



OPTION TRANSVERSALE
MATÉRIAUX
INNOVANTS POUR LA
CONSTRUCTION DURABLE

DU 8 FÉVRIER AU 22 MARS 2016

Rhône-Alpes 

INSA INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

ATELIER
MATIÈRES À
CONSTRUIRE

amàco

SOMMAIRE

2

INTRODUCTION	5
LE PROJET AMÀCO / L'INSA DE LYON	6
LE PROFIL DES APPRENANTS	7
MATRICE PÉDAGOGIQUE	8
PLANNING	10
CONSTRUCTION DURABLE	12
VISITE DU PATRIMOINE EN TERRE CRUE DU NORD-ISÈRE	14
ATELIER : VERSUS	16
CONFÉRENCE : SCÉNARIO NÉGAWATT	18
CONFÉRENCE : EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE	19
CONFÉRENCE : ANALYSE DU CYCLE DE VIE	20
MATIÈRES À CONSTRUIRE	22
ATELIER : DÉCOUVERTE SENSORIELLE DE LA TERRE / DES FIBRES	24
ATELIER : TECHNIQUES DE CONSTRUCTION EN TERRE CRUE	26
ATELIER : FLUIDITÉ DE LA TERRE COULÉE	27
ATELIER : EXERCICE CARAZAS (TERRES ET FIBRES)	28
CONFÉRENCE : ARCHITECTURE DE TERRE	30
CONFÉRENCE : ARCHITECTURE DE FIBRES	32
CONFÉRENCE : BÉTONS D'ARGILE	34

CONFÉRENCE : MATIÈRE EN FIBRES	36	<hr/>
CONFÉRENCE : MATIÈRES LIANTES	38	
CONFÉRENCE : L'EAU DANS LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	40	
CONFÉRENCE : PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES MATÉRIAUX	42	
PROJET	44	
CONSIGNES	46	
MOYENS ET ÉVALUATION	48	
WORLD CAFÉ : STRATÉGIES DE FORMULATION	50	
CONFÉRENCE : PLANS D'EXPÉRIENCES, MÉTHODE TAGUCHI	52	
SUJET 1 : MUR COULÉ PORTEUR	54	<hr/>
SUJET 2 : MUR BANCHÉ ISOLANT	55	
SUJET 3 : MONOBLOC ISOLANT PORTEUR	56	
SUJET 4 : DALLE COULÉE	57	
OPPORTUNITÉS PROFESSIONNELLES	58	
TABLE RONDE : NORMES ET RÉGLEMENTATIONS POUR L'UTILISATION DE NOUVEAUX MATÉRIAUX DANS LA CONSTRUCTION	60	
TABLE RONDE : FREINS ET LEVIERS DU DÉVELOPPEMENT DE LA FILIÈRE TERRE DANS LE BÂTIMENT	62	
ÉVALUATION DE LA FORMATION	64	<hr/>

4



Formateurs référents amàco :
Marianne MCEVUS-DORVAUX
Laetitia FONTAINE



Enseignants responsables INSA :
Christian OLAGNON
Elodie PRUD'HOMME



Avec le soutien de la Région
Rhône-Alpes dans le cadre du
dispositif SRESRI.

INTRODUCTION

5

Les filières des matériaux biosourcés se développent et s'organisent, offrant de plus en plus de solutions pour des constructions à faible impact environnemental. Mais ces «nouveaux» matériaux de construction ne sont pas encore intégrés dans la formation des ingénieurs et des architectes qui seront amenés à concevoir des bâtiments.

Dans le cadre de son partenariat avec l'INSA de Lyon, l'Atelier Matières à Construire (amàco) propose pour la deuxième année consécutive, en 2016, aux élèves-ingénieurs de 5ème année un module transversal d'enseignement sur les matières et matériaux naturels dans la construction. L'objectif principal est de former des concepteurs, prescripteurs, maîtres d'œuvre capables d'innover dans l'utilisation de matériaux naturels largement disponibles.

Cette formation est elle-même innovante sur plusieurs aspects. Le sujet est en soi atypique dans un cursus d'école d'ingénieur, et pourtant profondément d'actualité. Les méthodes d'enseignement sont variées et souvent participatives. Elles mobilisent particulièrement les intelligences kinesthésique et sensible, la créativité et l'intelligence collective des apprenants. Les méthodes d'évaluation se veulent participatives et apprenantes.

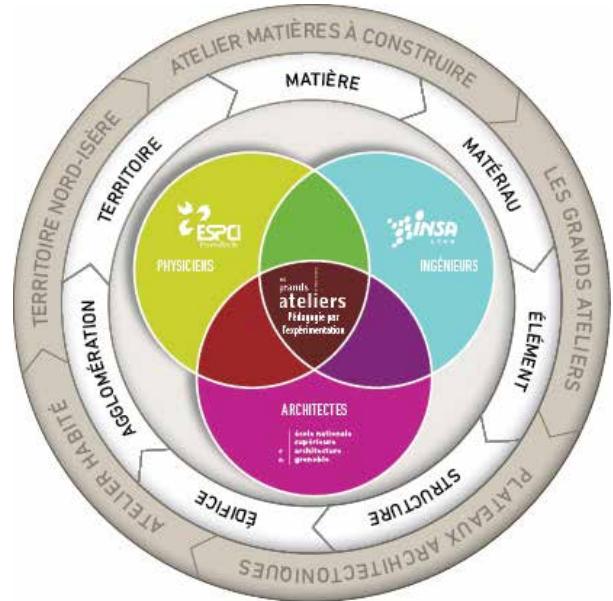
Le projet *amàco*



Initiative D'Excellence en Formation Innovante

6

Financé par les investissements d'avenir, les **Ateliers Matières à Construire (amàco)** travaillent depuis 2012, en collaboration avec l'INSA de Lyon, l'École d'Architecture de Grenoble (ENSAG), l'ESPCI à Paris et les Grands Ateliers, au développement d'outils pédagogiques autour de la construction durable à destination d'élèves ingénieurs et architectes.



L'INSA Lyon

École d'Ingénieurs

Créé en 1957 par le philosophe Gaston Berger et le recteur Jean Capelle, l'**Institut National des Sciences Appliquées de Lyon** est le plus ancien et le plus important des six établissements du Groupe INSA. Avec plus de 1400 diplômés par an et 5400 étudiants, l'INSA Lyon est également la première école d'ingénieurs de France.

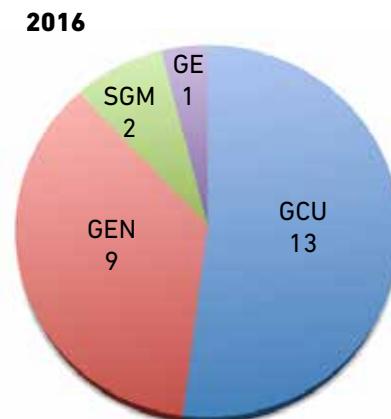
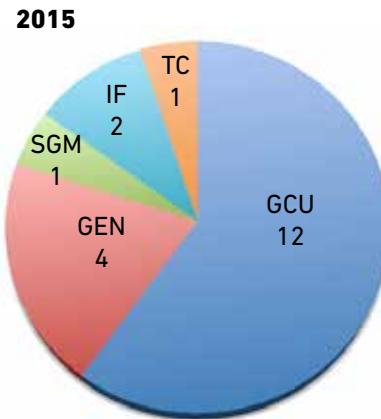
Le profil des apprenants

Le cycle ingénieur dure cinq ans, ponctué par 7 à 11 mois de stages en entreprise. Il comporte d'abord deux années de contenus généralistes, puis le second cycle de trois ans s'ouvre sur 9 spécialités..

La formation proposée ici, de 96h réparties sur deux mois, s'adresse aux étudiants de dernière année sous la forme d'une option transversale (OT). Les étudiants de différentes spécialités peuvent choisir cette option parmi un panel de propositions.

Pour sa première édition en 2015, 17 étudiants se sont inscrits. En 2016 l'effectif était complet avec 25 inscrits.

La majorité des participants vient du département Génie Civil et Urbanisme (GCU). Le département Génie Énergétique et Environnement (GEN) est également bien représenté avec 9 étudiants sur 25 en 2016. Les autres étudiants viennent de Science et Génie des Matériaux (SGM), Génie Électrique (GE), Informatique (IF) et Télécom (TC).



Matrice pédagogique de l'OT «MICODU»

8

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES	CONTENUS
pouvoir discuter de manière critique et argumentée de la pertinence de projets architecturaux face aux enjeux du DD	<ul style="list-style-type: none">- scénario négaWatt- visite du patrimoine en pisé- outils : analyse cycle de vie, VerSus
avoir pris conscience de la diversité des matériaux naturels et de leurs utilisations possibles dans le bâtiment	<ul style="list-style-type: none">- panorama architecture en terre crue- panorama architecture fibres- matériauthèque- matrices terres et fibres
être capables de mettre en œuvre une démarche expérimentale de formulation de matériaux pour répondre à un cahier des charges	<ul style="list-style-type: none">- théorie plans d'expériences
proposer une analyse scientifique de résultats expérimentaux	<ul style="list-style-type: none">- bétons d'argile- fibres végétales- propriétés hygrothermiques- liants minéraux
être capables de s'organiser pour travailler en équipe	<ul style="list-style-type: none">- définir des rôles- lister les compétences disponibles- organiser les échanges dans l'équipe
être en mesure de postuler / trouver un emploi dans le réseau des filières «matériaux biosourcés»	<ul style="list-style-type: none">- contacts de professionnels- besoins/problématiques actuels des filières "matériaux biosourcés"

MÉTHODES D'ENSEIGNEMENT**MÉTHODES D'ÉVALUATION**

- conférences
- atelier
- visite
- tables rondes

- discussion libre, questions réponses
- questions posées pendant tables rondes
- restitution orale d'une étude de cas par groupes de travail

- conférences expérimentales
- ateliers encadrés

- discussions de restitution des ateliers encadrés

- conférence
- projet

- séance de restitution des plans d'expériences
- soutenances projet
- rapport

- conférences expérimentales
- projet

- soutenances projet
- rapport

- projet

- présenter oralement l'organisation de l'équipe pendant la phase projet

- tables rondes
- conférences par des professionnels

- questionnaires d'évaluation questionnaires

Planning

10

Lundi 8 février

8-9h introduction

9-12h world café

14-16h scénario négaWatt
Marc Jedliczka (HESPUL)

Mardi 9 février

8-16h patrimoine en terre crue
du Nord Isère

Mercredi 10 février

8-10h formation
des groupes

10-12h atelier VerSus
Sébastien Moriset et Nuria Sanchez

14-16h atelier VerSus (suite)
Sébastien Moriset et Nuria Sanchez

Lundi 15 février

8h-8h30 architecture de terre

8h30-12h ateliers matériaux

14-16h bétons d'argile

Mardi 16 février

8h-8h30 architecture de fibres

8h30-12h ateliers matériaux

14-16h matière en fibres

Mercredi 17 février

8-12h projet

8-10h matière liante

Lundi 29 février

8-10h plans d'expériences
Pascale Stéphan (INSA Lyon)

10-12h projet

14-16h analyse du cycle de vie
Guillaume Habert (ETH Zürich)

Mardi 1 mars

8-10h propriétés hygro-
thermiques *Antonin Fabbri (ENTPE)*

10-12h l'eau dans les matériaux

14-16h projet

Mercredi 2 mars

8-10h projet

10-12h point d'étape

14-16h projet

Lundi 7 mars

8-12h projet

14-16h efficacité énergétique
Solène Peyragosse (ETAMINE)

Mardi 8 mars

8-10h projet

10-12h normes et réglementation

14-16h point d'étape

Mercredi 9 mars

8-12h projet

14-16h projet

Lundi 14 mars

8-10h projet

10-12h marché, filières, enjeux

14-16h projet

Mardi 15 mars

8-12h projet

14-16h projet

Lundi 21 mars

8-12h projet

14-16h rangement

Mardi 22 mars

8-9h projet

9-12h soutenances

14-16h rangement

Légende couleurs :

projet	conf. amàco
visite	atelier
conférence	table ronde



CONSTRUCTION DURABLE :

problématiques et enjeux globaux

La notion de durabilité, au sens du développement durable est délicate à évaluer. Elle concerne des champs très différents (environnemental, social, économique, culturel), non comparables entre eux. Des produits qualifiés d'écologiques ne respectent pas forcément des critères de durabilité socio-économiques. Comment s'y retrouver?

