

Synthèse de l'opération de recherche stratégique et incitative



Matériaux biosourcés et naturels
pour une construction durable

Sandrine Marceau, Sabine Caré, Pilar Lesage

Mai 2016

Introduction

Sandrine Marceau, Sabine Caré, Pilar Lesage

Le programme de recherches Mabionat est le fruit d'une collaboration entre les laboratoires de l'Ifsttar et du Cerema sur la thématique des matériaux biosourcés et naturels utilisés dans la construction. L'objectif est de contribuer à une meilleure connaissance du comportement des matériaux ou des structures sous des sollicitations complexes dans le but de fournir des outils méthodologiques et de faire progresser les règles de construction.

Différents thématiques ont été particulièrement étudiées dans Mabionat : l'estimation de la durée de vie de différents types de matériaux (composites à matrice organique renforcée par des fibres végétales, isolants à base de granulats végétaux, peintures formulées à partir d'agroressources), les systèmes de constructions multi-matériaux à base de bois et de paille, le comportement hygrothermique des matériaux de construction biosourcés. Pour tous ces thèmes, des approches multiéchelles et pluridisciplinaires ont été utilisées pour obtenir une vision globale des propriétés de ces matériaux.

Ce document présente la synthèse des résultats obtenus dans Mabionat, organisés en quatre thématiques :

- propriétés des matériaux,
- durabilité,
- instrumentation de bâtiments réels,
- évaluation environnementale et fin de vie.

Il montre les avancées des travaux réalisés par les équipes de recherches impliquées. Tous les renseignements sur Mabionat sont regroupés sur le site internet <http://mabionat.ifsttar.fr>, et la liste des livrables sera régulièrement actualisée. L'accès à la plupart des documents sera également possible.

La liste des équipes ayant participé à Mabionat figure également en fin de document, avec les contacts associés afin de pouvoir prolonger les contacts créés par le projet.

Les pilotes de Mabionat

Sandrine Marceau, Ifsttar, MAST, CPDM

Sabine Caré, Ifsttar, MAST, Navier

Pilar Lesage, Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand

Les matériaux biosourcés dans la construction

Guillaume Derombise

Chef de projet « structuration et développement des filières de matériaux de construction biosourcés », DHUP, ministère de l'Écologie, de l'Environnement et de la Mer, ministère du Logement et de l'Habitat durable

Les matériaux biosourcés (bois, chanvre, textiles recyclés, ouate de cellulose, paille, lin...) sont une réponse possible à la diminution de l'empreinte environnementale du bâtiment, du fait de leur caractère renouvelable, de leur capacité à stocker le carbone atmosphérique et pour certains procédés, de leur faible énergie grise. Au-delà de ces atouts environnementaux, la valorisation de ces ressources locales constitue un véritable levier de création de valeur ajoutée et d'emplois non-délocalisables dans les territoires.

Dès mars 2010, la filière des matériaux biosourcés a été identifiée, par le Commissariat général au développement durable (CGDD), comme l'une des 18 filières vertes ayant un potentiel de développement économique élevé pour l'avenir. Le volontarisme des pouvoirs publics s'est notamment concrétisé par différentes mesures réglementaires introduites par les lois Grenelle (label « bâtiment biosourcé », etc.) puis par la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte qui précise dans son article 5 que « l'utilisation des matériaux biosourcés concourt significativement au stockage de carbone atmosphérique et à la préservation des ressources naturelles » et qu'« elle est encouragée par les pouvoirs publics lors de la construction ou de la rénovation des bâtiments ».

Ces mesures réglementaires se sont accompagnées de mesures opérationnelles et structurantes portées par la Direction de l'habitat de l'urbanisme et des paysages¹ (DHUP). En juin 2010, la DHUP a ainsi engagé des travaux de concertation avec les professionnels du bâtiment, les administrations concernées et les représentants des filières de matériaux de construction biosourcés pour identifier les obstacles au développement économique des entreprises du secteur et les actions collectives à mettre en place pour lever les freins. Ce travail s'est traduit par la mise en place en 2010 d'une démarche collective traduite au travers d'un 1er plan d'actions « matériaux de construction biosourcés » piloté par la DHUP, puis à partir de 2014 d'un second plan qui poursuit les mêmes objectifs.

Parmi les enjeux identifiés, la recherche et l'innovation apparaît comme un enjeu prioritaire pour le développement de la filière. En effet, en dehors de quelques applications traditionnelles, l'utilisation des matériaux biosourcés sous leur forme actuelle est relativement récente dans la construction. Les spécificités de ces matériaux ne sont pas complètement valorisées et le champ d'investigation reste très vaste, du fait de la grande diversité de la ressource mobilisable en France. Différentes actions ont ainsi été initiées dans le cadre du plan d'actions de la DHUP afin de répondre à cet enjeu : structuration d'un réseau de compétences au sein du Cerema, création d'une communauté scientifique « biosourcés » animée par Karibati², accompagnement et soutien de programmes de R&D tels que l'opération de recherche « Mabionat » (Matériaux BIOSourcés et NATurels pour une construction durable) pilotée par l'Ifsttar et le Cerema, etc.

L'objectif de l'opération de recherche « Mabionat » est de contribuer à une meilleure connaissance du comportement des matériaux ou des structures soumises à des sollicitations complexes dans le but de fournir des outils méthodologiques et de faire progresser les règles de construction. Différents matériaux et systèmes ont été étudiés : composites à matrice organique renforcée par des fibres végétales, isolants à base de granulats végétaux, peintures végétales, systèmes multi-matériaux à base de bois et de paille, etc. Ces travaux ont apporté des réponses sur les performances mécaniques, acoustiques et thermiques,

¹ Sous cotutelle du ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et du ministère du Logement et de l'Habitat durable

² www.karibati.fr/developper/communaute-scientifique

le comportement hygrothermique et la pérennité des propriétés de ces matériaux en fonction de différentes conditions d'utilisation. Par ailleurs, l'intérêt environnemental lié à l'utilisation des matériaux biosourcés a été investigué et précisé au travers d'analyses de cycle de vie. Le présent document fait un bilan de ces 3 années de recherche collaborative entre le Cerema et l'Ifsttar.

Si des réponses concrètes ont été apportées grâce à ces travaux, ils doivent se poursuivre pour aller plus loin encore sur la compréhension des propriétés intrinsèques (en particulier le comportement hygrothermique, véritable avantage compétitif des matériaux biosourcés), l'évaluation des performances dans le temps, et confirmer l'intérêt technique et environnemental de ces solutions, afin de démontrer à l'ensemble des acteurs de la construction que les matériaux biosourcés sont une alternative pertinente aux systèmes constructifs plus « conventionnels ».

Sommaire

Thème 1 - Propriétés des matériaux

Propriétés thermo-hygro-mécaniques du bois et de multimatériaux à base de bois : effet des chargements hydriques	6
Constitution d'une base de données acoustiques des matériaux biosourcés	8
Caractérisations granulométriques de granulats biosourcés	10
Comparaison entre modèle et mesures expérimentales du comportement hygrothermique d'une paroi en terre-paille	12
Construction en paille porteuse : propriétés des enduits de terre et adhérence sur support paille	14
Les différents systèmes constructifs mixtes bois-béton et leurs performances hygrothermiques	16

Thème 2 - Durabilité

Vieillessement chimique et microstructural d'une peinture époxy biosourcée Étude de la sensibilité vis-à-vis d'un développement fongique	20
Vieillessement hydro et hygrothermiques de composites PE/ fibres de lin	22
Durabilité d'isolants contenant des granulats végétaux	24
Vieillessement de bétons de chanvre	26
Le développement fongique sur les matériaux bio-sourcés	28
Effet de l'eau sur la durabilité de béton de chanvre	30

Thème 3 - Instrumentation de bâtiments réels

Comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés d'une habitation en conditions réelles de fonctionnement	34
Suivi des performances acoustiques et hygrothermiques de la Maison du tourisme de Troyes.	36
Comparaison des performances hygrothermiques réelles d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomurs	38

Thème 4 - Évaluation environnementale et fin de vie

Recyclage du béton de chanvre	42
FDES des bétons biosourcés : cas d'un béton de lin	44
Approche d'éco-conception basée sur l'analyse de cycle de vie : application au cycle de vie du béton de chanvre	46

Annexes

Liste des livrables	50
Liste des équipes ayant participé à l'ORSI Mabionat	54
Programme des journées de clôture Mabionat	55

Thème 1

Propriétés des matériaux



Propriétés thermo-hygro-mécaniques du bois et de multimatériaux à base de bois : effet des chargements hydriques

Mots clefs : *Bois, comportement thermo-hygro-mécanique, endommagement, expérimentation, gonflement, humidité, imagerie, modélisation*

Objectifs

L'objectif de ces recherches est de promouvoir l'usage du bois en tant que matériau de structure ou d'enveloppe, pour la construction neuve ou la réhabilitation ou pour des ouvrages de génie civil. Les travaux menés dans le cadre de ce sujet doivent permettre de contribuer à une meilleure compréhension des phénomènes en jeu afin de pouvoir favoriser l'utilisation du matériau bois, optimiser ou faire évoluer les matériaux à base de bois utilisés dans la construction. Les travaux menés concernent plus précisément les multi-matériaux à base de bois (structures mixtes bois-béton ou bétons de granulats de bois) et le bois massif dont on cherche à évaluer les performances notamment sous l'effet de sollicitations hydriques.

Résultats

1. Multi-matériaux à base de bois – Structures mixtes bois-béton, [Louisa Loulou, 2013]

La mixité bois-béton est une solution intéressante dans le domaine des ouvrages d'art pour la réalisation de ponts, et dans le domaine du bâtiment dans la confection de planchers mixtes bois-béton. Les travaux réalisés à Navier ont montré que le collage permet d'améliorer les performances de ces structures mixtes par rapport à d'autres types de connexion.

Les travaux menés sur la durabilité de structures mixtes bois-béton collés ont permis de déterminer les facteurs qui influent sur la tenue de ces assemblages collés sous chargement hydrique, via des tests de cisaillement de type *push-out*, de mesures locales des déformations induites (fig. 1), couplées à de la modélisation numérique. Ces différentes investigations ont permis de proposer des solutions optimisant ce type de connexion et de définir des conditions de mise en œuvre et d'utilisation de ces assemblages, tenant compte en particulier du caractère anisotrope et hygroscopique du bois.

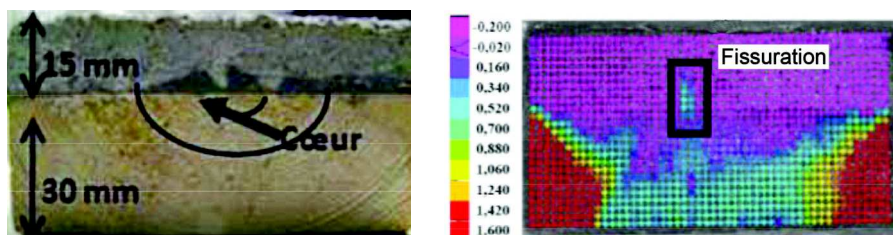


Fig. 1 : assemblage épicea-BFUP et observation par corrélation d'images numériques d'une fissure dans le béton induite par un chargement hydrique dans le plan transverse du bois

2. Multi-matériaux à base de bois – Bétons de bois, [Abdessamad Akkaoui, 2014]

Les bétons végétaux, composés de particules végétales et d'un liant minéral, constituent une solution à explorer pour limiter l'impact environnemental du bâtiment – en construction neuve ou rénovation, notamment grâce à leurs performances thermiques. Leur utilisation est conditionnée à une meilleure connaissance de leur tenue sous variations hydriques.

Le travail a permis de contribuer à la caractérisation de ces matériaux complexes et à l'évaluation de leurs comportements mécanique, thermique et hydromécanique. La stratégie utilisée a consisté à combiner l'expérience et la modélisation pour mieux comprendre les mécanismes mis en jeu et in fine optimiser leurs propriétés vis-à-vis des variations hydriques en lien avec leur formulation. Des endommagements au niveau des interfaces granulats végétaux et liants ont été aussi observés.

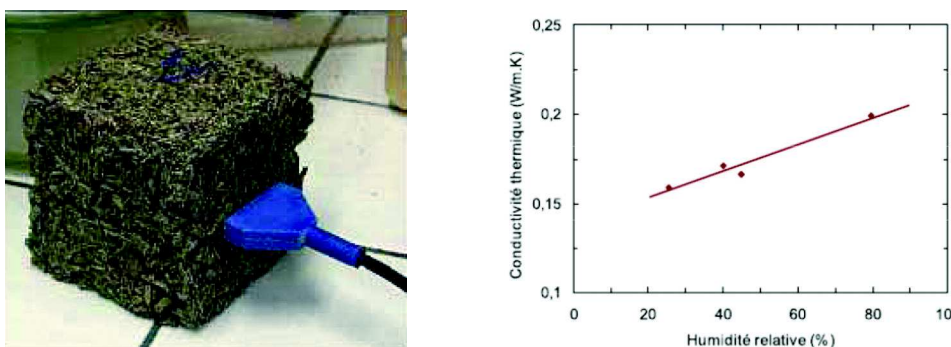


Fig. 2 : béton de bois et mesure des propriétés thermiques, effet de l'humidité relative (cas C/B = 1,75 - masse de ciment/masse de bois)

3. Comportement hydro-mécanique du bois, [Marie Bonnet, en cours]

L'utilisation du bois dans la construction peut être limitée du fait de son manque de stabilité en condition de service : ses propriétés physiques et mécaniques sont en effet sensibles aux variations climatiques qui influent directement sur l'humidité du bois. Pour envisager un dimensionnement pertinent et maîtrisé des structures, la sensibilité des propriétés physiques et mécaniques à l'eau du bois et les effets des sollicitations thermo hydro-mécaniques doivent être étudiées.

Les travaux portent plus précisément sur la problématique de la variabilité des propriétés mécaniques et physiques. Le comportement hygromécanique du bois est étudié par observation tridimensionnelle d'échantillons, par microtomographie aux rayons X (fig. 3), soumis *in situ* à une sollicitation hydrique. Les déformations globales et locales des éprouvettes sont obtenues par corrélation d'images volumiques et des liens sont établis entre des éléments microstructuraux et le comportement hygromécanique anisotrope du bois.

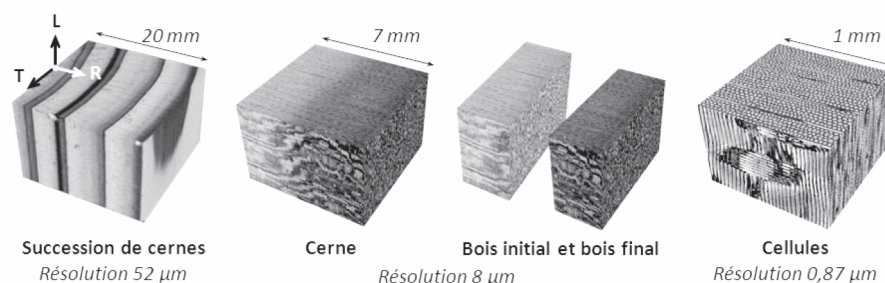


Fig. 3 : échelles du bois observées par microtomographie aux rayons X (tomographe du laboratoire Navier et synchrotron Soleil)

Références

Louisa Loulou, *Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique*. Thèse de doctorat, université Paris-Est, **2013**.

Abdessamad Akkaoui, *Bétons de granulats de bois : étude expérimentale et théorique des propriétés thermo-hydro-mécaniques par des approches multi échelles*. Thèse de doctorat, université Paris-Est, **2014**.

Marie Bonnet, *Analyse du comportement hygromécanique du bois par imagerie et modélisation multi-échelle*. Thèse de doctorat, université Paris-Est, en cours (**2014-**).

Auteurs

Abdessamad Akkaoui, Marie Bonnet, Michel Bornert, Sabine Caré, Robert Le Roy, Louisa Loulou, Matthieu Vandamme

Laboratoire Navier, UMR 8205, École des Ponts, Ifsttar, CNRS, UPE, Champs-sur-Marne, France

Contact

sabine.care@ifsttar.fr

Constitution d'une base de données acoustiques des matériaux biosourcés

Mots clefs : *base de données, matériaux biosourcés, propriétés acoustiques*

Objectif de l'étude

Les matériaux biosourcés sont aujourd'hui des solutions incontournables pour répondre aux problématiques de transition énergétique auxquelles nous devons faire face (diminution de l'énergie grise, optimisation multifonctionnelle, diminution des nuisances), dans de nombreux domaines tels que les secteurs du bâtiment, des infrastructures, de l'automobile.

Ces matériaux font toutefois l'objet à la fois d'une très grande diversité, et pour un même produit d'une importante variabilité. Il paraît donc indispensable de quantifier et qualifier leurs performances, afin de faire connaître plus largement ces solutions aux utilisateurs potentiels, et de pouvoir cibler les matériaux les plus pertinents pour telle ou telle application.

Nous avons donc entrepris dans le cadre du projet MaBioNat, de constituer une première compilation de caractérisations des performances acoustiques des matériaux biosourcés, sous la forme d'une base de données.

Gamme de matériaux couverte

La base de données rassemble les propriétés de plus de 60 matériaux, issus des 4 grandes familles suivantes illustrées figure 1 :

- a) des laines végétales (laines de lin, de chanvre, de coco, de bois ...),
- b) des granulats végétaux en vrac (chènevotte, particules de pin, moelle de tournesol ...),
- c) des bétons végétaux (béton de chanvre, béton de bois),
- d) des panneaux thermoformés (à partir de colza, de lin, de tournesol, ...).



Fig. 1 : catégories de matériaux intégrées à la base de données

Organisation du document

La base de données détaille à la fois les performances évaluées sur les matériaux, et les modèles acoustiques les plus pertinents pour décrire leur comportement. Les différents matériaux étudiés sont ainsi présentés sous le format d'une fiche synthétique reprenant l'ensemble des informations.

Chacune de ces fiches se présente en deux parties comme le montre l'exemple donné figure 2.

