

# Chaire Rénovation Énergétique des Bâtiments – mise en œuvre d’un parement en béton de chanvre dans un démonstrateur.

Florence Collet, Sylvie Prétot, Christophe Lanos, Amina Meslem, Abdelouhab Labihi.

*Univ Rennes, LGCGM (Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique), France*

**RESUME** La Chaire Rénovation Énergétique des Bâtiments de la Fondation Rennes1, a pour objectif d’éprouver l’efficacité de solutions techniques in-situ. Ces solutions peuvent porter sur l’enveloppe ou les systèmes, être passives ou actives, utilisées seules ou couplées. Le premier démonstrateur mis en œuvre dans une salle de travaux dirigés de l’IUT de Rennes porte sur l’efficacité d’un parement béton de chanvre comme régulateur hygrique passif et contributeur à la qualité de l’ambiance intérieure. Celui-ci sera couplé à une VMC double flux décentralisée, régulée en fonction du taux de CO<sub>2</sub> afin de limiter les débits et de réduire les consommations énergétiques. Cet article présente la mise en œuvre du parement en béton de chanvre et son instrumentation, l’instrumentation de l’ambiance de la salle et celle d’une salle témoin attenante. Le suivi expérimental au sein de la paroi et en ambiance permet d’étudier le séchage du mur. À l’issue de la période de séchage, l’évolution des conditions ambiantes hygrothermique des salles est analysée au regard des sollicitations ambiantes et le confort hygrothermique est évalué à travers le diagramme de confort dans le diagramme psychrométrique. La réponse hygrothermique du parement en béton de chanvre et sa contribution au confort sont analysés à travers l’évolution des profils de pression de vapeur en réponse à la sollicitation. L’effet sur l’acoustique est évalué par des mesures de temps de réverbération avant et après mise en œuvre du mur.

**Mots-clefs** Régulation hygrique passive, ambiance intérieure, confort acoustique, confort hygrothermique.

## I. INTRODUCTION

La rénovation énergétique des bâtiments contribue à répondre aux enjeux du développement durable à la fois sur le pilier environnemental (réduction des besoins énergétiques, réduction des émissions de gaz à effet de serres) et sur le pilier social (confort et santé des usagers). La Chaire Rénovation Énergétique des Bâtiments de la Fondation Rennes1, a pour objectif d’éprouver l’efficacité de solutions techniques in-situ. Ces solutions peuvent porter sur l’enveloppe ou les systèmes, être passives ou actives, utilisées seules ou couplées.

Le recours à des matériaux bio-sourcés permet de limiter l’énergie grise et l’empreinte carbone des bâtiments. Parmi ceux-ci, les bétons végétaux tels que les bétons de chanvre présentent une conductivité thermique faible et une valeur tampon hygrique élevée (Amziane, 2017), contribuant à l’isolation des bâtiments et au confort hygrothermique, et ainsi à des économies d’énergie (Karade et Jami, 2021).

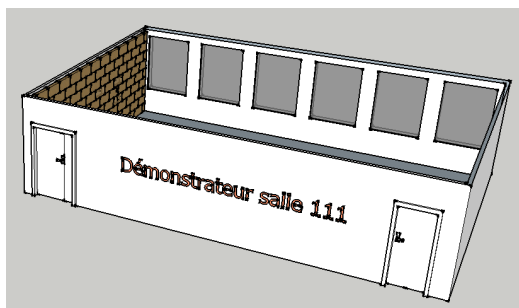
Dans le cadre de la chaire Rénovation Énergétique des Bâtiments de la Fondation Rennes1, le démonstrateur mis en en place au sein de l'IUT de Rennes a pour objectif d'étudier in-situ le rôle régulateur hygrique à l'échelle du local de béton de chanvre. Un parement, constitué de briques de béton de chanvre commerciales, est mis en place sur un refend séparatif entre deux salles de travaux dirigés.

Il s'agit d'étudier les conditions de régulation hygrique passive induites par ce parement par une approche comparative entre le démonstrateur et une salle témoin et d'analyser la réponse hygrothermique du mur aux sollicitations ambiantes. Une métrologie originale est développée. Elle permet l'étude du séchage puis un suivi en continu afin d'évaluer l'intérêt de la présence du parement vis-à-vis du confort des usagers. Des mesures acoustiques sont également réalisées pour étudier l'effet de ce parement sur le temps de réverbération de la salle.

