

MaBioNat : Matériaux biosourcés et naturels pour une construction durable

Code TP2 (renseigné par DPM) : **RP2-S12013**

Acronyme : **MaBioNat**

Mots-clés (6 maxi) : Ecoconception, Durabilité, Comportement mécanique, Habitat, Génie Civil, Multiéchelle

Responsable IFSTTAR : S. MARCEAU, MAST, CPDM, et S. CARE MAST, NAVIER

Autre Responsable : P. LESAGE (CEREMA)

Axe de rattachement : 2

Durée : 4 ans (2012-2015), **prolongation demandée pour 2016**

Enjeux et objectifs

Afin de répondre aux enjeux du développement durable, des matériaux issus partiellement ou totalement de ressources agricoles, liés au développement de la "chimie verte", ou faisant appel à des ressources naturelles émergent et sont déjà disponibles dans la construction.

Outre leur intérêt environnemental, ces matériaux présentent des propriétés intéressantes (mécaniques et/ou thermiques et acoustiques...), et sont a priori mieux valorisables en fin de vie que les matériaux de construction usuels. Cependant, leur développement est limité par un cadre normatif absent ou mal adapté et un manque de données sur leur durabilité.

Cette collaboration structurante de recherche vise à fournir des outils méthodologiques et à contribuer à une meilleure connaissance du comportement des matériaux ou des structures sous sollicitations complexes dans le but de faire progresser les règles de construction. Pour cela, la démarche sera de caractériser ces matériaux au niveau mécanique, thermique et/ou acoustique, d'évaluer leur durabilité en fonction de l'environnement dans lequel ils sont utilisés et de valider l'intérêt environnemental lié à l'utilisation des matériaux biosourcés en analysant leur cycle de vie.

Etat de l'art

Les « matériaux biosourcés et naturels » qui sont étudiés dans le cadre de cette recherche concernent soit des matériaux dont l'utilisation est assez récente (exemple fibre naturelles, granulats végétaux, paille) soit des matériaux de construction traditionnels (bois, pierre) qui connaissent un nouvel essor du fait des intérêts environnementaux actuels.

Dans le premier cas, les études menées jusqu'à ce jour ont montré que ces matériaux avaient de forts atouts mais, du fait de leur utilisation récente, les aspects « vieillissement » sont peu étudiés. Dans le deuxième cas, le développement des matériaux traditionnels nécessite une meilleure prise en compte de leurs performances techniques en conditions de services.

Sujets traités

1. Durabilité des matériaux à base de fibres végétales utilisées en substitution des fibres synthétiques et minérales
2. Durabilité des isolants contenant des granulats végétaux
3. Perspectives d'utilisation des biomolécules dans les matériaux de construction
4. Systèmes de construction multi matériaux à base de bois
5. Systèmes de construction à base de paille, enduits terre/plâtre
6. Les structures en pierre

Implication prévue

Temps prévus Ifsttar : 70 hm/an,
Autre partenaire institutionnel (Cerema) : 60 hm/an en 2015

Partenaire	Contribution
Ifsttar/MAST/CPDM	Caractérisation physico-chimique, microstructurale et morphologique des matériaux Etude de la durabilité : impact du vieillissement hygrothermique et biologique, vieillissements naturels et accélérés
Ifsttar/MAST/Navier	Etude du comportement mécanique, et/ou thermo-hydrigue des matériaux et des structures sous sollicitations complexes et couplées. Approches théoriques et expérimentales. Analyses multiéchelles
CEREMA/DTer Centre-Est	Inventaire et instrumentation de bâtiments contenant des matériaux biosourcés Caractérisation des matériaux Caractérisation d'enduits terre-paille et de parois terre/enduit
CEREMA/DTer Est	Inventaire et instrumentation de bâtiments contenant des matériaux biosourcés Etude de la durabilité des propriétés acoustiques et hygrothermiques
CEREMA/DTer Ile-de-France	Inventaire et instrumentation de bâtiments contenant des matériaux biosourcés Caractérisation de matériaux biosourcés
CEREMA/DTer Nord-Picardie	Analyse environnementale de matériaux biosourcés Impact sanitaire des peintures végétales
CEREMA/DTer Ouest	Modélisation du comportement hygrothermique
CEREMA/DTer Sud-Ouest	Inventaire et instrumentation de bâtiments contenant des matériaux biosourcés Modélisation du comportement hygrothermique