- Une partie descriptive de l'échantillon où sont précisées ses caractéristiques (géométrie, masse volumique, composition) et les modèles et paramètres utilisés pour rendre compte de son comportement.
- Un compte rendu des performances évaluées sous la forme d'un double graphique reprenant le coefficient d'absorption et l'indice d'affaiblissement acoustiques moyens mesurés ainsi que les fuseaux encadrant les différences entre échantillons (Sur ces graphes sont en outre matérialisées aux basses fréquences les limites de validité inférieures de la mesure, par des pointillés noirs).

Exemple de fiche matériau

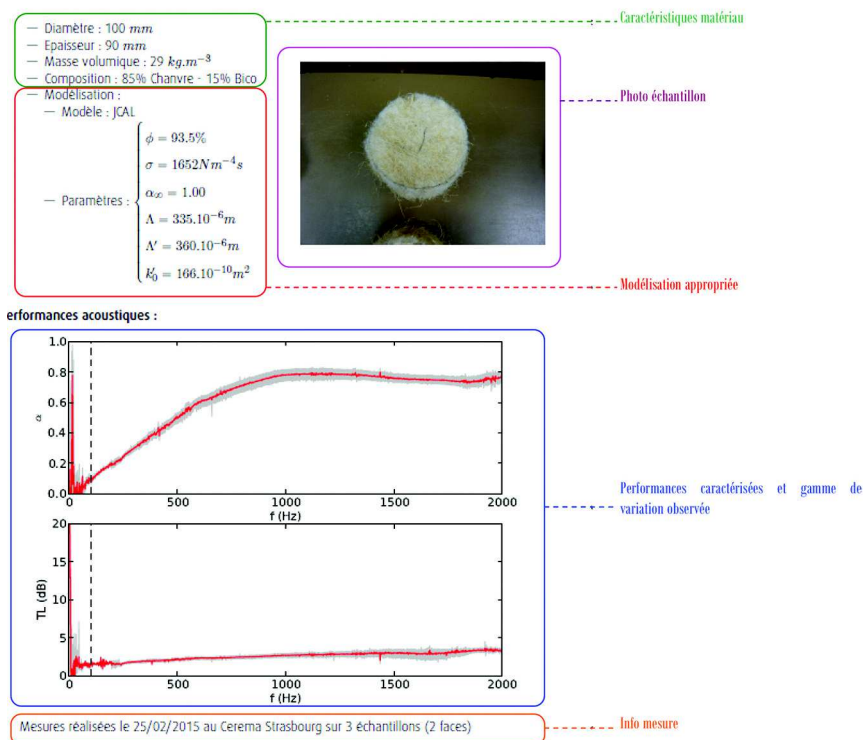


Fig. 2 : exemple de la fiche « laine de chanvre » issue de la base de données

Références

Article de revue

Agricultural by-products for building insulation : acoustical characterization and modeling to predict micro-structural parameters, construction and building materials, P.A. Chabriac, E. Gourdon, P. Glé, A. Fabbri, H. Lenormand, **2016**.

Base de données

Base de données des performances et propriétés acoustiques des matériaux biosourcés, P. Glé et T. Falwisanner, **2015**.

Rapports techniques

Bibliographie sur les méthodes de mesures de l'absorption et de la transmission acoustiques, C. Foy et P. Glé, **2013**.

Bibliographie sur les propriétés acoustiques des matériaux biosourcés, C. Foy et P. Glé, **2013**.

Caractérisation acoustique du chaux-chanvre, Maison du tourisme de Troyes, P. Glé et L. Brendel, **2014**.

Étude de l'influence de la teneur en eau et du vieillissement sur les performances acoustiques et thermiques des matériaux biosourcés, P. Glé et E. Gourlay, **2015**.

Suivi de la durabilité acoustique des matériaux biosourcés : étude d'un dispositif de réduction du bruit urbain, P. Glé et P. Demizieux, **2016**.

Contributeurs

Laurent Brendel, Patrick Demizieux, Thierry Falwisanner, Cédric Foy, Philippe Glé, Étienne Gourlay
Cerema Est – Laboratoire de Strasbourg

Contact

philippe.gle@cerema.fr

Caractérisations granulométriques de granulats biosourcés

Mots clefs :

biosourcé, chanvre, chènevotte, granulométrie, élongation, vidéogranulomètre, méthode alpine, analyse d'images

Objectifs

Les bétons biosourcés présentent des qualités hygrométriques, acoustiques et thermiques importantes et en grande partie obtenues grâce à la présence des granulats biosourcés.

L'étude présentée ici porte sur les granulats de chanvre, encore appelés chènevotte, qui contribuent donc aux propriétés isolantes du béton de chanvre. La chènevotte constitue une part importante de la formulation du béton et ses caractéristiques doivent être maîtrisées afin de contrôler les propriétés du mélange. Les caractéristiques spécifiques de la chènevotte habituellement suivies sont les suivantes : masse volumique, granulométrie, taux d'humidité, taux de poussière, couleur. Ces paramètres sont obtenus à l'aide de protocoles définis dans les règles professionnelles des métiers du chanvre.

Les travaux réalisés dans le cadre de cette opération de recherche ont porté sur les méthodes d'analyse granulométrique des particules de chanvre. La taille et la forme des granulats ont en effet un impact sur le dosage et la maniabilité du mélange ainsi que sur les propriétés du béton qui en découle. Deux méthodes dites classiques, le tamisage et l'analyse d'image, ainsi que deux méthodes développées dans le cadre de cette étude, le tamisage par jet d'air et la vidéogranulométrie, ont été comparées pour caractériser la granulométrie de plusieurs échantillons de chènevotte.

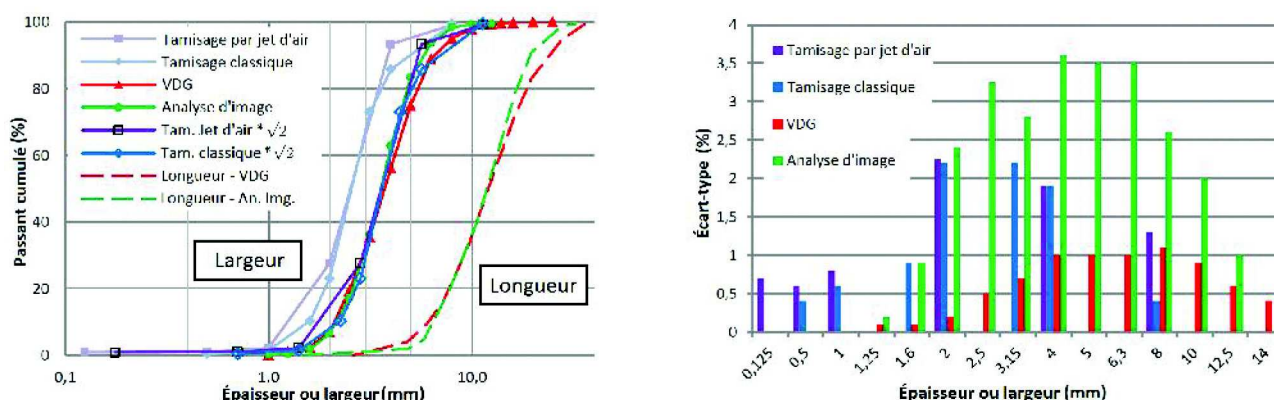
Pour chacune des méthodes, les mesures ont été répétées pour évaluer l'incertitude et la répétabilité des protocoles. De plus, les résultats obtenus ont été comparés entre eux afin de vérifier la correspondance entre les mesures effectuées. Enfin, les différentes méthodes ont été comparées dans leur ensemble en tenant compte des durées d'essais, du matériel nécessaire, de la rapidité et de la facilité d'exécution et de la quantité d'information obtenue.

Résultats

Le premier bilan est que deux méthodes nouvelles permettant de caractériser la granulométrie de la chènevotte ont été développées et appliquées sur plusieurs échantillons :

- La première méthode est le tamisage par jet d'air, adaptée de la NF EN 933-10 qui permet de caractériser la granularité des fillers. Cette méthode se rapproche du tamisage classique à la différence près que l'agitation des particules est ici obtenue avec un aspirateur et donc un mouvement d'air.
- La seconde méthode est basée sur l'utilisation d'un vidéogranulomètre (VDG 40) qui réalise une mesure en continu. Avec ce matériel, les particules sont mécaniquement séparées les unes des autres et acheminées vers un point de chute. Durant leur chute, les particules sont éclairées et leurs ombres sont captées et mesurées par une caméra. Un algorithme transforme ensuite les ombres obtenues en deux grandeurs : la largeur et la longueur de chaque particule. À noter qu'un pré-tamisage à 1 mm est effectué puisque la résolution de mesure du VDG est de 0.2 mm.

Les principaux résultats d'essai obtenus sont présentés ci-dessous. À gauche, le graphique montre les courbes granulométriques obtenues avec les différentes méthodes en largeur et en longueur (pour l'analyse d'image et le VDG uniquement). Les deux courbes isolées sur la partie gauche du graphique correspondent aux résultats des méthodes par tamisage avant l'application d'un coefficient rectificatif. En effet les particules de chanvre étant peu épaisses en regard de leur largeur et longueur, elles passent en diagonale à travers les mailles carrées des tamis. Une particule passant à travers une maille de largeur d sera donc considérée comme passante à travers une maille de largeur $\sqrt{2} d$. À droite, le graphique montre les écarts-types mesurés selon les méthodes d'analyse granulométrique.



Les courbes granulométriques obtenues pour chacune des méthodes sont très proches entre elles, ce qui prouve la bonne correspondance des résultats des méthodes développées dans le cadre de cette étude avec les méthodes usuelles. Les écarts observés en certaines zones du graphique sont principalement dus au non lissage des courbes et au nombre de points limités par le nombre de tamis utilisés.

Les valeurs des écarts-types obtenues montrent une disparité importante pour la méthode d'analyse d'image, moyenne pour les méthodes par tamisage et très faible pour le vidéogranulomètre. Ces résultats s'expliquent en grande partie par les masses d'essai et donc la représentativité des échantillons utilisés pour les essais : quelques grammes pour l'analyse d'image, quelques dizaines de grammes pour les tamisages et quelques centaines de grammes pour le vidéogranulomètre.

Les principales conclusions sur les différentes méthodes sont les suivantes :

- La méthode d'analyse d'image, bien que très complète en termes d'information sur les particules, présente l'inconvénient majeur d'une représentativité limitée et d'une durée d'essai importante. Elle est peu adaptée au suivi d'une production.
- Les méthodes par tamisage sont indispensables pour l'obtention du taux de poussière et de manière plus générale pour quantifier les éléments fins (inférieurs à 1 mm).
- L'association du vidéogranulomètre et d'une méthode par tamisage permet une caractérisation complète (largeur, longueur et quantité d'éléments fins) et très représentative d'un échantillon de masse importante de chènevotte.

Références

Rapport d'études

Opération de recherche MaBioNat, caractérisation de granulats biosourcés, février 2015

Article ICBBM

Characterization of hemp aggregates , comparison of several size analysis, juin 2015

Contacts

Sébastien Liandrat, Martine Trauchessec, Loïc Blachère,
laboratoire de Clermont-Ferrand de la Dir. Ter. Centre-Est – Cerema

Sofiane Amziane, Polytech Clermont-Ferrand

Comparaison entre modèle et mesures expérimentales du comportement hygrothermique d'une paroi en terre-paille

Mots clefs : instrumentation, modélisation, terre-paille, transferts hygrothermiques

Objectifs

Avec la RT 2012 et ses évolutions futures, il est devenu incontournable d'avoir recours à la simulation thermique dynamique pour concevoir un bâtiment énergétiquement performant et conforme à la réglementation. Hors, les propriétés hygrothermiques des matériaux biosourcés dont le terre-paille sont mal connues et donc mal prises en compte dans les moteurs de calcul.

L'objectif de cette étude est de comparer un modèle de transferts hygrothermiques aux mesures expérimentales pour analyser la prise en compte des spécificités de ce matériau. Par ailleurs, la sensibilité du modèle sera étudiée pour déterminer les paramètres les plus influents pour pouvoir les affiner dans la mesure du possible pour obtenir un modèle cohérent.

Présentation de l'étude

Une paroi en terre-paille d'une maison individuelle construite en ossature bois et remplissage terre-paille a été instrumentée de juillet 2013 à octobre 2014. Des capteurs de températures et d'humidité relative ont été insérés en deux profondeurs, des capteurs de températures ont été positionnés sur les surfaces intérieures et extérieures, capteur de température et d'humidité relative mesure les conditions ambiantes intérieures et une station météorologique enregistre à proximité les conditions météorologiques du site (fig.1).

Le modèle de transfert hygrothermique utilisé est le logiciel Wufi Pro, développé par Fraunhofer IBP, basé sur les équations couplées de transferts de chaleur et de masse de Kunzel.

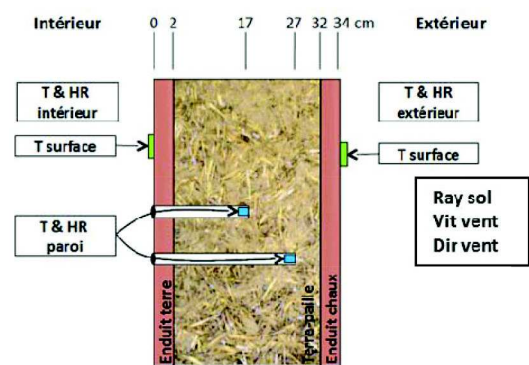


Fig. 1 :

coupe schématique de la paroi instrumentée

Résultats

Une première comparaison entre le modèle Wufi et les mesures expérimentales a été réalisée. Les caractéristiques du terre-paille utilisés dans le modèle sont issues de la littérature et des retours des professionnels du secteur. Cette première comparaison a mis en évidence une bonne corrélation entre mesures et modèle en température (fig. 2) (erreur moyenne : - 0,5 %) mais des écarts plus importants sont observés au niveau de l'humidité relative (5 % d'erreur moyenne environ). Le modèle approxime relativement correctement la tendance de variation de l'humidité au sein de la paroi, il est possible de noter dans cette variation un décalage de la valeur moyenne, un déphasage et une atténuation de l'amplitude (fig. 3). Par ailleurs, le modèle ne retranscrit pas la variabilité quotidienne de l'humidité.

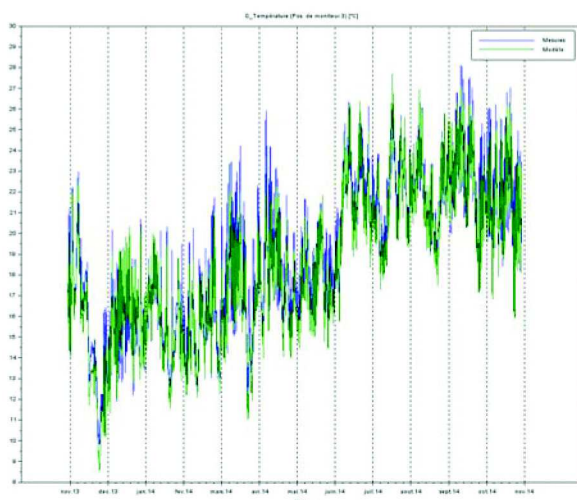


Fig. 2 : comparaison de la température au milieu de la paroi du modèle (en vert) aux mesures (en bleu)

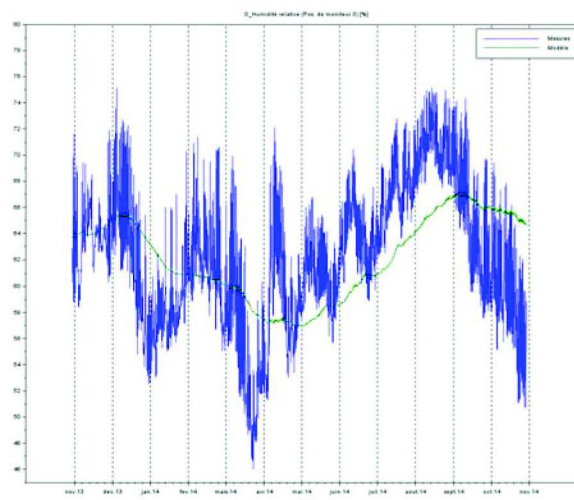


Fig. 3 : comparaison de l'humidité relative au milieu de la paroi du modèle (en vert) aux mesures (en bleu)

Une analyse de sensibilité locale a été mise en place pour étudier l'impact de différents paramètres sur les résultats du modèle. L'indice de sensibilité défini par (Spitz, 2012) est calculé à chaque pas de temps. 21 paramètres ont été retenus et varient entre un niveau -1 et un niveau +1 : épaisseur, masse volumique, conductivité thermique, capacité thermique massique, facteur de résistance à la diffusion de vapeur et isotherme de sorption pour le terre-paille, l'enduit terre intérieur et l'enduit chaux-terre extérieur ainsi que les coefficients d'échange surfacique extérieur et intérieur et l'absorptivité CLO.

Le calcul de l'indice de sensibilité pour chaque température et chaque humidité relative mesurée a mis en évidence que les paramètres les plus influents sur le modèle sont :

- le coefficient d'échange surfacique extérieur,
- l'absorptivité courtes longueurs d'ondes.

Les caractéristiques du terre-paille ont aussi une influence mais moindre par rapport aux deux paramètres précédents. Les principales sources d'erreur actuellement sont les conditions aux limites et non la méconnaissance du matériau.

Avant de connaître l'impact réel des propriétés hygrothermiques du terre-paille sur le comportement d'une paroi, il sera indispensable de réduire l'incertitude des conditions aux limites mesurées.

Références

Emma Stéphan, T. Connan, Bassam Moujalled, *Comparaison entre modèle et mesures expérimentales du comportement hygrothermique d'une paroi en terre-paille*. Rapport d'études, **mai 2016**.

Contacts

Emma Stéphan, Cerema DTerSO

Bassam Moujalled, Cerema DTerSO

Construction en paille porteuse : propriétés des enduits de terre et adhérence sur support paille

Mots clefs : *adhérence, enduit, paille, terre, construction*

Objectifs



Mur expérimental en paille porteuse pour essais de laboratoire

Depuis plusieurs années, des efforts importants ont été entrepris pour permettre le développement des usages du matériau paille dans le domaine de la construction. Le RFCP¹ en particulier porte de nombreuses actions scientifiques et méthodologiques, comme la publication récente des règles professionnelles CP2012², pour l'usage de la paille en remplissage isolant et support d'enduit.

