

# Intérêts écologiques et performances techniques des mortiers de chanvre et chaux pour le bâtiment.

Laurent Arnaud<sup>1</sup>, Driss Samri<sup>1</sup>, Bernard Boyeux<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Université de Lyon, Lyon, F-69003, France; Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, CNRS, URA 1652, Département Génie Civil et Bâtiment, 3, rue Maurice Audin, Vaulx-en-Velin, F-69120, laurent.arnaud@entpe.fr

<sup>2</sup> LHOIST BCB, Zac de Valentin, rue du Choumois B.P. 3011, Besançon, F-25045 Cedex, bernard.boyeux@lhoist.com

---

*RESUME.* Ce papier traite des performances de mortiers de particules de chanvre (chènevotte) mélangées à un liant à base de chaux pour diverses applications dans le domaine du bâtiment : isolation en toiture, remplissage de structure porteuse, réalisation de chapes isolantes, enduit décoratif et isolant. La chènevotte, granulat végétal se caractérise par une porosité très élevée. Les mortiers de chanvre et chaux sont également des matériaux à forte porosité avec des pores de différentes tailles. Cette porosité élevée permet de justifier une résistance à la compression modérée ( $R_c \approx 2\text{MPa}$ ), une absorption acoustique de l'ordre de 0,7, une conductivité thermique de l'ordre de  $0,1\text{W/m}^\circ\text{C}$  et une forte capacité à réguler les taux d'humidité relative ambiants (confort d'hiver et d'été). Une étude expérimentale et théorique des échanges hygrothermiques permet de comparer les performances du béton de chanvre à celles du béton cellulaire et des briques terre cuite de type Monomur. Elle prouve que la seule conductivité thermique ne suffit pas à caractériser les transferts au sein des bétons de chanvre.

*MOTS-CLÉS :* mortier de chanvre, caractérisation physique, transferts hygro thermique

---

*ABSTRACT.* This paper deals with the technical performances of hemp lime concrete for various uses in building construction : roof insulation, filling of self bearing structure, realisation of insulating screeds, decorative coats. Shiv is a vegetable aggregate characterized by a high porosity. Mortar of hemp and limes are also porous materials with pores of different sizes. This porosity enables to justify a moderate compressive strength ( $R_c \approx 2\text{MPa}$ ), a high acoustical absorption, a low thermal conductivity of about  $0,1\text{W/m}^\circ\text{C}$  and finally, a high capacity to regulate relative humidity transfers. (winter and summer comforts). An experimental study is presented. Performances of hemp lime concrete are compared to those of aerated autoclaved concrete and vertically perforated bricks. It is shown that for hemp lime concrete, humidity transfers and phase changes influence dramatically the thermal performances whereas for the other materials, thermal conductivity represents well the bulk thermal behaviour. Numerical simulations are presented.

*KEYWORDS :* Hemp lime concrete, physical characterization, hygro thermal transfer

---

## 1. INTRODUCTION

Le mortier de chanvre est un matériaux constitué d'un mélange dans des proportions très variables de particules de chanvre (chènevotte) d'origine végétale, de chaux et d'eau. Le chanvre ou « Cannabis Sativae » est une plante annuelle et herbacée de la famille des Cannabinacées, utilisée depuis plus de 6000 ans par l'être humain. Elle était en particulier très prisée pour la qualité de ses fibres. La plante de Cannabis est constituée en deux parties : les graines, la tige. La tige est ensuite séchée et concassée.

Les fibres sont séparées du reste de la tige, formé de copeaux de bois appelés chènevotte. Les particules de chènevotte ont une forme géométrique du type parallélépipédique.

L'intérêt de ce matériau intégrant de la matière végétale est de stocker du CO<sub>2</sub> dans un matériau enveloppe de bâtiment. La plantation de chanvre est une excellente tête d'assolement qui nécessite très peu d'entrant (pas de pesticide, pas de traitement et pas d'irrigation). De plus, pour le domaine de la construction, une analyse du cycle de vie (Boutin et al., 2005) montre que le béton de chanvre et chaux, pour l'ensemble de son cycle d'existence le bilan global permet de stocker par mètre carré de mur en 30 cm d'épaisseur 35 kg de CO<sub>2</sub>. Au delà de ses qualités environnementale bien établies, il convient maintenant de mesurer les performances de ce matériau comme enveloppe du bâtiment.

