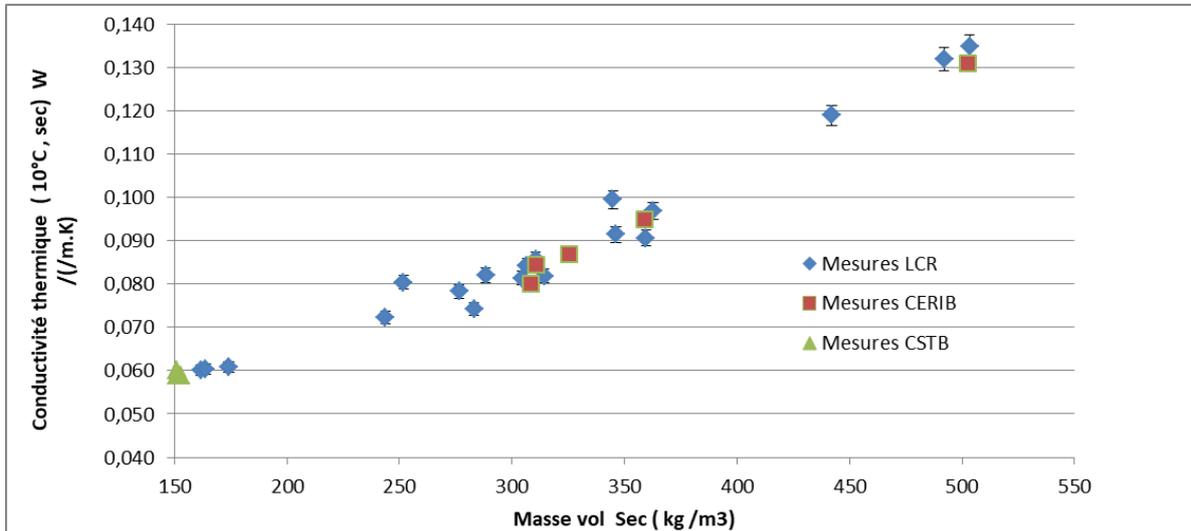


Figure 3 : Mesure Conductivité Thermique sèche à 10°C Airium® B

On constate encore une bonne corrélation de la conductivité et de la densité. De même, les valeurs mesurées au centre de recherche [10] sont confirmées par celle du CERIB.

D.1.4. Conductivité thermique mesurée à 23°C 50%RH

La conductivité thermique doit être mesurée à 10°C avec une éprouvette mise en équilibre hygroscopique dans une ambiance à 23°C 50% d'humidité [14].

Une fois la mesure de conductivité réalisée à l'état sec, l'échantillon est conservé dans une ambiance à 23°C 50% d'humidité. Cette mise en condition se révèle très longue pour les matériaux à base de ciments.

Sur la base d'essais réalisés par le LNE pour l'application remplissage de bloc en 2020, le coefficient de passage est déterminé égale à $F_m=1.015$ [60].

2. Performance Mécanique

D.2.1. Résistance en compression et module d'élasticité

La performance mécanique du matériau a été testée au centre de recherche LarfargeHolcim et au LNE. Les éprouvettes ont été maintenues à 100% d'humidité pendant 28 jours avant d'être séchées à 23°C 50% d'humidité relative. [17] [18] [33]

	Densité sèche en kg/m³		Rc (MPa)	E mod (MPa)
Airium® A (comble)	40-55	Moyenne	0,0062	*
		Ecart type	0,0027	
Airium® A (remplissage de bloc)	75	Moyenne	0,027	1,5
		Ecart type	0,002	0,1
Airium® B	450	Moyenne	1,43	130
		Ecart type	0,24	28

Tableau 3 : Résistance en compression et Module de Young

*le module de Young pour Airium A – Airium Comble n'a pas été mesuré car cela n'apporte pas d'information pertinente pour l'application visée.

En fonction des applications utilisant Airium® B, une étude mécanique sera menée proposant une caractérisation complémentaire. Les essais sont réalisés suivant la NF EN 826.

A titre d'illustration, ci-dessous sont représentés les essais de compressions réalisés suivant la NF EN 826 pour Airium® B.