La technique « paille porteuse » propose de s'affranchir de la structure porteuse (type poteaux-poutres par exemple) et d'utiliser directement les bottes de paille comme blocs à maçonner. L'enduit de corps (souvent en terre) associé à la botte de paille développe une résistance mécanique au cours du séchage qui permet la stabilité mécanique de l'ensemble, formant une sorte de « paroi sandwich » pérenne. Cette approche constructive est déjà reconnue dans plusieurs pays, et de multiples bâtiments démontrant l'intérêt technique et économique du concept existent. En France toutefois, l'absence de modèle de calcul de ces parois porteuses particulières accroît les difficultés d'assurabilité et limite de fait le déploiement du système constructif.

L'objectif recherché dans le cadre de ce travail de recherche était donc de développer des méthodes de caractérisation mécanique du composite enduit de terre (fibré) / bottes de paille. Il s'agit de pouvoir déterminer les propriétés des produits d'abord indépendamment l'un de l'autre, puis associés en binôme en structure « sandwich ». L'idée à terme est de pouvoir développer un modèle mécanique de calcul de la paroi.

Résultats

Le travail s'est concentré sur la caractérisation des enduits et des interfaces paille / enduit (le comportement des bottes de paille étant déjà abordé dans plusieurs références scientifiques³).

En première approche, le travail s'est orienté vers les professionnels de la construction en paille et vers la bibliographie disponible sur les matériaux constitutifs, pour mieux connaître le comportement réel des bâtiments en paille porteuse et pour disposer des compétences nécessaires à l'élaboration d'échantillons représentatifs en laboratoire. Des professionnels ont assuré la formation initiale des techniciens de laboratoire.

Ce travail préliminaire a permis d'élaborer un premier modèle de comportement mettant en évidence le rôle clé de l'interface paille-enduit dans la réponse structurelle des murs en paille porteuse. En pratique, le binôme paille porteuse - enduit constitue un composite, c'est-à-dire un assemblage plus performant que ses constituants pris indépendamment. L'enduit épais permet la reprise de charges qui entraîneraient dans le cas contraire une déformation de la paille à long terme. Les bottes de paille quant-à elles assurent un contreventement des parois minces constituées par l'enduit qui, sinon, rompraient rapidement par flambement. L'usage d'un enduit « souple » (à base de terre en particulier), à cinétique de séchage lente, permet de suivre les déformations de fluage de la paille au jeune âge sans fissuration ni perte d'adhérence majeure.

Cela permet d'expliquer que les enduits à base de liants hydrauliques cimentaires conduisent fréquemment à des performances mécaniques de paroi plus faibles que les enduits à base de terre ou de chaux.

Cette base théorique met en évidence le besoin de protocoles d'essai permettant une évaluation fiable des propriétés mécaniques des différents constituants du mur en paille porteuse, et la nécessité d'une méthode de calcul adaptée.

Au niveau des enduits de terre fibrés, la représentativité des méthodes conventionnelles s'appuyant sur des éprouvettes (4 x 4 x 16 cm) moulées n'est pas apparue satisfaisante : compte-tenu des dimensions des fibres (centimétriques à pluri-décimétriques), l'échantillon moulé est trop affecté par les effets de bord et ne peut pas être représentatif de la réalité du terrain. Les échantillons moulés ne permettent pas non plus de mettre en évidence l'anisotropie induite par l'étalement. Enfin, les cinétiques de séchage diffèrent sur les surfaces importantes constituées par les murs.

En partenariat avec le laboratoire géomatériaux de l'ENTPE, des méthodes d'essai s'appuyant sur la constitution de larges plaques d'enduit (4 x 50 x 50 cm), redécoupées, ont donc été établies et ont permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Les essais de compression ont confirmé l'anisotropie liée au processus d'étalement et la nécessité d'utiliser des éprouvettes d'élancement 2 pour limiter l'influence du freinage. Des problèmes de représentativité de l'essai de flexion ont pu être observés et documentés. Un nouvel essai de résistance en traction directe a été développé, ainsi que des essais de résistance à l'abrasion, de retrait, etc. Les protocoles de test correspondants ont été formalisés et validés sur plusieurs formules d'enduits. Ils seront prochainement publiés.

L'adhérence enduit terre / support paille a été étudiée à travers trois protocoles : un protocole classique avec bâti d'arrachement, un protocole par cisaillement en petite dimension et un protocole par cisaillement en grande dimension. Le cisaillement s'est au final révélé plus pertinent que l'arrachement, avec une meilleure capacité de discrimination entre les enduits. Des effets d'échelle ont été observés, qui n'ont pas encore été complètement expliqués à l'heure actuelle. Ces travaux vont être poursuivis dans le cadre de l'ANR Bioterra.

À l'issue de cette action de recherche, une caractérisation complète des constituants d'un mur en paille porteuse a donc pu être établie, avec les méthodes d'essai associées. L'interface paille-enduit a également pu être caractérisée. L'étape ultime, actuellement en cours, sera d'établir sur ces bases un premier modèle de calcul des murs et de le tester sur une paroi expérimentale de dimension 1, qui a d'ores et déjà été constituée.

Références

Olivier M., Rojat F., Foret G., Hamelin C., *Construction en paille porteuse : méthodologie d'essai du comportement mécanique. Colloque international francophone NoMaD 2012, Toulouse, France, 19-20 nov. 2012*

Rojat F., Olivier M., Mesbah A., Millon D. *Caractérisation mécanique des enduits en terre crue fibrée. Ecobat S&T*, pp. 93-108, **19-20 mars 2014**

Delinière R., Aubert J.-E., Rojat F., Gasc-Barbier M. *Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plasters. Building and Environment* 80, pp.11-17, **2014**

Rojat F., Olivier M., Mesbah E., Xiao B.-F. *Mechanical characterization of natural fibre-reinforced earth plasters. First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM)*, pp. 64-71, Clermont-Ferrand, France, **2015**

Contributeurs

B. Carnus, M. Olivier, F. Rojat, Cerema Centre-Est

Contact (pilote)

Fabrice Rojat, Laboratoire de Lyon

¹ Réseau français de construction en paille

² RFCP, MEDDTL (2012), règles professionnelles de construction en paille, remplissage isolant et support d'enduit. Ouvrage collectif. Éditions Le Moniteur. <http://www.compailons.eu>. 180 p.

³ Voir par exemple : King B. & De Bouter A. (2009), Concevoir des bâtiments en bottes de paille. Adapté de l'ouvrage « Design of Straw Bale Buildings ». La Maison en paille, Eyrolles. 319 p.

Les différents systèmes constructifs mixtes bois-béton et leurs performances hygrothermiques

Mots clefs : *béton de bois, simulation numérique, système constructif mixte, transfert hygrothermique*

Objectifs

Le bois est un matériau biosourcé renouvelable qui n'entraîne pas d'émissions de gaz à effet de serre et qui présente des propriétés mécaniques et thermiques intéressantes dans le domaine de la construction. Toutefois, il est nécessaire de garantir ses performances en particulier lors des variations climatiques pouvant influencer sur l'humidité et la teneur en eau du bois.

Le travail que nous avons effectué s'est fixé comme objectif de réaliser l'état de l'art des principaux systèmes constructifs mixtes utilisant le bois, d'étudier ensuite les transferts de chaleur et de masse pour mieux définir leurs conditions d'usage.

Dans un premier temps nous nous sommes attachés à recenser les pratiques actuelles de construction afin de retenir les quatre principaux systèmes mixtes utilisés dans la construction. Il s'agit des dalles béton de bois sur terre-plein, des blocs maçonnés en béton de bois, des planchers collaborants bois-béton avec connecteurs et enfin des planchers collaborants bois-béton par collage.

Nous avons fixé les conditions d'étude et défini les caractéristiques physiques des différents systèmes afin d'évaluer le comportement des parois multicouches soumises à un régime climatique dynamique avec le logiciel WUFI 2D.

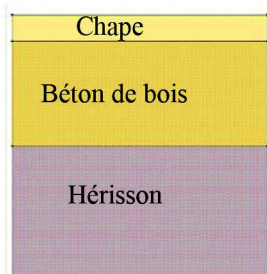


Fig. 1: coupe de la dalle sur terre-plein

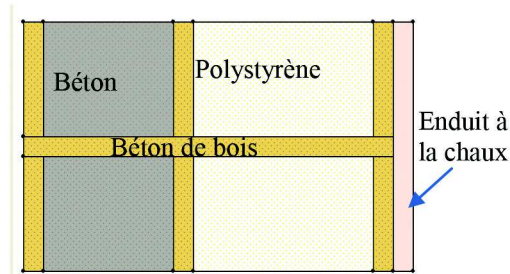


Fig. 2 : bloc de béton de bois avec isolation polystyrène

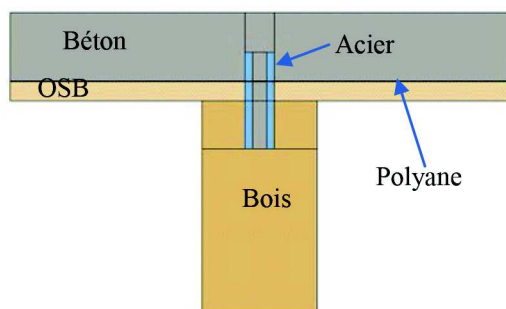


Fig. 3 : système mixte poutre bois/dalle béton avec connecteurs acier

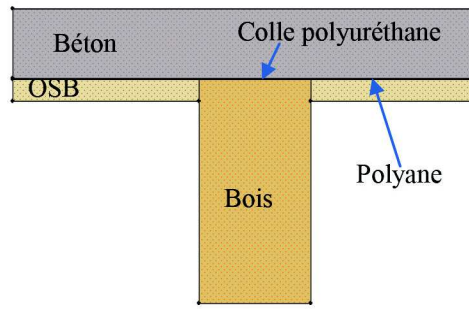


Fig. 4: système mixte poutre bois/dalle béton assemblés par collage

Résultats

Les calculs montrent que, pour l'ensemble des systèmes constructifs étudiés, les teneurs en eau n'induisent pas de risques majeurs. Les taux d'humidité n'entraînent pas de risque de dégradation interne. Le système constructif poutre bois-dalle béton peut présenter des teneurs en eau massique élevées en surface pour les deux assemblages étudiés, par connecteur et par collage. La teneur en eau massique franchit le seuil de 23 % pendant une durée supérieure à huit semaines consécutives en surface. Cela induit un risque fongique élevé.

Les propriétés intrinsèques des bétons de bois assurent une bonne diffusion de la vapeur d'eau. Le système constructif poutre bois-dalle béton soumis avec WUFI 2D aux conditions climatiques particulières du local non chauffé présente un risque de dégradation. Il serait nécessaire de confirmer ces résultats de simulation avec d'autres données climatiques.

Références (études)

Les différents systèmes constructifs mixtes bois-béton et leurs performances hygrothermiques, N. Laveissière et Jean-Luc Paumier, **avril 2016**.

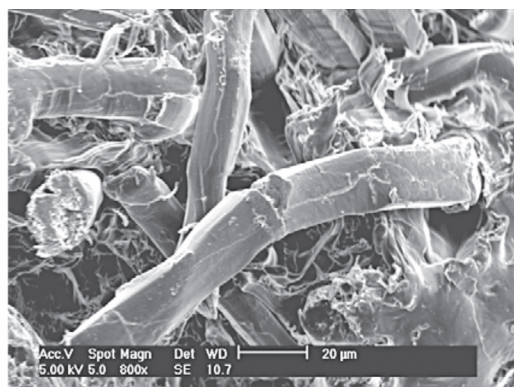
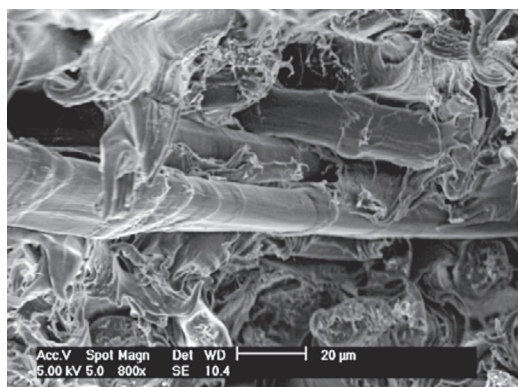
Contacts

Nicolas Laveissière, Cerema Centre-Est, département laboratoire de Clermont-Ferrand
nicolas.laveissiere@cerema.fr

Jean-Luc Paumier, Cerema Centre-Est, département laboratoire de Clermont-Ferrand
jean-luc.paumier@cerema.fr

Thème 2

Durabilité



Vieillesse chimique et microstructural d'une peinture époxy biosourcée

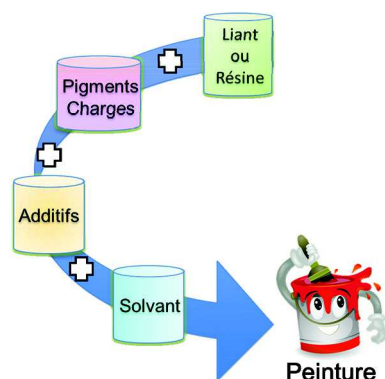
Étude de la sensibilité vis-à-vis d'un développement fongique

Mots clefs : revêtement époxy, peintures biosourcées, vieillissements, IRTF, AED, oxydation, développement fongique

Objectifs

Face à la diminution des ressources fossiles et aux exigences de la réglementation Reach, le recours aux produits à base de biomolécules s'avère être une solution idéale. Dans le domaine du génie civil et du bâtiment, la formulation de peintures 100 % biosourcées représente un défi important. Assurer les performances techniques et sanitaires au moment de l'application est une exigence primordiale qui doit être associée à la garantie du maintien durable de ces performances. Peu d'études confrontent les effets du vieillissement sur les propriétés des peintures biosourcées et celles des peintures pétrolières. De plus, rien ne garantit que les conditions des essais de caractérisations, chimique et physique, et des méthodes de vieillissement qui sont pertinents pour les peintures pétrolières le soient pour des nouvelles peintures biosourcées. Afin d'accéder à des formulations de peintures biosourcées durables, écologiques et saines, les objectifs définis dans MaBioNat étaient de déterminer des indices de vieillissement susceptibles de donner des indicateurs de durée de vie et de toxicité ainsi que d'évaluer la sensibilité au développement fongique de nouveaux revêtements biosourcés qui apparaissent sur le marché.

Résultats



Les propriétés fonctionnelles des matériaux sont liées à leur composition et à leur structure chimique. La résine (liant), polymère qui lie les pigments et les charges entre eux (fig. 1), est le composant qui apporte les principales propriétés à la peinture. Pour mieux appréhender le comportement dans le temps des nouvelles peintures biosourcées, nous avons donc comparé les vieillissements chimique et structural de la résine d'une peinture époxy partiellement biosourcée avec celle d'une peinture époxy pétrolière. Les deux peintures sélectionnées étaient des peintures industrielles certifiées par l'ACQPA (association pour la certification et la qualification en peinture anticorrosion).

Fig. 1 : formulation des peintures.
Mélange complexe de 5 à 25 composants
répartis en 4 grandes familles

La dégradation des liants se traduit d'un point de vue chimique par une oxydation du polymère, mise en évidence par IRTF (fig. 2), et d'un point de vue structural par des ruptures de chaîne du polymère qui se traduit par une diminution de la température de transition vitreuse déterminée par analyse thermique AED (analyse enthalpique différentielle).

Les analyses par IRTF en mode réflexion totale atténuée de films de peintures ont montré une oxydation :

- Plus importante de la surface de la peinture pétrolière que de la peinture biosourcée soumises à des vieillissements thermiques et dans une enceinte QUV, qui permet de reproduire les dégradations causées par les UV de lumière solaire, la pluie et la rosée ;
- Identique pour les deux peintures vieilles dans des conditions naturelles (juillet - août 2016, exposition sud, en région parisienne).

Dans tous les cas aucune modification structurale n'a été détectée par (AED). Les oxydations n'affectent donc que la surface des liants. Les essais microbiologiques montrent que la peinture pétrolière inhibe le développement fongique contrairement à la peinture biosourcée.

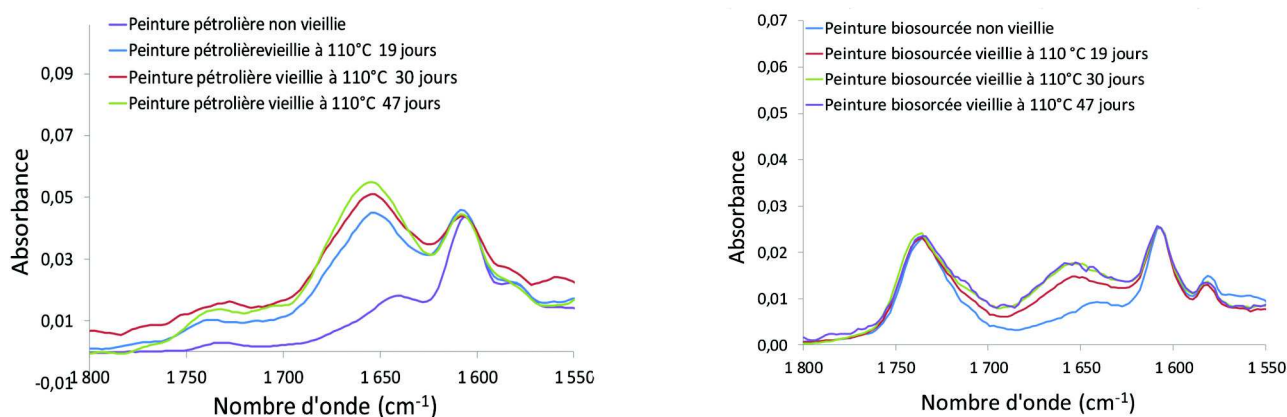


Fig.2 : spectres IRTF-ATR de peinture époxy pétrolière (a) et biosourcée (b) neuves et soumises à un vieillissement thermique à 110 °C

Perspectives

C'est sans doute dans le domaine du bâtiment que les peintures biosourcées sont le plus utilisées et développées. Afin de détecter les modifications des liants susceptibles de nuire à la qualité de l'air et à la durabilité de ces revêtements, nous poursuivons cette étude en évaluant les vieillissements chimiques, physiques et biologiques de différentes peintures biosourcées et pétrolières utilisées pour une application donnée (pièces sèches, pièces humides,...).