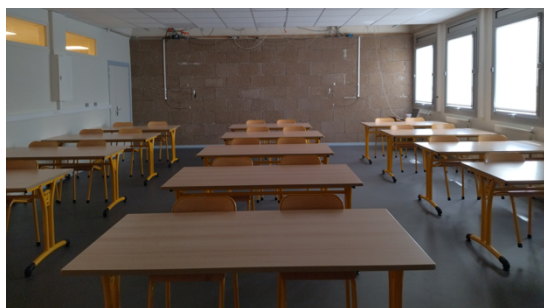
## II. PRESENTATION DE L'EXPERIMENTATION IN-SITU

### A. Présentation des salles Témoin et Démonstrateur

Les salles Témoin (107) et Démonstrateur (111) sont deux salles d'enseignement contiguës du département Génie Civil et Construction Durable de l'IUT de Rennes. Ces salles sont situées au premier étage, entre deux étages occupés également par des salles d'enseignement. Elles ont des dimensions identiques ( $L \times l \times H = 10.40 \text{ m} \times 7.10 \text{ m} \times 2.73 \text{ m}$ ) et la même capacité d'accueil (30 étudiants). Toutes les parois sont adiabatiques à l'exception de la paroi extérieure composée d'un voile béton non isolé de 18 cm d'épaisseur ( $U_{\text{mur}} = 3.35 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$ ) et de 6 fenêtres en double vitrage avec une menuiserie en aluminium ( $U_w = 2.82 \text{ W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}$ ) (Figure 1). La salle Témoin ne fait pas l'objet de travaux de rénovation. La salle démonstrateur est équipée d'un parement en béton de chanvre mis en place en doublage de la paroi séparative existante avec la salle Témoin. En effet, la paroi extérieure n'a pas une surface opaque suffisante et est occupée par des radiateurs.



(a)



(b)

**FIGURE 1.** Salle Démonstrateur (a) vue isométrique, (b) photo de la salle équipée

### B. Parement en béton de chanvre

Le parement en béton de chanvre est réalisé avec des briques commerciales MULTICHANVRE de 60 cm de long, 30 cm de haut et 10 cm d'épaisseur. Au moment de la dépalettisation, les briques au cœur de la palette étaient encore très humides, celles en périphérie étaient plus sèches du côté extérieur de la palette que du côté intérieur. Les briques nécessaires au montage du parement ont

été stockées quelques jours dans la salle afin d'améliorer leur séchage. Celles utilisées pour la caractérisation des briques sont stabilisées à l'ambiance du laboratoire régulée en température à 23°C ou séchées à l'étuve à 60°C.

Les caractéristiques des briques sont présentées dans le tableau 1. La mesure de la conductivité thermique est réalisée avec un CT-mètre équipé d'un fil chaud de 5 cm de longueur, selon la méthode présentée dans (Collet and Pretot, 2014).

**TABLEAU 1. Propriétés physiques des blocs MULTICHANVRE**

	Données Fournisseur	Mesure en laboratoire
Masse volumique [kg.m <sup>-3</sup> ]	360 (conditions non fournies)	Ambiance : 310 ± 7 Sec : 301 ± 11
Conductivité thermique (sec) [W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]	-	0.099
Résistance thermique (e = 10 cm) [m <sup>2</sup> .K.W <sup>-1</sup> ]	1.5	1.0

Ces briques sont assemblées entre elles et collées à la paroi séparative existante par plots avec le mortier blocs MULTICHANVRE de Saint Astier (figure 2). La salle est aérée tous les jours ouvrés pendant sept semaines (montage le 03/06, aération jusqu'au 22/07/2022).



**FIGURE 2. Montage du parement en béton de chanvre**

### C. Suivi et Instrumentation

L'occupation de la salle est suivie au moyen de l'emploi du temps. Un cahier est mis à disposition dans la salle afin de reporter son occupation (créneaux horaires, nombre de personnes) ainsi que le nombre de fenêtres et portes ouvertes à l'arrivée ou au cours du créneau d'occupation.

Les conditions ambiances intérieures de température, d'humidité relative et de CO<sub>2</sub> sont mesurées avec des capteurs ARANET 4. Les plages et précision de mesures sont 0–50 ± 0.4 °C, 0-85 ± 3 %HR et 0-9999 ppm ± 50 ppm ou 3% de la valeur entre 0 et 2000 ppm et ± 10% de la valeur entre 2001 et 9999 ppm. Le pas d'acquisition utilisé est de 3 à 10 minutes selon les périodes considérées.