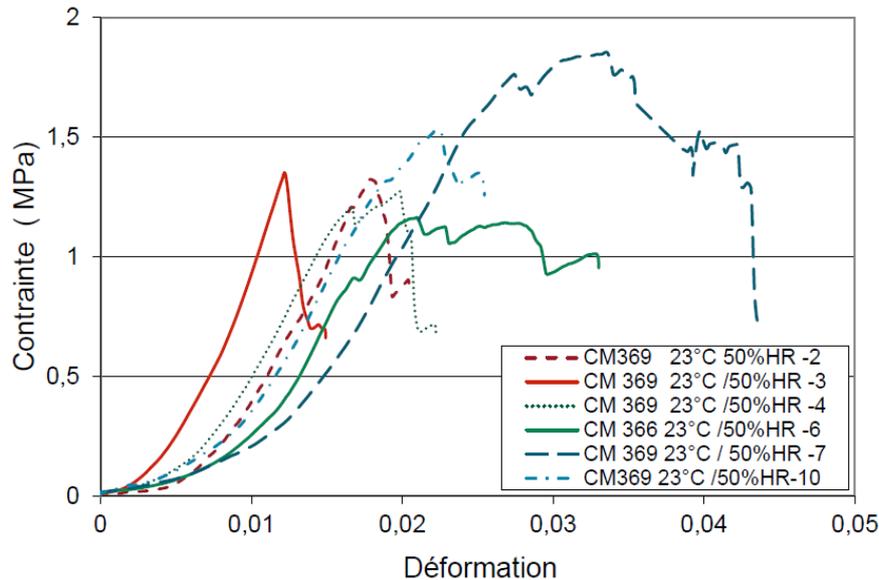


Figure 4 : Contrainte à la compression en fonction de la déformation Airium® B [17]

Le module de Young n'a pas pu être testé selon les essais conventionnels du fait du côté friable du matériau, notamment pour Airium A. Pour pallier ce problème, le module de Young a été estimé à partir des essais de compression. Il est donc prudent de conclure que la valeur de module de Young est inférieure à 2 MPa pour Airium A.

La résistance en compression de Airium® A est très faible (< 30 kPa). Cette faible résistance ne permet pas d'assurer de fonction mécanique à part de soutenir son propre poids.

La résistance en compression de Airium® B dépasse 1 MPa. Cette résistance autorise sa mise en œuvre en sous-couche de plancher ou de toiture.

3. « Durabilité »

Afin de s'assurer de la durabilité du matériau, différents essais généraux ont été conduits au centre de recherche Lafarge.

D.3.1. Comportement au gel-dégel

D.3.1.1. Airium® A

Des échantillons d'Airium® A ont été placés en chambre climatique ainsi qu'un bloc de maçonnerie rempli d'Airium® A. Les échantillons ont alors subi 25 cycles de gel / dégel [21]

Les échantillons de mousse qu'ils soient conservés à l'air ou saturée en eau n'ont pas subi de dégradations. Le matériau, Airium® A, contenu dans les alvéoles du bloc, a subi une légère dégradation de surface (1 à 5 mm) sans compromettre l'intégrité du matériau dans le bloc.

Dans le cadre d'Airium Comble des échantillons ont été testés par le LNE.

D.3.1.2. Airium® B

Des échantillons d'Airium® B ont été placés en chambre climatique pour subir 20 cycles de gel- dégel. Les échantillons n'ont pas souffert de détérioration [22].

D.3.2. Performances mécaniques après immersion dans l'eau

D.3.2.1. Airium® B

Airium® B a été testé en compression après 2 h d'immersion et séchage à 23°C 50% d'humidité relative [18].

La valeur de référence est la résistance en compression à 23°C, 50% d'humidité relative.

Airium® B	Densité sèche en kg/m ³		Rc (MPa)
Référence	450	Moyenne Ecart type	1,43 0,24
Après immersion	450	Moyenne Ecart type	1,29 0,09

Tableau 4 : Résistance en compression avant et après immersion

Les essais d'immersion montrent une légère baisse de la résistance mécanique, mais cette baisse reste de l'ordre de l'écart type. On peut en conclure que Airium® B n'est pas significativement altéré par le test d'immersion.

D.3.3. Performance mécanique après essais de cyclage thermique

D.3.3.1. 4.3.3.1. Airium B

Airium® B a été testé en compression après 28 j à 100%HR puis 15 cycles thermique +10°C / +50°C [18]. La valeur de référence est la résistance en compression à 23°C, 50% d'humidité relative.

Airium® B	Densité sèche en kg/m ³		Rc (MPa)
Initial	450	Moyenne Ecart type	1,43 0,24
Après immersion	450	Moyenne Ecart type	1,55 0,31

Tableau 5 : Résistance en compression avant et après cyclage thermique

Les essais de cyclage thermique montrent une légère hausse de la résistance mécanique, mais cette hausse reste de l'ordre de l'écart type. On peut conclure que Airium® B n'est pas altéré par le cyclage thermique.