Références

Ghuman A. *Étude du vieillissement de peintures biosourcées*, stage de master II, spécialité ingénierie chimique, université Pierre et Marie Curie (Paris VI).

Contributeurs

Marielle Gueguen, *Ifsttar - MAST CPDM*
 Sandrine Marceau, *Ifsttar - MAST CPDM*
 Serge Hamparian, *Cerema Sud-Est*
 Enora Parent, *Cerema Sud-Ouest*
 Cecile Caudron, *Cerema Nord-Picardie*
 Issam Nour, *Ifsttar MAST CPDM*
 Dinarzed Diafi, *Ifsttar MAST CPDM*
 Léa-Marie Emaille, *Cerema Nord-Picardie*

Contact

Fabienne.farcas@ifsttar.fr

Vieillessement hydro et hygrothermiques de composites PE/ fibres de lin

Mots clefs : composites, fibres végétales, vieillissement, hygrothermique, hydrothermique, analyse multi-échelles, physico-chimie

Objectifs

L'utilisation des matériaux composites dans le domaine du bâtiment et du génie civil s'est fortement développée depuis une trentaine d'années. Jusqu'à présent les renforts utilisés étaient exclusivement synthétiques (fibres polyester, polypropylène, polyamide, aramide, verre, carbone)... Depuis quelques années, les fibres végétales connaissent un regain d'intérêt du fait des incitations et réglementations gouvernementales visant à réduire l'impact des matériaux sur l'environnement et à privilégier les ressources renouvelables. De ce fait, de nouveaux composites constitués d'une matrice organique et de fibres végétales sont en plein essor dans tous les domaines d'activité et notamment dans le secteur du bâtiment. Ces fibres naturelles, en plus des aspects écologiques, présentent des avantages, comme des résistances mécaniques pouvant être équivalentes aux fibres de verre. Cependant elles ont également des inconvénients, comme leur fort caractère hydrophile pouvant générer des problèmes de reprise d'humidité n'étant pas sans conséquences sur les caractéristiques des matériaux. Dans le cadre du projet MaBionat, une étude sur le vieillissement hydro et hygrothermique de composites à matrice polyéthylène renforcée par des fibres de courtes de lin a été réalisée.

Résultats

Les principaux résultats à cette étude ont permis de montrer :

- L'influence du taux de fibres de lin et de la qualité de l'interface sur les performances initiales des matériaux.
- Les effets des vieillissements hydro et hygrothermiques sur les propriétés chimiques, microstructurales, morphologiques et mécaniques de composites présentant différents taux de fibres de lin.
- L'impact de la qualité de l'interface sur le comportement dans le temps de composites polyéthylène fibres courtes de lin vieillis entre 30 et 80 °C dans l'eau et sous 96 % d'humidité relative.

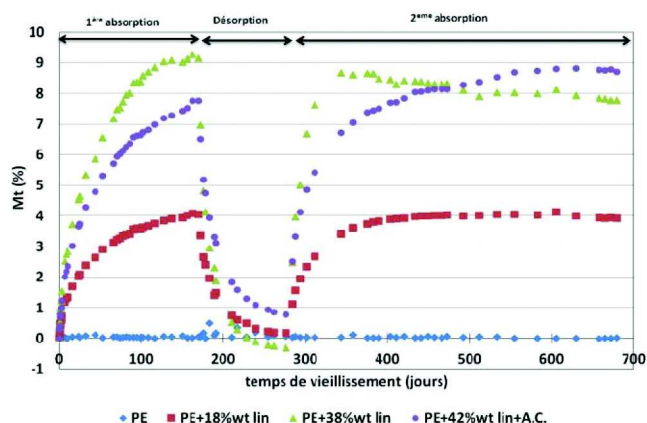


Fig. 1 : suivi gravimétrique lors d'un vieillissement hydrothermique de composites PE/ fibres de lin en immersion à 30 °C

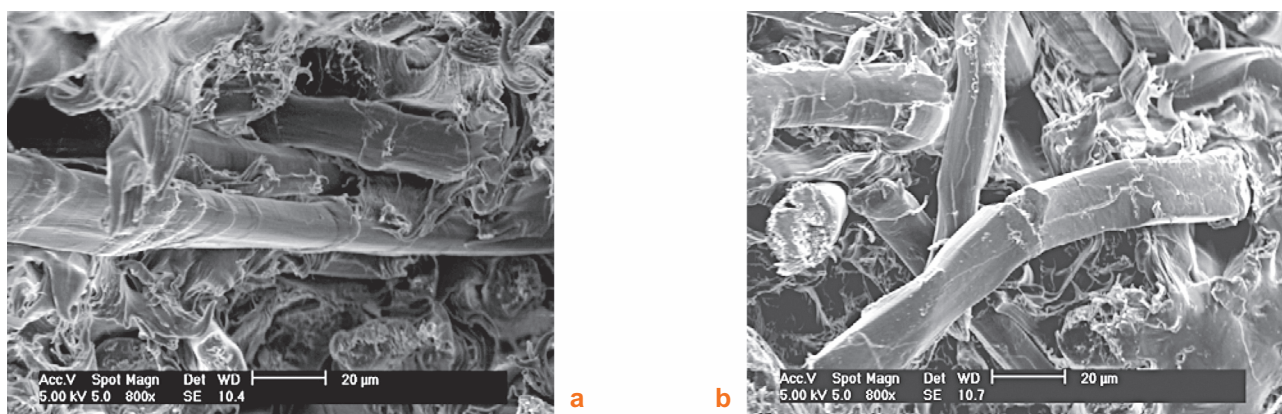


Fig. 2 : photographies réalisées par microscopie électronique à balayage (mode électrons secondaires) d'un composite non vieilli (a) et vieilli (b) 122 jours à 80 °C sous 96 % d'humidité relative

Références

Thèse

Étude du vieillissement de composites renforcés par des fibres naturelles : application bâtiment, H. Rabii, **2016**.

Conférences avec actes

Étude multi-échelle du vieillissement hygrothermique de composites PEbd/fibres courtes de lin, Orgagec, Champs-sur-Marne, H. Rabii, L. Van Schoors, M. Gueguen, P. Davies, **2015**.

Impact of hygrothermal ageing of low-density polyethylene/short flax fibre composites on the multi-scale properties, ICBBM Clermont-Ferrand, H. Rabii, L. Van Schoors, M. Gueguen, P. Davies, **2015**.

Impact du vieillissement hygrothermique de composites polyéthylène/ fibres courtes de lin sur les propriétés mécaniques, matériaux 2014 - colloque 01 écomatériaux, Montpellier, H. Rabii, L. Van Schoors, M. Gueguen, P. Davies, **2014**.

Conférence sans acte

État de l'art, étude du vieillissement de composites à matrice organique renforcés par des fibres naturelles : application bâtiment, journées jeunes chercheurs: éco-composites et composites biosourcés, Nevers, **2013**.

Contributeurs

Laetitia Van Schoors, Sandrine Moscardelli, Issam Nour, Peter Davies, Hajer Rabii, Marielle Gueguen, Ifsttar – MAST CPDM

Contact

laetitia.van-schoors@ifsttar.fr

Durabilité d'isolants contenant des granulats végétaux

Mots clefs : *isolant biosourcé, durabilité, vieillissement, chènevotte, analyse multiéchelle, étude pluridisciplinaire, microstructure, physico-chimie*

Objectifs

Les isolants contenant des granulats végétaux sont des matériaux biosourcés écologiques obtenus en mélangeant un liant minéral et des granulats végétaux (fréquemment issus du chanvre : la chènevotte). Grâce à leur porosité élevée (entre 60 et 90 % en volume selon les formulations), leurs propriétés sont multi-fonctionnelles : ce sont de bons isolants thermiques et acoustiques et leur comportement hygrothermique permet de réguler naturellement l'humidité dans un bâtiment. Cependant, leur utilisation est encore limitée par le manque de recul concernant leurs propriétés à long terme.

L'objectif global de cette étude est donc d'analyser la durabilité de ces bétons végétaux après les avoir exposés à différents types d'environnements correspondant à leurs conditions usuelles d'utilisation (variations de température et d'humidité, développement de moisissures...). L'évolution des performances des bétons végétaux est ensuite reliée au vieillissement biologique, c'est-à-dire au développement de microorganismes dans les bétons, ou sera due à un vieillissement environnemental, correspondant à des conditions de température et d'humidité variables.

Résultats

Pendant l'ORSI MaBioNat, l'évolution des propriétés de formulations de type mur a été analysée pendant des cycles d'humidification/séchage. La durée limitée de ces vieillissements n'a pas permis de mettre en évidence des variations des propriétés fonctionnelles des matériaux (propriétés mécaniques et acoustiques, conductivité thermique), des propriétés microstructurales et physico-chimiques.

Des études de sensibilité au développement fongique ont permis de montrer que le développement de microorganismes à la surface des matériaux était en partie lié à son pH. En effet, la carbonatation naturelle du liant entraîne une diminution de son pH, ce qui crée des conditions plus favorables au développement de micro-organismes.



Fig. 1 : utilisation du béton de chanvre pour l'isolation des toitures

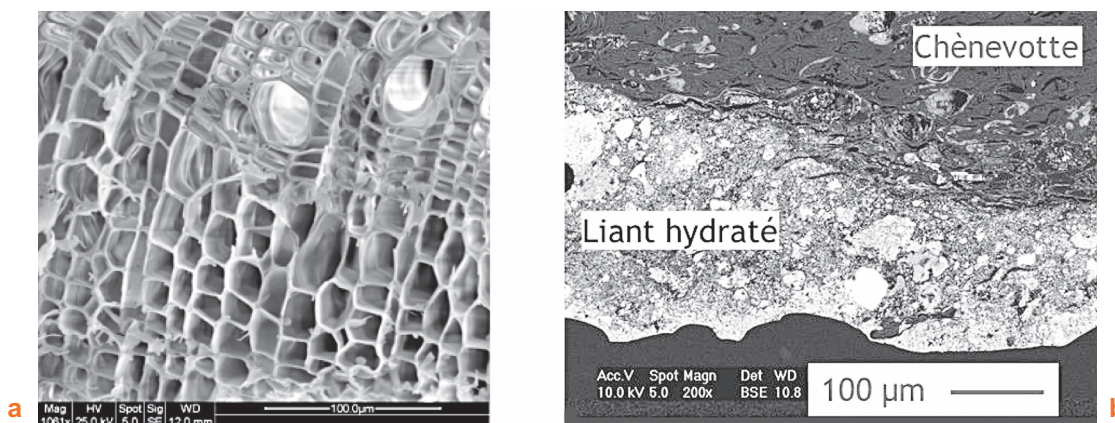


Fig. 2 : (a) coupe transversale d'une particule de chènevotte, (b) Interface liant-granulat

Ces analyses sur la durabilité des bétons de chanvre seront poursuivies et prolongées lors de la thèse de Guillaume Delannoy (2015-2018).

En parallèle, dans le cadre du groupe RILEM TC 236 *Bio-Based Building Materials* (2010-2015), nous avons pu participer la mise en place d'essais croisés inter-laboratoires permettant de proposer des protocoles de caractérisation spécifiques à l'analyse des propriétés des granulats végétaux et des propriétés mécaniques des bétons de chanvre.

Références

Publication

Variability of the mechanical properties of hemp concrete, C. Niyigena S. Amziane, A. Chateauneuf, L. Arnaud, L. Bessette, F. Collet, G. Escadeillas, C. Lanos, M. Lawrence, C. Magniont, S. Marceau, S. Pavia, U. Peter, V. Picandet, M. Sonebi, P. Walker, materials today communications, **2016**.

Conférences avec actes

Assessment of the durability of biobased insulating materials, S. Marceau, P. Glé, M. Gueguen, E. Gourlay, S. Moscardelli, I. Nour, S. Amziane, L. Abdellaoui, ICBBM Clermont-Ferrand, **2015**.

RRT3, Statistical analysis of hemp concrete mechanical properties variability, C. Niyigena S. Amziane, A. Chateauneuf, L. Arnaud, L. Bessette, F. Collet, G. Escadeillas, C. Lanos, M. Lawrence, C. Magniont, S. Marceau, S. Pavia, U. Peter, V. Picandet, M. Sonebi, P. Walker, ICBBM Clermont-Ferrand, **2015**.

Évaluation de la durabilité d'isolants contenant des granulats végétaux, L. Lemarchand, S. Marceau, M. Gueguen, S. Moscardelli, I. Nour, F. Farcas, P. Glé, E. Gourlay, S. Amziane, conférence NOMAD, Douai, **2015**.

Contributeurs

Laura Lemarchand, Lounès Abdellaoui, Pierre Hellebois, stagiaires, *Ifsttar - MAST CPDM*

Guillaume Delannoy, Sandrine Moscardelli, Issam Nour, Marielle Guéguen-Minerbe, Fabienne Farcas, Sandrine Marceau, *Ifsttar - MAST CPDM*

Étienne Gourlay, Philippe Glé, *Cerema Est, Strasbourg*

Sofiane Amziane, *Institut Pascal, Clermont-Ferrand*

Contact

sandrine.marceau@ifsttar.fr

Vieillessement de bétons de chanvre

Mots clefs : *absorption acoustique, béton de chanvre, chènevotte, conductivité thermique, indice d'affaiblissement acoustique, porosité, résistivité, tortuosité*

Contexte de l'étude

Le béton de chanvre est un matériau de construction caractérisé par une microstructure très poreuse : il est doté d'une porosité ouverte pouvant aller de 60 à 90 % selon la formulation [Glé (2013)]. Par ailleurs, cette porosité est multiéchelle, distribuée entre :

- des macropores (de l'ordre de quelques millimètres de diamètre) dus à l'agencement imparfait des particules de chanvre dans le mélange ;
- des mésopores (de 0,1 mm à 1 mm) au sein des particules et du liant ;
- les micropores interhydrates (inférieurs à 0,01 μm) dans la matrice de liant.

Ces caractéristiques confèrent au matériau un comportement fortement hygroscopique, à l'origine de performances hygrothermiques particulièrement intéressantes [Samri (2008), Gourlay (2014)], mais se traduisent également par une sensibilité à la vapeur d'eau et à l'eau beaucoup plus importante que pour les matériaux conventionnels. Ainsi, la teneur en eau massique des bétons de chanvre peut atteindre 15 % à des humidités relatives couramment rencontrées dans un bâtiment ($HR = 50\%$), et elle peut dépasser 25 % dans des cas plus extrêmes ($HR \geq 90\%$) [Cerezo (2005), Gourlay (2014)].

Cependant, l'impact de cycles d'humidification/séchage sur les propriétés acoustiques et thermiques de bétons de chanvre a été très peu étudié dans la littérature. C'est la raison pour laquelle il a été décidé, lors ce travail, d'étudier l'évolution des performances acoustiques et thermiques de quatre formulations de béton de chanvre après vieillissement en enceinte climatique. L'influence de cycles d'immersion/séchage sur les propriétés physiques de deux types de chènevottes a également été étudiée.

Vieillessement des bétons de chanvre

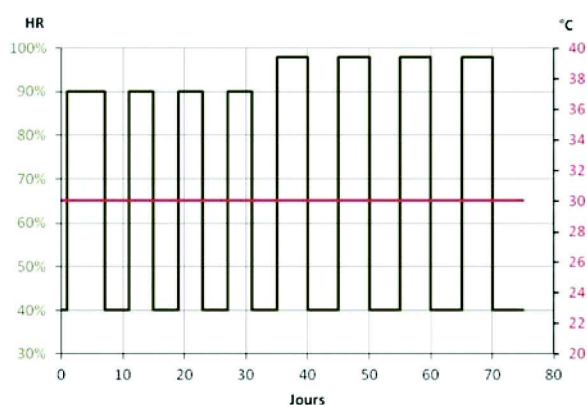


Fig. 1 : cycles de vieillissement imposés aux bétons de chanvre [Abdellaoui, 2014]

Des cycles d'humidification/séchage ont été imposés aux échantillons fabriqués afin de reproduire les mécanismes de vieillissement de façon accélérée (fig. 1). Le conditionnement a été réalisé en enceinte climatique par l'équipe MAST/CPDM de l'Ifsttar.

Les matériaux ont, à la suite de ce conditionnement, été caractérisés dans un état stabilisé (passage en étuve à 40°C), et leurs performances ont été comparées à celles des échantillons non vieillis.

Au niveau des propriétés acoustiques (coefficients d'absorption et indices d'affaiblissement) des bétons de chanvre, aucun effet significatif de vieillissement n'a pu être mis en évidence, les différences observées étant de l'ordre de grandeur des différences inter-échantillons. De la même manière, il est apparu que les cycles d'humidification/séchage effectués n'altéraient pas la conductivité thermique des bétons de chanvre. Néanmoins, il a été observé une forte augmentation de la masse volumique de squelette des chènevottes après vieillissement (de l'ordre de 30 %) qui ne se répercutait pas directement sur les paramètres acoustiques des bétons de chanvre : une campagne supplémentaire a donc été engagée afin d'en savoir plus à ce sujet, en exagérant volontairement le vieillissement des chènevottes par immersion totale dans l'eau.

Vieillissement des chènevottes

Des particules de chanvre en vrac ont été séchées à 40°C, puis séparées en différents lots de 10 g et placées dans des sachets individuels perméables à l'eau. Au terme des durées fixées (échelonnées de 30 minutes à 100 jours), les lots de particules ont été retirés de l'eau, puis replacés en étuve à 40 °C jusqu'à stabilisation de leurs masses. Ces masses ont alors été enregistrées, ce qui a permis d'évaluer les pertes de masse dues à l'immersion, et leurs masses volumiques de squelette ont été caractérisées et comparées aux valeurs de la chènevotte de référence non immergée.