L'instrumentation du parement en béton de chanvre (figure 3) est réalisée avec des capteurs sensirion SHT 35, préalablement étalonnées avec des solutions salines. Ces capteurs ont une plage de mesure de -40 à 125 °C et de 0 à 100 %HR, avec une précision de 0.2 °C et 1.5 %HR. Les profils

de température et d'humidité relative sont mesurés sur 4 briques (figure 3-a). Pour positionner les capteurs dans l'épaisseur des briques, celles-ci sont pré-percées à partir de leur surface supérieure (figure 3-b). Les percements sont comblés avec des fragments de briques (figure 3-c), après positionnement des capteurs (figure 3-d). Des capteurs sont également positionnés en surface du parement et dans des tubes anti-rayonnement pour mesurer les conditions ambiantes à proximité de la paroi (figure 3-e). Ces derniers sont mis en place 4 jours après le montage du parement. La figure 4 donne le positionnement des capteurs sur l'épaisseur de la paroi.

Les capteurs sensirion SHT 35 sont connectées à des boîtiers Daqbox permettant leur alimentation et l'acquisition des mesures toutes les 3 minutes. Ces boîtiers sont reliés à un PC via un hub à l'aide de câbles Ethernet. Les données sont relevées manuellement deux fois par semaine.

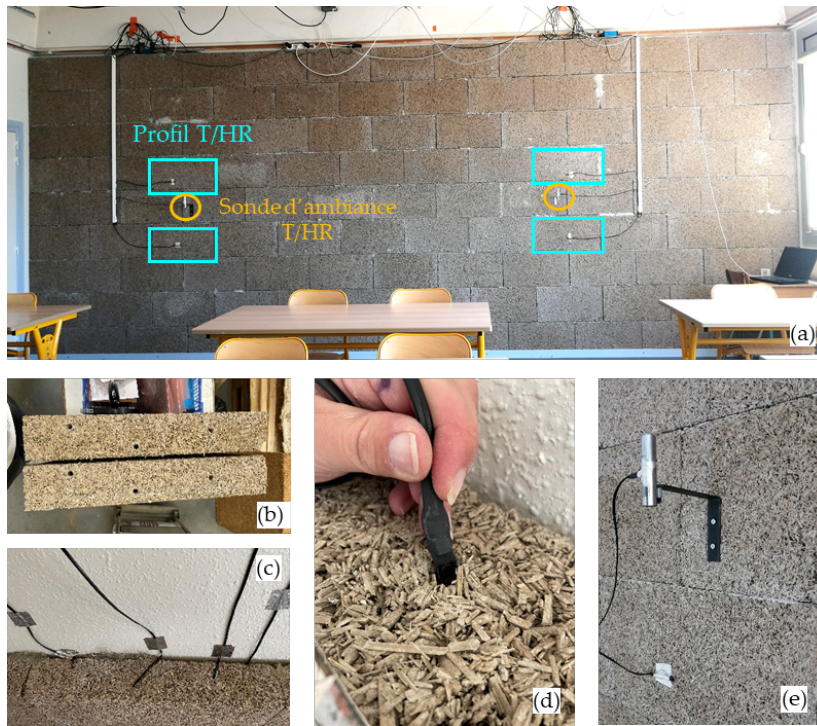
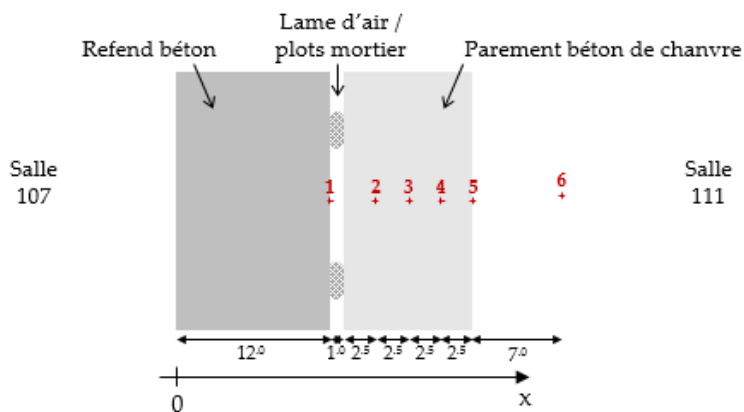


FIGURE 3. Instrumentation du parement en béton de chanvre



**FIGURE 4. Positionnement des capteurs sur l'épaisseur de la paroi***C. Mesures acoustiques*

Le temps de réverbération est mesuré avant et après mise en place du parement en béton de chanvre sur la salle vide. La mesure est répétée pour huit couples émission/réception localisés sur la figure 5. Le positionnement respecte une distance supérieure à 1 mètre entre la source et le microphone, qui est à au moins 0,5 m des parois. La mesure est réalisée avec un sonomètre Bruel & Kjaer type 2250 de classe I, avec une méthode d'excitation impulsionnelle. Le temps de réverbération est mesuré pour une décroissance de 20 dB (TR20).