Sur 96h de formation, 16h ont été consacrées à des ateliers et conférences permettant d'aborder différents regards sur la durabilité. La présentation du scénario négaWatt permet de comprendre les enjeux actuels de la politique énergétique de la France. Des outils comme l'analyse du cycle de vie et l'analyse multicritère du projet VerSus sont présentés pour aider les étudiants à construire leur propre opinion et à faire des choix pertinents.

Visite du patrimoine en terre crue du Nord Isère - VISITE

MARTIN POINTET (AMÀCO)- 6H

14

Dès le deuxième jour de la formation, une journée de visite est proposée aux étudiants pour découvrir quatre projets de construction ou rénovation en terre crue.

Musée Mandrin à St Genix-sur-Guiers

Architecte : Guiespina Chiaramela

Entreprise Pisé : Caracol

Date de réalisation : 2011

Les murs de parement et de clôture du musée ont été réalisés en terre crue sous forme de pisé. ce chantier a permis de développer la technique du pisé préfabriqué en atelier puis assemblé sur chantier.

École primaire de Veyrins-Thuellins

Architecte : Architecture et Design (M.Stefanova et B.Marielle)

Entreprise Pisé : Heliopsis

Date de réalisation : 2007-2008

Ce bâtiment scolaire a une conception bioclimatique générale (orientation Sud, ventilation naturelle, matériaux locaux...). L'utilisation de la terre crue sous forme de pisé vient d'une vraie volonté politique faisant référence au patrimoine local. Situé au Sud sous forme de murs trumeaux porteurs, le pisé permet d'augmenter les apports solaires passifs.





Martin Pointet est chercheur-formateur chez amàco mais également architecte-constructeur, co-fondateur de Caracol et plus récemment du B'Etterre, bureau d'étude spécialisé sur la construction en terre crue. Avec Caracol, il a réalisé de nombreux chantiers neufs et de rénovation en terre dont certains primés par le prix national de l'architecture de terre.

Médiathèque de la Tour du Pin

Architecte : CR&ON Architectes

Date de réalisation : 2012-2015

Il s'agit d'un bâtiment labellisé THPE (très haute performance environnementale) dans lequel la terre crue a été utilisée pour réaliser des enduits intérieurs. Ici la terre est utilisée pour ses qualités de régulation hygrothermique et esthétiques, conférant une ambiance agréable et chaleureuse aux espaces intérieurs.

Domaine de la Terre à Villefontaine

Ce quartier est constitué de 65 logements sociaux habités. L'ensemble a été construit en terre crue (pisé, blocs de terre compactée) il y a 40 ans, dans le contexte de la Ville nouvelle de l'Isle-d'Abeau propice à l'innovation architecturale. Il affiche la volonté de ses concepteurs d'assurer une continuité historique entre les traditions dauphinoises (pisé) et la modernité en reprenant des techniques de construction traditionnelle.



« VerSus » : Leçons du patrimoine vernaculaire pour une architecture contemporaine durable - ATELIER

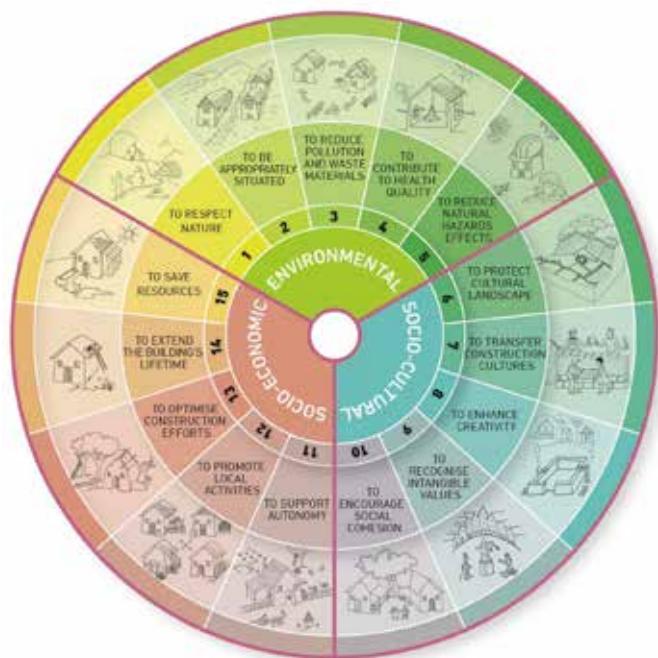
NURIA SÁNCHEZ MUÑOZ ET SÉBASTIEN MORISET (CRATERRE-AE&CC-ENSAG) - 4H

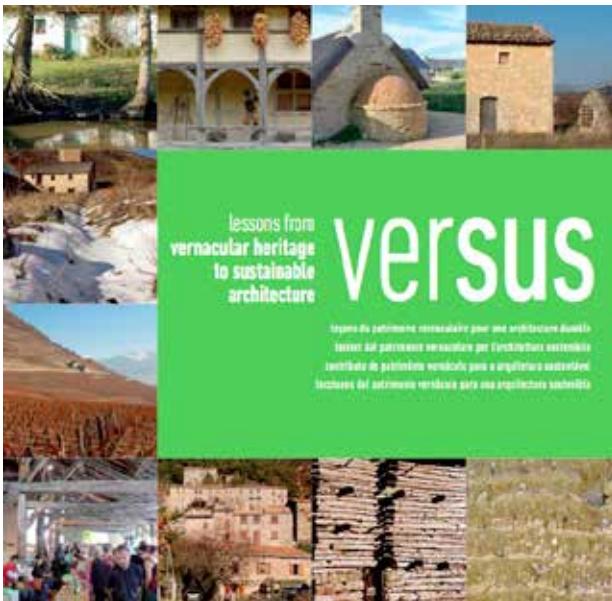
16

VerSus est un projet de recherche européen qui analyse le patrimoine vernaculaire de la France, de l'Italie, de l'Espagne et du Portugal afin d'en tirer des enseignements pour la conception d'architectures durables. Le concept de durabilité est traité dans une perspective holistique, transversale et pluridisciplinaire.

L'analyse du patrimoine vernaculaire a permis d'identifier quinze grands principes de durabilité et une centaine de stratégies architecturales, permettant de couvrir les trois domaines de durabilité : environnement, sphères socio-culturelle et socio-économique. L'ensemble de ces principes et stratégies fournit une grille de lecture et d'évaluation de projets architecturaux contemporains.

Les étudiants sont amenés, pendant l'atelier, à découvrir cet outil à partir d'exemples très parlants du patrimoine vernaculaire, puis à l'utiliser pour évaluer des bâtiments contemporains.





Livret téléchargeable en ligne sur <http://www.esg.pt/versus/>

PROGRAMME DE L'ATELIER :

- 10h00 Présentation de l'outil d'analyse multi-critère VerSus
- 10h45 Analyse en plénière d'un projet contemporain du livret VerSus
- 12h00 Pause
- 14h00 Analyse en groupe d'un bâtiment à choisir parmi :
- École de Veyrins-Thuellins
 - Musée d'Artas
 - Bibliothèque Marie Curie
- 15h00 Restitution - évaluation



Sébastien Moriset est architecte, enseignant et chercheur, responsable du thème «Gestion participative du patrimoine» dans le programme scientifique du laboratoire AE&CC, Architecture, Environnement et Cultures Constructives de l'ENSA de Grenoble. Il a mené plus de 50 projets dans 33 pays d'Afrique et d'Asie. Il a élaboré de nombreuses propositions d'inscription sur la Liste du Patrimoine mondial, développé des plans de gestion et mis en œuvre des programmes de conservation.

17



Nuria Sánchez Muñoz est architecte espagnole spécialisée dans la construction en matériaux locaux et l'architecture durable. Après avoir travaillé 4 ans dans des cabinets européens d'architecture conventionnelle, elle se consacre au développement de projets d'architecture durable, en Afrique principalement (Sénégal, Ghana, Burkina Faso, Tanzanie, Gambie, Maroc) et en Espagne. Elle a récemment supervisé la construction d'un Centre d'Information Touristique en Tanzanie.

Scénario négaWatt et secteur du bâtiment - CONFÉRENCE

MARC JEDLICZKA (FORMATEUR NÉGAWATT) - 2H



18

En 2003, vingt-quatre ingénieurs engagés dans la recherche d'un avenir énergétique durable réalisaient le Scénario Négawatt, certainement la proposition la plus aboutie pour repenser la politique énergétique de la France.

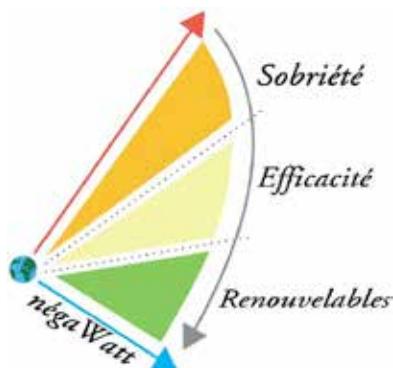
Ce travail repose sur une méthodologie rigoureuse constituée de trois piliers fondamentaux : la sobriété énergétique, l'efficacité énergétique, et le recours aux énergies renouvelables.

Les analyses démontrent avec clarté qu'il est possible, à l'horizon 2050, de remplacer les combustibles fossiles et le nucléaire par

la sobriété des comportements individuels et collectifs, l'efficacité des performances des bâtiments, véhicules et équipements et la montée en puissance des énergies renouvelables. Les hypothèses développées depuis 2003 par ces experts sont aujourd'hui confirmées et renforcées par les faits.



Marc Jedliczka est l'un des ingénieurs à l'origine de la démarche négaWatt. co-auteur du «Manifeste négaWatt» (éditions 2012 et 2015) et du livre «Changeons d'énergie». Il est l'un des meilleurs spécialistes français de l'énergie photovoltaïque. Fondateur et directeur général de l'association Hespul, spécialisée dans le développement des énergies renouvelables, il est également vice-président du CLER, le réseau pour la transition énergétique.



Efficacité énergétique des bâtiments - CONFÉRENCE

SOLÈNE PEYRAGROSSE (ETAMINE) - 2H



En France, les bâtiments représentent 46% de la consommation nationale d'énergie finale et 23 % des émissions de gaz à effet de serre. La rénovation thermique du parc immobilier français est considérée comme l'un des grands enjeux énergétiques actuels.

La performance énergétique d'un bâtiment peut se définir comme la capacité du bâtiment à répondre aux usages avec un minimum d'énergie. Le sujet dépasse le cadre de la réglementation thermique, car il englobe également les enjeux liés à l'énergie grise, au confort et à la santé des occupants.