Après une présentation rapide des matières premières, l'article propose une analyse des comportements mécaniques, acoustiques et thermiques dans les paragraphes suivants. Enfin, en conclusions quelques exemples de réalisations seront commentés.



*Fig. 1 : De g. à dr., plant de chanvre, tige sèche et outil de défibrage ancestral, chènevotte en vrac, particule poreuse en grossissement, image en tomographie d'une particule (Laboratoire MATEIS)*

## 2. MELANGE DE CHANVRE ET CHAUX

Une nouvelle technique basée sur analyse d'image a été développée afin de caractériser la morphologie des particules de chanvre (Ceyte, 2008). Cette technique permet de définir longueur et largeur des particules.

*Fig. 2 : Analyse granulométrique d'un échantillon de chènevotte à partir d'une analyse d'image (longueur, largeur) en fréquence et en nombre cumulé de particules.*

Une analyse de la granulométrie d'un échantillon de particules issu de la production de La Chanvrière de l'Aube est présentée Fig.2. Elles ont pour dimensions moyennes  $2*0,5*0,2 \text{ cm}^3$ .

Grâce à des mesures réalisées par tomographie (Laboratoire Mateis - Lyon), (Ceyte, 2008) prouve que la particule contient une très forte porosité (60%) constituée par des tubes parallèles de faible diamètre (diamètre moyen de 0,08mm). C'est donc une matière première légère. La chènevotte en vrac présente une masse volumique de l'ordre de  $110\text{kg/m}^3$ . Cette porosité associée à la souplesse des membranes végétales confère aux particules une grande capacité à se déformer (Arnaud *et al.*, 2001).

Cette porosité est également à la base des performances thermiques et acoustiques des mortiers présentées au §3.

La chènevotte est mélangée à un liant formulé (BCB-Tradical PF70 noté T70 à base de chaux aérienne). Ce liant présente une masse volumique de l'ordre de  $1050\text{kg/m}^3$ . Les essais réalisés ont montré un très bon fonctionnement en mélange avec la chènevotte. Le comportement mécanique de ce liant seul est classique, élasto-plastique avec une rupture fragile ( $E \approx 500 \text{ MPa}$  et  $\sigma_{\text{rupt}} \approx 6 \text{ MPa}$ ).

L'intérêt de cet assemblage est tout d'abord qu'une large gamme de dosages de liant est possible avec la chènevotte : pour les faibles dosages de liant (18% en masse), un mortier très léger et donc isolant thermique et phonique est obtenu ( $\rho_{\text{SEC}} \approx 200 \text{ kg/m}^3$ ), pour les plus forts dosages,  $\rho_{\text{SEC}}$  peut alors atteindre  $800 \text{ kg/m}^3$  afin de privilégier le comportement mécanique du béton (cf. Fig. 3). Trois mélanges types (voir Tab. 1) ont été mis au point afin de répondre aux exigences définies par les *Règles professionnelles de la construction en chanvre* (Commission RP2C, 2005) pour trois types d'applications différentes : le remplissage de comble en toiture, le montage de mur et la réalisation de dalle isolante. Une 4<sup>ème</sup> formulation est également possible pour une application comme enduits isolant.



Fig. 3 (de g. à dr.) : Aspects des mortiers de chanvre frais en fonction de dosages croissants en liant.

	Composition massique (kg)			Pourcentages massiques initiaux		
	Chanvre	T70	Eau	Chanvre	T70	Eau
Toit	110	108	221	25,1%	24,6%	50,3%
Mur	110	225	332	16,5%	33,7%	49,8%
Dalle	110	269	393	14,2%	34,8%	50,9%

Tab. 1 : Composition des formulations type à base de chènevotte LCDA<sup>®</sup> et de liant Tradical PF70<sup>®</sup>.

### 3. PERFORMANCES TECHNIQUES DES MORTIER DE CHANVRE ET CHAUX

Dans le cadre de différents travaux conduits au laboratoire notamment (Cerezo, 05) et (Samri, 08), les propriétés mécaniques, acoustiques et thermiques ont été déterminées pour une large gamme de mélanges. Une rapide présentation suit.