**FIGURE 5. Position des couples émissions E / réception R lors des mesures de TR****III. RESULTATS ET ANALYSE***A. Séchage / Prise du parement en béton de chanvre*

La figure 6 donne l'évolution de l'humidité relative aux différentes positions de la brique 1 au cours des deux mois qui suivent la mise en œuvre du parement en béton de chanvre. Jusqu'au 20/07/2022, la salle est aérée régulièrement conduisant à des variations marquées de l'humidité relative ambiante (HR6).

A l'instant initial, l'humidité relative au sein du béton de chanvre est plus basse côté refend (capteur 2) qu'à mi-épaisseur (capteur 3) et côté salle 111 (capteur 4). Ceci est dû à un séchage initial inégal, le côté le plus sec de la brique a été positionné côté refend. Le montage au mortier-colle apporte une humidité qui se redistribue dans la brique. L'humidité relative à l'interface refend béton – parement béton de chanvre ainsi que celle dans les premiers centimètres de béton de chanvre côté refend augmente au cours des 3 à 4 premiers jours du fait de l'humidité apportée par les plots de mortier-colle, avant de diminuer avec le séchage du parement. Deux phases de séchage sont observées : une phase avec une décroissance marquée de l'humidité relative au cours du temps, jusqu'au 29/07/22, suivie d'une phase où l'humidité relative évolue peu au cœur de la paroi.

La figure 7 montre l'évolution de la température et de l'humidité relative ambiante ainsi que les moments d'ouverture et de fermeture des fenêtres au cours de la semaine 27. A l'ouverture, la température ambiante diminue du fait d'une température extérieure plus basse, entraînant une augmentation de l'humidité relative. Au cours de la journée, la température augmente et l'humidité relative diminue sous l'effet des sollicitations météo. A la fermeture et au cours de la

nuit, la température diminue et l'humidité relative augmente sous l'effet des sollicitations météo et sous l'influence du séchage du parement. La figure 8 montre l'évolution du taux de CO<sub>2</sub> ambiant et les moments d'ouverture et de fermeture des fenêtres au cours de cette même semaine. Après le week-end, le taux de CO<sub>2</sub> est particulièrement bas, autour de 260 ppm. A l'ouverture des fenêtres, il remonte autour de 410 à 430 ppm, correspondant au taux extérieur. A la fermeture des fenêtres et tout au long de la nuit, le taux de CO<sub>2</sub> ambiant diminue pour atteindre 300 ppm en fin de nuit. Ce comportement est répétable toute la semaine. La diminution du taux de CO<sub>2</sub> lorsque les fenêtres sont fermées est à relier à la carbonatation des liants des briques de béton de chanvre et du mortier à base de chaux. Les valeurs atteintes, nettement plus faibles que la valeur en extérieur, soulignent le manque de ventilation de la salle.

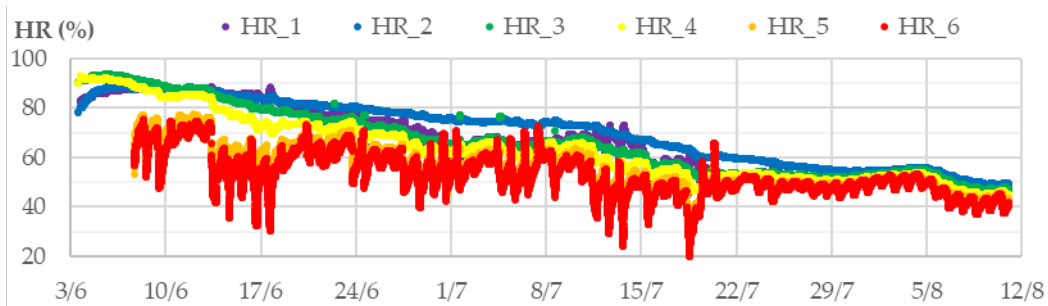


FIGURE 6. Evolution de l'humidité relative aux différentes positions de la brique 1