D.3.4. Durabilité d'Airium Comble

Le produit Airium Comble a subi un ensemble spécifique d'essai au LNE afin de valider la pérennité de ses propriétés après différentes conditions de vieillissement. Les propriétés testées sont la résistance en compression, la perméabilité à la vapeur et la conductivité thermique. Les conditions de vieillissement sont via cyclage humidité relative de type Florida/Africain, et de Gel-Dégel sans ou avec sac étanche.

Densité	Etat initial	Après Florida / Africain	Après Gel - dégel	Après Gel – dégel en sac étanche
Résistance en compression en kPa				
40-45 kg/m ³	6,2 [40]	8,1 [41]	5,8 [42]	5,1 [43]
50-55 kg/m ³	13 [44]	18 [45]	15 [46]	16 [47]
Perméabilité Vapeur μ				
40-45 kg/m ³	2,48 [32]	2,44 [33]	1,99 [34]	2,11 [35]
50-55 kg/m ³	2,08 [36]	2,12 [37]	2,22 [38]	2,09 [39]
Conductivité thermique mesurée à l'état sec en W/m.K				
40-45 kg/m ³	0,0361 [52]	0,0370 [53]	0,0360 [54]	0,0368 [55]
50-55 kg/m ³	0,0380 [48]	0,0385 [49]	0,0377 [50]	0,0377 [51]

Tableau 6 : Propriétés d'Airium comble avant et après vieillissement

L'ensemble des essais réalisés montre une bonne stabilité des performances d'Airium Comble après avoir subi les différentes conditions de vieillissement accéléré.

Suite aux différentes conditions de vieillissements, aucune altération visuelle du matériau n'a été détectée.

4. Propriétés hygroscopiques du matériau

D.4.1. Perméabilité à la vapeur

D.4.1.1. Airium® A

Des essais de type coupelle ont été réalisés au centre de recherche LarfargeHolcim [23] et au LNE [32] suivant la norme NF EN ISO 12572.

Les valeurs moyennes pour le facteur de diffusion de vapeur sont les mêmes pour les deux couples d'humidité [32]

	Densité sèche [kg/m ³]	Condition %HR	Température [°C]	Valeur μ [-]
Airium® A (Airium Comble)	40-55	55 / 93	23 ± 1	2,48
Airium® A (remplissage de bloc)	75	27 / 55	23 ± 0,5	3
		55 / 93	23 ± 0,5	3

Tableau 7 : Facteur de diffusion de vapeur Airium® A

La perméabilité à la vapeur d'Airium Comble a été mesurée à 2,48 et 2,08 sur les densités sèches de 40 et 50 kg/m³ respectivement. La valeur la plus haute est retenue pour décrire Airium comble sur la gamme de variation.

D.4.1.2. Airium® B

Des essais de type coupelle ont été réalisés au centre de recherche LarfargeHolcim [24] suivant la norme NF EN ISO 12572.

Les valeurs moyennes pour le facteur de diffusion de vapeur sont les mêmes pour les deux couples d'humidité.

Densité sèche [kg/m ³]	Condition [%HR]	Température [°C]	Valeur μ [-]
450	27 / 55	23 ± 0,5	11
	55 / 93	23 ± 0,5	6

Tableau 8 : Facteur de diffusion de vapeur Airium® B

Airium B offre une faible résistance à la vapeur comme un béton cellulaire. Suivant le système constructif choisi, la mise en place d'un pare-vapeur sera à considérer.

D.4.2. Comportement Hygroscopique

Cela permet de déterminer les capacités de stockage hydrique du matériau qui est utile pour le calcul dynamique des risques de condensation en dynamique.

D.4.2.1. Airium® A – densité 50 kg/m³ - Airium Comble

Des essais de sorption et désorption ont été réalisés au LNE [57] [58] suivant la norme NF EN 12571.