### 3.1. PROPRIETES MECANIQUES

Le mélange des particules de chanvre souple et déformable dans un liant plus rigide et fragile est fortement dépendant du dosage en liant. Les bétons de chanvre présentent un comportement élastoplastique dès les plus petites déformations avec un comportement fortement ductile après le pic de contrainte (Fig. 4). Ce comportement mécanique est observé aussi bien pour des essais de compression simple que pour les essais de flexion. La prise aérienne de la chaux conduit à une évolution lente des caractéristiques mécaniques (cf. Tab. 2).

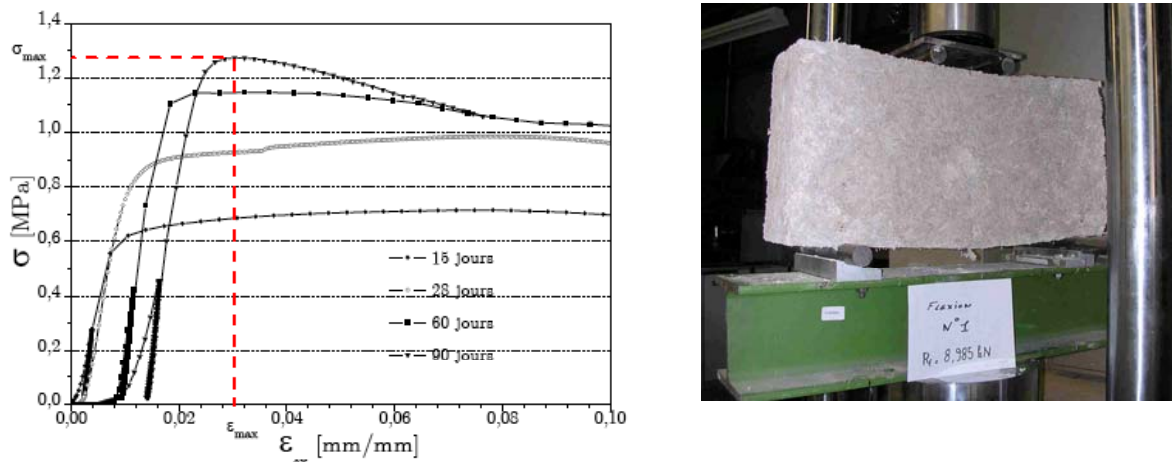


Fig. 4 : Essais de résistance à la compression simple à g. et échantillon sollicité en flexion à dr.

Dosage en liant	Concentration volumique liant	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$R_e$ (MPa)	E (MPa)	$\epsilon_{max}$
Faible	10%	250	0,25	4	0,15
Intermédiaire	19% à 29%	350 à 500	0,35 à 0,80	32 à 95	0,05 à 0,06
Fort	40%	600 à 660	1,3	140 à 160	0,04

Tab. 2 : Bilan des performances mécaniques à 90 jours en fonction du dosage en liant (Cerezo, 2005).

Ces caractéristiques mécaniques permettent aujourd'hui une large utilisation de ce matériau dans le domaine du bâtiment. Cependant, les résistances maximales modérées nécessitent l'utilisation d'une structure porteuse éventuellement noyée dans le béton de chanvre utilisé alors comme matériau de remplissage. Le caractère ductile du matériau ainsi que les fortes déformations admissibles sont particulièrement intéressants pour s'adapter aux déformations induites soit par de légers mouvements de terrain, soit par de faibles tassements différentiels du sol de fondation.

### 3.2. ABSORPTION ACOUSTIQUE

La forte porosité du matériau et sa souplesse mécanique nous ont conduit à la mesure des propriétés d'absorption des bétons de chanvre. Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'un tube de Kundt sur des échantillons de 20cm d'épaisseur (Cerezo, 2005).

Les résultats sont présentés Fig. 5. Il apparaît pour toutes les fréquences du domaine audible, le coefficient d'absorption acoustique reste supérieur à 0,5 ce qui physiquement signifie que le matériau absorbe plus de la moitié de l'énergie véhiculée par les ondes sonores. Ceci se justifie aisément en considérant le réseau poreux « multi » échelles que présente naturellement les bétons de chanvre :

pores intra-liant, pores intra-chênevotte et pores formés par l'arrangement macroscopique imparfait des particules dans le mélange. Par effet visqueux, l'air est freiné dans ce réseau poreux et les ondes sonores sont atténuées.