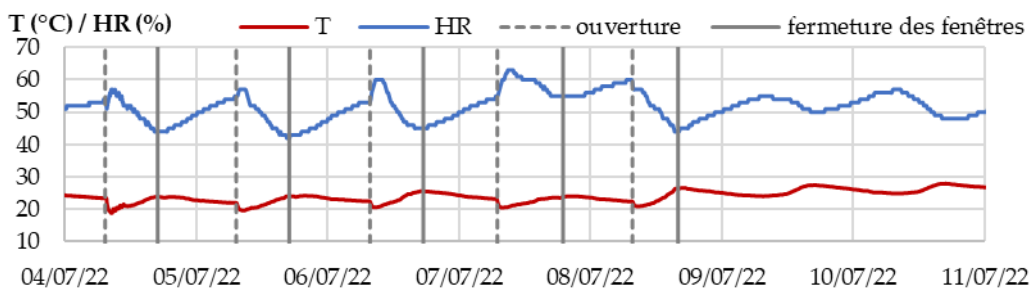


FIGURE 7. Evolution de la température et de l'humidité relative ambiante, ouverture et fermeture des fenêtres au cours de la semaine 27

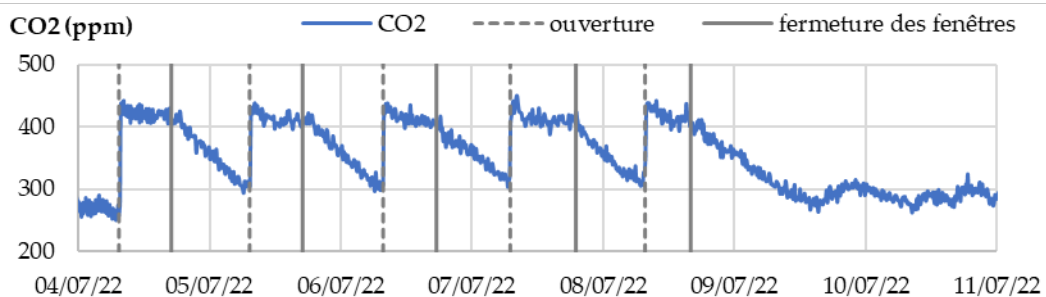
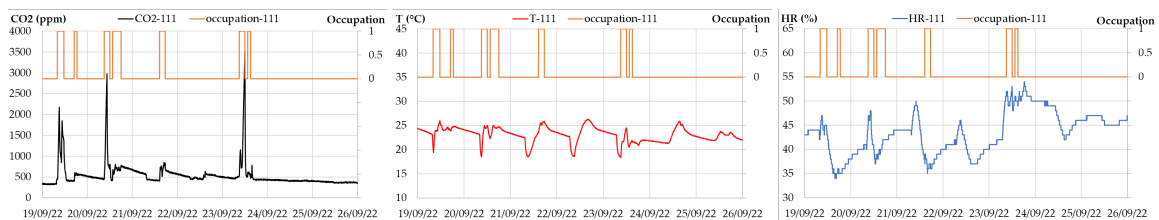


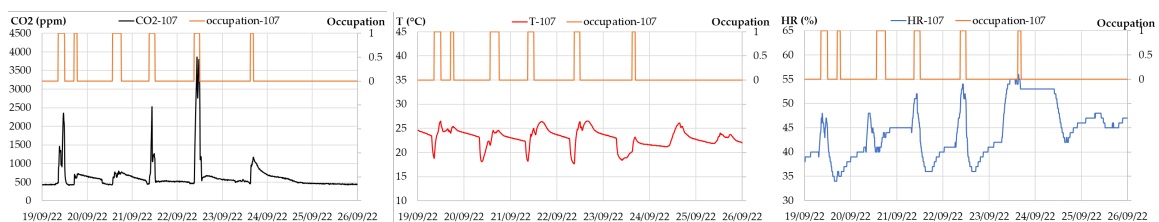
FIGURE 8. Evolution du taux de CO<sub>2</sub> ambiant, ouverture et fermeture des fenêtres au cours de la semaine 27