Les concepteurs disposent de nombreux leviers d'actions concernant le chauffage, l'eau chaude sanitaire, la ventilation, le rafraîchissement ou l'éclairage artificiel. Avec l'accroissement des exigences de performance énergétique et environnementale sur les nouveaux bâtiments, la simulation thermique-dynamique (STD) est de plus en

plus intégrée au processus de conception des bâtiments. Elle permet d'estimer les consommations réelles d'énergie, en tenant compte de l'enveloppe du bâtiment et de son inertie, des systèmes énergétiques, du comportement des occupants et du climat local.



Solène Peyragrosse est ingénieure-architecte, diplômée en 2008 de l'INSA-Lyon et en 2010 de l'ENSAL. Elle est ingénieure chargée d'affaire et coordinatrice des formations au sein du bureau d'étude ETAMINE, qui accompagne les Maîtres d'Ouvrage et les équipes de maîtrise d'œuvre dans la réalisation de projets exemplaires et performants au niveau de la qualité des ambiances (confort, santé) et des impacts du bâtiment sur l'environnement.

Analyse du Cycle de Vie - CONFÉRENCE

GUILLAUME HABERT (ETH ZÜRICH) - 2H

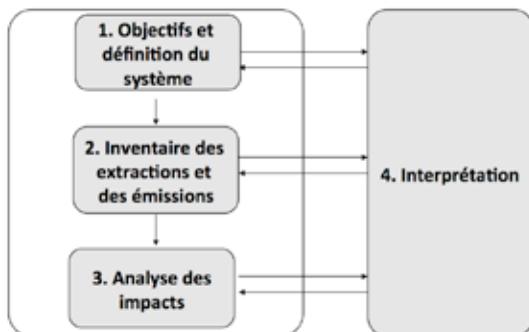
20

L'analyse du cycle de vie (ACV) est un moyen systémique d'évaluation des impacts environnementaux globaux d'un produit, d'un service, d'une entreprise ou d'un procédé. Cette méthode est standardisée (série de normes ISO 14040).

Son but, en suivant la logique de « cycle de vie », est de connaître et pouvoir comparer la pression d'un produit sur les ressources et l'environnement tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à son traitement en fin de vie (mise en décharge, recyclage...) en passant par les ressources naturelles utilisées.



Guillaume Habert est professeur associé à l'ETH de Zürich depuis 2012, en charge de la chaire de la construction durable. Ses thèmes de recherche privilégiés sont l'analyse de cycle de vie et le développement de nouveaux matériaux pour la construction dans un objectif de développement durable.





MATIÈRES À CONSTRUIRE

L'enseignement sur les matières à construire proposé dans cette formation vise à élargir le champ des matériaux classiquement étudiés, comme le bois, l'acier, le béton, grâce à une approche transversale qui aborde la physique de la matière en grains, en fibres, molle, liante. Cela amène à une compréhension de fond des spécificités de chaque matière et permet d'envisager différemment la formulation de nouveaux matériaux.

L'approche pédagogique fait la part belle à l'expérimentation, pour que les étudiants ressentent par eux-mêmes le comportement des différentes matières. Les conférences proposées ici sont dites expérimentales car elles abordent les phénomènes physico-chimiques par des expériences simples, démonstratives et esthétiques, réalisées en direct ou sous forme de vidéos réalisées par le projet amàco.

Découverte sensorielle de la terre - ATELIER

LÉO BOULICOT ET MARIETTE MŒVUS-DORVAUX - 0H30

24

Le premier contact avec les terres utilisées au cours de cette formation se fait au cours de cet atelier de découverte sensorielle. Un bandeau sur les yeux, les apprenants prennent le temps de toucher différentes terres, de les sentir, de les écraser entre les doigts. Certaines sont très caillouteuses, d'autres très fines et douces comme de la farine, d'autres encore sont sableuses et abrasives.

Après ce premier contact à l'état sec, les apprenants retirent leur bandeau, choisissent une terre et lui ajoutent de l'eau petit à petit. Ils découvrent encore de grandes disparités de comportements au mouillage : les terres sont plus ou moins collantes, plus ou moins faciles à mouiller, certaines nécessitent beaucoup plus d'eau que d'autres pour devenir malléables.

Ils font ainsi connaissance avec les matières premières qu'ils utiliseront ensuite dans le projet. L'atelier permet de stimuler l'intelligence du corps et des sens et d'intégrer de premières informations sur la nature des terres proposées: granulométrie, cohésion, plasticité.



Découverte sensorielle des fibres - ATELIER

LÉO BOULICOT ET MARIETTE MŒVUS-DORVAUX - 0H30

Le premier contact avec les fibres utilisées au cours de cette formation se fait au cours de cet atelier de découverte sensorielle.

Un bandeau sur les yeux, les apprenants prennent le temps de toucher, de sentir, de manipuler différentes fibres naturelles. Paille longue, paille coupée, étoupe de lin, filasse de chanvre, laine de bois, laine de mouton, copeaux de bois, ouate de cellulose, tiges de roseaux, chènevotte... Les échantillons de fibres sélectionnés donnent un aperçu de la diversité des matières utilisables pour la construction.

Puis les apprenants retirent leur bandeau et découvrent les fibres qu'ils ont touchées par la vue. Ils en choisissent une et lui ajoutent de l'eau petit à petit. Cela leur permet déjà de constater les différences importantes de mouillabilité et d'absorption d'eau des fibres proposées.

Cet atelier stimule l'intelligence du corps et des sens. Il permet de prendre conscience de la grande diversité des matières utilisables dans la construction et de se familiariser avec les fibres disponibles pour le projet.

25



Techniques de mise en œuvre de la terre crue - ATELIER

LÉO BOULICOT ET MARIETTE MŒVUS-DORVAUX - 3H

26

Cet atelier propose de découvrir quelques unes des techniques de mise en œuvre de la construction en terre par le geste. En manipulant les outils propres à chaque technique, les participants réalisent de manière collective plusieurs murets et des éléments de maçonnerie : des blocs de pisé (technique monolithique), des adobes (éléments de maçonnerie), remplissage terre-paille ou terre-chanvre (remplissage d'une ossature). Ils prennent également conscience de l'importance de la main d'œuvre dans les techniques traditionnelles.

Trois ateliers correspondant aux trois techniques évoluent en parallèle. Les étudiants travaillent par groupes de six, et tournent de manière à pouvoir expérimenter chacun deux techniques différentes.

A la fin de l'atelier, tous les groupes se rassemblent pour un temps de discussion collective autour des éléments réalisés. Les étudiants sont amenés à partager ce qu'ils ont appris au travers des trois techniques expérimentées : spécificités de la technique utilisée, consistance de la terre, paramètres influents, etc.



Fluidité de la terre coulée - ATELIER

LÉO BOULICOT ET MARIETTE MŒVUS-DORVAUX - 3H

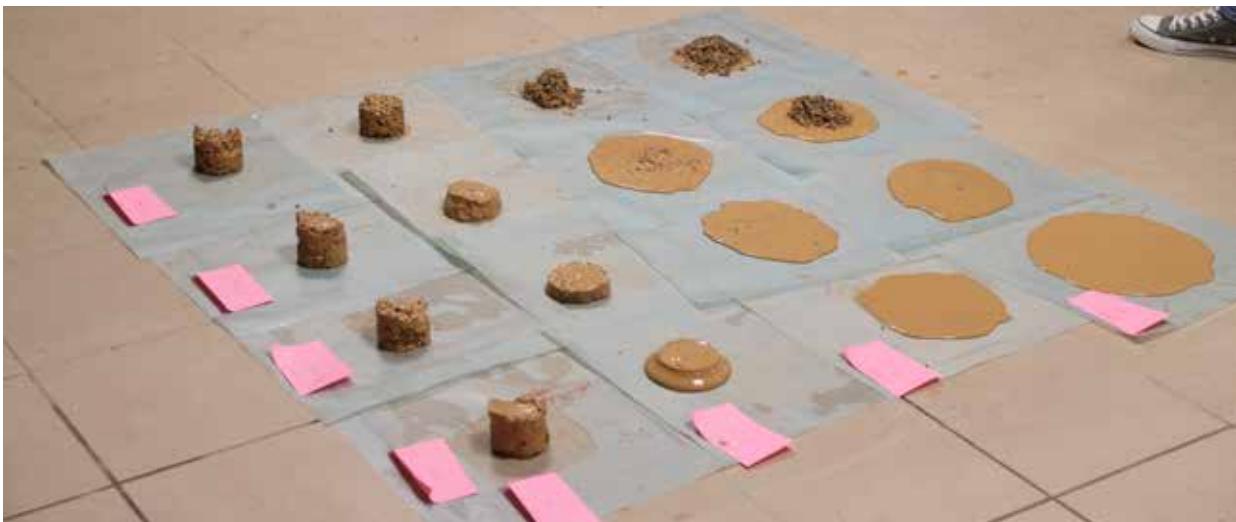
Ce test vise à mettre en évidence l'influence de deux paramètres sur la fluidité de la terre coulée : la proportion de liant par rapport aux grains et la teneur en eau dans le liant argileux.

Un groupe de 5 ou 6 étudiants réalise une matrice d'échantillons à partir d'une terre tamisée choisie. Cette terre tamisée à 0,2mm et mélangée à de l'eau constitue le liant argileux, auquel des graviers sont ajoutés pour former le squelette du matériau. Les proportions liant/grain et eau/liant varient pour chaque

échantillon. En démoulant un mélange donné dans la case correspondante, il se forme une galette qui s'étale plus ou moins en fonction de la fluidité du mélange.

Les étudiants sont invités à compléter des supports d'apprentissage au cours de l'atelier en notant leurs observations.

A la fin de l'atelier, un temps de discussion collective permet aux étudiants de synthétiser à chaud ce qu'ils ont appris de l'atelier.

 27


Test Carazas (terres et fibres) - ATELIER

LÉO BOULICOT ET MARIETTE MŒVUS-DORVAUX - 3H

28

L'exercice Carazas permet d'appréhender par l'expérimentation le lien entre l'état hydrique d'une terre et la technique de mise en œuvre. Une adaptation de cet exercice a été proposée pour les fibres végétales, afin d'appréhender avec les sens la capacité d'absorption d'eau des fibres, leur caractère hydrophile ou hydrophobe, et leur comportement dans la mise en œuvre de composites plus ou moins fibrés.

Cet atelier permet de prendre conscience des potentialités des matières premières à disposition pour la création de nouveaux éco-matériaux de construction.

L'exercice Carazas consiste à réaliser une matrice d'échantillons (ici des cubes de 10cm) à partir d'une terre sélectionnée, en faisant varier deux paramètres : la teneur en eau (terre à l'état sec, humide, plastique, visqueux, liquide) et la mise en œuvre (verser, tasser, compacter).

Pour les fibres, un seul geste de mise en œuvre a été conservé (compacter par couches). Pour chaque fibre, on fait varier la longueur des fibres (par ex : copeaux grossiers et copeaux fins) et l'état hydrique (sec, humide, mouillé), avec deux colonnes supplémentaires correspondant à l'ajout d'une barbotine liquide pour agglomérer les fibres, et l'ajout de fibres dans une boue visqueuse.

Par groupes de cinq, les étudiants ont ainsi manipulé trois terres et six fibres différentes (paille longue et coupée, copeaux de bois fins et grossiers, chènevotte fine et grosse).

Les étudiants complètent des supports d'apprentissage au cours de l'atelier en notant leurs observations. À la fin de l'atelier, un temps de discussion collective permet aux étudiants de synthétiser à chaud ce qu'ils ont appris.