Produits majeurs visés (*mettre en avant les produits majeurs tels que les publications et ouvrages scientifiques, les articles de vulgarisation, guides, thèses, matériels, logiciels, brevets, démonstrateurs, base de données, les actes de colloques, etc.*)

Préciser l'échéance prévue ou réalisée (année)

L'ensemble de ce travail devrait permettre :

- De développer des protocoles de vieillissement accéléré et / ou méthodes d'essais adaptées aux matériaux biosourcés ou naturels,
- D'apporter une meilleure compréhension sur les mécanismes responsables du vieillissement de ces matériaux ou du comportement de ces matériaux en condition de service,
- De développer des outils prédictifs du comportement mécanique et hygrothermique, du temps de vie des matériaux et/ou structures,
- De proposer des règles de construction, recommandations techniques.

Partenariats et contrats

- Ifremer, IFTH, ENTPE, ENSAM, IUT Egletons/Limoges, Université Blaise Pascal, Ecole d'Architecture de Paris-Malaquais, CSTB.
- Association Construction et Bioressources.

Thèses

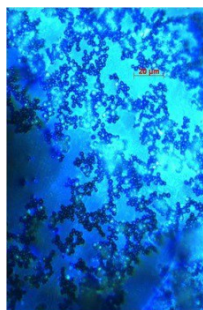
- Thèses obtenues
 - o L. Loulou (thèse Ifsttar, 06/09/2013), Durabilité de l'assemblage mixte bois-béton collé sous chargement hydrique. Thèse en lien avec OR 11R096, Récompense : Médaille d'argent 2014 de l'Académie de l'Agriculture de France
 - o A. Akkaoui (thèse ENPC, 07/11/2014), , Bétons de granulats de bois : étude expérimentale et théorique des propriétés thermo-hydro-mécaniques par des approches multiéchelles
 - o M. Goddio, (thèse CSTB, 2012-2015) Modélisation des murs en maçonnerie sous sollicitations sismiques
 - o H. Rabii (thèse Ifsttar, 2012-2015), Etude du vieillissement de composites renforcés par des fibres naturelles : applications bâtiment
 - o M. Bonnet (thèse Ifsttar, 2014-2017), Analyse du comportement hygromécanique du bois par imagerie et modélisation multi-échelle
 - o O. Perret (Thèse TPE, 2014-2017), Flambement des panneaux en bois lamellé-croisé.
 - o G. Delannoy (Thèse Ifsttar, 2015-2018), durabilité des isolants à base de granulats végétaux
 - o T. Cadu (Co-financement Ifsttar – Région Bourgogne, 2015-2018), Développement de structures sandwich biosourcées multi-fonctionnelles. Influence du vieillissement environnemental sur leurs propriétés vibratoires et à long terme
 - o M. Zhou (Thèse Labex MMCD, 2015-2018), Compréhension des mécanismes de transferts d'eau dans le bois

Résultats obtenus

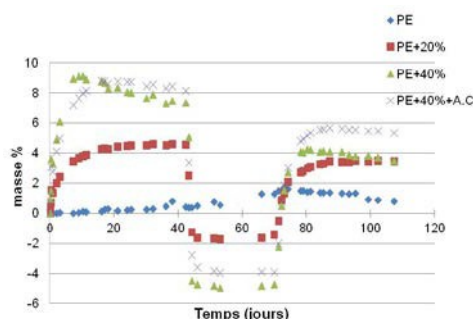
Le laboratoire CPDM pilote des activités de recherche concernant la durabilité de plusieurs types de matériaux biosourcés utilisés dans la construction et le génie civil. Réalisées en collaboration avec le CEREMA, ces études pluridisciplinaires ont pour but d'analyser les aspects fondamentaux du vieillissement de ces matériaux par une analyse multi-échelle. L'objectif est de pouvoir identifier les paramètres environnementaux capables d'affecter les performances des matériaux, et de comprendre l'évolution de ces performances par des analyses physico-chimiques, microstructurales et morphologiques.

Sujet 1 : durabilité des matériaux à base de fibres végétales

L'étude des vieillissements hygro et hygrothermiques de composites en polyéthylène renforcés par des fibres de chanvre réalisée dans le cadre de la thèse d'Hajer Rabii a permis par des analyses multi-échelles d'identifier partiellement les principaux phénomènes de dégradations responsables des chutes de résistances mécaniques et du module d'élasticité de ces matériaux. Compte tenu de l'effet de synergie existant entre le vieillissement physico-chimique et la biodégradation des composites biosourcés, une étude microbiologique est actuellement en cours pour évaluer également l'effet d'un développement microbien sur la durabilité des composites.