On a constaté que les chènevottes subissaient une perte de masse significative lors de l'immersion, dépassant 8 % après 8 jours. Du point de vue de la porosité, l'évolution observée était également très marquée : on passait ainsi de respectivement 800 et 1100 à 1500 kg/m³ pour les deux chènevottes considérées dans l'étude, ce qui représentait des augmentations de respectivement 85 et 35 %. Enfin, les mesures effectuées ont mis en évidence le fait que la modification de densité de squelette se produisait essentiellement dans le laps de temps compris entre 1 et 10 jours, corroborant ainsi des essais précédents sur des chènevottes tracées par la FNPC, rouies dans l'eau sur des périodes de 10, 20, 30 et 40 jours [Glé (2013)].

Références

Conférences avec actes

Durability of biobased materials: Acoustical investigations, SAPEM Stockholm, P. Glé, E. Gourlay, C. Foy, S. Marceau, L. Abdellaoui, **2014**.

Impact of the water content of hemp concretes on their thermal and acoustical properties, ICBBM Clermont-Ferrand, E. Gourlay, P. Glé, C. Foy, S. Marceau, S. Moscardelli, **2015**.

Assessment of the durability of biobased insulating materials, ICBBM Clermont-Ferrand, S. Marceau, P. Glé, M. Gueguen, E. Gourlay, S. Moscardelli, I. Nour, S. Amziane, L. Abdellaoui, **2015**.

Évaluation de la durabilité d'isolants contenant des granulats végétaux, NOMAD Douai, L. Lemarchand, S. Marceau, M. Gueguen, S. Moscardelli, I. Nour, F. Farcas, P. Glé, E. Gourlay, S. Amziane, **2015**.

Rapports techniques

Propriétés hygroscopiques et comportement hygrothermique du béton de chanvre, E. Gourlay, **2013**.

Étude de l'influence de la teneur en eau et du vieillissement sur les performances acoustiques et thermiques des matériaux biosourcés, P. Glé et E. Gourlay, **2015**.

Suivi de la durabilité acoustique des matériaux biosourcés : étude d'un dispositif de réduction du bruit urbain, P. Glé et P. Demizieux, **2016**.

Contributeurs

Laurent Brendel, Patrick Demizieux, Thierry Falwisanner, Cédric Foy, Philippe Glé, Étienne Gourlay, Cerema Est – Laboratoire de Strasbourg

Contact

etienne.gourlay@cerema.fr

Le développement fongique sur les matériaux bio-sourcés

Mots clefs : moisissures, composite PE/lin, béton de chanvre, peinture bio-sourcées

Introduction

Les fibres et les granulats végétaux utilisés dans les matériaux bio-sourcés sont de natures ligno-cellulosique et hydrophiles. Ces propriétés sont susceptibles de favoriser le développement de micro-organismes et plus particulièrement de moisissures. En effet, le caractère hydrophile va permettre aux micro-organismes de se développer en présence d'eau et les molécules ligno-cellulosiques (cellulose, hémicelluloses, pectines et lignine) représentent une source de carbone privilégiée pour les micro-organismes. En consommant les fibres et/ou les granulats végétaux les moisissures peuvent altérer les propriétés des matériaux. De plus, leur développement représente un risque pour la santé humaine en raison de leurs propriétés allergènes.

Objectifs et méthodologie

L'objectif de cette étude est d'apprécier l'impact d'un développement fongique sur les propriétés fonctionnelles des matériaux bio-sourcés. Pour cela des études spécifiques ont été menées afin d'évaluer l'impact des moisissures. Des études ont été réalisées sur des composites PE/fibres de lin, du béton de chanvre et des peintures bio-sourcées.

La même méthodologie est appliquée sur les différents supports. La première approche consiste à observer le développement naturel de micro-organismes sur des échantillons placés à des forts pourcentages en humidité relative (proche de 100% HR) à 30 °C. La seconde approche consiste à favoriser le développement de micro-organismes naturellement présents sur les fibres ou la chènevotte, puis de les inoculer sur les matériaux concernés. A la fin des incubations, les propriétés fonctionnelles et micro-structurales des matériaux sont évaluées.

Résultats

Très peu d'études traitent de l'impact des moisissures sur les propriétés fonctionnelles des matériaux bio-sourcés. Ainsi, une première étude sur les composites PE/fibres de lin a permis de souligner que la présence de fibres ligno-cellulosiques permettait le développement de moisissures lorsque les conditions d'humidité sont importantes. Dans notre étude, les moisissures ont principalement consommé de la lignine et de la cellulose comme source de carbone pour se développer. La croissance des micro-organismes sur ce type de matériaux pose de nombreuses questions vis-à-vis de la santé publique et plus particulièrement pour les habitants/utilisateurs des bâtiments. De plus, *Penicillium* sp. et *Aspergillus* sp. ont pu être observés lors des différents vieillissements. Bien que les micro-organismes peuvent consommer la cellulose et la lignine présentes dans les fibres de lin pour se développer, les propriétés mécaniques des composites n'en sont pas modifiées. Les principales modifications observées sont liées à la présence d'eau.

Les études sur le béton de chanvre et la peinture bio-sourcée ont permis de mettre en évidence un développement de moisissures. L'impact de ce développement est actuellement en cours d'analyse.

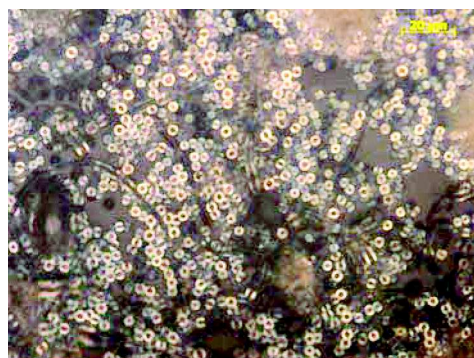


Fig 1. : observation microscopique de moisissures développées à la surface de béton de chanvre

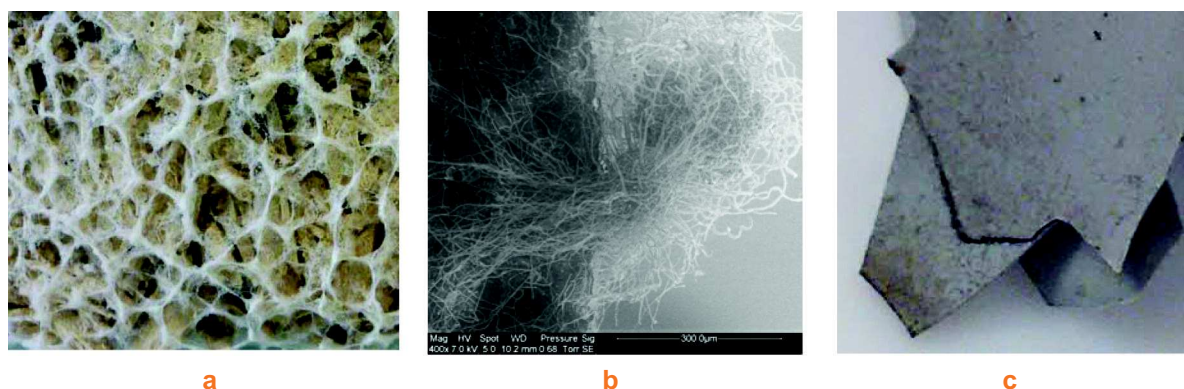


Fig. 2 : (a) développement de moisissures sur un béton de chanvre,
 (b) photo au microscope électronique à balayage d'une colonie de moisissure
 à la surface d'une éprouvette en PE/ fibres de lin,
 (c) développement de moisissures à la surface de peinture bio-sourcées.

Références

Guéguen-Minerbe M., Moscardelli S., Van Schoors L., Nour I., Marceau S., 2015, *study of the microbial development impact on bio-based materials. Proceedings of the first international conference on bio-based building materials*, **June 22nd - 24th 2015**, Clermont-Ferrand, France.

Marceau S., Gle P., Guéguen M., Gourlay E., Moscardelli S., Nour I., Amziane S., Abdellaoui L., 2015, *assessment of the durability of bio-based insulating materials. proceedings of the first international conference on bio-based building materials*, **June 22nd - 24th 2015** Clermont-Ferrand, France.

Rabii H. , Van Schoors L., Gueguen M., Davies P., 2015, *impact of hygrothermal ageing of low-density polyethylene/short flax fibre composites on the multi-scale properties. proceedings of the first International conference on bio-based building materials*, **June 22nd - 24th 2015** Clermont-Ferrand, France.

Contacts

marielle.gueguen@ifsttar.fr

fabienne.farcas@ifsttar.fr

sandrine.marceau@ifsttar.fr

laetitia.van-schoors@ifsttar.fr

Effet de l'eau sur la durabilité de béton de chanvre

Mots clefs : *béton de chanvre, durabilité, vieillissement*

Objectifs

Le chanvre figure parmi les produits biosourcés utilisés pour réaliser des bétons destinés à la construction. Plusieurs études ont permis de confirmer le confort hygrothermique assuré par ces matériaux au sein des bâtiments. Cependant, peu de données sont disponibles sur leur durabilité ce qui freine leur essor et leur utilisation dans le domaine de la construction.

Ce papier vise à étudier l'impact du dosage en eau sur les performances et la durabilité des bétons de chanvre ainsi que sur leurs évolutions dans des conditions climatiques variables. En effet, les granulats d'origine végétale sont très poreux et hydrophiles ce qui leur permet d'absorber des quantités d'eau conséquentes lors des fabrications des bétons. Après la mise en oeuvre, ces bétons seront exposés à des aléas climatiques impactant leurs propriétés mécaniques à long terme. Différentes études ont montré que ces matériaux évoluent en fonction de l'humidité relative. Joseph et al., (2002) et Azwa et al., (2013) ont rapporté que des matériaux intégrant des fibres biosourcées et soumis à des alternances d'atmosphères humides/sèches présentent des microfissurations causées par les modifications volumiques de ces fibres. De plus, la présence de différents espèces de microorganismes responsables de phénomènes de biodégradation des granulats biosourcés a été constatée sur des matériaux exposés à des humidités relatives élevées (Arizzi et al., 2016).

Démarche expérimentale

Dans cette étude, des formulations de bétons de chanvre sont réalisées en utilisant trois dosages en eau E/L (1,4 ; 1,6 et 1,8) et trois modes de saturation en eau des granulats de chanvre (10 %, 50 % et 90 %). Un liant à base de chaux aérienne et hydraulique est utilisé afin d'assurer une amélioration continue de leurs performances mécaniques. Après formulation, les bétons sont mis en oeuvre dans les moules par vibro-compactage. Après cure de 28 jours à 20° C et 50 % d'Humidité Relative (HR), les bétons sont exposés à vieillissement accéléré. Il s'agit soit d'un essai de gel/dégel, soit d'un essai de vieillissement hygrothermique, soit d'un essai de vieillissement microbiologique dédié à l'évaluation du risque de prolifération fongique naturelle.

Résultats

Le vibro-compactage améliore nettement les performances mécaniques. La résistance à la compression pour les formulations ayant un E/L $\leq 1,6$ dépasse 0,8 Mpa après 28 jours de cure. Une chute significative de la résistance mécanique est observée pour un rapport E/L élevé (1,8) et une performance mécanique optimale avec un rapport E/L de 1,6. De plus, l'effet de la quantité d'eau s'est révélé plus important que celui de la saturation des granulats sur les performances mécaniques des bétons de chanvre.

Les résultats des essais mécaniques ont montré que les bétons de chanvre résistent bien aux phénomènes de gel/dégel. Il est possible que leur porosité ouverte ainsi que le choix du liant contribuent conjointement à une bonne résistance à ces phénomènes (figure 1a). Des travaux réalisés par (Walker et al., 2014) ont montré que, selon le choix du liant, les performances mécaniques des bétons de chanvre ayant subi des cycles de vieillissements accélérés de gel/dégel ne sont pas altérées. D'autre part, les bétons soumis aux cycles hygrothermiques accélérés présentaient des performances mécaniques plus faibles (figure 1b) que leurs témoins. Cela pourrait être dû à une dégradation des granulats de chanvre hydrophiles et sensibles à l'humidité ambiante.

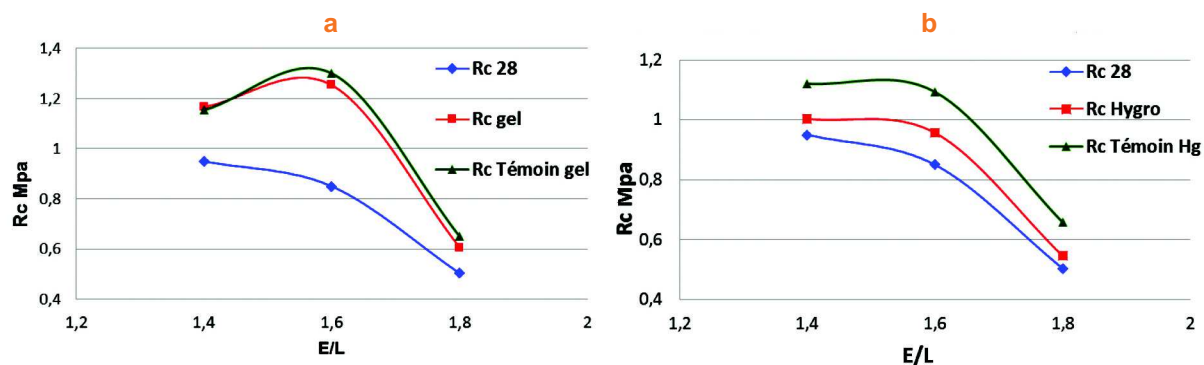


Fig. 1 : résistance à la compression des bétons de chanvre suite aux essais de vieillissement

Le premier signe de croissance fongique, sans inoculation artificielle, a été observé après 2 mois d'incubation à 100 % HR. Une prolifération fongique rapide observée sur tous les échantillons a permis un recouvrement quasi total (> 90 % de la surface) après quatre mois (figure 2). Toutefois, les observations microscopiques ont montré que le mycélium fongique reste à la surface des bétons même après 6 mois d'incubation avec une épaisseur de 2 mm environ. Il est possible que la croissance du biofilm ait été réduite au sein des bétons par une diminution de la porosité ouverte due aux conditions de compactage retenues.

Les résultats ont permis d'apporter une première approche sur la compréhension des modes de vieillissement des bétons chanvre et l'évolution de leurs performances mécaniques. Il sera important d'évaluer par la suite l'effet de différents types et différentes quantités de liant sur le vieillissement des performances mécaniques et thermiques de ces bétons.



Fig. 2 : bétons de chanvre recouverts de champignons après 4 mois d'incubation

Références

- Anna Arizzi, Heather Viles, Inés Martín-Sánchez, Giuseppe Cultrone, *predicting the long-term durability of hemp-lime renders in inland and coastal areas using mediterranean, tropical and semi-arid climatic simulations*, *science of the total environment*, 542 pp. 757-770, **2016**.
- Azwa Z.N., B.F. Yousif, A.C. Manalo, W. Karunasena, *a review on the degradability of polymeric composites based on natural fibres*, *materials and design*, 47 pp. 424-442, **2013**.
- Joseph P.V., Marcelo S Rabello, L.H.C Mattoso, Kuruvilla Joseph, Sabu Thomas, *environmental effects on the degradation behaviour of sisal fibre reinforced polypropylene composites*, *composites science and technology*. Volume 62, issues 10-11, pp. 1357-1372, **2002**.
- Walker R., S. Pavia, R. Mitchel, *mechanical properties and durability of hemp-lime concretes*, *construction and building materials*, 61 pp. 340-348, **2014**.

Contact

mohamad.hajj-chehade@cerema.fr

Cerema, direction territoriale d'Ile-de-France, laboratoire écomatériaux

Thème 3

Instrumentation de bâtiments réels



Comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés d'une habitation en conditions réelles de fonctionnement

Mots clefs : béton de chanvre, comportement hygrothermique, habitat individuel, instrumentation, laine de bois, paroi, simulation numérique

Objectifs

Les travaux présentés ici s'inscrivent dans une démarche de collecte de données de mesure du comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés mis en œuvre dans des habitations réelles afin d'améliorer les connaissances dont on dispose à leur sujet, mais également les pratiques de leur mise en œuvre.

Les travaux que nous avons réalisés ont consisté dans un premier temps à recenser les constructions auvergnates ayant recours à des matériaux biosourcés dans leur enveloppe et à identifier lesquelles pourraient être instrumentées. La sélection réalisée a abouti à instrumenter deux parois d'une maison individuelle RT 2012 située en Haute-Loire. Les contraintes imposées par le dispositif d'instrumentation et par le maître d'ouvrage ont conduit à choisir une dalle en béton de chanvre sur hérisson et une paroi en laine de bois prise en sandwich entre deux plaques de Fermacell. Afin de suivre l'évolution de la température et de l'hygrothermie au sein de ces parois, ces dernières sont instrumentées comme indiqué en figures 1 et 2. Enfin, nous avons cherché à comparer les mesures in situ et les résultats de simulation numérique.

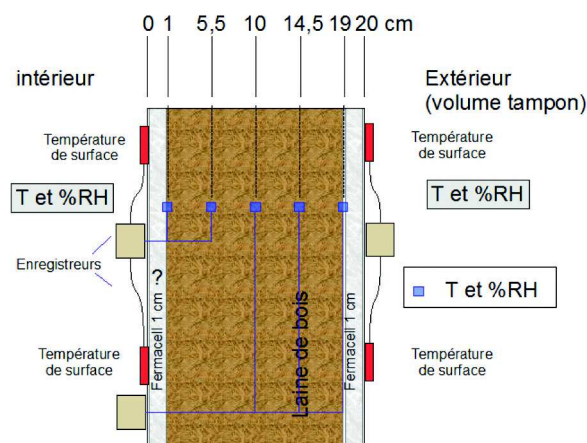


Fig. 1 : instrumentation de la paroi en laine de bois

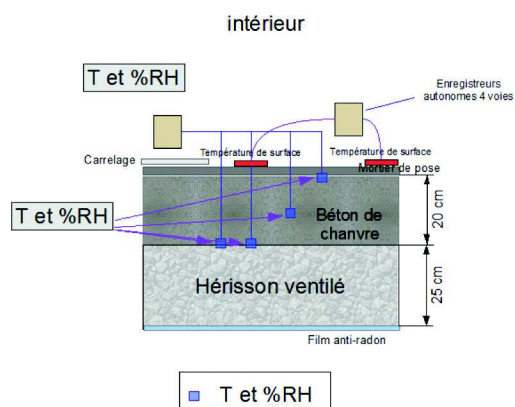


Fig. 2 : instrumentation du plancher en béton de chanvre

Résultats

Les travaux ont permis premièrement de valider une méthodologie de mesure des transferts hygrothermiques au sein d'une paroi : on observe des phénomènes de déphasage et d'atténuation entre les différentes profondeurs de parois instrumentées malgré des conditions de mesure présentant un gradient réduit entre l'extérieur et l'intérieur.