		 SEC	 HUMIDE	 PLASTIQUE	 VISQUEUX	 LIQUIDE
VERSER 		*	*	*	*	*
PRESSER 		*	*	*	*	*
COMPACTER 		*	*	*	*	*



Architecture de terre - CONFÉRENCE

MARIETTE MŒVUS-DORVAUX (AMÀCO) - 0H30

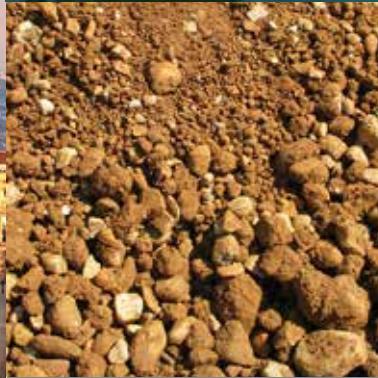
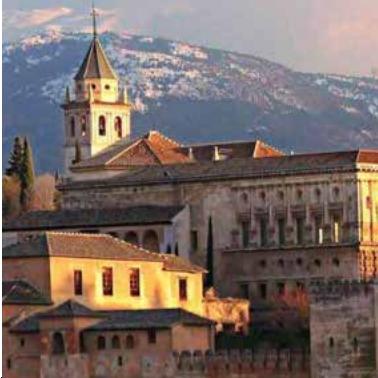
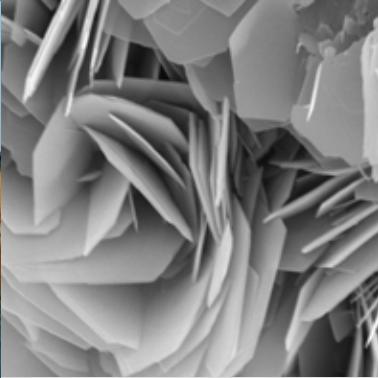
30

Cette conférence est une introduction à l'architecture de terre crue. Elle est construite en deux parties.

La première partie dresse un panorama de l'architecture de terre crue vernaculaire et contemporaine à travers le monde, avec des exemples de bâtiments sélectionnés pour ouvrir les auditeurs à la diversité des possibles.

La deuxième partie montre différentes techniques de mise en œuvre de la terre crue en vidéos. Ces techniques sont mises en lien avec l'état hydrique de la terre, spécifique à chaque technique.





Architecture de fibres - CONFÉRENCE

MARIETTE MŒVUS-DORVAUX (AMÀCO) - 0H30

32

Cette conférence est une introduction à l'architecture de fibres. Elle est construite en trois parties.

La première partie dresse un panorama de l'architecture de fibres vernaculaire et contemporaine à travers le monde, avec des exemples de bâtiments sélectionnés pour ouvrir les auditeurs à la diversité des possibles.

La deuxième partie met l'accent sur la diversité des fonctions architecturales que les fibres peuvent remplir, à partir d'une sélection de bâtiments existants.

La dernière partie concerne l'origine des fibres utilisées pour construire. Végétales, animales ou minérales, utilisées brutes, transformées de diverses manières ou recyclées... Les fibres d'origine naturelle les plus utilisées pour construire sont présentées.





Bétons d'argile - CONFÉRENCE

YVES JORAND (MATEIS-INSA LYON) - 2H30

34

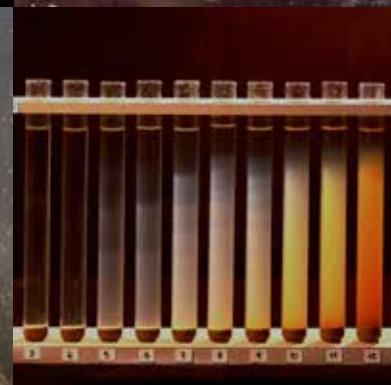
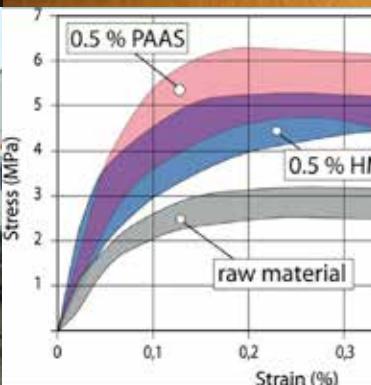
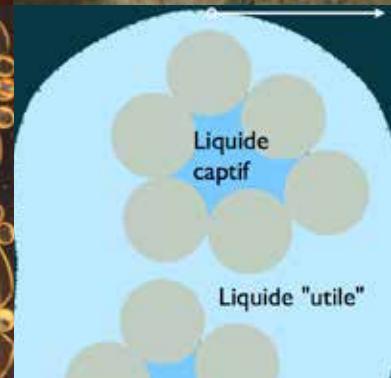
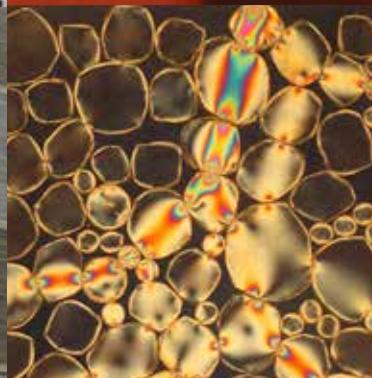
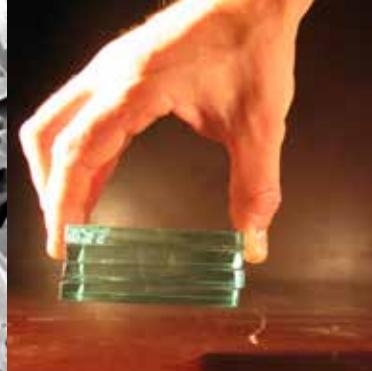
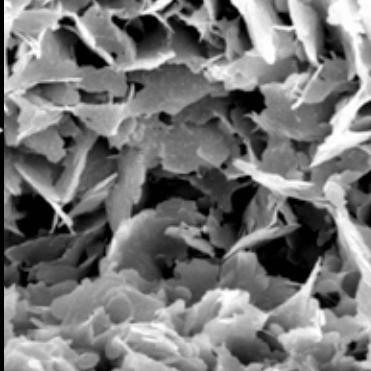
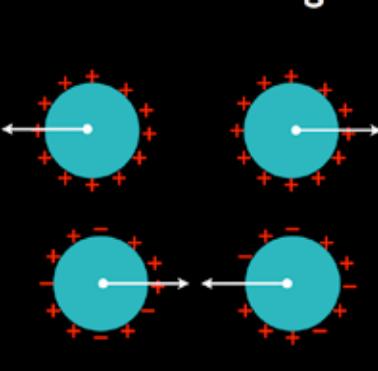
Cette conférence aborde la physique du matériau terre, qui, à l'instar des bétons de ciment, est considéré comme un béton d'argile. Son squelette granulaire est consolidé par un liant constitué principalement d'argiles.

On s'intéresse d'abord à la physique de la matière en grains. Sont abordés les empilements granulaires, le lien entre angle de talus et frottements entre les grains, l'impact de la morphologie sur les empilements et leur résistance. Quand l'eau s'associe à la matière en grains, comme dans un château de sable, elle lui apporte de la cohésion grâce aux ponts capillaires. La conférence amène à une compréhension physique des principaux facteurs influents pour la résistance mécanique finale d'un béton d'argile.

Le liant constitué de boues d'argile est une étonnante matière molle qui se fluidifie quand on la met en mouvement, qui change d'état en fonction du pH et de la salinité

de l'eau. La physicochimie des argiles est abordée pour comprendre les enjeux de la fluidification des bétons d'argile à la mise en oeuvre.





Matière en fibres - CONFÉRENCE EXPÉRIMENTALE

CHRISTIAN OLAGNON (MATEIS-INSA LYON) - 2H

36

Cette conférence expérimentale permet de découvrir la physique de la matière en fibres.

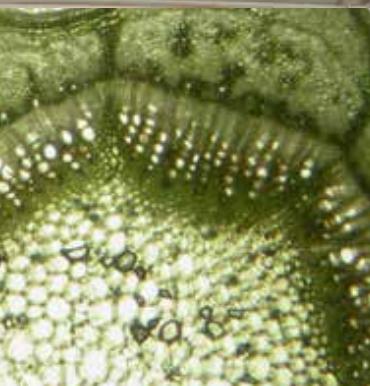
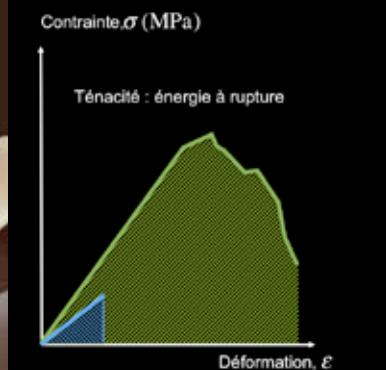
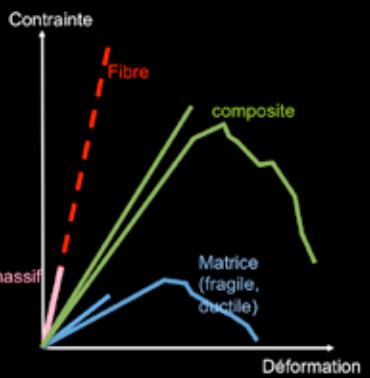
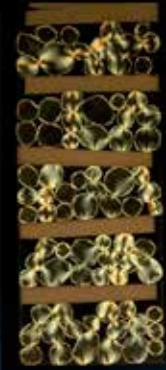
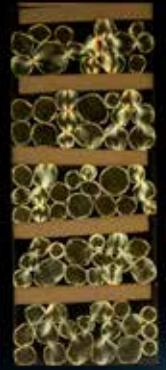
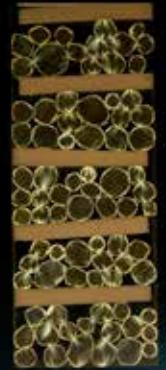
La première partie met en valeur la richesse du patrimoine architectural en fibres naturelles, au travers d'un panorama très large d'exemples de constructions vernaculaires et contemporaines. La diversité des ressources utilisables, de leurs qualités intrinsèques et de leurs usages dans la construction est mise en avant.

La seconde partie aborde la physique de la matière en fibres au travers d'expériences simples et esthétiques qui mettent en évidence les phénomènes spécifiques à cette matière ; frottement et enchevêtrement, retrait et gonflement, hydrophilie et hydrophobie.

La dernière partie ouvre la voie des nouveaux matériaux formulés avec des fibres végétales pour des applications

constructives. L'exemple d'un panneau usinable incassable à base d'argile et de microfibrilles de massette de roseau est présenté.