### B. Phase d'usage : confort hygrothermique et comportement du parement

Les figures 9 et 10 présentent l'occupation et l'évolution des conditions ambiantes dans les salles démonstrateur et témoin au cours de la semaine 38. Au cours de cette semaine, les deux salles présentent des occupations similaires en terme de créneaux d'occupation et de niveaux de CO<sub>2</sub> atteints, montrant des aérations par ouverture des fenêtres similaires également. Les pics de CO<sub>2</sub> sont en effet plus ou moins hauts au cours des périodes d'occupation en fonction de l'ouverture des fenêtres. Pour les deux salles, le pic de CO<sub>2</sub> du lundi 19/09/2022 matin atteint 2000 à 2500 ppm, montrant une faible aération de la salle. Le lundi après-midi, le taux de CO<sub>2</sub> est maintenu à un niveau inférieur à 700 ppm dans les deux salles, grâce à l'ouverture des fenêtres. Les taux de CO<sub>2</sub> maximums atteints sont de l'ordre de 3500 ppm dans les deux salles. Les températures ambiantes évoluent en lien avec les conditions météo, la protection solaire par les stores intérieurs, les apports internes et l'ouverture des fenêtres et des portes. Les températures atteintes sont équivalentes dans les deux salles, avec de légers écarts attribuables à des occupations et un usage (ouverture des fenêtres, portes et stores) qui ne sont pas rigoureusement identiques. L'humidité relative ambiante varie également sous l'effet des conditions météo, des apports internes et de l'ouverture des fenêtres et des portes. Au retour du week-end, avant la première occupation des salles, l'humidité relative ambiante est plus haute dans la salle 111 (44 %HR) que dans la salle 107 (40 %HR). Ceci peut être attribué à un effet tampon hygrique du parement qui a libéré de l'humidité en période de non occupation de la salle 111. Lors de la première occupation des salles, le lundi 19/09 matin, l'humidité relative augmente beaucoup plus et plus rapidement dans la salle 107 que dans la salle 111. Après une heure d'occupation, elle atteint 47 % dans les deux salles, soit une variation de 3 % dans la salle démonstrateur contre une variation de 7 % dans la salle témoin. Ceci souligne l'effet tampon hygrique apporté par le parement en béton de chanvre.

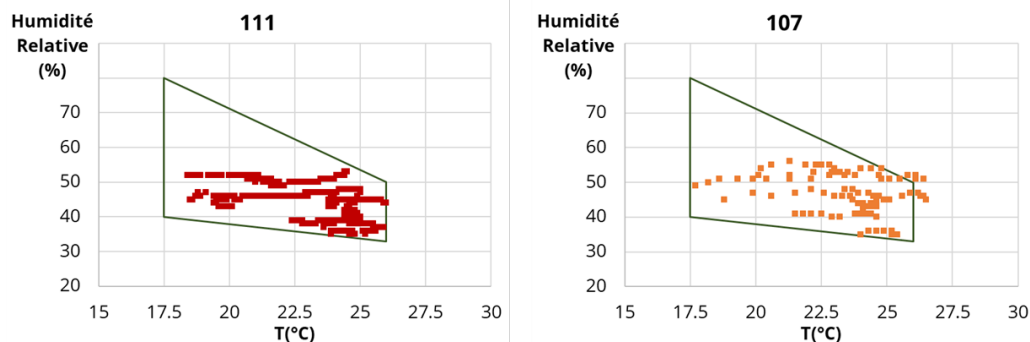


**FIGURE 9.** Occupation et évolution des conditions ambiantes (taux de CO<sub>2</sub>, température et l'humidité relative) dans la salle démonstrateur 111 au cours de la semaine 38



**FIGURE 10.** Occupation et évolution des conditions ambiantes (taux de CO<sub>2</sub>, température et l'humidité relative) dans la salle témoin 107 au cours de la semaine 38

La figure 11 présente les points représentatifs de l'ambiance en période d'occupation placés dans le polygone de confort issus de (Le Recknagel, 1995). Globalement, le niveau de confort est comparable dans les deux salles. En salle 107, la température est parfois légèrement trop forte, ceci peut être attribué à une gestion différente des apports solaires (fermeture des stores) et de l'aération de la salle. Le niveau d'humidité dans la salle 111 apparaît de nouveau un peu plus faible que dans la salle 107, toujours en lien avec le rôle de tampon hygrique du parement.