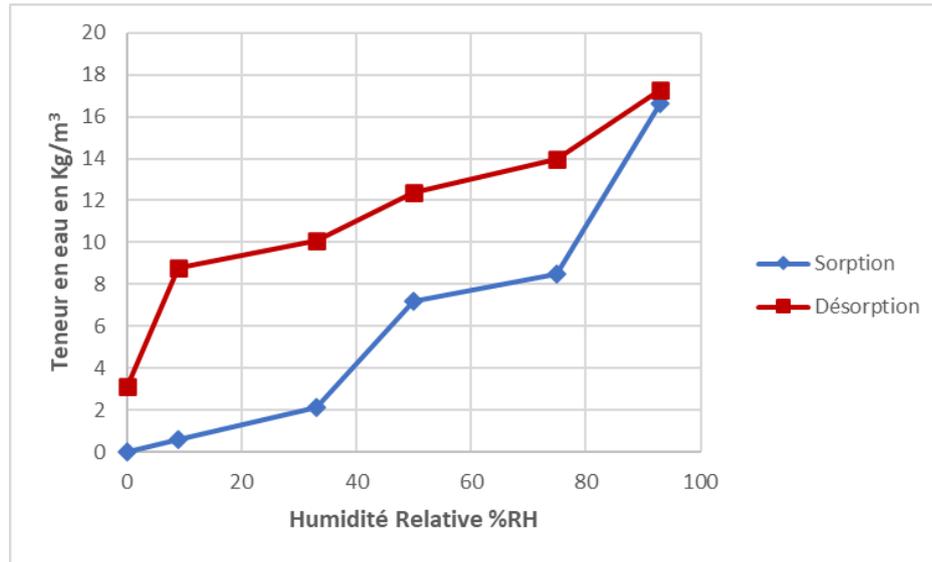


Figure 5 : Courbe de Sorption-Désorption Airium® A – Airium Comble

D.4.2.2. Airium® A- densité sèche 75 kg/m³ – Remplissage de bloc

Des essais de sorption et désorption ont été réalisés sur deux densités au centre de recherche LafargeHolcim [23] suivant la norme NF EN 12571.

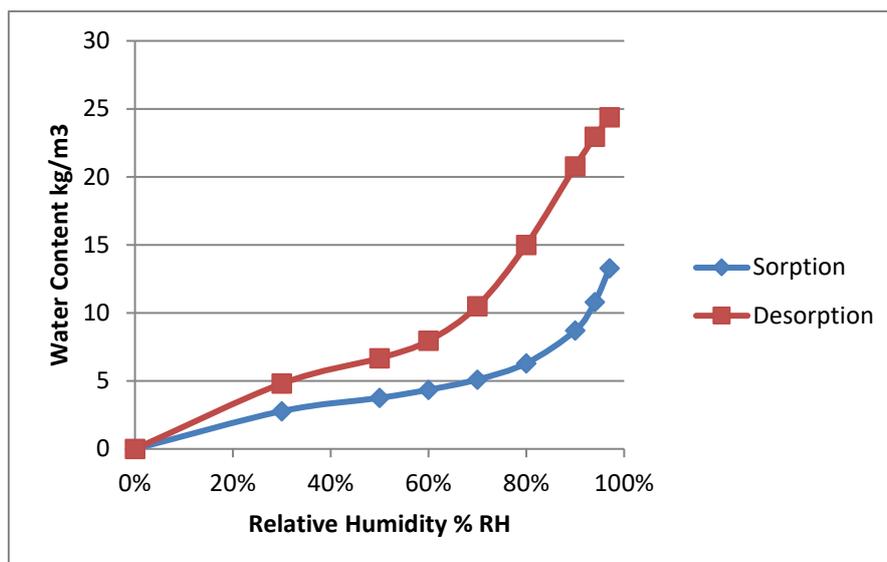


Figure 6 : Courbe de Sorption-Désorption Airium® A – Remplissage de Bloc

Le matériau peut reprendre jusqu'à 1 tiers de son poids avant de saturer. L'effet tampon hygroscopique sera donc important.

D.4.2.3. Airium® B – densité sèche 450 kg/m³

Des essais de sorption et désorption ont été réalisés sur deux densités au centre de recherche LarfargeHolcim [24] suivant la norme NF EN 12571.

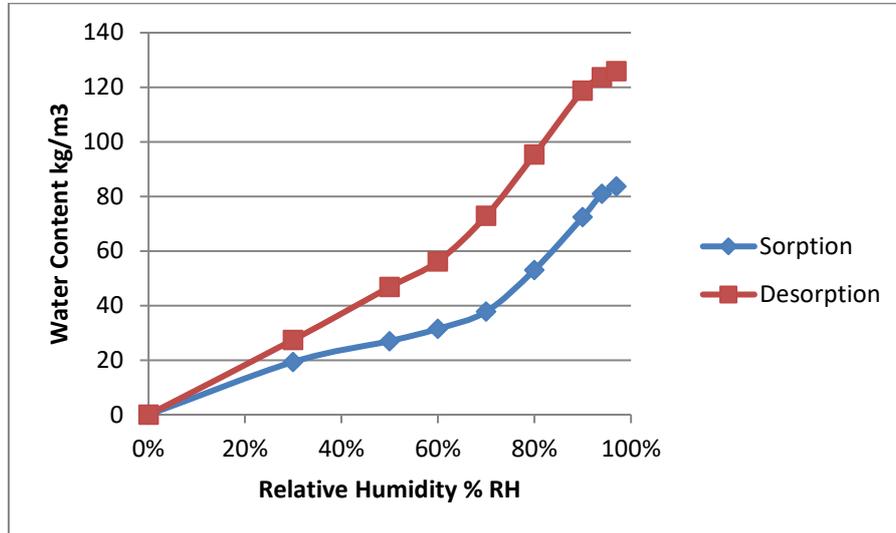


Figure 7 : Courbe de Sorption-Désorption Airium® B

Le matériau peut ici reprendre jusqu'à 28% de son poids. L'effet tampon hygroscopique sera donc important.

