



MATÉRIAUX BIO-SOURCÉS ET RECYCLÉS: de nouvelles ressources pour construire mieux?

Sophie GRIGOLETTO, Luc COURARD





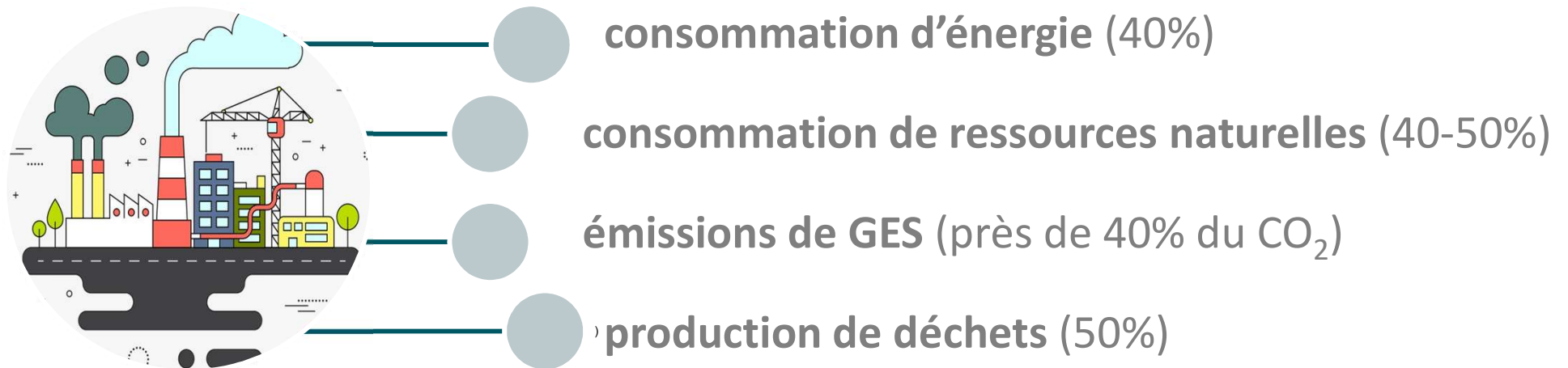
Plan de la présentation

- Construction et environnement
- Matériaux bio-sourcés
- Isolants bio-sourcés et recyclés (approche théorique)
- Béton de granulats végétaux (approche recherche)
 - Béton de miscanthus
 - Béton de bois
 - Projet AGROMOB



Construction et environnement

4 impacts principaux sur l'environnement





Construction et environnement

Réduction des consommations énergétiques des bâtiments et des émissions de GES

- Isolation
- Conception bioclimatique
- Recours aux énergies renouvelables



Construction et environnement

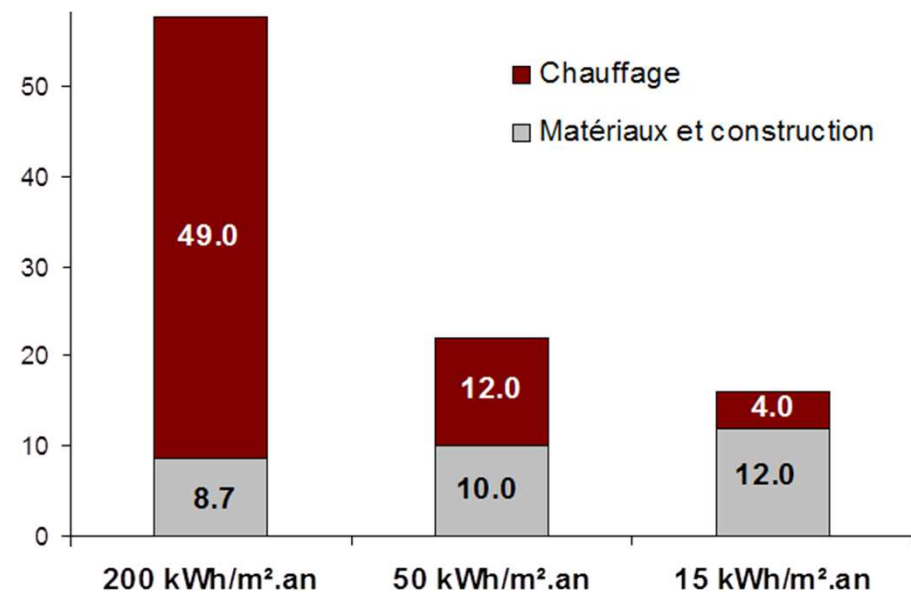
Amélioration des performances
énergétiques des bâtiments