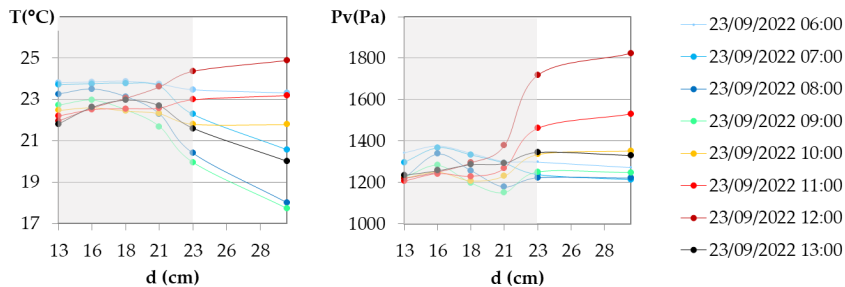
**FIGURE 11.** Polygone de confort dans les salles démonstrateur (111) et témoin (107) au cours de la semaine 38

La figure 12 donne l'évolution horaire des profils de température et de pression de vapeur entre 6h et 13h le 23/09/2022. Les fenêtres de la salle sont ouvertes pour aérer vers 7h du matin, elles sont fermées au cours de la première heure de cours, entre 9h et 10h, et ouvertes en fin de cours, probablement un peu avant 12h.

A 6h du matin, le profil de température est quasi constant sur l'épaisseur du parement en béton de chanvre, avec une température de surface et une température ambiante légèrement plus basses, ce qui conduit à une faible libération de chaleur du parement vers l'ambiance. A partir de 7h, l'ouverture des fenêtres conduit à une diminution de la température ambiante et à une augmentation du flux de chaleur du parement en béton de chanvre vers l'ambiance. La température de celui-ci diminue. Entre 9h et 10h, la fermeture des fenêtres conduit à une augmentation de la température ambiante. Le flux de chaleur s'inverse, conduisant à un stockage de la chaleur dans le parement. Suite à l'ouverture des fenêtres en fin de cours, le gradient de température et le flux de chaleur s'inversent de nouveau en surface du parement.

Pour la pression de vapeur, en fin de nuit (6h et 7h), le profil présente un point haut à  $d=16$  cm, et un gradient vers l'ambiance intérieure, conduisant à un déstockage de l'humidité du parement vers l'ambiance. A 8h et 9h, un point bas apparaît à  $d = 21$  cm correspondant à 2 cm de profondeur par rapport à la surface du mur, constituant un point d'adsorption induit par la diminution de la température. Lorsque la charge d'humidité apportée par les occupants augmente, la pression de vapeur ambiante augmente. Le gradient de pression de vapeur au sein du béton de chanvre et à proximité de l'ambiance intérieure est de plus en plus fort de 10h à 12h. Cela conduit à un stockage de l'humidité dans le parement en béton de chanvre. A 13h, il n'y a plus de charges en humidité ambiante, le gradient de pression de vapeur et le flux de stockage diminuent. L'évolution du profil au cours de la montée en humidité de l'ambiance intérieure

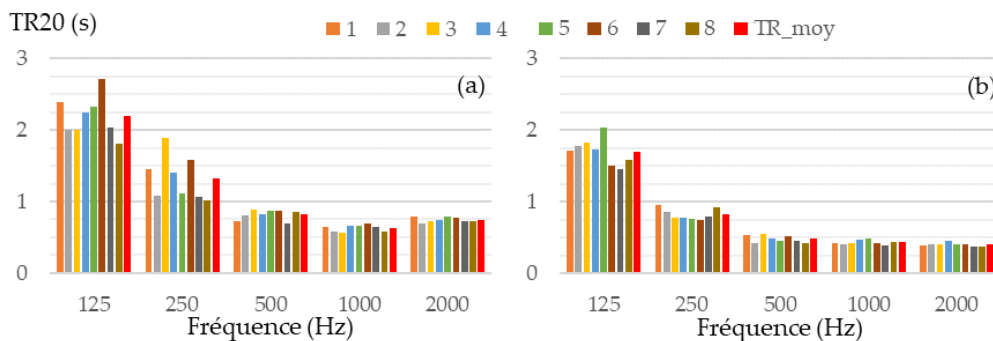
montre le stockage de l'humidité dans le parement et donc sa contribution à la régulation passive de l'ambiance à travers un effet tampon hygrique.