Il apparaît alors possible d'adapter la formulation du béton de chanvre afin de dimensionner un béton de chanvre afin d'optimiser l'absorption acoustique d'un spectre sonore donné.

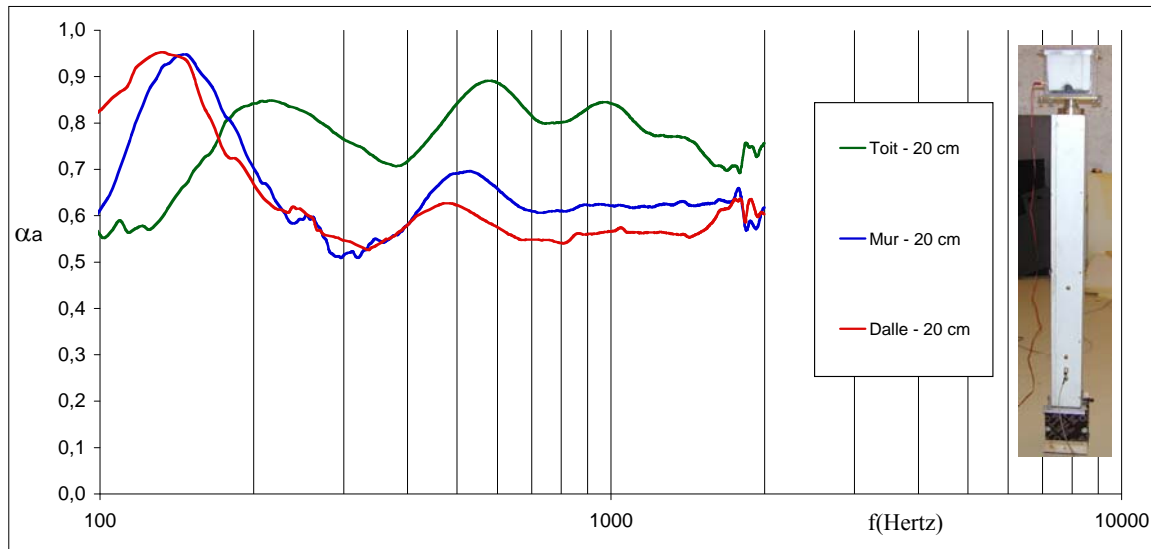


Fig. 5 : Coefficient d'absorption acoustique pour les trois formulations de base du béton de chanvre.

### 3.3. COMPORTEMENT HYGROTHERMIQUE

Le comportement des bétons de chanvre a initialement été étudié d'un point de vue thermique afin d'obtenir les valeurs de la conductivité, grandeur qui est quasi exclusivement utilisée aujourd'hui pour évaluer les matériaux dans ce domaine ! Ces mesures ont été réalisées en régime permanent avec la méthode des boîtes entre 0 et 20°C. Des formulations et donc des échantillons de masses volumiques très différentes ont été testées. De plus, les mêmes éprouvettes ont été testées à nouveau après un séjour de quelques jours dans une enceinte climatique avec différentes conditions d'humidité relative (50 et 75 % HR) jusqu'à stabilisation de leur état hydrique (stabilisation de la masse).

Plusieurs remarques sont formulées. Le niveau de la conductivité thermique  $\lambda$  varie en fonction du dosage en liant entre 0,064 et 0,09 W/(m.K). Ce matériau, poreux et léger, est donc un très bon isolant thermique du même niveau que les bétons cellulaires par exemple.

Cependant, la forte sensibilité à l'humidité relative du matériau et notamment des particules de chanvre poreuse semble défavorable puisque on observe une variation pouvant atteindre 30% de la conductivité thermique lorsque une éprouvette séjourne dans une ambiance humide. La conductivité thermique de l'eau liquide qui se condense dans les pores (condensation capillaire) justifie cette augmentation sensible. Il est important de souligner ici que tous les matériaux poreux sont sensibles à ces échanges hygroscopiques avec l'air ambiant et par conséquent, leurs performances thermiques en sont inéluctablement modifiées.

Un travail a donc été initié afin d'évaluer l'impact de ces échanges hygrothermiques sur le comportement de matériaux enveloppes comme le béton cellulaire, les briques alvéolées en terre cuite

et le béton de chanvre (Arnaud, Samri, 2005) et (Samri, Arnaud, 2006). Des échantillons ont été soumis à différentes sollicitations (de type échelon et d'autres de type cyclique) tant en température qu'en humidité relative.