Deuxièmement, les mesures ont permis d'observer certaines qualités hygrothermiques des matériaux étudiés. Pour la laine de bois, la capacité à réguler l'hygrométrie : une forte atténuation des variations d'hygrométrie est constatée en cœur de paroi alors que les conditions au voisinage présentent une forte amplitude. Le béton de chanvre employé dans une dalle sur hérisson permet, au-delà des propriétés isolantes, une amélioration sensible du confort thermique d'été. La forte inertie observée (fig. 3) préserve un bon confort thermique d'été même en période caniculaire et une température de plancher élevée en automne.

La confrontation entre les mesures de température et d'hygrométrie et la modélisation avec WUFI 2D des deux parois – avec les mêmes conditions limites aux interfaces entre parois et ambiances environnantes – a permis de vérifier que le modèle est bien représentatif des évolutions de température et dans une moindre mesure de l'hygrométrie (fig. 4).

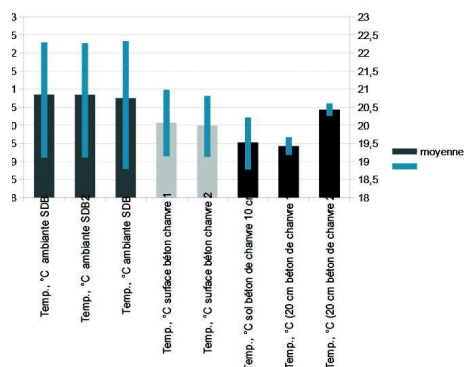


Fig. 3 : atténuation de l'amplitude thermique journalière procurée par la dalle en béton de chanvre

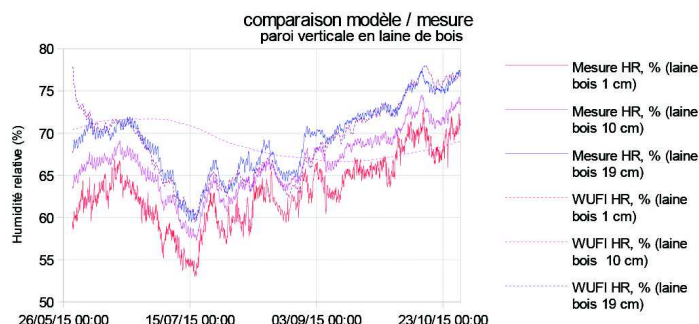


Fig. 4 : comparaison modèle/mesure dans la paroi en laine de bois

Limites de l'expérimentation et difficultés rencontrées

L'instrumentation de parois in situ est soumise à des contraintes non rencontrées en laboratoire. Dans notre cas, la surface de paroi réduite, des équipements techniques (chauffe-eau solaire) positionnés trop près ont pu perturber les flux thermiques. La présence d'une source d'humidité et d'un défaut de ventilation dans la pièce accueillant le dispositif expérimental a conduit à une pathologie au niveau de la dalle, mise en évidence par la mesure. Sur la quasi-totalité de la période d'acquisition le béton de chanvre a été saturé en humidité.

Points à améliorer et perspectives

Les conditions de mesure in situ doivent présenter des conditions suffisamment contrastées entre extérieur et intérieur pour s'affranchir de phénomènes perturbateurs tels que la convection, les transferts aérauliques et thermiques par des parois voisines. De même, la comparaison avec des modèles pourrait être affinée par une meilleure connaissance des matériaux instrumentés, notamment la teneur en eau exacte des matériaux au début de la mesure.

Références

Études

Inventaire et diagnostic de constructions biosourcées, N. Laveissière, **septembre 2014**.

Cahier des charges d'instrumentation d'une habitation biosourcée à Vieille-Brioude (Haute-Loire), O. Bonneau, **février 2015**.

Test de perméabilité à l'air. Maison individuelle à Vieille-Brioude (Haute-Loire), L. Selve, **juin 2015**.

Suivi du comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés d'une maison individuelle en Haute-Loire, O. Bonneau et L. Selve, **avril 2016**.

Contributeurs

Olivier Bonneau, Laurent Selve, Nicolas Laveissière, Frédéric Bernardin, Pilar Lesage,
Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand

Contacts

olivier.bonneau@cerema.fr
pilar.lesage@cerema.fr

Suivi des performances acoustiques et hygrothermiques de la Maison du tourisme de Troyes

Mots clefs : *absorption acoustique, changements de phase, chaux-chanvre, hygrothermique, mesure, modélisation, résistivité.*

Contexte et objectifs de l'étude



Fig. 1 : Maison du Tourisme de Troyes

La Maison du tourisme (fig. 1) est un établissement recevant du public (ERP) situé au cœur du Bouchon de Champagne, sis 12, rue Aristide Briand à Troyes, et composé de deux parties :

- l'une en réhabilitation d'une structure en colombage par le remplissage avec un mélange chaux-chanvre ;
- l'autre en construction neuve qui adopte un système constructif proche, structure bois et remplissage chaux-chanvre.

L'amélioration des connaissances sur le comportement et les performances hygrothermiques et acoustiques du mélange chaux-chanvre intéresse à l'heure actuelle de nombreuses villes confrontées, comme Troyes, aux exigences de la restauration de leur patrimoine. Dans ce contexte, la ville de Troyes a décidé de confier au Cerema une étude technique portant sur le suivi des performances acoustiques et hygrothermiques de la Maison du Tourisme.

Caractérisation acoustique du chaux-chanvre

Lors des travaux de réhabilitation du bâtiment, une même formulation d'enduit chaux-chanvre a été mise en œuvre dans deux bureaux adjacents suivant deux finitions différentes, donnant un aspect ouvert ou fermé à ce matériau (fig. 2 et 3). Dans le cadre de cette étude, le Cerema a eu pour mission de caractériser les performances acoustiques (en absorption) de ces enduits et de les modéliser.

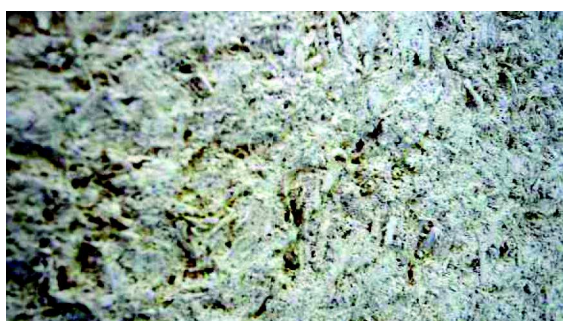


Fig. 2 : enduit « ouvert »



Fig. 3 : « enduit taloché »

Des mesures ont été réalisées *in situ*. Elles ont consisté à caractériser la durée de réverbération des locaux où les deux types d'enduits ont été mis en œuvre, et à mesurer localement leur absorption acoustique en utilisant un tube de Kundt *in situ*. Les résultats ont mis en évidence un effet significatif de la finition des enduits sur la gamme de fréquence observée, les performances de l'enduit « ouvert » étant bien supérieures à celle de l'enduit « taloché ». Toutefois, l'influence sur l'ambiance acoustique globale des pièces n'a pas pu être démontrée expérimentalement dans la mesure où les géométries des deux bureaux étudiés étaient sensiblement différentes (volume, mobilier, etc.).

Les modélisations réalisées dans le cadre de ce travail ont, par ailleurs, permis de capturer de façon satisfaisante le comportement du matériau. Il a été établi que le paramètre prépondérant vis-à-vis de ce comportement était la résistivité des enduits intérieurs, variant d'un facteur 30 environ entre l'enduit « ouvert » (1,5.106 Nm-4s) et l'enduit « taloché » (5,107 Nm-4s) qui était beaucoup plus imperméable aux ondes acoustiques.

Comportement hygrothermique du chaux-chanvre

Pour caractériser le comportement hygrothermique de l'enveloppe chaux-chanvre de la Maison du Tourisme, des capteurs de température et d'humidité relative ont été placés au sein de divers locaux ou incorporés, au moment du coulage, au cœur de certains murs.

Les mesures réalisées ont permis de mettre en évidence l'apparition de phénomènes internes de changements de phase (vaporisation et condensation) dans le matériau chaux-chanvre qui favorisent l'amortissement des variations de température extérieure au sein de l'enveloppe du bâtiment.

Par ailleurs, un modèle numérique de transferts couplés de chaleur et d'humidité implémenté à l'aide du logiciel WUFI 2D a été évalué. Il a été établi que les transferts de chaleur et de masse par convection au sein du chaux-chanvre n'étaient pas correctement pris en compte, tout comme les phénomènes de changements de phase.

Les paramètres du modèle à faire évoluer pour optimiser l'adéquation entre les données calculées et mesurées ont alors été identifiés (propriétés hygrothermiques in situ des divers matériaux, géométrie de la paroi, etc.), puis une étude paramétrique a été effectuée en faisant varier ces différents paramètres dans une gamme de valeurs physiquement admissibles jusqu'à obtenir la meilleure corrélation possible entre la mesure et le modèle. Ensuite, des simulations de projection sur 10 ans ont été réalisées afin de s'assurer de la durabilité des performances hygrothermiques de l'enveloppe chaux-chanvre du bâtiment.

Références

Rapports techniques

Caractérisation acoustique du chaux-chanvre, Maison du Tourisme de Troyes, P. Glé et L. Brendel, **2014**.

Protocole de suivi des performances de la Maison du Tourisme de Troyes, E. Gourlay et P. Glé, **2014**.

Suivi des performances énergétiques et du comportement hygrothermique de la Maison du Tourisme de Troyes, E. Gourlay et C. Schmauch, **2016**.

Contributeurs

Brendel Laurent, Glé Philippe, Gourlay Étienne, Schmauch Christophe,
Cerema Est, laboratoire de Strasbourg

Contact

etienne.gourlay@cerema.fr

Comparaison des performances hygrothermiques réelles d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomurs

Mots clefs : instrumentation, terre-paille, transferts hygrothermiques

Objectifs

Les propriétés de la brique monomur sont bien connues. Au contraire, les travaux de recherche sur les propriétés hygrothermiques et les performances du terre-paille sont majoritairement basées sur des travaux expérimentaux en conditions maîtrisées en laboratoire. Il y a peu d'études sur les performances hygrothermiques en conditions réelles à l'échelle du bâtiment.

L'objectif de cette étude est d'analyser le comportement hygrothermique réel de bâtiment en terre-paille. Pour ce faire, un même protocole de mesures a été mis en place sur deux constructions. Les parois, les conditions ambiantes intérieures et extérieures ont été mesurées de juillet 2013 à juillet 2014. Les axes d'analyse sont les transferts hygrothermiques à l'échelle de la paroi et le confort hygrothermique intérieur en fonction des saisons.

Présentation de l'étude

Deux maisons individuelles isolées, localisées dans le Sud de la France et construites suivant les principes de l'architecture bioclimatique ont été suivies pendant un an. La première maison est en ossature bois et remplissage de terre-paille (30 cm) et la seconde est en brique monomur (37,5 cm).

Le protocole de suivi a été le même sur les deux bâtiments : mesure des conditions extérieures, thermographie infrarouge, test d'étanchéité à l'air, performances hygrothermiques des parois (T/HR en 2 profondeurs) et mesures des conditions hygrothermiques intérieures.

Résultats

L'analyse des températures mesurées au sein des parois sud des deux bâtiments a permis de calculer l'amortissement et le déphasage par rapport à la surface extérieure (tableau 1). Il a ainsi été montré que les capacités d'amortissement de la température extérieure sont élevées pour les deux matériaux tout au long de l'année et d'autant plus en été.

Tab.1 : déphasage et amortissement de la température au sein des parois

	Briques monomur		Terre-paille	
	Am (%)	Φ (h)	Am (%)	Φ (h)
A 7 cm de la surface extérieure	73	4:45	69	7:15
Au milieu de la paroi	89	9:45	79	9:00

L'analyse des températures mesurées au sein des parois sud des deux bâtiments a permis de calculer l'amortissement et le déphasage par rapport à la surface extérieure (tableau 1). Il a ainsi été montré que les capacités d'amortissement de la température extérieure sont élevées pour les deux matériaux tout au long de l'année et d'autant plus en été.

En terme d'humidité, le terre-paille présente une meilleure capacité tampon que la brique monomur qui subit de fortes variations en son sein.

La maison en brique monomur est plus chaude d'environ 1 °C que celle en terre-paille sur l'ensemble des saisons (fig.1). Le terre-paille permet une atténuation de la variation de la température intérieure (faibles amplitudes par rapport à la brique monomur).

Enfin, la capacité tampon des parois en terre-paille impacte l'ambiance qui présente une humidité plus élevée que celle en brique monomur mais nettement plus stable (fig.2).

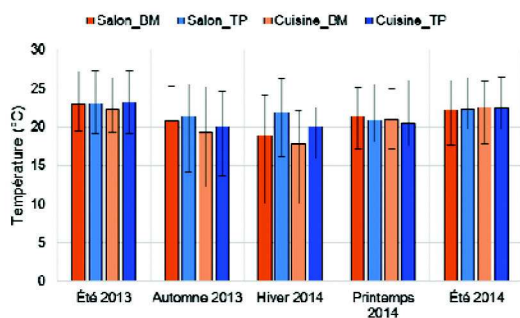


Fig.1 : évolution de la température dans les pièces suivant les saisons

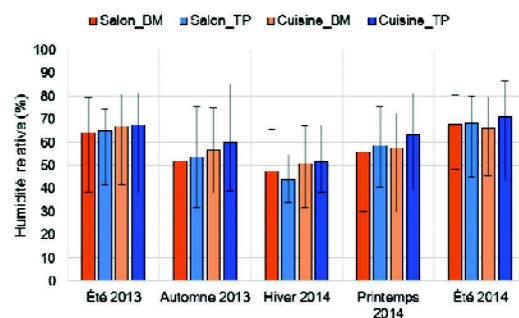


Fig.2 : évolution de l'humidité relative dans les pièces suivant les saisons

Malgré cette stabilité, la maison en brique monomur est en moyenne plus confortable que celle en terre-paille (fig.3). Ceci est lié aux pourcentages de temps en zone de risque de développement pathologique dans laquelle se situe plus régulièrement le terre-paille (principalement la cuisine) que la brique monomur. L'absence de ventilation peut être mise en cause pour ce risque. La vérification sur d'autres bâtiments avec un système de ventilation efficace permettra de confirmer ou infirmer ces résultats.

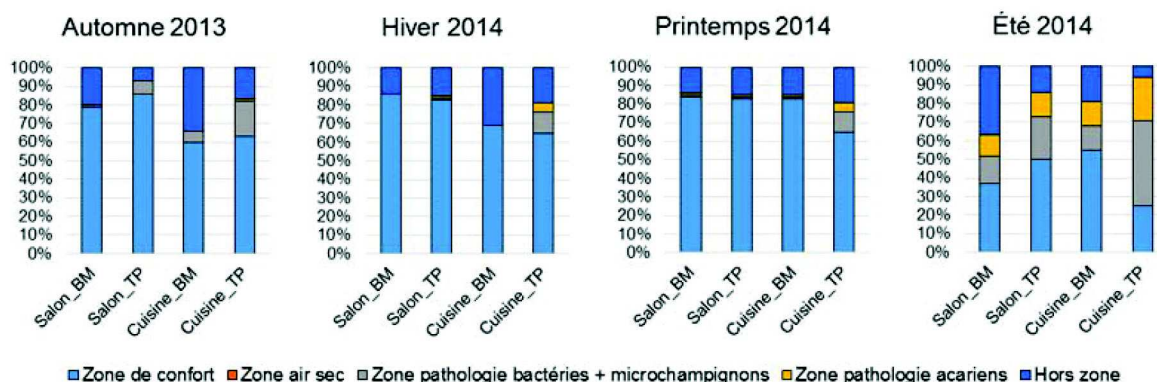


Fig.3 : pourcentage de temps au sein des zones de confort et de pathologie des différentes pièces

Références

Stéphan E., Samri D., et al., *comparative study of hygrothermal performances of straw-caly and vertically perforated clay brick buildings*, in: *first international conference on bio-based building materials*, Clermont-Ferrand, France, **June 2015**.

Stéphan E., Samri D., et al., *the comparative in situ hygrothermal performance of straw-clay and vertically perforated clay bricks buildings*, in: *ICoME*, Tetouan, Morocco, **May 2015**.

Stéphan E., Pesteil F., et al., *comparaison du comportement hygrothermique d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomur*, rapport d'études, Avril 2015.

Stéphan E., Pesteil F., et al., *comparaison du confort hygrothermique d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomur*, rapport d'études, **Décembre 2014**.

Contacts

emma.stephan@cerema.fr

bassam.moujalled@cerema.fr

frederic.pesteil@cerema.fr

Thème 4

Évaluation environnementale et fin de vie



Recyclage du béton de chanvre

Mots clefs : biosourcés, déchets, fin de vie, caractérisation, réemploi, formulation

Objectifs

Contrairement aux bétons classiques, la valorisation du béton de chanvre en technique routière n'est pas envisageable sans transformation. En effet, sa composante végétale fait de lui un déchet non inerte dans sa globalité puisqu'elle est évolutive, ce qui pourrait créer des désordres dans l'ouvrage. Il serait envisageable d'appliquer à ces matériaux une transformation thermique dans le but d'éliminer cette partie végétale et de rendre le matériau inerte, mais ce procédé libérerait tout le CO₂ capté par le béton de chanvre, ce qui remettrait en cause l'analyse de cycle de vie (ACV) positive de ce produit. De plus, de manière générale, une valorisation énergétique par combustion n'est envisagée qu'en dernier recours lorsque aucune autre voie de valorisation n'a pu être réalisée.

