

# Quelle métrologie thermo-hygrique implanter dans un démonstrateur en béton de chanvre ?

Florence Collet<sup>1</sup>, Christophe Lanos<sup>1</sup>, Tony Hautecoeur<sup>1</sup>, Florent Dubois<sup>2</sup>

<sup>1</sup> UNIR, Univ Rennes 1, Laboratoire de Génie Civil et Génie Mécanique – EA 3913, 3 rue du Clos Courtel, 35704 Rennes, [florence.collet@univ-rennes1.fr](mailto:florence.collet@univ-rennes1.fr), [christophe.lanos@univ-rennes1.fr](mailto:christophe.lanos@univ-rennes1.fr)

<sup>2</sup> LafargeHolcim France, 2, avenue du Général de Gaulle, 92148 Clamart Cedex, France, [florent.dubois@lafargeholcim.com](mailto:florent.dubois@lafargeholcim.com)

**RÉSUMÉ.** Un bâtiment à colombage fait l'objet d'une rénovation. Les différentes parois sont rénovées en exploitant différentes solutions à base de béton de chanvre. Afin de pouvoir utiliser ce bâtiment comme un réel démonstrateur, près d'une centaine de capteurs de température et d'humidité sont implantés au sein des différentes parois de l'ouvrage, dans et hors de l'ouvrage, lors des phases terminales du chantier. Ces capteurs sont associés à une acquisition connectée. La description de l'ouvrage étudié, de la solution technique retenue pour la métrologie et les techniques d'implantation utilisées durant les phases du chantier sont présentées. Les spécificités de l'acquisition de mesure et les conditions de collecte des données à distance sont également décrites.

**ABSTRACT.** A half-timbered building is being renovated. The walls and slabs are renovated using different solutions based on hemp concrete. In order to be able to use this building as a real demonstrator, nearly a hundred temperature and humidity sensors are installed within the walls and slabs of the structure, inside and outside the structure, during the final phases of the work. These sensors are associated with a connected acquisition. The description of the studied building, the technical solution chosen for metrology and the implementation techniques used during the phases of the construction are presented. The specificities of measurement acquisition and the conditions for remote data collection are also described.

**MOTS-CLÉS :** métrologie, béton de chanvre, démonstrateur, température, hygrométrie.

**KEY WORDS:** metrology, hemp concrete, demonstrator, temperature, hygrometry.

## 1 Introduction

Les propriétés d'isolant thermique et de régulateur hygrique du béton de chanvre résultant de l'association d'une chaux avec un granulat végétal, la chènevotte, ont fait l'objet de nombreuses études [AMZ 13, AMZ 17]. Pourtant, la modélisation du comportement thermohydrigue de ces matériaux qui participent au confort pour l'occupant reste peu développée en raison du caractère complexe des phénomènes mis en jeu en présence de bioressources cellulosiques (perméabilité à la vapeur d'eau importante, caractère fortement hygroscopique, phénomènes d'hystérésis [OUM 14], cinétiques de sorption [REU 19]). Les données expérimentales exploitables pour identifier les paramètres caractéristiques des transferts thermiques et hydriques, sont souvent obtenues à l'échelle du matériau mais plus rarement à l'échelle de la paroi et encore moins à l'échelle de l'ouvrage. En conséquence, l'étude thermique d'un bâtiment réalisé avec un tel matériau reste, encore actuellement, très difficile à maîtriser. Dans le but de mieux comprendre le comportement d'un bâtiment réalisé en béton de chanvre, LafargeHolcim France s'est investi dans un projet de rénovation d'une étable normande en colombage datant du début du 19<sup>ème</sup> siècle à Heudreville (Eure) bénéficiant d'un soutien technique de Maisons Paysannes de France et en partie subventionné par la Fondation du Patrimoine. Sur le plan technique, les solutions chaux-chanvre ont été utilisées pour les usages d'isolation des murs et des sols ainsi que la réalisation des enduits intérieurs afin de rénover cette construction ancienne sans la dénaturer. Afin de mesurer l'évolution des paramètres température et humidité au sein des différentes parois de l'ouvrage, dans et hors de l'ouvrage, lors des phases terminales du chantier et durant la première année d'exploitation de l'ouvrage, le Laboratoire de Génie Civil et de Génie Mécanique a été sollicité pour mettre en place un ensemble de capteurs associé à une acquisition connectée. La description de l'ouvrage étudié et de la solution technique retenue pour la métrologie est complétée par la présentation des différentes techniques d'implantation utilisées durant les phases du chantier.

Les spécificités de l'acquisition de mesure et les conditions de collecte des données à distance sont également décrites.