Matière liante - CONFÉRENCE

ELODIE PRUD'HOMME (MATEIS-INSA LYON) - 2H

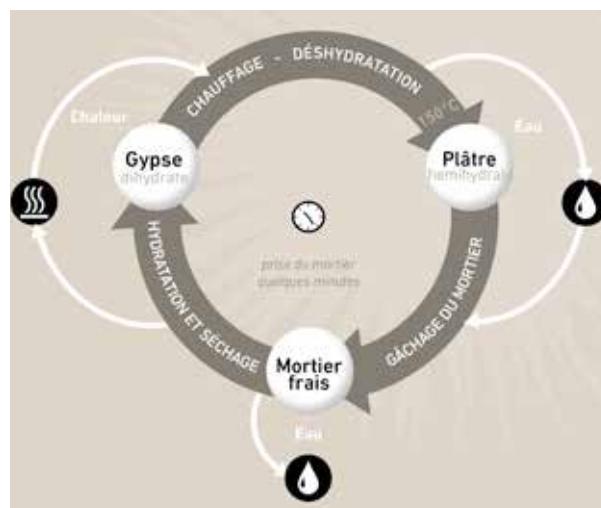
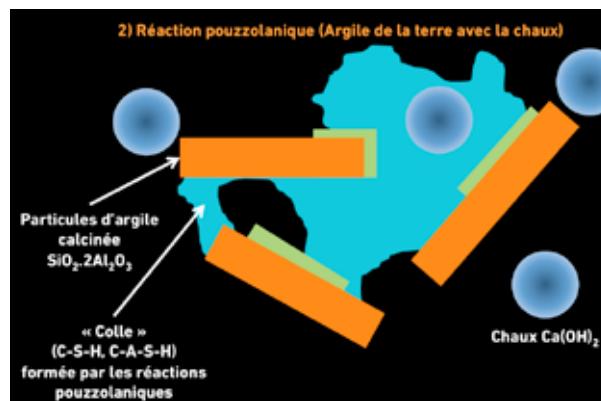
38

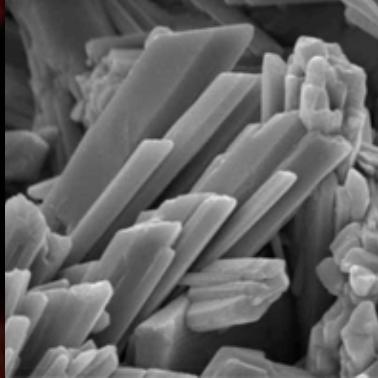
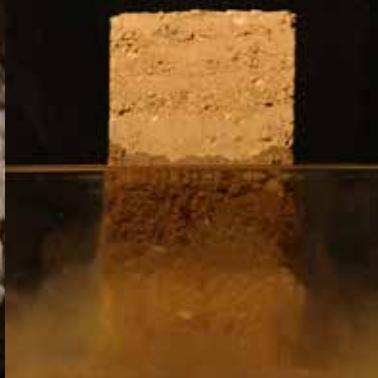
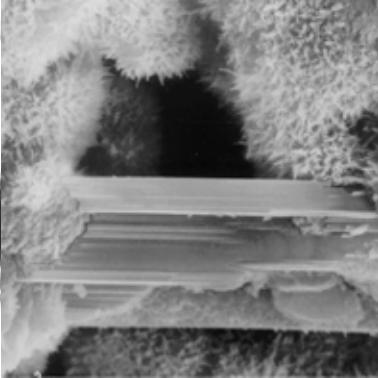
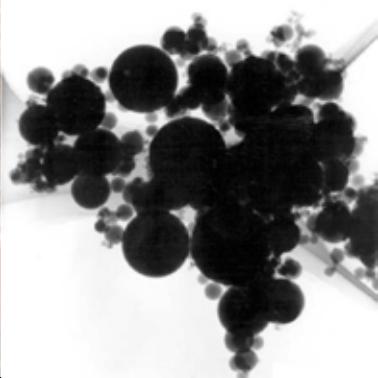
Cette conférence aborde la physique de la matière liante, sous l'angle des liants minéraux.

La première partie introduit les principaux liants minéraux utilisés dans la construction au cours de l'histoire, du liant argileux (terre crue) aux ciments modernes en passant par le plâtre et la chaux.

Puis la deuxième partie aborde la physique de la matière liante. Liants hydrauliques et aériens, phénomènes de prise sont abordés au travers d'expériences simples. Les cycles de transformation de la matière sont présentés pour les liants les plus courants, depuis la ressource naturelle jusqu'à l'état durci du liant après sa mise en œuvre dans la construction.

Une troisième partie traite de la stabilisation de la terre crue à la chaux ou au ciment, et des différents phénomènes de durcissement mis en jeu avec notamment la réaction pouzzolanique.





L'eau dans la terre crue - CONFÉRENCE

ELODIE PRUD'HOMME (MATEIS-INSA LYON) - 2H

40

L'eau est omniprésente dans les matériaux de construction à chaque étape de leur cycle de vie. Cette conférence aborde le cas de l'eau en interaction avec la terre crue, pour comprendre les enjeux de la maîtrise de l'eau à chaque étape.

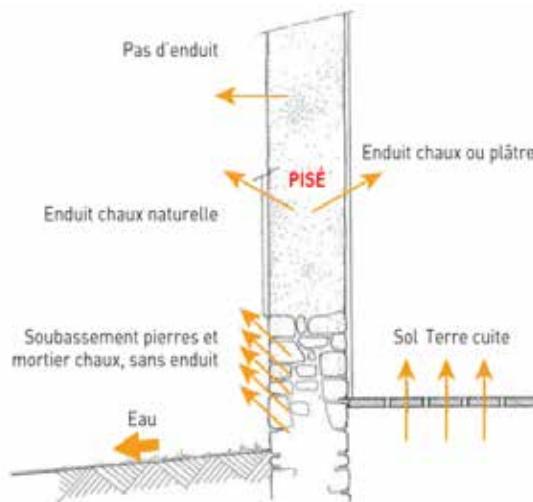
L'eau introduite lors de la mise en œuvre permet d'ajuster la consistance du matériau, de le fluidifier ou de le rendre "collant" pour un mortier. Puis l'eau s'évapore progressivement pendant la phase de séchage, pouvant provoquer de la fissuration.

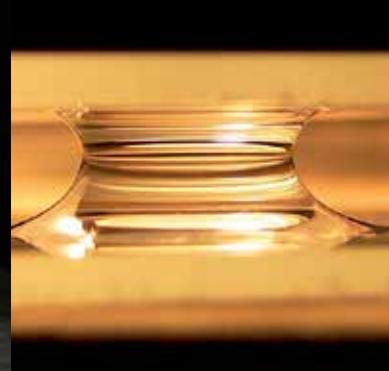
Une fois sèche, la terre, qui est poreuse, conserve toujours une certaine teneur en eau. Les ponts capillaires microscopiques jouent un rôle essentiel dans la cohésion du matériau. Mais paradoxalement, plus la teneur en eau du matériau est élevée, plus sa cohésion diminue.

La teneur en eau de la terre varie en fonction de la température et de l'humidité

relative ambiante. Les phénomènes d'évaporation / condensation absorbent et dégagent de l'énergie, contribuant à l'inertie thermique de ce matériau à changement de phase naturel.

Enfin l'eau peut être source de pathologies. Les remontées capillaires dans un mur peuvent l'affaiblir, transporter des sels qui "rongent" le matériau. Les pluies battantes sur un mur entraînent une érosion.





Propriétés hygrothermiques des matériaux - CONFÉRENCE

ANTONIN FABBRI (ENTPE) - 2H

42

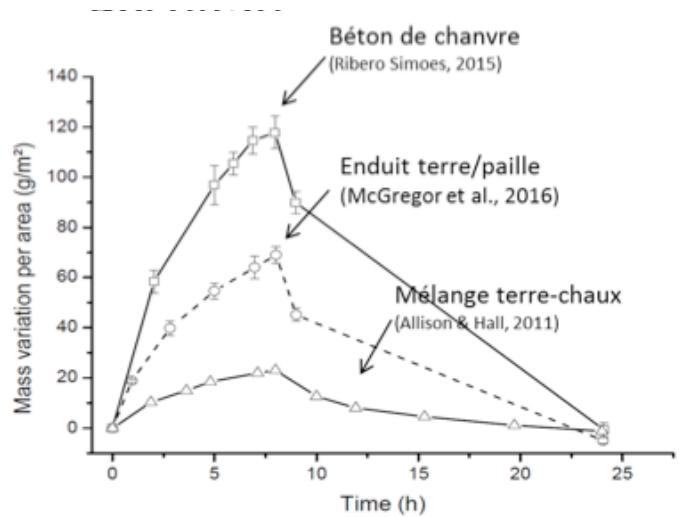
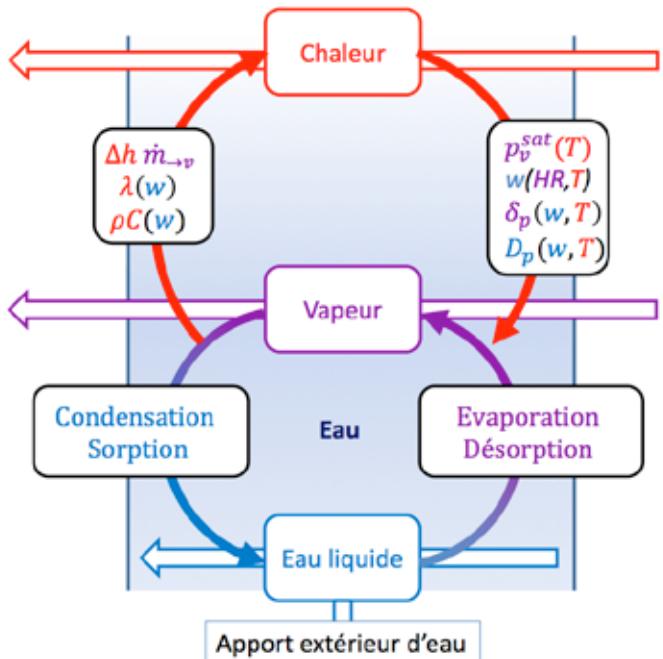
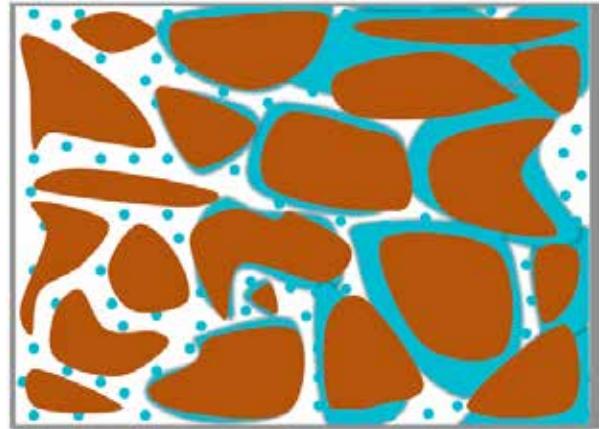
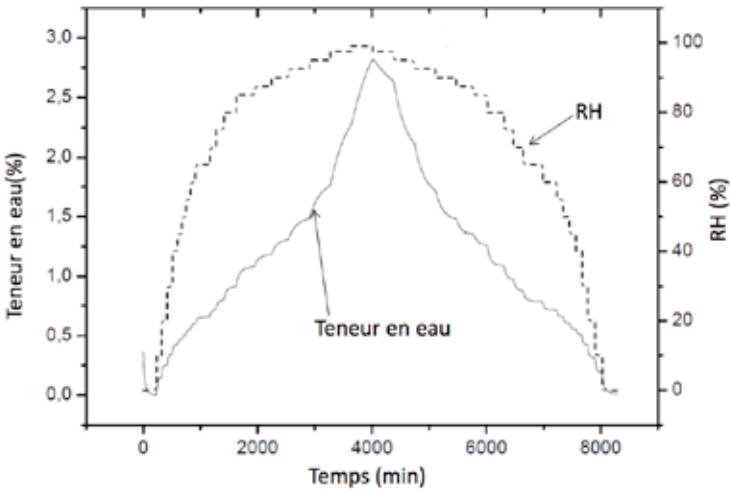
Cette conférence approfondit les phénomènes physiques mis en jeu dans l'interaction de l'eau avec les matériaux poreux comme les bétons d'argile, bétons de chanvre et fibres végétales.

Les transports d'eau liquide et vapeur dans le matériau sont décrits : absorption capillaire, échanges hygroscopiques de vapeur d'eau avec l'extérieur, condensation capillaire au sein du matériau. Différentes méthodes de mesure permettent de mettre en évidence et de quantifier les échanges d'eau et de chaleur entre le matériau et son environnement.