Actuellement, il faut noter qu'aucune ACV n'intègre la possibilité de recyclage du béton de chanvre, il y a donc un enjeu à étudier cette étape de vie du matériau.

Cette étude traite de l'idée de valoriser du béton de chanvre en fin de vie dans de nouvelles fabrications de béton de chanvre, en substitution de la chènevotte. Pour cela, le béton de chanvre est concassé pour réduire le déchet jusqu'à obtenir une granulométrie similaire à celle de la chènevotte. Les fines de concassages sont conservées dans l'objectif de valoriser le plus de déchet possible.

Pour valoriser au maximum le déchet ainsi produit, il est envisagé, dans un premier temps, de l'incorporer en totalité dans les nouvelles formules, y compris les fines produites lors du concassage. Différentes formules ont été testées avec un pourcentage croissant de granulats recyclés afin d'observer l'impact du taux de recyclage.

Chaque formule a été soumise à différents tests pour mesurer les propriétés des bétons ainsi obtenus et les comparer à des bétons de chanvre usuels actuellement mis en œuvre. L'objectif de cette étude était de démontrer que les granulats de béton de chanvre concassés pouvaient être ré-introduits dans de nouvelles formulations de béton de chanvre pour un usage similaire. Les résultats des différents tests ont ainsi permis de se prononcer sur l'acceptabilité de cette valorisation, l'emploi de ces nouveaux produits et leurs usages.

Les pourcentages en granulats recyclés s'échelonnaient de 0 % (formule témoin permettant de calibrer la formulation de départ) à 100 %, comme décrit ci-dessous.



F 0
0 % granulat recyclé
100 % chènevotte

F 20
20 % granulat recyclé
80 % chènevotte

F 50
50 % granulat recyclé
50 % chènevotte

F 100
100 % granulat recyclé
0 % chènevotte

Les différents tests qui ont permis de mesurer les propriétés et les performances de ces formules étaient les suivant : essais de conductivité thermique, de résistance à la compression et de conductivité acoustique.

Résultats

Il s'avère qu'avec 20 % et 50 % de granulats recyclés les résultats obtenus restent comparables avec la formule ayant un taux de recyclage nul et le matériau est ainsi proche de l'acceptabilité du point de vue des règles professionnelles de « construire en chanvre ».

Des variables, telles que la granulométrie de la chènevotte d'apport et le taux de fines de concassages pourraient être ajustées pour améliorer les caractéristiques thermiques et acoustiques en tendant à s'approcher au plus près des caractéristiques d'un béton de chanvre neuf.

Ces ajustements concernant le taux de fines de concassage feront l'objet de travaux en 2016. Il sera également intéressant de faire varier la teneur en fines de concassages, notamment pour la formule F100. Cet ajustement impliquera que la totalité du déchet de béton de chanvre ne sera peut-être pas valorisé au sein d'une même formule. Une voie de valorisation des fines de concassages seules pourrait être explorée, par exemple comme fillers d'apport dans les enrobés et dans certains sables pour bétons.

L'enjeu final de ce sujet sera d'apporter des solutions de valorisation pour l'ensemble du déchet de béton de chanvre, granulats recyclés et fines de concassage. Ainsi l'analyse de cycle de vie du béton de chanvre pourra être complétée en prenant en compte ses possibilités de recyclage.

Références

Rapport d'études

Fin de vie du béton de chanvre, recyclage de granulats de béton de chanvre dans du béton de chanvre, janvier 2016.

Poster ICBBM

Study of the end-life and the recycling of hemp concrete, juin 2015.

Contact

martine.trauchessec@cerema.fr

FDES des bétons biosourcés : cas d'un béton de lin

Mots clefs : *analyses environnementales, béton de Lin, FDES, matériaux biosourcés*

Objectifs

L'objectif de cette étude consiste à évaluer la possibilité de réaliser une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) pour un béton de lin. Une FDES est un document intégrant des informations structurées sur les performances environnementales et sanitaires des produits de construction. Elle est élaborée selon la norme NF EN 15804+A1 qui définit les bases communes permettant de délivrer des informations multicritères, objectives, quantitatives et qualitatives :

- Du bilan environnemental sur l'ensemble du cycle de vie du produit (analyse de cycle de vie) pour évaluer les impacts potentiels sur l'environnement lors des phases de fabrication, transport, mise en oeuvre, vie en oeuvre et fin de vie,
- De l'évaluation des risques sanitaires liés notamment aux émissions de substances dangereuses (COV, radon, etc.) et à l'évaluation de la qualité sanitaire de l'air à l'intérieur du bâtiment ainsi qu'au confort d'usage : hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif.

Le béton de lin est un mélange de liant à base de chaux et granulats de Lin (anas) qui permet de confectionner des bétons présentant des performances thermiques intéressantes. Ces bétons bénéficient, en particulier grâce au granulat d'origine végétale et renouvelable ainsi qu'aux liants à base de chaux, d'un impact environnemental très favorable. Cette étude visait alors à montrer l'intérêt environnemental de ces bétons.

Démarches suivies

La figure 1 schématise les démarches effectuées pour réaliser cette étude. Un inventaire de cycle de vie (ICV) a été réalisé auprès des acteurs de la chaîne de valeur de ce produit. Ces données ont été collectées auprès de la confédération européenne du lin et du chanvre (CELC) et les quatre plus importantes usines de teillage de France. Cela a permis de tracer l'itinéraire agricole de la culture de Lin, (fourni par ARAVILIS-institut du végétal) dont le rendement a été retenu sur une durée de 10 ans, couvrant l'ensemble des 6000 producteurs français, et 70 % de la production du lin en France.

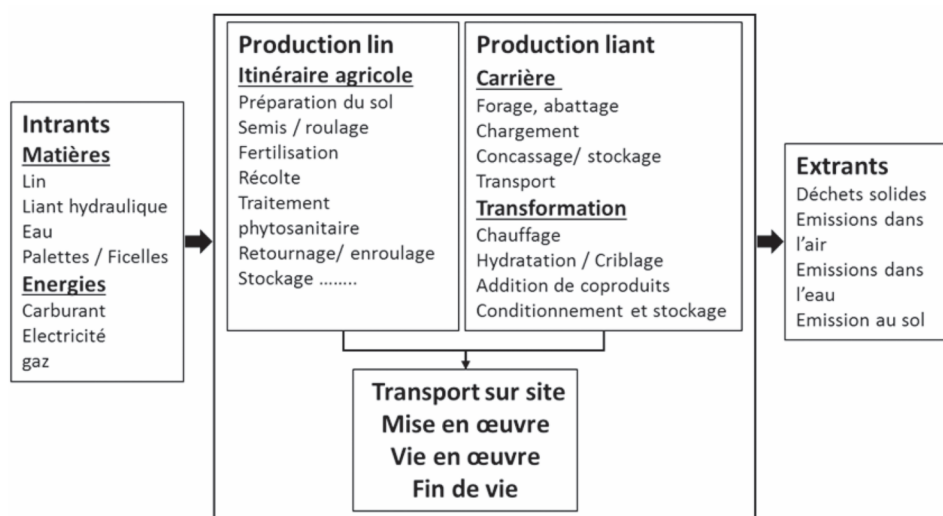


Fig. 1 : inventaire de cycle de vie nécessaire pour réaliser une FDES d'un béton de lin

L'absence de règles professionnelles de mises en oeuvre et des formulations de béton de lin bien définies nous ont obligé à présenter les résultats de cette étude sous forme d'un module environnemental de béton de lin tout en respectant les mêmes démarches appliquées pour une FDES classique. Dans ce cas, les règles professionnelles d'exécution du béton de chanvre éditées par construire en chanvre ont servi de référentiel et une formulation de béton de lin proposée de l'université de Picardie ont été utilisés, afin de réaliser cette étude.

Résultats

L'unité fonctionnelle de cette étude a été identifiée de la façon suivante : « assurer une fonction de structure non-porteuse d'1m² de mur en béton de lin projeté mécaniquement, pour une épaisseur de 10 centimètres, pour une annuité ». Dans une FDES typique, les résultats de l'impact de cette unité fonctionnelle sont représentés dans quatre tableaux qui prennent en compte le cycle de du béton de lin (du berceau à la tombe). Le tableau suivant présente les principaux impacts de cette unité fonctionnelle pour une durée de vie de 100 ans.

Tableau 1: principaux impacts d'un béton de lin

	Unité	Production	Mise en œuvre	Vie en œuvre	Fin de vie	Total
Impact environnemental						
Réchauffement climatique	kg eq CO ₂	6,91	3,21	-5,60	35,26	9,99
Pollution d'eau	m ³	4,07	29,55	-	0,13	5,19
Pollution de l'air	m ³	856,11	372	-	52,04	1280
Flux						
Energie renouvelable totale	MJ	112,62	0,38	-	0,26	114
Energie non renouvelable totale	MJ	187,23	47,70	-	11,23	246
Déchets						
Déchets dangereux	Kg	0,079	0,0014	-	0,0007	0,081
Déchets non dangereux	Kg	2,95	0,0017	-	29,12	32,1

Références

NF EN 15804+A1 (2014), contribution des ouvrages de construction au développement durable, déclarations environnementales sur les produits, ègles régissant les catégories de produits de construction. Décret n° 2013-1264 du 23 décembre 2013 et l'arrêté du 23 décembre 2013 relatif à la déclaration environnementale des produits de construction et de décoration destinés à un usage dans les ouvrages de bâtiment.

Contacts

mohamad.hajj-chehade@cerema.fr
 pascal.pichon@cerema.fr
 marc.tascedda@cerema.fr

Approche d'éco-conception basée sur l'analyse de cycle de vie : application au cycle de vie du béton de chanvre

Mots clefs : *acteur économique, changement climatique, développement durable, impacts environnementaux, leviers d'actions, analyse de sensibilité.*

Objectifs

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une approche d'évaluation environnementale systémique basée sur des normes internationales ISO 14040-14044. Ces normes décrivent les principes et les cadres d'application de l'approche dans un objectif généralement de comparaison, de production de données moyennes pour un secteur d'activité, et de comparaison à des produits équivalents sur la base de l'unité fonctionnelle. Toutefois son utilisation dans un objectif d'éco-conception d'un produit reste difficile car les résultats d'une ACV sont souvent tributaires de très nombreux choix méthodologiques et technologiques dont l'influence est très importante. De ce fait, une étude où la comparaison au cas par cas des différentes possibilités technologiques et méthodologiques aux différentes phases de cycle de vie d'un produit (fig.1, exemple de cycle de vie des matériaux à base de chanvre) s'avère fastidieuse voire impossible.

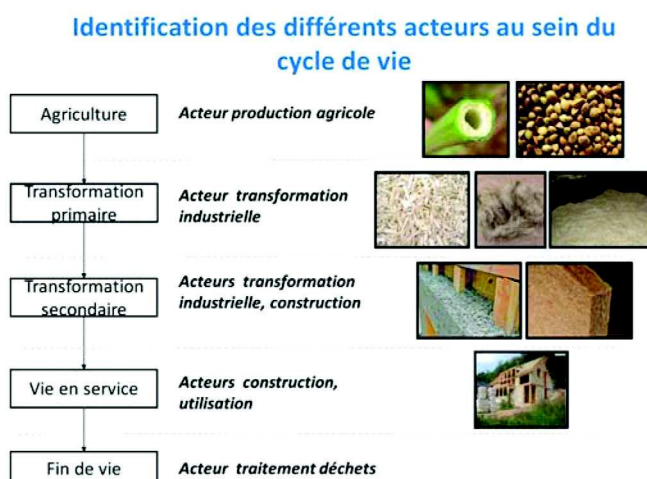


Fig. 1 : étapes et acteurs du cycle de vie des isolants du bâtiment à base de chanvre

Dans ce cadre nous avons cherché à mettre en œuvre une approche qui permettrait de prendre en compte de façon systématique l'ensemble des choix technologiques et méthodologiques qui s'offrent à un acteur économique dans le cycle de vie d'un produit. L'objectif est d'identifier les leviers d'actions environnementaux propres à chacun des acteurs, à partir de la multitude des possibilités technologiques (exemple de choix technologiques pour les différentes phases du cycle de vie des matériaux du bâtiment issue du chanvre fig.2) tout en tenant compte des différentes variabilités méthodologiques et des incertitudes liées au contexte de production.

Nous avons choisi de développer et d'appliquer sur le cycle de vie des matériaux d'isolation à base de chanvre (fig 2). Nous nous sommes concentrés sur l'acteur agricole, lors de la phase de production agricole des pailles de chanvre. Les produits de cette phase de cycle de vie seront utilisés pour la production de chènevottes et de fibres pour produire les matériaux d'isolation.



Fig. 2 : choix technologiques possibles par acteur du cycle de vie des isolants à base de chanvre

Résultats

Notre méthode nous a permis d'identifier les paramètres technologiques ayant une influence sur les indicateurs d'impacts environnementaux. Pour le changement climatique, une culture de chanvre battue et une quantité de fertilisant minéral minimale, compte-tenu du cultivar et des caractéristiques du sol, sont les leviers les plus efficaces. L'utilisation du calcium ammonium nitrate présente le minimum d'impact sur l'acidification parmi les fertilisants étudiés. Pour la toxicité et l'écotoxicité, l'utilisation d'engins agricoles récents dont les moteurs sont moins émissifs est le levier le plus efficace. Pour l'eutrophisation, le principal facteur n'est pas directement contrôlable par l'agriculteur mais est lié à l'environnement : un sol sablonneux présentera moins d'impact qu'un sol argileux. La puissance du moteur de l'engin agricole domine la consommation des ressources énergétiques, et il faudrait donc pouvoir optimiser cette puissance en fonction de l'opération agricole à effectuer. L'optimisation du rendement par le choix de cultivar ou d'autres solutions permettrait aussi une réduction des impacts sur l'espace occupé. Cependant, notre modèle de rendement n'est pas assez détaillé pour rendre compte des interactions avec la fertilisation. Nous avons aussi pu voir que la méthode d'allocation des impacts (massique ou économique) a une influence importante (de 8 % à 44 %) sur tous les indicateurs environnementaux. En fixant la valeur de chaque levier d'action technologique identifié à sa valeur la plus favorable, on peut quantifier les améliorations potentielles des impacts environnementaux de la production de la paille de chanvre (fig. 3.).

La méthode développée fonctionne bien et permet de connaître les différentes possibilités d'action pour un acteur donné, dans l'objectif d'améliorer les performances environnementales d'un produit sur son cycle de vie. Les informations produites par la méthode indique à chaque acteur quels leviers d'action sont possibles et lui fournissent des pistes d'éco-conception.

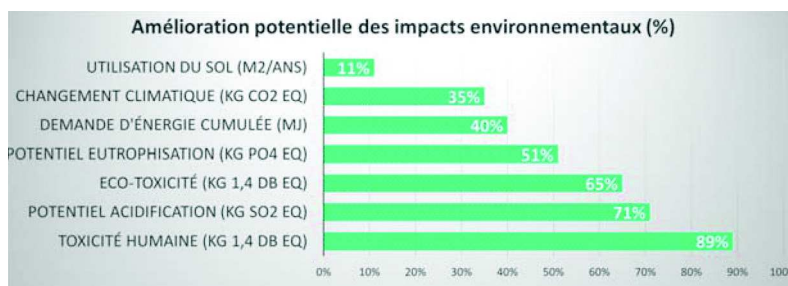


Fig. 3 : amélioration potentielle des impact environnementaux de la phase de production agricole du chanvre en utilisant les valeurs favorables des leviers d'action

Références

Andrianandraina, *approche d'éco-conception basée sur la combinaison de l'analyse de cycle de vie et de l'analyse de sensibilité*, thèse de doctorat, école centrale de Nantes, **2014**.

<https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01202139/>

Andrianandraina, Ventura, A., Senga Kiessé, T., Cazaciu, B., Idir, R., van der Werf, H.M.G., *sensitivity analysis of environmental process modeling in a life cycle context : a case study of hemp crop production*, journal of industrial ecology 19, 978–993. doi:10.1111/jiec.12228, **2015**.