## 2 Présentation du bâtiment

D'une surface de 47 m<sup>2</sup>, le bâtiment étudié (Fig. 1) est une étable en colombage (12x12 cm<sup>2</sup>) destinée à un usage d'habitation (une pièce d'habitation unique surmontée un grenier) [LAF 17]. La structure bois reposant sur un soubassement pierre et la couverture en ardoise ont fait l'objet d'une restauration en 2016 dans le respect de l'architecture vernaculaire. Les travaux liés à l'exécution de la dalle, des murs et du plafond en béton de chanvre sont réalisés en plusieurs phases durant 2017 et 2018. Le second œuvre est finalisé début 2019. Lafarge France a développé des formulations chaux-chanvre à partir de ses chaux Nathural, Tradibat 85 (formulations Tab. 1). La dalle inférieure du bâtiment est réalisée en béton de liège (épaisseur 15 cm sur un hérissinage de 20 cm). Elle est composée de chaux LafargeHolcim Tradibat 85 (HL 5) et de particules de liège 4/8 fournies par l'association « La chaîne du liège » - récupération de bouchons de liège. La dalle est couverte avec un parquet flottant. Pour les murs (épaisseur 30 cm), le béton de chanvre est mis en place dans des banches en bois de 50 cm de hauteur en lits successifs compactés de 20 cm de haut. Le colombage reste apparent en face externe. La formule utilisée est composée de chaux Nathural® (NHL 3,5) blanche et de chènevotte Kanabat – LCDA. Le mélange chaux chanvre utilisée en plancher supérieur est déposé sur un lit de canisse déroulé sur le solivage (espacement 40 cm) sur une épaisseur de 30 cm et arasé sans tassement au niveau supérieur du contre-solivage. La formulation de ce béton de chanvre repose sur l'utilisation de chaux Tradibat 85 (HL 5) et de chènevotte Kanabat – LCDA. L'enduit extérieur traditionnel en chaux Nathural® (NHL 3,5) sable a été appliqué sur les murs en béton de chanvre, entre les colombages (dosage du corps d'enduit : 300 kg de chaux/m<sup>3</sup> de sable, Finition : 200 kg de chaux/m<sup>3</sup> de sable). L'enduit intérieur est composé de chaux Nathural® (NHL 3,5) et de chènevotte fine. Un poêle à bois sera installé ainsi que des convecteurs électriques pour assurer le chauffage et la préservation du bâtiment. Le renouvellement d'air est assuré par un extracteur simple, les apports d'air étant situés au droit des menuiseries.



Figure 1. Ouvrage avant rénovation et après rénovation.

Tableau 1. Dosages des mortiers et bétons

Dosages pour 1 m <sup>3</sup>	Dalle	Murs	Plancher haut	Enduits intérieurs
Chaux	230 kg	330 kg	200 kg	700 kg
Chènevotte ou Liège sable	670 L Liège 330 kg Sable	100 kg	100 kg	100 kg
Eau	Env. 250 L	Env. 350 L	270 L	600 L

## 3 Métrologie, acquisition et gestion des données

L'objectif de la métrologie est d'assurer la mesure des gradients de température et d'humidité relative au sein des différentes parois et dans l'ambiance, afin d'évaluer les amortissements et les déphasages dans les différents états transitoires étudiés au cours des saisons. La métrologie doit également permettre d'identifier les périodes d'utilisation ou d'inoccupation. Deux types de capteurs sont mis en place : des capteurs de température et d'hygrométrie (ambiances intérieure et extérieure, murs et plafond) et des thermocouples (plancher bas et voisinage des équipements).

Les capteurs de température et d'hygrométrie sélectionnés sont des capteurs Sensirion SHT 35. Ces capteurs ont une tolérance type annoncée par le fabricant de 0.1 °C entre 20 et 60°C et de 1.5 % HR en humidité (Figure 2). Ils ont l'avantage de présenter un encombrement limité (7 mm de large) mais s'avère sensible en environnement humide et alcalin. Pourtant ces capteurs doivent résister à une immersion dans le béton de chanvre frais. Après différents essais, une méthodologie de protection des capteurs a été validée. Une capsule perméable à la vapeur couvre la partie active du capteur et la connectique électronique est également recouverte

d'une gaine thermo-rétractable. L'ensemble est calfeutré avec un joint silicone de façon à éviter toute pénétration d'eau liquide sur les composants électroniques et assurer un fonctionnement en milieu à pH élevé durant plusieurs mois. Après préparation des capteurs, ceux-ci sont vérifiés au moyen de solutions salines (Figure 3), ce qui permet d'identifier les lois d'étalonnage.