D.4.3. **Cinétique de séchage**

D.4.3.1. Airium® B

Afin de vérifier la cinétique séchage, des échantillons de 10 cm x 10 cm x 10 cm ont été conservés à 23°C 50%RH. Ils étaient étanchés sur 5 faces de façon que le séchage ne s'opère que par une face [25].

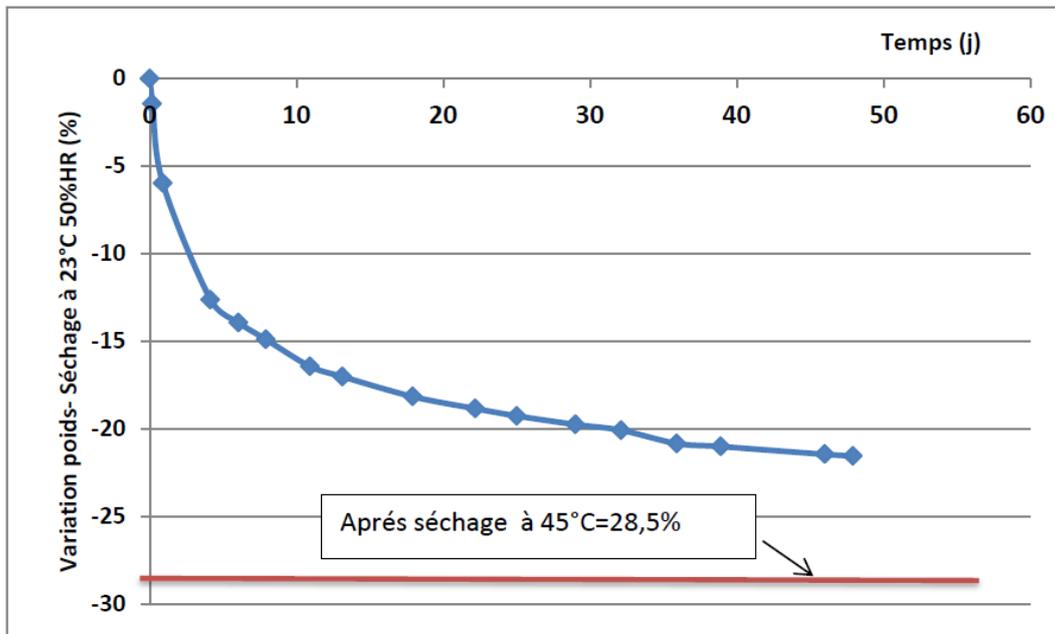


Figure 8 : Cinétique de séchage à 23°C 50%HR – Airium® B

La figure ci-dessus, montre l'évolution en masse de l'éprouvette. La valeur à -28% après séchage à 45°C n'est qu'indicative. Avec 22% de perte de masse le matériau est quasi à sa teneur en eau d'équilibre. On notera aussi qu'en 8 jours 60 % du séchage est réalisé et qu'en 30 jours 90% du séchage est atteint. Suivant la mise en œuvre, certains délais de recouvrement devront donc être définis.

5. Variations Dimensionnelles

D.5.1. Variations Dimensionnelles en fonction de la température

D.5.1.1. Airium® B

Pour la formulation Airium® B (densité 450 kg/m³), la variation dimensionnelle mesurée entre 23°C et 60°C est de 370.10⁻⁶ m/m soit une variation totale de 0.037% [19]. La dilatation thermique déduite est donc de 10.10⁻⁶ m/(m.°C). Cette valeur correspond à celle généralement retenue pour le béton.