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jiec.12228/full>

Contacts

andi.andrianandraina@univ-nantes.fr

anne.ventura@univ-nantes.fr

Senga Kiessé, T, INRA, UMR SAS, Rennes, France

Cazaciu, B., LUNAM, IFSTTAR Nantes, GPEM, France

Idir, R., Cerema IdF, LEM, Sourdun, France

van der Werf, H.M.G., INRA, UMR SAS, Rennes, France

Annexes

- Liste des livrables
- Liste des équipes ayant participé à l'ORSI Mabionat
 - Programme des journées de clôture Mabionat

Liste des livrables

Articles

- A. Andrianandraina, A. Ventura, T. Senga Kiessé, B. Cazacliu, R. Idir, H.M.G. van der Werf, *Sensitivity Analysis of Environmental Process Modeling in a Life Cycle Context: A Case Study of Hemp Crop Production*, *Journal of Industrial Ecology* 19, **2015**, pp. 978–993
- P.A. Chabriac, E. Gourdon, P. Glé, A. Fabbri, H. Lenormand, *Agricultural by-products for building insulation: acoustical characterization and modeling to predict micro-structural parameters*, *Construction and Building Materials*, 112, **2016**, pp. 158-167
- R. Delinière, J.-E. Aubert, F. Rojat, M. Gasc-Barbier, *Physical, mineralogical and mechanical characterization of ready-mixed clay plasters*, *Building and Environment* 80, **2014**, pp.11-17
- C. Niyigena S. Amziane, A. Chateaneuf, L. Arnaud, L. Bessette, F. Collet, G. Escadeillas, C. Lanos, M. Lawrence, C. Magniont, S. Marceau, S. Pavia, U. Peter, V. Picandet, M. Sonebi, P. Walker, *Variability of the mechanical properties of hemp concrete*, *Materials Today Communications*, sous presse, **2016**
- G. Youssef, L. Loulou, S. Chataigner, S. Caré, A. Flety, R. Le Roy, M. Bornert, C. Aubagnac. *Analysis of the Behavior of a Bonded Joint between Laminated Wood and Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete using Push-Out Test*, *Construction and Building Materials*. 53, **2014**, pp. 381-391

Conférences

- A. Akkaoui, M. Vandamme, S. Caré, *Hygro-mechanical properties of wood-aggregate concrete: Experimental study and modeling*, *5th BIOT Conference on Poromechanics (BIOT-5)*, Vienne, Autriche, **2013**
- A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme, *Propriétés thermiques des bétons de bois : approche expérimentale et modélisation*, *Colloque Écomatériaux, Matériaux*, Montpellier, **2014**
- A. Akkaoui, S. Caré, M. Vandamme, *Effect of mixture characteristics on hygro-mechanical properties of wood-aggregate concrete*, *International meetings 2013: Construction materials and innovation, SCC 2013*, Paris, **2013**
- S. Caré, M. Bornert, F. Bertrand, N. Lenoir, *Moisture content and swelling strain in wood by NMR methods and X-ray Microtomography*, *15th International Conference on Experimental Mechanics, ICEM15*, Porto, Portugal, **2012**
- G. Delannoy, S. Marceau, M. Guéguen, P. Glé, E. Gourlay, S. Amziane, F. Farcas, *Évolution des propriétés d'isolants à base de granulats végétaux – Méthodologie*, *Journées Jeunes Chercheurs, Eco-composites et composites biosourcés*, Clermont-Ferrand, France, **2016**
- P. Glé, E. Gourlay, C. Foy, S. Marceau, L. Abdellaoui, *Durability of biobased materials: Acoustical investigations*, *SAPEM*, Stockholm, Suède, **2014**
- E. Gourlay, P. Glé, C. Foy, S. Marceau, S. Moscardelli, *Impact of the water content of hemp concretes on their thermal and acoustical properties*, *First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM)*, Clermont-Ferrand, France, **2015**
- M. Guéguen-Minerbe, S. Moscardelli, L. Van Schoors, I. Nour, S. Marceau, *Study of the microbial development impact on bio-based materials*, *First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM)*, Clermont-Ferrand, France, **2015**
- L. Lemarchand, S. Marceau, M. Guéguen, S. Moscardelli, I. Nour, F. Farcas, P. Glé, E. Gourlay, S. Amziane, *Évaluation de la durabilité d'isolants contenant des granulats végétaux*, *NOMAD*, Douai, France, **2015**

- R. Le Roy, A. Confrère, L. Loulou, S. Caré, B. Nedjar, *Auto contraintes dues au retrait endogène dans une structure mixte bois-béton assemblée par collage « frais sur frais »*, Rencontres AUGC 2013, Cachan, **2013**
- S. Liandrat, M. Trauchessec, L. Blachère, S. Amziane, *Characterization of hemp aggregates - Comparison of several size analysis*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- S. Marceau, P. Glé, M. Guéguen, E. Gourlay, S. Moscardelli, I. Nour, S. Amziane, L. Abdellaoui, *Assessment of the durability of biobased insulating materials*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- C. Niyigena S. Amziane, A. Chateaneuf, L. Arnaud, L. Bessette, F. Collet, G. Escadeillas, C. Lanos, M. Lawrence, C. Magniont, S. Marceau, S. Pavia, U. Peter, V. Picandet, M. Sonebi, P. Walker, *RRT3: Statistical analysis of hemp concrete mechanical properties variability*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- M. Olivier, F. Rojat, G. Foret, C. Hamelin, *Construction en paille porteuse : méthodologie d'essai du comportement mécanique*, Colloque international francophone NoMaD, Toulouse, France, 19-20 nov. **2012**
- H. Rabii, L. Van Schoors, M. Guéguen, P. Davies, *Impact of hygrothermal ageing of low-density polyethylene/short flax fibre composites on the multi-scale properties*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- H. Rabii, L. Van Schoors, M. Guéguen, P. Davies, *Étude multi-échelle du vieillissement hygrothermique de composites PEbd/fibres courtes de lin*, Orgagec, Champs-sur-Marne, France, **2015**
- H. Rabii, L. Van Schoors, M. Guéguen, P. Davies, *Impact du vieillissement hygrothermique de composites polyéthylène/ fibres courtes de lin sur les propriétés mécaniques*, Matériaux 2014, Colloque 01 Ecomatériaux, Montpellier, France, **2014**
- H. Rabii, L. Van Schoors, M. Guéguen, P. Davies, *État de l'art : Etude du vieillissement de composites à matrice organique renforcés par des fibres naturelles : application bâtiment*, Journées Jeunes Chercheurs : Eco-composites et Composites Biosourcés, Nevers, France, **2013**
- F. Rojat, M. Olivier, A. Mesbah, D. Million, *Caractérisation mécanique des enduits en terre crue fibrée*, Ecobat S&T, Paris, France, 19-20, mars **2014**
- F. Rojat, M. Olivier, E. Mesbah, B.-F. Xiao, *Mechanical characterization of natural fibre-reinforced earth plasters*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- D. Samri, E. Stephan et al., *The comparative in situ hygrothermal performance of straw-clay and vertically perforated clay bricks buildings*, ICoME, Tetouan, Maroc, **2015**
- E. Stephan, D. Samri et al., *Comparative study of hygrothermal performances of straw-clay and vertically perforated clay brick buildings*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**
- M. Trauchessec, *Study of the end-life and the recycling of hemp concrete*, First International Conference on Bio-Based Building Materials (ICBBM), Clermont-Ferrand, France, **2015**

Thèses

- A. Akkaoui, *Bétons de granulats de bois : étude expérimentale et théorique des propriétés thermo-hydro-mécaniques par des approches multi échelles*, Université Paris-Est, **2014**
- A. Andrianandraina, *Approche d'éco-conception basée sur la combinaison de l'analyse de cycle de vie et de l'analyse de sensibilité*, École Centrale de Nantes, **2014**
- M. Bonnet, *Analyse du comportement hygromécanique du bois par imagerie et modélisation multi-échelle*, Université Paris Est, en cours (**2014 -**)
- G. Delannoy, *Durabilité d'isolants contenant des granulats de végétaux*, Université Paris Est, en cours (**2015 -**)
- L. Loulou, *Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique*, Université Paris Est, **2013**
- H. Rabii, *Étude du vieillissement de composites renforcés par des fibres naturelles : Application bâtiment*, Université Paris Est, **2016**

Bases de données

- P. Glé et T. Falwisanner, *Base de données des performances et propriétés acoustiques des matériaux biosourcés*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2015**

Rapports

- O. Bonneau, *Cahier des charges d'instrumentation d'une habitation biosourcée à Vieille-Brioude (Haute-Loire)*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2015**
- O. Bonneau, L. Selve, *Suivi du comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés d'une maison individuelle en Haute-Loire*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2016**
- C. Foy et P. Glé, *Bibliographie sur les méthodes de mesures de l'absorption et de la transmission acoustiques*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2013**
- C. Foy, P. Glé, *Bibliographie sur les propriétés acoustiques des matériaux biosourcés*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2013**
- P. Glé, L. Brendel, *Caractérisation Acoustique du Chaux-Chanvre Maison du Tourisme de Troyes*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2014**
- P. Glé, P. Demizieux, *Suivi de la durabilité acoustique des matériaux biosourcés : Étude d'un dispositif de réduction du bruit urbain*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2016**
- P. Glé, E. Gourlay, *Étude de l'influence de la teneur en eau et du vieillissement sur les performances acoustiques et thermiques des matériaux biosourcés*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2015**
- E. Gourlay, *Propriétés hygroscopiques et comportement hygrothermique du béton de chanvre*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2013**
- E. Gourlay, P. Glé, *Protocole de suivi des performances de la Maison du Tourisme de Troyes*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2014**
- E. Gourlay, C. Schmauch, *Suivi des performances énergétiques et du comportement hygrothermique de la Maison du Tourisme de Troyes*, Cerema Est, Laboratoire de Strasbourg, **2016**
- A. Ghuman, *Étude du vieillissement de peintures biosourcées*, Stage de master II, spécialité Ingénierie Chimique, Université Pierre et Marie Curie (Paris VI), **2015**
- N. Laveissière, *Inventaire et diagnostic de constructions biosourcées*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2014**

- N. Laveissière, Jean-Luc Paumier, *Les différents systèmes constructifs mixtes bois-béton et leurs performances hygrothermiques*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2016**
- S. Liandrat, *Caractérisation de granulats biosourcés*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2015**
- F. Pesteil, E. Stephan et al., *Comparaison du confort hygrothermique d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomur*, Cerema Sud-Ouest, Laboratoire de Bordeaux, **2014**
- L. Selve, *Test de perméabilité à l'air. Maison individuelle à Vieille-Brioude (Haute-Loire)*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2015**
- E. Stephan, T. Connan, B. Moujalled, *Comparaison entre modèle et mesures expérimentales du comportement hygrothermique d'une paroi en terre-paille*, Cerema Sud-Ouest, Laboratoire de Strasbourg, **2016**
- E. Stephan, F. Pesteil et al., *Comparaison du comportement hygrothermique d'une maison en terre-paille et d'une maison en briques monomur*, Cerema Sud-Ouest, Laboratoire de Bordeaux, **2015**
- M. Trauchessec, *Fin de vie du béton de chanvre – Recyclage de granulats de béton de chanvre dans du béton de chanvre*, Cerema Centre-Est, Laboratoire de Clermont-Ferrand, **2016**

Liste des équipes ayant participé à l'ORSI Mabionat

Ifsttar - MAST - CPDM

14-20, boulevard Newton, cité Descartes, Champs-sur-Marne, 77447 Marne-la-Vallée Cedex 2

Contacts

sandrine.marceau@ifsttar.fr

marielle.gueguen@ifsttar.fr

laetitia.van-schoors@ifsttar.fr

fabienne.farcas@ifsttar.fr

Laboratoire Navier, UMR 8205, École des Ponts, Ifsttar, CNRS, UPE

6-8, avenue Blaise Pascal, Cité Descartes - Champs-sur-Marne, 77455 Marne-la-Vallée Cedex 2

Contact : sabine.care@ifsttar.fr

Cerema Centre-Est, laboratoire de Clermont-Ferrand

5, rue Bernard Palissy, 63100 Clermont-Ferrand

Contacts

pilar.lesage@cerema.fr

olivier.bonneau@cerema.fr

jean-luc.paumier@cerema.fr

nicolas.laveissiere@cerema.fr

sebastien.liandrat@cerema.fr

martine.trauchessec@cerema.fr

Cerema Centre-Est, laboratoire de Lyon

25, avenue François Mitterrand, 69500 Bron

Contact : fabrice.rojat@cerema.fr

Cerema Est, laboratoire de Strasbourg

11, rue Jean Mentelin, 67200 Strasbourg

Contacts

philippe.glé@cerema.fr,

etienne.gourlay@cerema.fr

Cerema Ile-de-France, laboratoire écomatériaux

110, rue de Paris, 77171 Sourdun

Contact : mohamad.hajj-chehade@cerema.fr

Cerema Nord Picardie

2, rue de Bruxelles, 59000 Lille

Contact : marc.tascedda@cerema.fr

Cerema Sud-Ouest, laboratoire de Bordeaux

rue Pierre Ramond, CS 60013, 66133 Saint-Médard-en-Jalles Cedex

Contact : emma.stephan@cerema.fr

Chaire génie civil éco-construction, LUNAM, GEM, UMR-CNRS 6183

Institut universitaire technologique de Saint-Nazaire, département génie civil

58, rue Michel Ange, 44600 Saint-Nazaire

Contact : anne.ventura@univ-nantes

Programme du jeudi 19 mai

dans l'amphithéâtre de l'Ifsttar à Champs-sur-Marne

Comité d'organisation : Sandrine Marceau, Sabine Caré, Pilar Lesage, Agnès Vailhé et Annie Wei

- 10 h Accueil
Présentation de la journée par **Sandrine Marceau, Sabine Caré et Pilar Lesage**
- 11 h Ouverture
Guillaume Derombise, MEEM / DGALN / DHUP / QC

Instrumentation de bâtiments réels

- 11 h 30 Comportement hygrothermique de parois en matériaux biosourcés
d'une habitation sous conditions réelles de fonctionnement
Olivier Bonneau, Laurent Selve, Nicolas Laveissière, Frédéric Bernardin, Pilar Lesage
Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand
- 11 h 50 Suivi des performances acoustiques et hygrothermiques de la Maison du tourisme de Troyes
Étienne Gourlay et Philippe Glé
Cerema Est, Strasbourg
- 12 h 10 Comparaison du comportement hygrothermique de maisons en terre-paille et en brique monomur
Emma Stephan, Bassam Moujalled, Driss Samri, Frédéric Pesteil
Cerema Sud-Ouest, Bordeaux

12 h 30 Repas

Durabilité, partie 1

- 14 h Vieillissements hydro et hygrothermiques de composites PE/fibres de lin
Laetitia Van Schoors, Sandrine Moscardelli, Issam Nour, Hajer Rabii, Marielle Guéguen-Minerbe, Ifsttar/MAST/CPDM.
Peter Davies, Ifremer, laboratoire comportement des structures en mer
- 14 h 20 Influence du développement fongique sur les propriétés fonctionnelles
de composites PE/fibres de lin
Marielle Guéguen-Minerbe, Issam Nour, Sandrine Moscardelli, Hajer Rabii, Laetitia Van Schoors, Ifsttar/MAST/CPDM.
Peter Davies, Ifremer, laboratoire comportement des structures en mer
- 14 h 40 Vieillissement de bétons de chanvre
Partie 1 : microstructure et propriétés physico-chimiques
Sandrine Marceau, Marielle Guéguen-Minerbe, Issam Nour, Guillaume Delannoy, Fabienne Farcas, Ifsttar/MAST/CPDM,
Philippe Glé et Étienne Gourlay, Cerema Est, Strasbourg
- 15 h Vieillissement de bétons de chanvre
Partie 2 : comportements hygrothermique et acoustique
Étienne Gourlay et Philippe Glé Cerema Est, Strasbourg
Guillaume Delannoy, Marielle Guéguen-Minerbe, Sandrine Marceau, Fabienne Farcas
Ifsttar/MAST/CPDM,
- 15 h 20 Présentations « flash » des posters

15 h 40 Session posters et pause

Programme du jeudi 19 mai

dans l'amphithéâtre de l'Ifsttar à Champs-sur-Marne

Propriétés des matériaux et évaluation environnementale, *partie 1*

- 16 h 20 Évaluation et optimisation des propriétés mécaniques et thermiques des bétons de bois : effet des variations hydriques
Abdessamad Akkaoui, Sabine Caré, Matthieu Vandamme, *laboratoire Navier*
- 16 h 40 Les différents systèmes constructifs mixtes bois-béton et leur performance hygrothermique
Nicolas Laveissière, Jean-Luc Paumier, *Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand*
- 17 h Variabilité du comportement hygromécanique du bois à l'échelle du cerne
Marie Bonnet, Sabine Caré, Michel Bornert, Patrick Aïmedieu, *laboratoire Navier*
- 17 h 20 Caractérisations granulométriques de granulats biosourcés
Sébastien Liandrat, Martine Trauchessec, Loïc Blachère, *Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand*
- 17 h 40 Constitution d'une base de données acoustique des matériaux biosourcés
Philippe Glé, Thierry Falwisanner, *Cerema Est, Strasbourg*
- 18 h** *Fin de la journée*
- 19 h** *Apéritif et repas*



Programme du vendredi 20 mai

dans l'amphithéâtre de l'Ifsttar à Champs-sur-Marne

Propriétés des matériaux et évaluation environnementale, partie 2

- 9 h Construction en paille porteuse :
propriétés des enduits de terre et adhérence sur support paille
Fabrice Rojat et **Bernard Carnus**, *Cerema Centre-Est, Lyon*
- 9 h 20 FDES des bétons biosourcés
Mohamad Hajj Chehade et **Pascal Pichon**
Cerema Ile-de-France, laboratoire éco-matériaux, Sourdun
- 9 h 40 Éco-conception du cycle de vie du matériau d'isolation à base de chanvre
Andy Andrianandraina et **Anne Ventura**, *chaire génie civil éco-construction, université de Nantes*
- 10 h Transfert hydriques dans les bétons de chanvre
Marine Fourmentin, *université Paris-Est laboratoire Navier (ENPC-Ifsttar-CNRS)*
et *LHOIST France, Paris*
Pamela Faure, *université Paris-Est, laboratoire Navier (ENPC-Ifsttar-CNRS)*
Ulrike Peter, *LHOIST recherche et développement, Nivelles, Belgique*
David Lesueur, *LHOIST France, Paris*
Daniel Daviller, *BCB LHOIST Sud Europe, Besançon*
Philippe Coussot, *université Paris-Est, laboratoire Navier (ENPC-Ifsttar-CNRS)*

10 h 20 Session posters et pause

Durabilité, partie 2

- 11h Recyclage du béton de chanvre
Martine Trauchessec, **Sébastien Liandrat**, **Loïc Blachère**, *Cerema Centre-Est, Clermont-Ferrand*
- 11 h 20 Comparaison de l'évolution des caractéristiques chimiques et microstructurales
de peintures époxy biosourcées et pétrolière
Étude de la sensibilité vis-à-vis d'un développement fongique
Fabienne Farcas, **Marielle Guéguen-Minerbe**, *Ifsttar/MAST/CPDM*
Serge Hamparian, *Cerema Centre-Est, Lyon*, **Énora Parent**, *Cerema Sud-Ouest, Bordeaux*,
Dinarzed Diafi, **Issam Nour**, **Sandrine Marceau**, *Ifsttar/MAST/CPDM*
- 11 h 40 Effet de l'eau sur la durabilité des bétons de chanvre
Mohamad Hajj Chehade, *Cerema Île-de-France, laboratoire éco-matériaux, Sourdun*
- 12 h Clôture
Jean-Michel Torrenti, *département MAST, Ifsttar*
Élizabeth Haza-Rozier, *DSTREI, Cerema*

12 h 30 Fin de la journée

Photos de couverture :

Maison du tourisme
de Troyes
Photo : Carole Bell

Bois observé par
microtomographie
aux rayons X
*Photo : laboratoire Navier
(Ifsttar-ENPC-CNRS)*

Béton
de chanvre

Mise en page : Ph. Caquelard, *Ifsttar*

www.ifsttar.fr

Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux

Ifsttar, siège
14-20, boulevard Newton
Cité Descartes
Champs-sur-Marne
77447 Marne-la-Vallée CEDEX 2