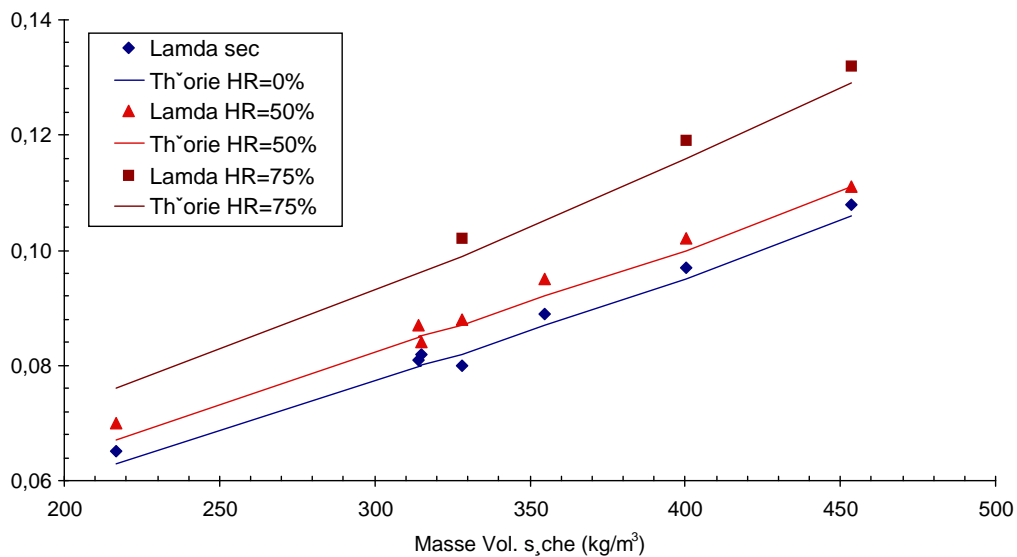


Fig. 6 : Comparaison des valeurs de conductivité thermique pour différentes formulations (points = expériences, ligne = modélisation) et cas des mêmes échantillons soumis à des HR différentes.

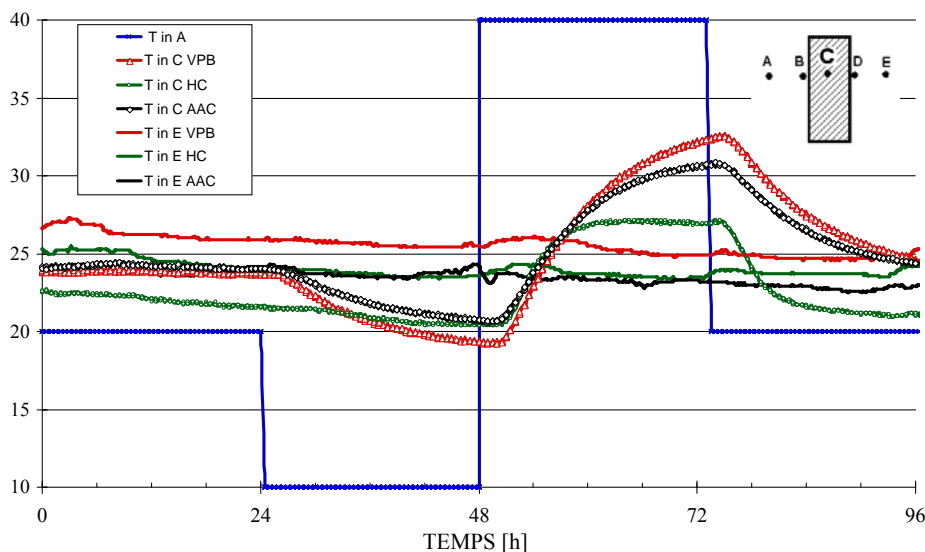


Fig. 7 : Réponse à des échelons de température, comparaison de murs en béton cellulaire (AAC), en briques alvéolaires de terre cuite (VPB) et en béton de chanvre (HC), les lignes continues représentent l'évolution de la température du laboratoire considérée comme constante au cours du temps et pour l'ensemble des matériaux.