Augmentation du poids relatif des
matériaux de construction / impacts
environnementaux



Nécessité de développer des
matériaux alternatifs



Il faut maîtriser l'approche « Matériaux »



Construction et environnement

Développement de matériaux et techniques alternatives pour le bâtiment

- limiter les consommations d'énergie lors de leur **production**
- limiter les consommations énergétiques pendant la phase d'**exploitation** du bâtiment
- limiter la production de déchets en **fin de vie**
- contribuer à la notion de **confort**
- être **sains**



Construction et environnement

Début XX^e s



75% des matières premières < biomasse

Economie biosourcée

Début XXI^e s



30% des matières premières < biomasse

Economie du minéral

x 8



→ Énormes productions de CO₂ et modification de l'équilibre entre les puits de carbone



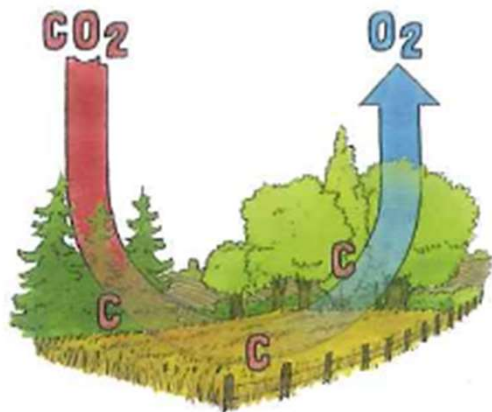
Plan de la présentation

- Construction et environnement
- Matériaux bio-sourcés
- Isolants bio-sourcés et recyclés (approche théorique)
- Béton de granulats végétaux (approche recherche)
 - Béton de miscanthus
 - Béton de bois
 - Projet AGROMOB



Matériaux bio-sourcés

Matériaux issus de la biomasse végétale ou animale



- stockage du CO_2 (« puits de carbone »)
- préservation des ressources naturelles



Matériaux bio-sourcés

Multiples applications dans le domaine de la construction

- isolants
 - laines de fibres et produits en vrac déversés ou insufflés
 - produits de substitution aux isolants conventionnels



<http://www.lejdd.fr>



Matériaux bio-sourcés

Multiples applications dans le domaine de la construction

- isolants
- mortiers et bétons
 - liant + granulats végétaux
 - propriétés mécanique, thermique, acoustique mais surtout hygrothermique très spécifiques, avec des valorisations performantes pour la consommation énergétiques des bâtiments



www.mafuturemaison.fr



www.chanvreservice.com



Matériaux bio-sourcés

Multiples applications dans le domaine de la construction

- isolants
- mortiers et bétons
- panneaux de particules ou fibres végétales
 - utilisés pour le lambrissage, l'isolation, les portes, cloisons, placards, ameublement, etc.



<http://www.materiaux-naturels.fr>



<http://www.acqualys.fr>



Matériaux bio-sourcés

Multiples applications dans le domaine de la construction

- isolants
- mortiers et bétons
- panneaux de particules ou fibres végétales
- matériaux composites plastiques
 - Résines bio-sourcées en association avec matériaux de fibres naturelles
 - Essentiellement valorisés dans le decking (terrasse) et les bardages





Matériaux bio-sourcés

Multiples applications dans le domaine de la construction

- isolants
- mortiers et bétons
- panneaux de particules ou fibres végétales
- matériaux composites plastiques
- colles, adjuvants, peintures, etc.