Les variations climatiques extérieures engendrent de l'évaporation ou de la condensation de l'eau contenue au sein d'un matériau poreux, qui ont de ce fait une capacité de régulation hydrique. Le potentiel de régulation peut être quantifié grâce à des essais de sorption / désorption dynamique.

L'évaporation et la condensation de l'eau s'accompagne d'échanges de chaleur favorables à la régulation thermique d'un bâtiment. Le comportement hygrothermique des matériaux de construction peut être caractérisé par des essais en double enceinte climatique. Ils permettent notamment de quantifier et valoriser l'impact des changements de phase de l'eau sur l'inertie thermique.

Antonin Fabbri est enseignant chercheur à l'ENTPE. Il est spécialiste des matériaux poreux pour la construction et plus particulièrement des problématiques de gel-dégel, cristallisation de sels, carbonatation du ciment, comportement hygrothermique.





LE PROJET

Sur 96h de formation, 52h ont été allouées au projet. Il s'agit pour les étudiants de mettre en œuvre une démarche expérimentale de formulation de matériaux à partir de ressources naturelles mises à disposition.

Les étudiants travaillent en équipe de cinq personnes. Chaque équipe traite un sujet différent, et doit développer un nouveau matériau en temps limité répondant à la demande spécifique d'un client.

Ils peuvent ainsi mettre en pratique les enseignements donnés lors des conférences et ateliers encadrés.

Consignes

46

Les étudiants se sont répartis en quatre équipes en respectant l'impératif de mélanger les compétences disponibles. Chaque équipe doit formuler un matériau à base de terre et de fibres végétales, en répondant à l'un des sujets suivants, en visant un coût et un impact environnemental faibles. Chaque groupe est suivi par un enseignant-tuteur.

Sujet 1 : MONOBLOC ISOLANT PORTEUR

Demande du client :

Des blocs de masse volumique inférieure à 600kg/m^3 à assembler en maçonnerie pour construire un mur de 3m de hauteur, de résistance thermique au minimum égale à 4, capable de supporter la charge d'une charpente bois et couverture en tuiles de terre cuite.

Prototype :

Un bloc aux dimensions finales choisies.

Sujet 2 : MUR COULÉ PORTEUR

Demande du client :

Un mur d'épaisseur 30cm, hauteur 3m, coulé-vibré dans des coffrages à béton, décoffrable en 24h maxi, capable de supporter la charge d'une charpente bois et couverture en tuiles de terre cuite.

Prototype :

Un muret de dimensions $38 \times 45 \times 10\text{ cm}^3$.

Sujet 3 : MUR COULÉ SANS STABILISANT MINÉRAL

Demande du client :

Un béton d'argile fluide (S4) sans stabilisant minéral (ciment-chaux-plâtre), à durcissement induit par bio-polymères, capable de supporter son propre poids sur 3m de hauteur au bout de 24h.

Prototype :

Un muret de dimensions $38 \times 45 \times 10\text{ cm}^3$.

Sujet 4 : PANNEAU VISSABLE

Demande du client :

Un panneau terre-fibres de $1\text{m} \times 1,5\text{m}$ transportable par deux personnes sans se rompre sous son propre poids, vissable sans que le matériau se dégrade, le plus léger possible.

Prototype :

Un panneau de dimensions $40 \times 40\text{ cm}^2$, épaisseur 2 à 4 cm.



JALONS INTERMÉDIAIRES :

- désigner un chef de projet
 - traduire la demande du client en spécifications techniques et choisir les essais de caractérisation adaptés
 - identifier quels sont les paramètres de formulation les plus influents
 - établir un plan d'expériences pertinent
 - formuler, fabriquer et caractériser des matériaux
 - bilan personnalisé intermédiaire : discussion avec les enseignants
 - analyser les résultats expérimentaux pour optimiser les matériaux proposés
 - fabriquer un prototype ayant la composition optimale
-

RENDU FINAL :

Un rapport de 20 pages environ et une présentation orale de 15 min + 15 min de questions.

Le rapport et la présentation devront contenir les éléments suivants :

- démarche de formulation
 - influence des principaux paramètres sur les caractéristiques finales
 - analyse des phénomènes physiques qui expliquent ces comportements
 - présentation du produit obtenu, ses caractéristiques, les préconisations d'utilisation
 - comparaison aux produits concurrents sur le marché
-

Moyens mis à disposition

48

MATÉRIAUX

LIANTS

- Terre de Brézins 0-25mm
- Boue de lavage CEMEX
- Finres argilo-calcaires en poudre des Carrières du Boulonnais

GRANULATS

- Sables 0-4mm
- Graviers 4-10mm
- Pouzzolanes 07/15

FIBRES

- Copeaux de bois
- Sciure de bois
- Paille
- Papier journal
- Chènevotte

STABILISANTS

- Ciment prompt
- Ciment Portland
- Chaux hydraulique
- Plâtre

ADDITIFS POSSIBLES : dispersants, superplastifiants, sel, savon liquide, soude, acide, ...

ÉQUIPEMENT

Machines d'essais mécaniques (compression)

Mesure de conductivité thermique par la technique du fil chaud

Balances de précision

Pieds à coulisse, réglets, mètres

Étuves, ventilateurs

Moules de tailles différentes

Malaxeurs à pales

Cône d'Abrahms

Tables à chocs

Aiguille vibrante

etc.

Méthode d'évaluation

L'évaluation est réalisée par un jury d'enseignants et par les étudiants, selon la grille d'évaluation ci-dessous comportant sept critères, avec les pondérations suivantes :

- 60% : note du jury
- 20% : auto-évaluation par les étudiants du groupe évalué
- 20% : évaluation par les autres étudiants

	excellent	bien	convenable	insuffisant
POSITION DU PROBLÈME Traduction de la demande du client en spécifications techniques pertinentes.				
DÉMARCHE DE FORMULATION Démarche claire, rationnelle et pertinente, fondée sur une compréhension scientifique des paramètres influents.				
PRODUIT PROPOSÉ Pertinence du produit par rapport à la demande du client. Prise de recul par rapport aux produits existant sur le marché.				
ANALYSE SCIENTIFIQUE Compréhension physique / scientifique des résultats. Pistes d'amélioration du produit.				
QUALITÉ DE LA RÉDACTION Synthèse claire et organisée de la stratégie de formulation et des résultats obtenus.				
QUALITÉ DE LA PRÉSENTATION ORALE Informations présentées de manière claire et convaincante. Présentation par toute l'équipe bien coordonnée.				
TRAVAIL EN ÉQUIPE Efficacité de l'organisation en équipe. Implication de chacun.				

Un WORLD CAFÉ pour des discussions constructives ...

50

Le World Café est un processus créatif qui vise à faciliter le dialogue constructif et le partage de connaissances et d'idées. Ce processus reproduit l'ambiance d'un café dans lequel les participants débattent d'une question ou d'un sujet en petits groupes autour de tables.

Toutes les 20 minutes, les participants changent de table. Un hôte reste à la table et résume la conversation précédente aux nouveaux arrivés. Les conversations en cours sont alors fécondées avec les idées issues des conversations précédentes avec les autres participants.

Chaque table est recouverte d'une nappe en papier sur laquelle les participants peuvent écrire, gribouiller, dessiner au fur et à mesure des discussions. L'hôte veille à ce que toutes les idées soient notées sur ce support pour en garder la trace.

Utilisé dès le premier jour de la formation, le World Café permet ici aux étudiants de se



... et identifier les premières stratégies de formulation

MARIETTE MŒVUS-DORVAUX (AMÀCO) - 3H

rencontrer, de repérer les compétences de chacun, de faciliter les liens pour le travail en équipe à mener pendant le projet.

Le thème choisi pour ce world café est : Identifier des stratégies de formulation de matériaux pour le projet.

Les participants évoluent sur quatre tables portant les questions suivantes, en lien avec le thème global :

- Comment maximiser la cohésion ?
- Comment éviter la fissuration ?
- Comment fluidifier ?
- Comment obtenir un panneau vissable ?

A l'issue des discussions, les étudiants sont amenés à former les équipes projet. Ils ont alors un premier espace d'échange par équipe pour poser les bases de leur organisation interne.



Théorie des plans d'expériences - CONFÉRENCE

PASCALE STÉPHAN (INSA DE LYON) - 2H

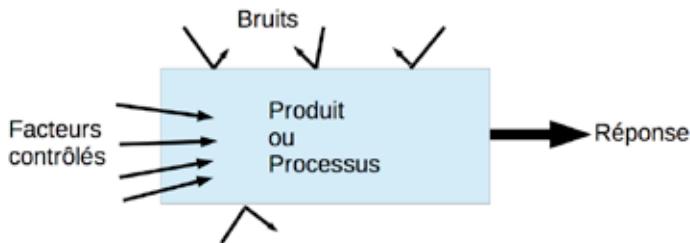
52

Dans le cadre du projet, la théorie des plans d'expériences selon la méthode Taguchi est présentée aux étudiants, puis mise en pratique dans le cadre du projet.

La méthode Taguchi est une méthode statistique d'élaboration de plans d'expériences, qui permet de minimiser l'impact des facteurs bruit sur le résultat d'un processus et d'interpréter rapidement l'influence de différents facteurs, en un minimum d'expériences.

La démarche proposée comporte les étapes suivantes :

- Choix et définition du problème à traiter
ex. : formuler des monoblocs isolants en béton d'argile
- Définir l'objectif à atteindre
ex. : conductivité thermique égale à 0,1 W/m.K
- Choix des facteurs à tester : nature des facteurs, nombre, choix des niveaux
ex. : 2 niveaux de teneur en fibres : 10% et 15%, 2 niveaux de teneur en ciment : 0% et 3%, etc.
- Choix de la matrice d'expériences
ex. : matrice orthogonale L4 pour 3 facteurs à 2 niveaux
- Réalisation des essais : méticulosité, précision et rigueur
- Dépouillement des résultats
détermination des facteurs les plus influents, analyse des interactions, détermination du niveau optimal pour chaque facteur
- Réalisation de l'essai de validation
fabriquer le matériau optimisé, le caractériser
- Ajustement de la valeur à atteindre
ajuster un ou deux des facteurs influents



Les plans d'expériences par la méthode TAGUCHI



LES ÉDITIONS
D'ORGANISATION

La méthode Taguchi permet
de réduire considérablement
le nombre d'expériences à réaliser
pour atteindre un résultat
fiable et robuste.

Chaque équipe projet a
élaboré ses propres plans
d'expériences, après quelques
essais préliminaires nécessaires
pour identifier les facteurs
clés de leur formulation. Cela
a amené les étudiants à se
poser les bonnes questions et à
rechercher l'efficacité dans leur
travail expérimental.