**FIGURE 12.** Evolution horaire des profils de température et de pression de vapeur dans le parement en béton de chanvre entre 6h et 13h le 23/09/2022

*C. Caractérisation acoustique*

Les temps de réverbération TR20 aux différentes positions et en valeur moyenne sont donnés sur la figure 13 avant (a) et après (b) la mise en œuvre du parement en béton de chanvre. De façon générale, les temps de réverbération sont plus élevés dans les basses fréquences que dans les mediums et les aigües. La moyenne sur les octaves 500, 1000 et 2000 Hz est de 0.73 s avant et 0.44 s après mise en œuvre du parement. Les deux cas sont conformes aux recommandations de l'article 5 du 25 avril 2003 pour une salle de classe. L'ajout du parement en béton de chanvre s'est traduit par une diminution du temps de réverbération sur toutes les octaves, ce qui traduit son potentiel dans le cadre d'un traitement acoustique. L'absorption maximum observée dans la pièce se situe dans les mediums et les aigus. Ceci est cohérent avec (Blinet et al., 2018) qui met en évidence un pic d'absorption à 1000 Hz pour un béton de chanvre de masse volumique similaire (286 kg/m<sup>3</sup>). En effet, l'effet d'absorption est lié à la porosité et peut donc différer légèrement en fonction de la mise en œuvre et de la granulométrie des chènevottes.



**FIGURE 13.** Temps de réverbération TR20, (a) avant, (b) après mise en place du parement en béton de chanvre

**IV. CONCLUSION**

Cette étude préliminaire a montré qu'après mise en œuvre du parement en béton de chanvre, une période de séchage de 2 mois était nécessaire à son séchage. A l'issue de celui-ci, la régulation hygrique passive induite par la mise en œuvre de la paroi en béton de chanvre dans le

démonstrateur est validée. Elle se traduit par des dynamiques de variation de l'humidité relative ambiante amorties. D'un point de vue acoustique, il s'avère que le parement en béton de chanvre contribue à réduire le temps de réverbération dans les fréquences moyennes et aigues.

Le suivi d'occupation de la salle et de son usage (ouverture/ fermeture des portes et fenêtres) avec un cahier de relevé n'est pas suffisamment complet pour une analyse fine des données. La métrologie est donc complétée par la mise en place de capteurs de présence et de capteurs d'ouverture et de fermeture des portes. Par ailleurs, la salle étant utilisée en enseignement n'est pas toujours accessible et en cas de coupure électrique les données entre deux relevés sont perdues. Pour remédier à ces problèmes, une plateforme d'acquisition et de traitement des données est en cours de mise en place.

Le démonstrateur va évoluer en couplant au mur de béton de chanvre une VMC double flux indexée sur le taux de CO<sub>2</sub> ou sur l'humidité relative. La métrologie sera complétée pour évaluer l'efficacité de ce système et de son couplage avec le parement en béton de chanvre. Enfin, l'ajout d'un enduit de finition sur les blocs de béton de chanvre est envisagé. Ses effets sur la régulation hygrique, en couplage ou non avec la VMC, et sur la réponse acoustique seront évalués.

## REMERCIEMENTS

Ces travaux sont réalisés dans le cadre de la chaire Rénovation Energétique des Bâtiments de la Fondation Rennes 1. Les auteurs remercient la Fondation ainsi que tous les partenaires de la Chaire : Groupe Legendre, NGE Bâtiment, Rennes Métropole, Egis, Delta Dore, CETIH-Systovi, Sensing Vision. Dans le cadre de ces travaux, plusieurs étudiants ont été accueillis en projet ou en stage : Jeanne Grimaud, Mateo Hamel, Louis Perrin, Laure Pinochet, Thibault Roger.

## REFERENCES

Amziane, S., Collet, F. (2017). Bio-aggregates Based Building Materials: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 236-BBM. Springer.

Blinet, T., Falwisanner, T., Glé, P., Guigou Carter, C., Kadri, E., 2018. Convention CSTB-DHUP 2017 Fiche Action 28 - Propriétés acoustiques des matériaux Biosourcés (No. DSC/2018-123/CG/ME).

Collet, F., Pretot, S., 2014. Thermal conductivity of hemp concretes: Variation with formulation, density and water content. *Constr. Build. Mater.* 65, 612–619. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.039>

Karade, S.R., Jami, T. (2021). Application of Vegetal Concrete for Carbon-Neutral Built Environment. In: Lackner, M., Sajjadi, B., Chen, WY. (eds) *Handbook of Climate Change Mitigation and Adaptation*. Springer, New York, NY. [https://doi-org.passerelle.univ-rennes1.fr/10.1007/978-1-4614-6431-0\\_121-1](https://doi-org.passerelle.univ-rennes1.fr/10.1007/978-1-4614-6431-0_121-1)

Le Recknagel, (1995), *Manuel pratique du génie climatique* - Recknagel, Sprenger, Hönnmann, Schramek - Editions PYC.