(a)

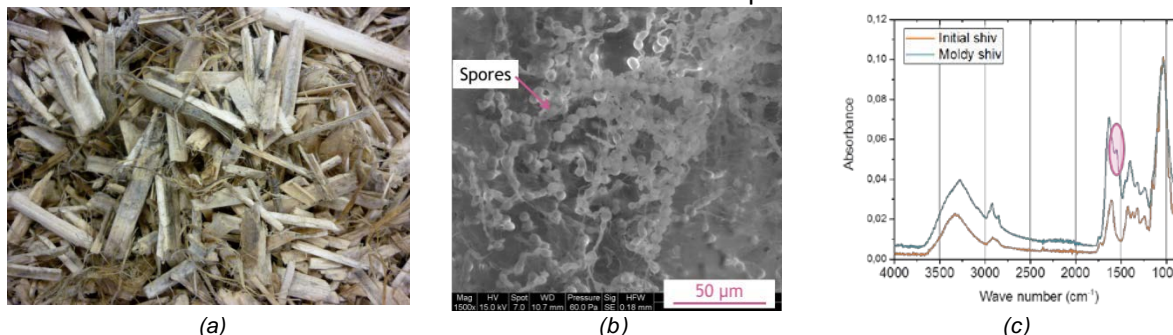


(b)

(a) Colonies bactériennes à la surface des composites, (b) Courbes de sorption/désorption/sorption des composites contenant différents taux de fibres.

Sujet 2 : durabilité des isolants à base de granulats végétaux

- Une analyse du vieillissement de bétons de chanvre est réalisée avec la DTer Est (Laboratoire de Strasbourg) en collaboration avec l'Université Blaise Pascal (Clermont-Ferrand) pour l'étude de l'impact de cycles d'humidification/séchage sur les propriétés des matériaux en utilisant une approche pluridisciplinaire. En parallèle, un projet a été soumis à l'appel d'offre ANR 2015 en collaboration avec Vicat et l'Université Blaise Pascal à Clermont-Ferrand mais n'a pas été retenu.



(a) Développement de moisissures à la surface des granulats végétaux, (b) observation des microorganismes par microscopie électronique à balayage, (c) Mise en évidence des moisissures par spectroscopie infra-rouge

- Plusieurs suivis in situ de bâtiments biosourcés (confort hygrothermique, qualité de l'air intérieur) effectués par les équipes du Cerema.
- Construction, par la Direction territoriale Est du Cerema/Laboratoire de Strasbourg, d'une base de données des performances et propriétés acoustiques des matériaux biosourcés.
- Protocoles d'analyse granulométrique et étude sur la fin de vie et le recyclage de bétons biosourcés.
- Les résultats ont été valorisés par 4 communications orales lors de la conférence ICBBM en juin 2015. Une thèse (financement Ifsttar) débutera en octobre 2015.

Sujet 3 : Perspectives d'utilisation des biomolécules dans les matériaux de construction

Dans l'objectif d'évaluer la durabilité de matériaux synthétisés avec des biomolécules, la comparaison des vieillissements chimique (formation de fonctions amides) et structural (température de transition vitreuse (T_g)) de peintures époxy, pétrolière et partiellement biosourcée (30% d'acides gras végétaux), fournies par Freitag – PPG a été réalisée. Les peintures ont été soumises à un vieillissement thermique (110°C) et à un vieillissement artificiel (VA) suivant un cycle humidité/chaleur/UV utilisé pour la certification des peintures anticorrosion par la marque ACQPA. Le VA a été réalisé à la Direction territoriale Centre-Est du Cerema/Département Laboratoire de Lyon.

Pour les deux vieillissements considérés, l'oxydation par formation de fonction amides, déterminées par spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, s'est avérée plus importante pour la peinture pétrolière que pour la peinture biosourcée (figure 1). Les analyses enthalpiques différentielles (AED) n'ont pas mis en évidence de modification des valeurs de T_g des films de peinture vieillies. Ce manque de modification structurale est attribué à un phénomène de post-réticulation simultanée au phénomène de rupture de chaînes du polymère époxy dû au vieillissement.