Un exemple de comparaison est donné figure 7 où les évolutions des 3 matériaux sont comparées pour un point situé au centre du mur (épaisseur = 30cm pour les 3 murs). On observe de manière très claire une moindre amplitude de température pour le mur constitué de béton de chanvre. Cela montre une meilleure isolation alors même que les conductivités de ces matériaux sont proches !

Comme expliquer une telle différence ? Les courbes d'évolution de la teneur en humidité au sein de matériau montrent une variation également plus marquée pour le béton de chanvre. Il semble possible

de justifier ce comportement thermique par les transferts de masse et d'énergie liée à l'humidité relative.

Un travail de modélisation à l'aide du logiciel COMSOL® a été développé. Les modélisations réalisées sont comparées aux mesures expérimentales (Fig. 8). Dans une première approche, seuls les termes conductif et inertiel sont considérés dans l'équation de la chaleur. Les valeurs des masses volumiques et chaleurs massiques sont déterminées à partir des formulations des bétons, pour les conductivités thermiques, les valeurs sont déduites d'une méthode théorique d'homogénéisation autocohérente (lignes continues de la Fig. 4) (Cerezo, 2005). Il apparaît très clairement que ces modèles permettent d'excellentes prédictions pour le béton cellulaire et les briques de terre cuite : la conduction semble être le phénomène prédominant. En ce qui concerne le béton de chanvre, plus performant, cette modélisation est insuffisante, il est nécessaire de poursuivre le travail en considérant les transferts d'humidité relative et en tenant compte des effets énergétiques de changements de phase de l'eau au sein du matériau.

Ce travail est en cours de réalisation dans le cadre d'un projet PREBAT.

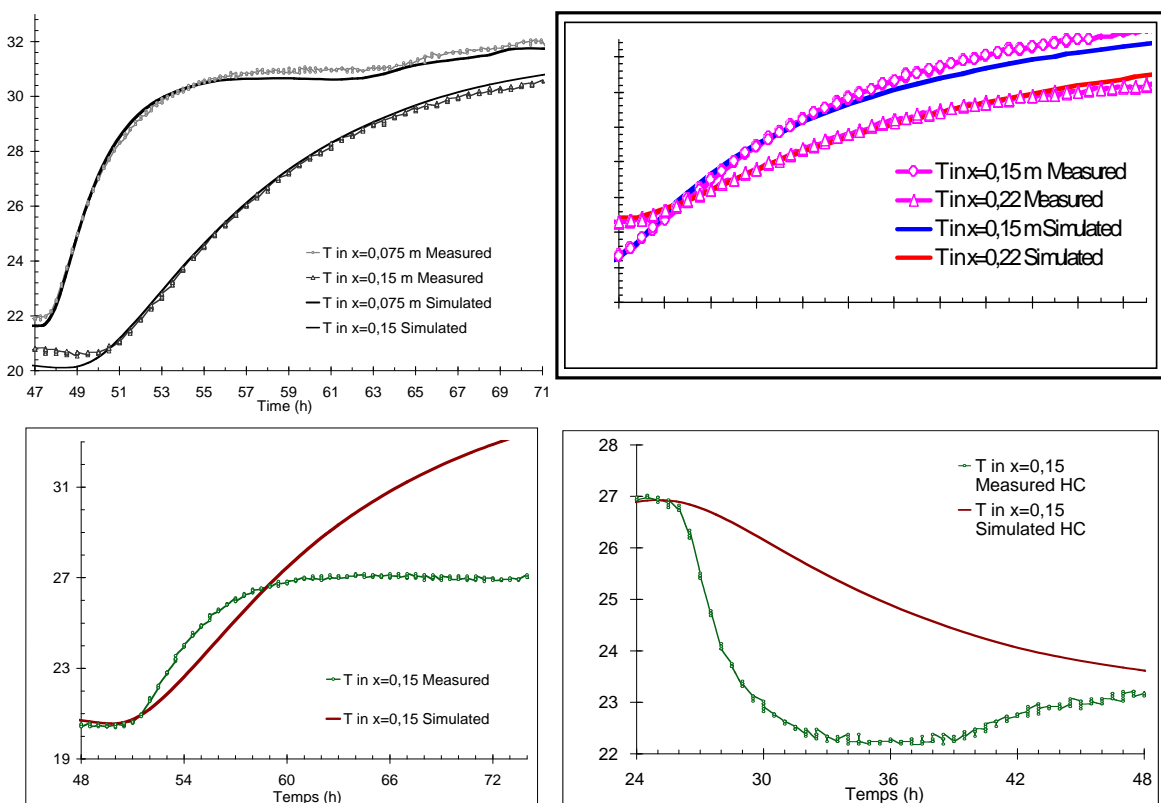


Fig. 9 : Comparaison des modélisations pour des systèmes purement conductifs (en h. et à g. béton cellulaire, en h. et à dr., les briques de terre cuite et en bas, deux exemples pour le béton de chanvre.