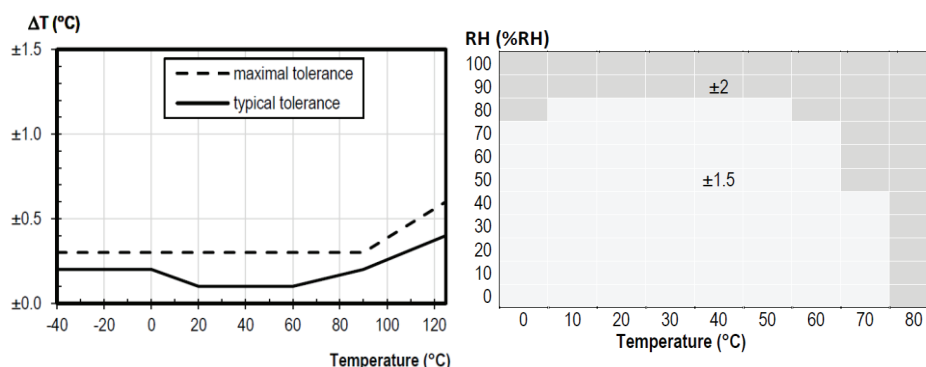
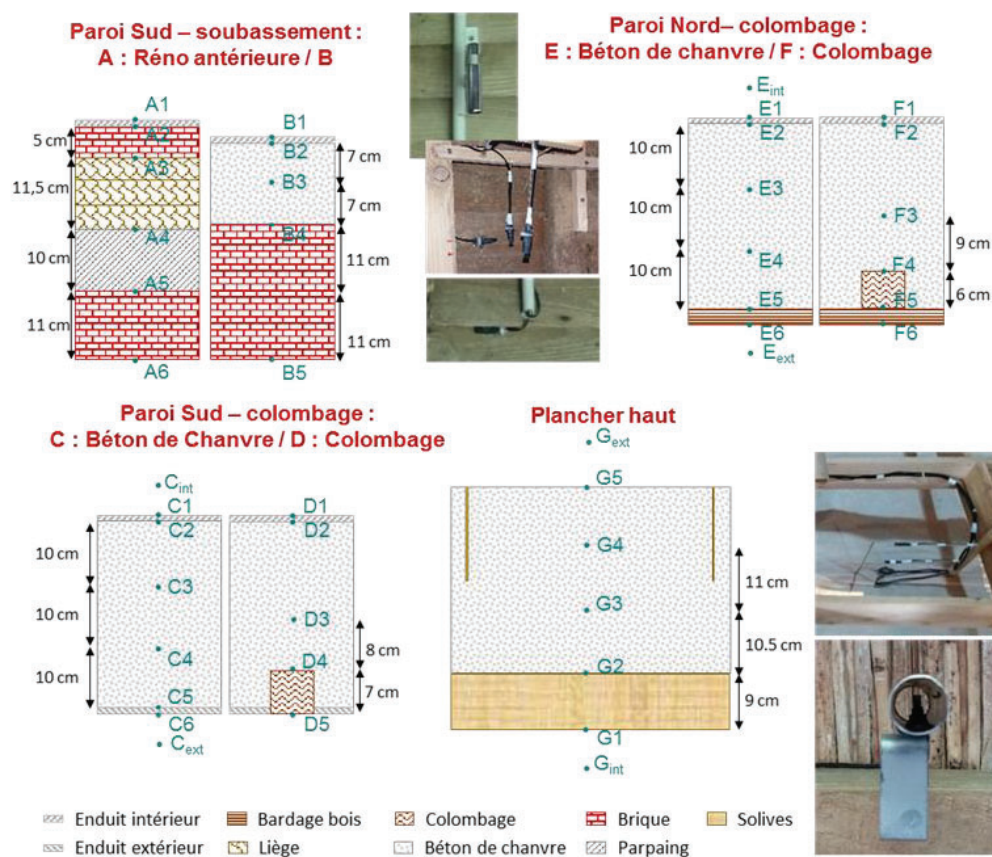


Figure 2. Précision des capteurs SHT 35.



Figure 3. Gauche : Capteur SHT 35 avant et après protection de la connectique – Droite : Vérification de l'étalonnage des capteurs – résultats des capteurs de la paroi G