D.5.2. Variations Dimensionnelles en fonction de l'humidité

D.5.2.1. Airium® A

Selon, le référentiel ISOLE de l'ACERMI, le critère de variations dimensionnelles linéaires en fonction de l'humidité à atteindre pour valider le niveau S1 est :

$$\text{Variation}_{(23^{\circ}\text{C} / 50\%\text{HR})} + \text{Variation}_{(23^{\circ}\text{C} / \text{de } 30\% \text{ à } 90\%\text{HR})} \leq 0.01 \text{ m/m}$$

Les variations dimensionnelles en fonction de l'humidité sont répertoriées dans le tableau suivant :

Conditions	Airium® A (densité sèche : 75 kg/m ³) $\Delta L / L_0$ (mm/m)
23°C / 50%HR séchage	-5,62
23°C / 50%HR à 90%HR	0,34
23°C / 50%HR à 30%HR	-0,26
Variations dimensionnelles Totales	6,22

Tableau 9 : Variations dimensionnelles totale selon cahier technique F ACERMI – Airium® A [19]

La somme des variations dimensionnelles est de 6.22 mm/m soit une variation totale inférieure au critère S1 (0.01 m/m).

D.5.2.2. Airium® B

Dans, le Cahier technique 2662-V2 –CSTB [16], le critère de variation dimensionnelles linéaire en fonction de l'humidité entre 23°C / 5%HR et 23°C / 90%HR est décrit dans le paragraphe 3.4.1. Cette variation doit être inférieure à 0.5%

Les variations dimensionnelles en fonction de l'humidité sont répertoriées dans le tableau suivant :

Conditions	Airium® B (densité sèche : 450 kg/m ³) $\Delta L / L_0$ (mm/m)
23°C / 50%HR séchage	-4,70
23°C / 50%HR à 90%HR	0,23
23°C / 50%HR à 30%HR	-0,98
Variations dimensionnelles Totales de 23°C / 5%HR à 23°C / 90%HR	1,21

Tableau 10 : Variations dimensionnelles de 23°C / 5%HR à 23°C / 90%HR – Airium® B [20]

La somme des variations dimensionnelles à 23°C entre 5%HR et 90%HR est de 1.21 mm/m soit une variation de 0.12%, celles-ci sont donc inférieures au critère de 0.50%.

6. Réaction au feu

Selon l'arrêté du 21 novembre 2002 relatif à la réaction au feu des produits de construction, traduisant la décision de la Commission Européenne du 9 septembre 1994 (94/611/CE) publiée au Journal Officiel des Communautés Européennes N° L 241/25, du 9 septembre 1994, Airium® A et Airium® B sont classifiés EURO classe A1 selon la norme NF EN 13501-1 [6] et ne requièrent pas d'essais.

Des essais de qualification suivant la norme EN 13501-1 ont été réalisés au CREPIM. Le produit est conforme à la qualité Euroclasse A1 Airium A –remplissage de bloc [7], Airium B [27] et Airium A – Airium Comble [56].

E. CHANTIERS DE REFERENCE

Les chantiers listés ci-après sont les chantiers « tests », qui ont servi à la phase de validation industrielle du matériau Airium® :

- Réalisation d'une toiture de 550 m² en Airium® B - Maroc (Juillet 2016).
- Usine automatisée de fabrication de maçonnerie avec Airium :
 - Préfabricant Fabemi, Usine de Valence (26), Gamme Fabtherm sous avis technique (16/19-772_V1 et 16/19-773_V1) [30-31]
 - Préfabricant Alkern, Usine de Tourville (76), Bloc Kosmo sous avis technique (16/17-753_V1) [29]
 - Préfabricant Seac, Usine de Bézier (34), NF Th en cours
 - Préfabricant Chaussson Matériaux, Usine de Viriville (38)
- Retour Chantier de mise en œuvre de maçonnerie avec Airium : [28]

Chantier	Entreprise de bâtiment	Type de bloc Airium	Type de bâtiment
Bornes les Mimosas, Toulon, Six-Fours les plages	BASARAN CONSTRUCTION	Fabtherm Air 1.8 Fabtherm Air 1.1	Maison Individuelle
Le Scénario	HD CONSTRUCTION	Fabtherm Air 1.1	Logement Collectif
- RP Canet (Meyreuil), - Aigues Marine (La couronne-Martigues), - Le Grand R (Marseille 12 ^e)	REX OVATIS	Fabtherm Air 1.8 Fabtherm Air 1.1	Logement Collectif

A ce jour, plus de 1,1 millions de blocs Airium ont été fabriqués en usine et mis en œuvre sur chantiers.

Les maçonneries se posent de la même manière que d'autres blocs béton isolant.

F. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] NF EN 206 Novembre 2014, Béton - Spécification, performances, production et conformité
- [2] NF EN 197-1 Avril 2012, Ciment - Partie 1 : composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants
- [3] NF EN 12620+A1 Juin 2008, Granulats pour béton
- [4] NF EN 934-1 Avril 2008, Adjuvants pour béton, mortier et coulis
- [5] NF EN 771-3+A1 Octobre 2015, Spécifications pour éléments de maçonnerie - Partie 3 : éléments de maçonnerie en béton de granulats (granulats courants et légers)
- [6] NF EN 13501-1+A1 Février 2013, Classement au feu des produits et éléments de construction - Partie 1 : classement à partir des données d'essais de réaction au feu
- [7] CREPIM-811-05-274-A, « Classement de la réaction au feu conformément à la norme NF EN 13501-1 :2013 »
- [8] NF EN 12667 Juillet 2001, Performance thermique des matériaux et produits pour le bâtiment - Détermination de la résistance thermique par la méthode de la plaque chaude gardée et la méthode fluxmétrique - Produits de haute et moyenne résistance thermique
- [9] LCR2016-Airium®-0001, « Essais de conductivité thermique Airium A »
- [10] LCR2016-Airium®-0002, « Essais de conductivité thermique Airium B »
- [11] CERIB 2016 6108, « Rapport d'essai mesure de conductivité thermique »
- [12] CERIB 2016 6109, « Rapport d'essai mesure de conductivité thermique »
- [13] CERIB 2016 6110, « Rapport d'essai mesure de conductivité thermique »
- [14] NF EN ISO 10456 Juin 2008, Matériaux et produits pour le bâtiment - Propriétés hygrothermiques - Valeurs utiles tabulées et procédures pour la détermination des valeurs thermiques déclarées et utiles
- [15] CSTB, « Rapport d'essais N° HO 16 E14-055 concernant les produits à base de béton de la société Lafarge »
- [16] Guide technique UEAtc pour l'agrément des systèmes isolants supports d'étanchéité des toitures plates et inclinées (e-Cahiers du CSTB, Cahier 2662-V2, juillet 2010)
- [17] LCR2016-Airium®-0003, « Essais de Compression Airium A »
- [18] LCR2016-Airium®-0004, « Essais de Compression Airium B »
- [19] LCR2016-Airium®-0005, « Essais de Variations Dimensionnelles Airium A »
- [20] LCR2016-Airium®-0006, « Essais de Variations Dimensionnelles Airium B »
- [21] LCR2016-Airium®-0007, « Essais de Gel / Dégel Airium A »
- [22] LCR2016-Airium®-0008, « Essais de Gel / Dégel Airium B »
- [23] LCR2016-Airium®-0009, « Essais des propriétés Hygroscopiques Airium A »
- [24] LCR2016-Airium®-0010, « Essais des propriétés Hygroscopiques Airium B »
- [25] LCR2016-Airium®-0011, « Essais de cinétique de séchage Airium B »
- [26] CERIB 2016, « Synthèse Conductivité thermique Airium »
- [27] CREPIM-811-09-194-A, « Classement de la réaction au feu conformément à la norme NF EN 13501-1 :2013 »
- [28] LafargeHolcim France 2019, « Retours d'expériences sur le remplissage et la mise en œuvre des blocs Airium »
- [29] CSTB, 2017, Avis Technique 16/17-753_V1, Mur en blocs en béton, KOSMO CITY
- [30] CSTB, 2019, Avis Technique 16/19-772_V1, Mur en blocs en béton, FABTHERM AIR 1.8
- [31] CSTB, 2019, Avis Technique 16/19-773_V1, Mur en blocs en béton, FABTHERM AIR 1.1
- [32] LNE, 2021, P208231 DEC1, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Basse Densité
- [33] LNE, 2021, P208231 DEC2, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Florida/Africain
- [34] LNE, 2021, P208231 DEC3, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel
- [35] LNE, 2021, P208231 DEC4, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [36] LNE, 2021, P208231 DEC5, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Haute Densité
- [37] LNE, 2021, P208231 DEC6, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Florida/Africain
- [38] LNE, 2021, P208231 DEC7 Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel