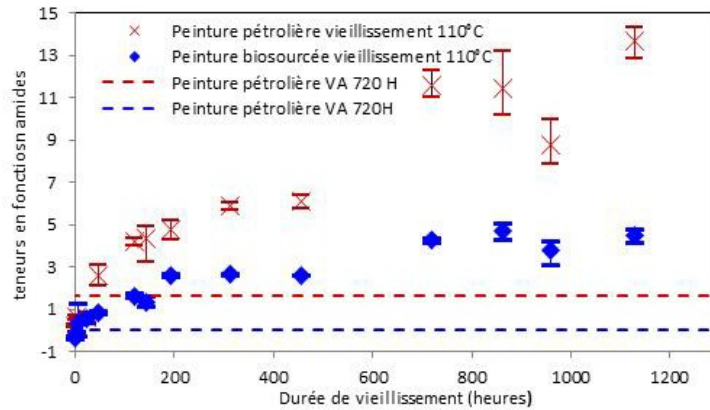


Figure 1 : Evolution des teneurs en fonction amides des peintures époxy pétrolière (X) et bio-sourcées (♦) soumises à un thermo-
vieillissement à 110°C et à un vieillissement artificiel constitué de chocs thermiques et de phases d'exposition aux
UV/pluie

Un premier test de comestibilité de la peinture par des moisissures a été réalisé. La peinture pétrolière inhibe le développement microbien contrairement à la peinture végétale. Ce développement fongique (figure 2) soulève des questions dont les réponses pourraient être données par les résultats des tests de capacité des micro-organismes à puiser leurs nutriments dans les constituants de la peinture et à coloniser les peintures

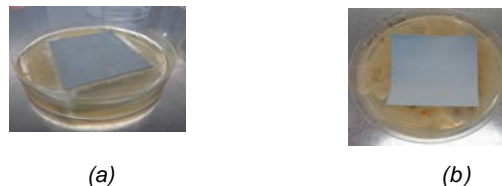
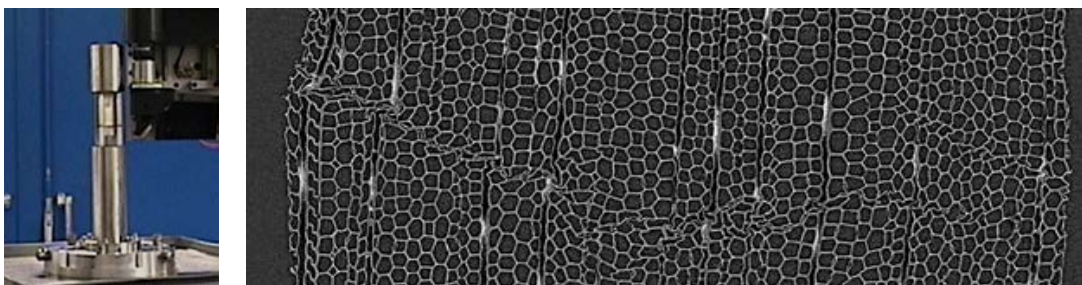


Figure 2 : Test de capacité de la peinture à inhiber le développement fongique des peintures biosourcée (a) et pétrolière (b).

Le laboratoire Navier développe des recherches autour de l'utilisation du bois ou d'autres matériaux biosourcés ou naturels tels la pierre ou paille dans les ouvrages d'art et bâtiment. Les études menées du point de vue expérimental, théorique ou numérique par des approches éventuellement multiéchelles permettent de préciser le comportement mécanique ou la durabilité des matériaux ou des structures. En particulier pour les études plus spécifiquement menées au niveau du laboratoire Navier, les études s'appuient sur les outils d'imagerie.

Sujet 4 : Bois et multimatériaux (Navier-MSA, ME et Poreux- et CEREMA/DT Centre-Est)

- Co-organisation de l'Ecole thématique CNRS PLURIBOIS du GDR3544 Sciences du bois (voir : <http://www6.inra.fr/gdr-sciences-du-bois/Les-manifestations-du-GDR/2015/Ecole-thematique2>)
- Soutenance de A. Akkaoui sur le comportement thermo-hydrromécanique des bétons de granulats de bois (07/11/2014) et poursuite des thèses en cours sur le bois d'œuvre et les CLT.



Essais réalisés au synchrotron Soleil en mars 2015 (thèse Marie Bonnet).
(a) dispositif de compression, (b) Collapse des cellules.

- Dépôt ANR 2015 sur des traitements enzymatiques de copeaux de bois pour des

applications panneaux (piloté par le FCBA). Non retenu au second tour.