N° essai	Facteurs testés							Résultat
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	R1
2	1	1	1	1	1	1	2	R2
3	1	1	1	1	1	2	1	R3
4	1	1	1	1	2	1	1	R4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
127	2	2	2	2	2	2	1	R127
128	2	2	2	2	2	2	2	R128



N° essai	Facteurs testés							Résultat
	A	B	C	D	E	F	G	
1	1	1	1	1	1	1	1	R1
2	1	1	1	2	2	2	2	R2
3	1	2	2	1	1	2	2	R3
4	1	2	2	2	2	1	1	R4
5	2	1	2	1	2	1	2	R5
6	2	1	2	2	1	2	1	R6
7	2	2	1	1	2	2	1	R7
8	2	2	1	2	1	1	2	R8

SUJET 1 : MONOBLOC ISOLANT PORTEUR

RÉSULTATS

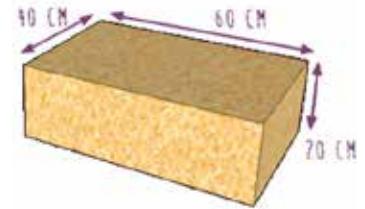
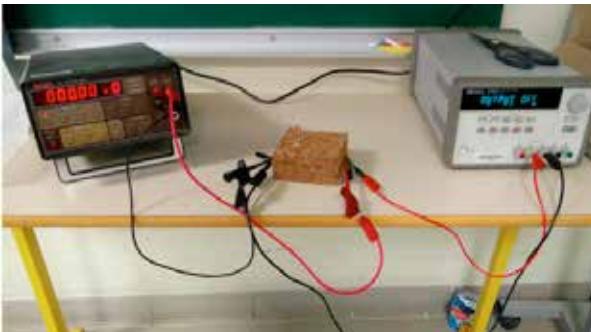
54

Les étudiants ont mis au point un produit à base de terre et fibres végétales qui pourrait concurrencer les blocs alvéolaires et blocs de béton cellulaire actuellement sur le marché.

Le cahier des charges établi à partir de la demande du client est le suivant :

- masse volumique < 600kg/m^3
- conductivité thermique < $0,1\text{W/m.K}$
- résistance thermique < $4\text{K.m}^2/\text{W}$
- résistance à la compression > $0,3\text{MPa}$

Leur plan d'expériences leur a permis de tester 3 terres différentes, 3 fibres



différentes, 3 procédés de mise en oeuvre et 3 teneurs en fibres dans leur composite. Ils ont caractérisé systématiquement la masse volumique, la résistance à la compression uniaxiale, la conductivité thermique par la technique du fil chaud, et la teneur en eau au moment des essais de caractérisation.

Le produit optimal est composé de 30% massique de fines argilo-calcaires et 70% de chènevotte. Il est mis en oeuvre à l'état visqueux et compacté dans le coffrage par couches successives.



SUJET 2 : MUR COULÉ PORTEUR

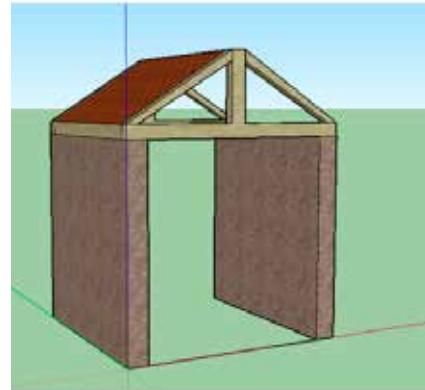
RÉSULTATS

Les étudiants ont cherché à formuler un béton d'argile fluide répondant au cahier des charges suivant, en minimisant l'impact environnemental et le coût :

- ouvrabilité : affaissement de 100 à 210 au cône d'Abrahms
- décoffrabilité : résistance à la compression de 0,08MPa à 24h
- résistance mécanique : résistance à la compression de 1MPa à 7 jours.

A partir d'une formulation déjà éprouvée sur un chantier, les étudiants ont cherché à l'optimiser en faisant varier 7 facteurs dans leur plan d'expériences. Ils proposent une formulation sans superplastifiant, avec 15% de fines argilo-calcaires, 3,5% de ciment Portland (stabilisant nécessaire pour assurer la décoffrabilité et la résistance mécanique recherchées), 26% sables, 37% graviers.

L'impact environnemental pourrait être nettement diminué par l'utilisation d'une terre plus locale que les fines argilo calcaires fournies par les Carrières du Boulonnais.



SUJET 3 : MUR COULÉ SANS STABILISANT MINÉRAL

RÉSULTATS

56

Actuellement, les bétons d'argile coulés-vibrés dans des coffrages nécessitent l'utilisation d'un stabilisant minéral, souvent le ciment, pour permettre à la terre de durcir suffisamment avant le séchage, pour pouvoir décoffrer rapidement. La thèse d'Alban Pinel, menée à l'INSA, porte sur l'utilisation de bio-polymères gélifiants qui pourraient remplacer le ciment et permettre le durcissement in situ nécessaire, avec un impact environnemental bien plus faible.

Les étudiants ont travaillé avec le doctorant pour transférer à l'échelle du béton (taille de grains de quelques cm) les résultats prometteurs déjà obtenus en laboratoire à l'échelle du liant. Ils ont mis en place un plan d'expériences permettant d'évaluer l'impact de plusieurs paramètres de formulation sur la fluidité du béton à l'état frais (qui doit se maintenir pendant 45min) et sur sa résistance à la compression au bout de 24h juste après décoffrage.

La composition optimale identifiée par ce premier plan d'expériences a permis de couler un muret de 38cm de hauteur décoffré au bout de 24h et présentant une résistance à la compression de 38kPa avant séchage.



SUJET 4 : PANNEAU VISSABLE

RÉSULTATS

Pour formuler un panneau de terre-fibres qui pourrait concurrencer les plaques de plâtre traditionnelles, les étudiants ont choisi d'utiliser les fines argilo-calcaires, de la chaux hydraulique comme stabilisant, des fibres de deux tailles différentes (la chènevotte courte pour la cohésion locale et la chènevotte longue ou un treillis de lin amidonné pour la résistance à la flexion du panneau), un dispersant pour faciliter la mise en oeuvre.

Ils ont caractérisé de manière systématique la masse volumique, la résistance à la flexion 4 points, la force d'arrachement de vis et la conductivité thermique de leurs échantillons.

Le produit final de 20mm d'épaisseur mis au point comporte un treillis de lin amidonné sur chaque face, 60% de fines argilo-calcaires, 20% de chènevotte courte, 20% de chènevotte longue. Avec une masse volumique de 859kg/m^3 , le poids d'un panneau de $1\text{m}\times 1,5\text{m}$ serait de 26kg, ce qui est transportable par un seul ouvrier. Sa résistance à la flexion est de 1,52MPa, la force d'arrachement de vis de 190N et la conductivité thermique de $0,47\text{W/m.K}$.





OPPORTUNITÉS PROFESSIONNELLES

L'option transversale proposée s'adresse à des étudiants sur le point d'intégrer le marché de l'emploi. Aussi l'un des objectifs de la formation est de permettre aux étudiants intéressés de découvrir le réseau des filières «matériaux biosourcés».

Le choix des intervenants extérieurs, déjà été présentés dans ce rapport, a été fait de manière à présenter aux étudiants différents métiers et différentes approches.

Pour clôturer la formation, deux tables rondes ont été organisées sur des sujets d'actualité en lien avec le développement des filières biosourcées. Cinq intervenants représentant des filières et des métiers différents ont été invités à chaque table ronde pour partager leurs expériences en lien avec les sujets abordés.

TABLE RONDE : Normes et réglementation pour l'utilisation de nouveaux matériaux dans le domaine de la construction

60

MARDI 8 MARS 2016 - DE 10H À 12H

Salle Descartes, Bâtiment Blaise Pascal 1er étage à l'INSA Lyon



L'objectif de cette table ronde est de confronter différents points de vue sur l'intérêt des normes et de la réglementation pour le développement des filières biosourcées.

- En quoi la mise en place de normes est-elle utile au développement de filières émergentes de matériaux biosourcés ?
- En l'absence de normes, comment un professionnel peut-il travailler avec des matériaux innovants ?
- En quoi la réglementation française diffère-t-elle de la réglementation européenne ?
- Les normes sont-elles une contrainte, une assurance, permettent-elles davantage d'opportunités ?

NADÈGE BLANCHARD CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT



Diplômée de l'ENS Chimie et Physique de Bordeaux, Nadège Blanchard rejoint le CSTB en 1993 où elle exerce des missions d'évaluation des produits de type enduits, à l'échelle française et

européenne via notamment le rôle d'animatrice du groupe de l'EOTA en charge de l'élaboration du guide d'agrément technique européen sur les ETICS (isolation thermique extérieure par enduit). De 2007 à 2012, elle anime une équipe dédiée à l'évaluation des installations énergétiques intégrées au bâtiment (solaire thermique et photovoltaïque, planchers et plafonds chauffants, ...). Elle est aujourd'hui responsable du service ARIANE du CSTB, service d'accompagnement des innovateurs du domaine de la construction.

BENJAMIN MERMET - FILIÈRE BOIS



Ingénieur bois de l'ENSTIB, spécialisé dans l'énergie et l'environnement, Benjamin a suivi un double cursus en dernière année via le master Architecture Bois Construction. Il a travaillé pendant 5 ans

dans une entreprise de construction bois spécialisée dans les bâtiments très basse énergie et passif en tant qu'ingénieur étude de prix. Aujourd'hui, il travaille au sein de FIBRA (Fédération de la filière forêt-bois de la région Rhône-Alpes) en tant que prescripteur bois construction. Son rôle est de promouvoir l'utilisation du bois dans la construction et d'accompagner les maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre dans leurs projets.

CORALIE GARCIA - FILIÈRE PAILLE



A la suite d'un DUT génie Civil et d'un Master en génie de l'habitat, Coralie Garcia a intégré le Réseau Français de la Construction Paille (RFCP) en tant que membre du Conseil d'Administration.

Elle est maintenant co-présidente et ce pour la quatrième année. Après avoir participé à la mise en place des Règles Professionnelles de la Construction Paille (applicables depuis janvier 2012) et d'essais validant le matériau paille, elle anime l'atelier « isolation thermique par l'extérieur en paille » du réseau. Elle coordonne la structuration de la filière construction paille en région Rhône-Alpes au sein de l'association Oïkos.

FABRICE TESSIER - FILIÈRE TERRE



Fabrice Tessier est artisan et formateur au sein de l'entreprise Terres et Tradition, spécialiste de la décoration et restauration des bâtiments en terre crue. Il a reçu le trophée du

patrimoine au Prix national de l'architecture en terre en juin 2013. Il est également président de l'AsTerre, association nationale des professionnels de la construction en terre, membre de ARESO, association régionale d'éco construction du sud-ouest et membre de Maisons Paysannes de France, association pour la sauvegarde du patrimoine rural. Depuis 2014 il est co-animateur et co-rédacteur du guide de bonnes pratiques des enduits en terre.

YVES HUSTACHE - FILIÈRES BIOSOURCÉES



Yves Hustache est cofondateur de Karibati, entreprise coopérative accompagnant tout acteur qui souhaite innover, se développer ou mieux habiter grâce aux matériaux biosourcés.

Spécialiste des matériaux biosourcés, des cadres normatifs et réglementaires ainsi que du marché du bâtiment, il est en charge des questions d'innovation et de R&D au sein de Karibati. Ingénieur matériaux, il a été pendant 13 ans consultant indépendant spécialisé en ingénierie de l'innovation et est intervenu sur les étapes clés du processus d'innovation, dans le cadre de projets à forte valeur ajoutée technologique dans le domaine des Eco-industries.

TABLE RONDE : Les freins et les leviers du développement de la filière terre dans le bâtiment

62

LUNDI 14 MARS 2016 - DE 10H À 12H

Salle Descartes, Bâtiment Blaise Pascal 1er étage à l'INSA Lyon

L'objectif de cette table ronde est de faire un état des lieux du développement de la filière terre et des opportunités dans le contexte actuel, en confrontant différents regards sur la question.

- Comment se développe la filière terre pour le bâtiment ?
- Quels sont les atouts du matériau terre dans le contexte actuel ?
- Quels sont les freins et les leviers au développement de la filière terre dans le bâtiment ?
- Quelles sont les opportunités pour des ingénieurs ?