Les thermocouples utilisés sont de type K dont la tolérance est de  $\pm 1.5^\circ\text{C}$  de  $-40$  à  $+375^\circ\text{C}$  selon la norme NF EN 60-584, classe 1. Aucune protection spécifique n'est mise en place, les thermocouples étant implantés dans des environnements non saturés. Plusieurs zones du bâtiment sont instrumentées avec les capteurs hygrothermiques placés au niveau de chaque interface entre les matériaux (support/enduit et enduit/air extérieur, ont été noyés dans l'enduit en chaux sable dans les murs nord et sud (capteurs Sensirion SHT 35, tant en paroi sud qu'en paroi nord). Les capteurs ont été placés durant l'exécution des différentes parties de l'ouvrage (Fig.4). Dans les murs, les capteurs sont portés par des supports en bois de façon à être positionnés à différents épaisseurs du béton de chanvre ou aux interfaces. Les capteurs aux interfaces des enduits sont installés après réalisation du béton de chanvre des murs. Les capteurs de surface et d'ambiance sont ajoutés après application des enduits. A chaque étape, les câbles alimentant les capteurs sont noyés dans la structure. Les ambiances intérieure et extérieure font également l'objet d'un suivi en température et hygrométrie. Enfin, des thermocouples placés sous la dalle en béton de liège, à proximité du poêle et de la VMC sont destinés à identifier les plages d'utilisation du bâtiment. Près de 47 capteurs Sensirion sont implantés ainsi qu'une dizaine de thermocouples complémentaires soit plus de 100 paramètres mesurés instantanément. Les capteurs hygrothermiques sont connectés à des boîtiers d'alimentation Daqbox - StepAt (12 capteurs par boîtiers). Ces boîtiers, alimentés en 220 V, sont reliés à un hub lié au PC à l'aide de câbles Ethernet de 10 m de long et aux capteurs à l'aide de câbles de 3 m de long. Les 8 boîtiers sont généralement placés dans des cavités placées en tête de mur et obtenues par coffrage lors de l'exécution du béton de chanvre. L'interprétation des mesures est assurée par le logiciel IHM Sensirion exploitant l'horloge du PC. Les thermocouples (10 m de long) sont connectés à un boîtier Datalogger - Picotech alimenté en 220 V, connecté au PC via une prise USB. Les signaux sont interprétés à l'aide du logiciel Picolog. Exploitant l'horloge du PC. L'ensemble des alimentations électrique (boîtiers, PC) est connecté à un onduleur jouant le rôle de protection pare foudre et gérant les microcoupures. Le PC est connecté physiquement à la box internet de l'habitation principale située à 50 m du bâtiment étudié. De façon à pouvoir gérer à distance et rapatrier les données enregistrées sur le PC, celui-ci peut être consulté via un protocole FTP. En cas de coupure de courant trop prolongée, le PC redémarre automatiquement ainsi que les logiciels d'acquisition. Il convient cependant d'intervenir à distance pour relancer l'acquisition. Les données enregistrées sur le PC sont collectées chaque début de semaine. Le traitement des données collectées en format texte est assuré à l'aide de l'application Excel. Une macro excel permet d'interpréter sous forme de courbes l'évolution des données.



**Figure 4.** Différentes implantations des capteurs et détails des supports de capteurs pour la mise en place au cœur du béton de chanvre.

#### 4 Conclusions et perspectives

Les choix technologiques retenus pour la rénovation de l'ouvrage associés à la métrologie mise en œuvre dans cette étude permettent de générer une collection de données assez unique dont la valorisation doit permettre à Lafarge France et ses bureaux d'étude thermique partenaires pour mieux interpréter le comportement thermo hydrique d'un bâtiment dont l'enveloppe est réalisée en béton de chanvre. Quelques remarques sur les conditions techniques mises en œuvre s'imposent. La fiabilité de fonctionnement des acquisitions reste à améliorer par les fournisseurs. Des bugs de fonctionnement ont été récurrent au départ et plusieurs mises à jour logiciels ont été nécessaires. Les acquisitions restent sensibles. La récupération des données à distance est par contre très opérationnelle et le pilotage du PC à distance constitue une solution acceptable. L'évaluation des flux d'air dans l'ouvrage reste mal maîtrisée et non mesurable. L'évaluation des apports d'humidité (remontée capillaire et pluies) reste non quantifiable. L'évaluation des apports énergétiques réels fournis par le moyen de chauffage utilisé (poêle) est impossible. Donc au global, envisager un bilan énergétique du bâtiment reste difficile sans le recours à un comptage de la production (chauffage, apports...).

#### Bibliographie

- [AMZ 13] Amziane S. and Arnaud L., *Bio-aggregate-based Building Materials: Applications to Hemp Concretes*, John Wiley & Sons Inc., 2013.
- [AMZ 17] AMZIANE S. AND COLLET F., *Bio-Aggregate-Based Building Materials: Rilem State of the Art Report*, Springer Netherlands Dordrecht, 2017.
- [LAF 17] Lafarge Communiqué de presse ; <https://wellcom.fr/presse/lafarge/2017/08/etape-7-chantier-dheudreville-27-renovation-dune-grange-en-materiaux-bio-sources/>, 2018.
- [OUM 14] OUMEZIANE Y., BART M., MOISSETTE S., LANOS C., « Hysteretic behaviour and moisture buffering of hemp concrete », *Transp. Porous Med.*, vol. 103, 2014, p. 515-533.
- [REU 19] Reuge N., MOISSETTE S., BART M., COLLET F., LANOS C., "Water transport in bio-based porous materials: A model of local kinetics of sorption – Application to three hemp concretes", *Transp. Porous Med.*, under press, 2019. DOI: 10.1007/s11242-019-01272-4