#### 4. CONCLUSIONS

Cet article a permis de faire une synthèse des propriétés de béton de chanvre. Ce béton est un mélange en proportions très variables de liant, de particules végétales issues de la tige de chanvre et d'eau. Différentes formulations peuvent donc être utilisées à partir des mêmes matières premières.



Les performances mécaniques, acoustiques et thermiques sont fortement dépendantes de ces mélanges. Il apparaît donc tout à fait possible de dimensionner ces formulations afin de répondre à des objectifs précis : par exemple, d'isolation thermique en toiture ou en rénovation de logements peu performants thermiquement, ou encore comme absorbant acoustique dans des locaux afin d'en améliorer le confort. Les grandeurs essentielles sont maintenant disponibles ou accessibles grâce à des modélisations afin de réaliser ces formulations optimisées. Le béton de chanvre apparaît alors comme un matériau multi fonction.

Ces résultats sont également confortés par des mesures sur site réel. Un exemple est donné par une rénovation d'une maison diocésaine à Chalon en Champagne (Cabinet Méandre) qui a obtenu sur ce travail le prix Observ'Er. La réhabilitation complète des locaux a beaucoup modifié l'agencement intérieur. Cependant d'un point de vue thermique, une isolation par l'intérieur des murs a été conduite avec un enduit épais isolant de 5 à 10 cm suivant les irrégularités des murs. La moyenne de consommation actuelle de ces locaux est d'environ 320kWh/m<sup>2</sup>/an. Après deux années d'observation, la consommation réelle enregistrée est de l'ordre de 75kWh/m<sup>2</sup>/an. Il semble incontournable aujourd'hui de considérer dans les simulations des performances thermiques, toutes les composantes physiques des transferts afin de bien évaluer la réalité. Il en va de la pertinence du classement thermique des bâtiments.

## 5. BIBLIOGRAPHIE

- Arnaud, L., Cerezo, V. Qualification physique des matériaux de construction à base de chanvre. Rapport final de recherche CNRS 0711462, Lyon : ENTPE–DGCB–URA, 2001, 91 p. (+ annexes).
- Arnaud, L., Samri, D. (2005). Hygro-thermal behaviour of building porous materials. *Poromechanics III-Biot Centennial (1905-2005), Proceedings, 3rd Biot Conference on Poromechanics*, A.A. Balkema, Leiden/London/New York/Philadelphia/Singapore, 761 - 766.
- Arnaud, L., Samri, D. (2006). Réponse scientifique et technique des matériaux chanvre, 3<sup>ème</sup> Assises de la construction du chanvre. 28 Septembre 2006. Paris.
- Boutin, MP., Flamin, C., Quinton, S., Gosse, G. (2005). Analyse du cycle de vie : Compounds thermoplastiques chargés fibres de chanvre et Mur en béton de chanvre banché sur ossature bois. Rapport d'Etude INRA Lille, Réf. MAP 04 B1 0501. Lille.
- Ceyte I. (2008). *Béton de chanvre, définition des caractéristiques mécaniques de la chènevotte*. Travail de Fin d'Etudes, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, Vaulx-en-Velin.
- Cerezo V. (2005). Propriétés mécaniques, thermique et acoustique d'un matériau constitué à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique. Thèse de doctorat, MEGA ENTPE.
- Commission RP2C, Règles professionnelles d'exécution d'ouvrages en Béton de Chanvre, Edition FFB, Commission RP2C, 2006.
- Arnaud L., Cerezo V et Samri D., Particules et fibres végétales dans la construction : au-delà du challenge écologique, quels intérêts techniques ?, Conférence ADEME, juin 2005
- Samri, D., Arnaud, L. (2006). Assessment of Heat and Mass Transfers in Building Porous Materials, *Conférence EPIC*, Lyon, p. 239-246.