FRÉDÉRIC MOY - HELIOPSIS



Après avoir obtenu son diplôme à l'ENSA de Grenoble, Frédéric Moy exerce en tant qu'architecte au sein de l'agence A. Solis. Confronté à une offre quasi-inexistante pour la mise en œuvre du matériau terre, il crée en 2002 avec Christelle Bavarot l'entreprise de maçonnerie Héliopsis dont il est le gérant. L'entreprise compte cinq personnes et travaille essentiellement sur des constructions en terre, de la conception à la réalisation, dans le neuf comme dans la rénovation, pour du chantier public ou privé. Plusieurs de ces chantiers ont été primés (prix national de l'architecture de terre, prix de l'environnement). Au-delà du matériau terre, Frédéric Moy cherche à comprendre les interfaces qui existent entre les matériaux et les acteurs d'un projet.

JEAN-LUC FRÉNOT - BATIPASSIF



Ingénieur HEI 1983 en génie civil, Jean-Luc Frénot travaille d'abord dans le nucléaire en assurant la coordination et le suivi de chantiers. Il poursuit sa carrière dans l'industrie en tant qu'ingénieur chargé d'affaire au

sein de Cegelec puis commercial chez Siemens. En 2010, il se forme à l'ingénierie thermique des bâtiments, la construction passive et l'éco-construction, et crée le bureau d'étude thermique Batipassif fin 2010. Il a réalisé de nombreuses études thermiques en neuf comme en rénovation essentiellement pour des particuliers. Il a suivi en Maîtrise d'œuvre une dizaine de chantiers de rénovation énergétique à ce jour. Il devient membre de l'association TERA en 2014 (Terre crue Rhône-Alpes).

ERIC DEFRENNE - JOLIE TERRE



Ingénieur de formation, Eric Defrenne passe de nombreuses années à parcourir le monde: plateformes pétrolières en Afrique, sites industriels en Chine, aventure humanitaire en Asie Centrale, recherche

géophysique sur les bases australes et antarctiques. En 1999 il crée Yamana, structure qui accompagne les grandes entreprises dans l'intégration des critères de durabilité. En 2008 il crée et dirige Jolie Terre, une entreprise qui valorise les ressources locales et naturelles pour créer des habitats sains et efficaces sur un plan thermique tout en limitant l'impact pour les générations futures. Jolie Terre utilise principalement la terre crue dans ses principes constructifs, mécanise l'application pour rendre accessibles ces techniques.

ROMAIN ANGER - CRATERRE / AMARCO



Docteur ingénieur INSA Lyon, Romain Anger est directeur pédagogique et scientifique du projet de recherche pédagogique amàco soutenu par le dispositif IDEFI. Il est aussi co-responsable

de l'équipe Matière-Matériaux de l'unité de recherche AE&CC-ENSAG soutenue en tant que Labex. Il est co-auteur du livre *Bâtir en terre, du grain de sable à l'architecture* (Belin) qui a obtenu les prix «Roberval» et «Le goût des sciences», et de l'exposition *Ma Terre Première pour construire demain* qui a tourné dans plusieurs lieux en France depuis 2009 comme la Cité des Sciences et de l'Industrie de Paris, la Vaisseau de Strasbourg, et actuellement le Musée des Confluences de Lyon.

IVAN SERCLERAT - LAFARGEHOLCIM



Docteur ingénieur INSA Lyon, Ivan Serclerat travaille depuis 20 ans pour l'industrie cimentière. Après une expérience en analyse et bilan environnementaux des usines de production, il s'est

par la suite orienté vers l'assistance qualité et produit des différentes usines Lafarge en Europe et Afrique. Il a alors intégré la R&D du groupe, tout d'abord autour des ciments à basse empreinte carbone, puis, depuis 2010, vers le développement de solutions Terre+Ciment à destination des marchés ruraux en pays émergents. Son rôle est dorénavant d'accompagner techniquement la mise sur le marché des solutions R&D dans l'ensemble des pays du groupe, parmi lesquelles les matériaux Terre+Ciment ont une place de choix.

Quel est votre degré de satisfaction de la formation ?
 Avez-vous le sentiment d'avoir appris ?

-- - + ++ (-: pas satisfait; ++: très satisfait)
 -- - **+** ++ (-: rien du tout; ++: oui, beaucoup)

Quelles compétences avez-vous développées ?

- aspect pratique et mise en œuvre.
- connaissance sur les matériaux en terre et en fibre naturelle.
- analyse "éco" et ACV
- connaissance des bâtis de la région.

Qu'auriez-vous aimé apprendre de plus ?

- plus de pratique sur le bois.
- visite du monde industriel sur la filière.

Pensez-vous que cela vous sera utile ?

-- - + ++ (-: pas du tout; ++: complètement)

En quoi ?

- ouverture d'esprit sur les alternatives aux matériaux classiques.
- sensibiliser les personnes
- construire autrement

Avez-vous changé de regard sur :

- la construction durable ?
- les matériaux de construction ?

-- - **+** ++
 -- - **+** ++

Avez-vous envie de travailler avec des matériaux biosourcés ?

-- - **+** ++

Vous sentez-vous capable de :

- formuler des matériaux de construction ?
- postuler dans le réseau des matériaux biosourcés pour la construction ?

-- - **+** ++
 -- **-** + ++

Selon vous :

(-: pas du tout; ++: complètement)

- les objectifs pédagogiques sont atteints -- - **+** ++
- je me suis impliqué(e) -- - **+** ++
- le sujet abordé est pertinent -- - **+** ++
- le niveau d'approfondissement est adapté -- - **+** ++
- les méthodes pédagogiques sont efficaces -- - **+** ++
- les méthodes encouragent la créativité -- - **+** ++
- ... et le travail en équipe -- - **+** ++
- le rythme est adapté -- **-** + ++
- les formateurs sont efficaces -- - **+** ++
- le choix des intervenants est judicieux -- - **+** ++

Avez-vous trouvé ces interventions pertinentes ?

- l'eau dans les matériaux
- efficacité énergétique des bâtiments
- étude de cas à Dehlingen
- table ronde "normes"
- table ronde "filière terre"
- encadrement du projet

-- - **+** ++
 -- - - **+** ++
 -- - - **+** ++
 -- - - **+** ++
 -- - **+** ++
 -- - - **+** ++

ÉVALUATION DE LA FORMATION

Cette formation a été proposée deux années de suite aux étudiants de l'INSA en 5ème année.

Des questionnaires individuels ont été distribués aux étudiants à mi-parcours et en fin de formation de manière à recueillir leurs évaluations concernant la qualité de la formation, les points forts, les idées d'amélioration.

Les formateurs référents ont également fait un bilan de manière à capitaliser leurs ressentis et pistes d'amélioration pour les années suivantes.

Un bilan très positif

66

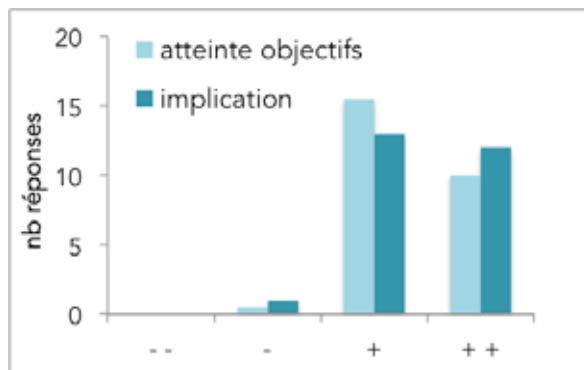
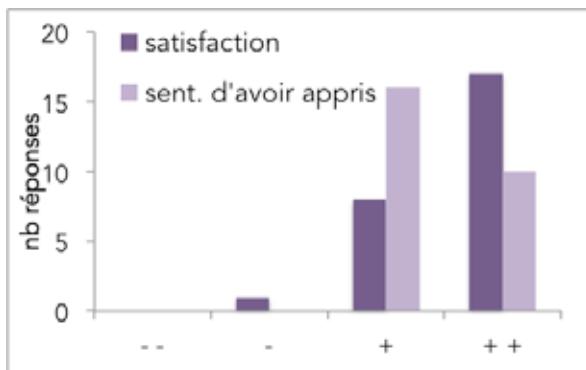
Tous les étudiants ont rempli un questionnaire d'évaluation qui a été analysé. Les principaux résultats de l'évaluation par les étudiants apparaissent dans les graphes ci-dessous.

Quelques étudiants ont ressenti un décalage au début de la formation entre ce qu'ils en attendaient à la lecture des supports de communication diffusés et ce qui leur était réellement proposé dans le cadre du projet: un travail de formulation de matériaux et non pas de conception à l'échelle d'un bâtiment. Passé ce malentendu initial, ces mêmes étudiants se

sont bien impliqués et ont été très satisfaits de la formation.

Dans l'ensemble, la satisfaction est très bonne et tous les étudiants ont le sentiment d'avoir appris. L'atteinte des objectifs est satisfaisante à très satisfaisante selon eux, et l'implication également.

Le sujet proposé, à savoir les matériaux innovants biosourcés pour la construction durable, a été jugé pertinent. Les étudiants ont trouvé les méthodes pédagogiques efficaces. Ils ont particulièrement apprécié l'approche expérimentale (ateliers

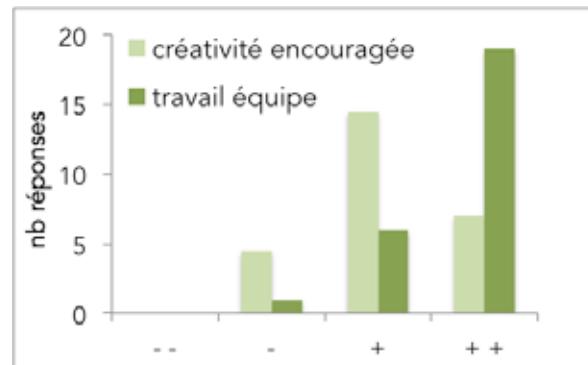
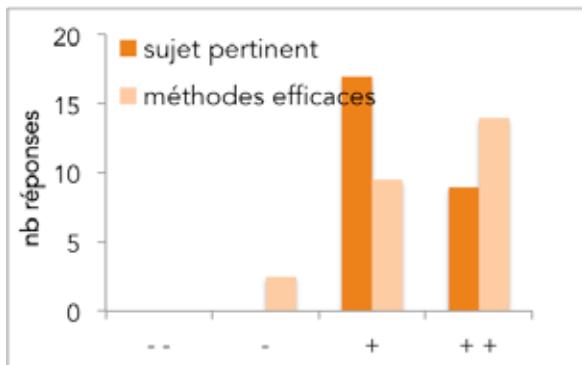


encadrés, projet), le travail en équipe et le fait de pouvoir travailler avec des étudiants de issus de différents départements d'enseignement.

Les tables rondes ont eu moins de succès que l'année précédente. Certains étudiants se sont sentis perdus dans le vocabulaire technique relatif aux procédures de normalisation. Un intervenant de la deuxième table ronde a annulé sa venue pour cause de maladie, ce qui a causé de la déception pour le public qui attendait un débat plus riche.

Pour les formateurs référents (amàco et INSA), les points forts ont été la pertinence des objectifs pédagogiques, l'efficacité des méthodes pédagogiques, l'approche expérimentale, la pluridisciplinarité des étudiants, les sujets des tables rondes.

Le suivi des équipes projet a été amélioré cette année avec un enseignant tuteur par équipe. Les enseignants sont très satisfaits du travail effectué et notent un meilleur approfondissement des sujets.



RENDRE PLUS DUR

REFAIRE PLUS DURABLE

16

Rhône-Alpes 

INSA | INSTITUT NATIONAL
DES SCIENCES
APPLIQUÉES
LYON

ATELIER
MATÉRIEL À
CONSTRUIRE
omàco