- [39] LNE, 2021, P208231 DEC8, Détermination des propriétés de transmissions de la vapeur d'eau, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [40] LNE, 2021, P208231 DEC9, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Basse Densité
- [41] LNE, 2021, P208231 DEC10, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Florida/Africain
- [42] LNE, 2021, P208231 DEC11, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [43] LNE, 2021, P208231 DEC12, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel
- [44] LNE, 2021, P208231 DEC13, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Haute Densité
- [45] LNE, 2021, P208231 DEC14, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Florida/Africain
- [46] LNE, 2021, P208231 DEC15, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [47] LNE, 2021, P208231 DEC16, Détermination du comportement en compression, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel
- [48] LNE, 2021, P208231 DEC17, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Haute Densité
- [49] LNE, 2021, P208231 DEC18, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Florida/Africain
- [50] LNE, 2021, P208231 DEC19 Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [51] LNE, 2021, P208231 DEC20, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Haute Densité après vieillissement Gel-Dégel
- [52] LNE, 2021, P208231 DEC21, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Basse Densité
- [53] LNE, 2021, P208231 DEC22, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Florida/Africain
- [54] LNE, 2021, P208231 DEC23, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel
- [55] LNE, 2021, P208231 DEC24, Détermination de la conductivité thermique, Airium Comble Basse Densité après vieillissement Gel-Dégel en sac étanche
- [56] CREPIM, D0-21-2612\A-R1, « Classement de la réaction au feu conformément à la norme NF EN 13501-1 :2013 »
- [57] LNE, 2021, P208231 DEC27, Courbe de Sorption-Désorption Airium Comble
- [58] LNE, 2021, P208231 DEC28, Courbe de Sorption-Désorption Airium Comble
- [59] LNE, 2020, P203529 DEC2, Mesure de résistance thermique à 10°C sur produit séché à 50°C puis conditionné à 23°C et 50%HR
- [60] LNE, Détermination du facteur sec humide des produits mesurés dans le rapport P203528/DEC1

ANNEXES

Application de Airium® A

Démonstration remplissage de blocs en Autriche

Vidéos : <http://www.lafarge.at/lafarge-tv/liagruen/>

Démonstration remplissage de blocs en France chez fabricant.

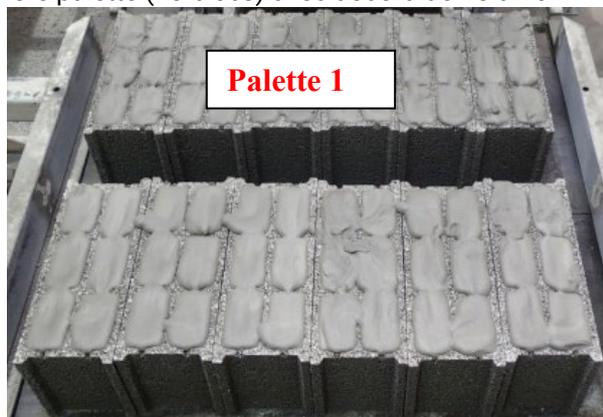
Source : R&D-RES-466 - Version : 1

<

Remplissage des planches de 12 blocs sur 30 minutes environ sortie d'étuve.



Première palette (40 blocs) avec débord de 10 à 15 mm. Deuxième palette avec arasage à 5 mm





Pas d'affaissement, ni de décohésion, ni de fissures de la mousse. Elle a durci sans retrait ni gonflement.

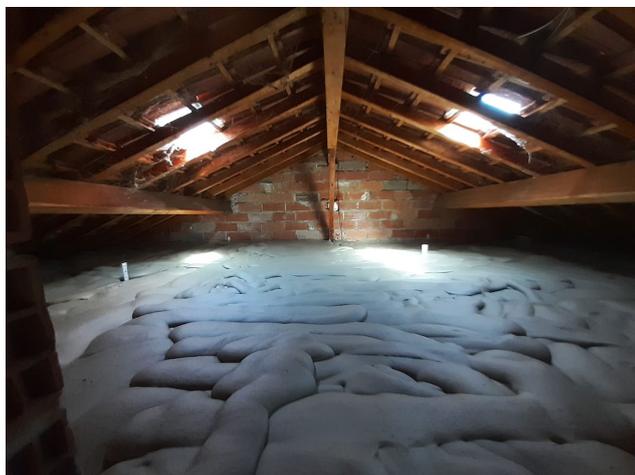


Arasage mousse manuellement par fabricant. Pas de retour négatif



Aspect mousse après rectification : pas de manque ni de trous beau rendu

Chantiers Comble en France



Video d'application en Comble (Autriche)



<https://youtu.be/HZrhiXzMRjY>

Usine de Fabrication Fabemi Valence :

Un équipement de production et injection d'Airium est installé dans l'usine du préfabricant.



Mise en œuvre Maçonneries: Fabtherm Air :



Application Airium® B

Toiture Terrasse au Maroc

Pour ce chantier de toiture de 550m², une couche de 10 cm de Airium® B a été coulé avec une conductivité de 0,1 W/m².K pour répondre aux exigences de la réglementation thermique bâtiment au Maroc.



Préparation du chantier



Coulage



Surfaçage et mise en place de la pente



Après 24h



Mise en place de l'étanchéité



Etanchéité

Ravoirage en France



Préparation du support



Coulage



Finition



Fin de coulage