- Prototype plancher bois-béton, contrat Bouygues (R. Le Roy)
- Etat de l'art des systèmes constructifs mixtes bois-béton et simulations thermohydriques (WUFI) des systèmes de plancher collaborant par connecteurs tube et par collage, par la Direction territoriale Centre-Est.

Sujet 5 : Systèmes de construction à base de paille, enduits terre/plâtre (avec le CEREMA/DT Centre-Est/DLL RRMS/DCAP-META -F. Rojat, M. Olivier)

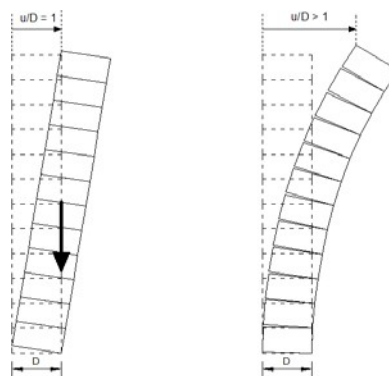
- Essais de laboratoire pour le comportement du composite paille-enduit par la Direction territoriale Centre-Est. Rédaction de méthodes d'essai.
- Les résultats ont été valorisés par plusieurs communications lors de conférences en 2015 (ECOBAT, ICBBM) et un article sur la caractérisation mécanique des enduits de terre, paru dans « Building and Environnement ».

Sujet 6 : les structures en pierre

- Résultats scientifiques (6 publications/conférences) : 1) Etude de l'effet de la taille des blocks des structures en maçonnerie sur leur comportement dynamique et leur résistance. 2) Calcul du risque sous sollicitations séismiques pour des monuments historiques de forte valeur touristique. Application aux temples classiques (voir figure ci-dessous). 3) Des analyses comparatives ont été réalisées entre des approches discrètes (DEM) et continues par homogénéisation.
- Animation : Organisation des premières Journées Nationales Maçonnerie (JNM2016). Les journées auront lieu à l'IFSTTAR les 17 et 18 mars 2016.



(a)



(b)

(a) Colonnes de Propylaia d'Acropole en pierre taillée; (b) Différentes modes de déformation des colonnes de temples classiques qui sont construites par de grands blocks cylindriques en pierre taillée, posé l'un sur l'autre sans connexion.

Programme pour l'année à venir

La prolongation de la collaboration de recherche est demandée pour l'année 2016 afin de préparer la journée de clôture (**date prévue : le 19 et/ou 20 mai 2016**), de valoriser les résultats obtenus et de préparer la suite de ces projets.

Sujet 1	<ul style="list-style-type: none"> - Fin de la thèse d'Hajer Rabii - Valorisation des résultats de la thèse sous forme de publications - Début de la thèse de T. Cadu en collaboration avec l'ISAT de Nevers
Sujet 2	<ul style="list-style-type: none"> - Poursuite et valorisation des études sur la durabilité des isolants contenant des granulats végétaux en relation avec le CEREMA - Soumission d'un projet à l'appel d'offre ANR 2016 - Début de la thèse de G. Delannoy - Participation à l'équipex "Sensecity"
Sujet 3	<ul style="list-style-type: none"> - Les essais de durabilité et les tests fongiques sur des peintures anticorrosion de type époxy contenant des biomolécules ont commencé en collaboration avec le Cerema de Lyon.
Sujet 4	<ul style="list-style-type: none"> Poursuite et valorisation des études sur le comportement hygromécanique du bois et ses composés. - Poursuite des activités dans le cadre du GDR3544 Sciences du bois (pilotage, organisation de journées)
Sujet 5	<ul style="list-style-type: none"> - Poursuite et valorisation des essais sur le comportement des enduits terre/paille. - Projet sur la paille porteuse en collaboration avec la Turquie sous réserve du financement de l'aap CNRS (dépôt septembre 2014).
Sujet 6	<ul style="list-style-type: none"> - Les développements théoriques seront continués et des applications seront réalisées - Rédaction des articles - Réalisation des premières Journées Nationales Maçonnerie (JNM2016). Les journées auront lieu à l'IFSTTAR les 17 et 18 mars 2016

Valorisations proposées et perspectives

- Journée de clôture (19 et/ou 20 mai 2016)
- Valorisation des résultats sous forme de publications et de participation à des conférences
- Publication d'une synthèse des résultats : "Guide d'utilisation des matériaux biosourcés" (Livrable phare de l'axe 2 dans le COP)