Plan de la présentation

- Construction et environnement
- Matériaux bio-sourcés
- Isolants bio-sourcés et recyclés (approche théorique)
- Béton de granulats végétaux (approche recherche)
 - Béton de miscanthus
 - Béton de bois
 - Projet AGROMOB



Isolants bio-sourcés et recyclés

- Percée spectaculaire des **isolants bio-sourcés** depuis quelques années (fibre de bois, chanvre, liège,...)
- Permettent d'allier respect de l'environnement et confort thermique
 - ressource **abondante et renouvelable**
 - **très bon bilan carbone et peu énergivore**
 - **sains**
 - **réutilisés ou valorisés** en tant que combustibles ou humus



pas toujours écologiques (monoculture intensive polluante, transport sur de longues distances, fragilisation de la biodiversité...)!

- Produits principalement à partir de sous-produits agricoles peu transformés et peu onéreux



Isolants bio-sourcés et recyclés





Isolants bio-sourcés et recyclés

Fibres de bois

- **Gisement** en matière de déchets de bois très important (plusieurs millions de tonnes par an en Belgique, soit 1/3 des déchets industriels)
- Au départ, principalement valorisation énergétique, mais de plus de plus **valorisation matière**:
 - Panneaux agglomérés durs
 - Produits semi-isolants
 - Isolants





Isolants bio-sourcés et recyclés

Fibres de bois

- **Fabrication** : fibres fines, obtenues par défibrage de chutes de bois résineux. Pour les panneaux, formation d'une pâte épaisse séchée entre 120 et 200°C après ajout d'adjuvants.
- **Domaines d'utilisations:**

Vrac	Panneau		
	Semi-rigide	Rigide moyenne densité	Rigide haute densité
Mise en œuvre manuelle, mais plus souvent insufflation	Remplissage entre ossatures	Remplissage entre ossatures ou sous chapes et planchers	Supports d'enduits, de chapes ou de toitures



Isolants bio-sourcés et recyclés

Fibres de bois

- Principales caractéristiques :

	Vrac	Panneau		
		Semi-rigide	Rigide moyenne densité	Rigide haute densité
ρ (kg/m ³)	38 à 45	35 à 50	60 à 120	140 à 280
λ (W/mK)	0,038 à 0,042	0,038 à 0,042	0,038 à 0,042	0,038 à 0,055

- Impact sur l'environnement:
 - Bilan carbone bon à excellent
 - Energie grise moyenne à très élevée (fonction de la densité)
 - Renouvelable, valorisant des co-produits, largement excédentaire (même si concurrence possible)



Isolants bio-sourcés et recyclés

Liège

- **Fabrication :**
 - provient de l'écorce du chêne-liège (régions méditerranéennes)
 - traitement thermique possible provoquant son expansion et améliorant ainsi ses capacités isolantes



<http://materiaux-maison-passive.kiosq.info/>

- **Domaines d'utilisations:**

Vrac	Panneau	Coque
Remplissage isolant, granulats pour béton léger	Isolation en sol, isolation de toiture-terrasse	Isolation de canalisations, des pompes de système de chauffage, ...



Isolants bio-sourcés et recyclés

Liège

- Principales caractéristiques :

	Vrac		Panneau	
	Naturel	Expansé	Naturel	Expansé
ρ (kg/m ³)	80 à 160	70 à 100	140 à 300	100 à 150
λ (W/mK)	0,045 à 0,060	0,034 à 0,042	0,039 à 0,050	0,036 à 0,042

- Impact sur l'environnement:

- Bilan carbone excellent
- Energie grise très faible (naturel) à moyenne (expansé)
- Quasiment inaltérable, donc facilement réutilisé
- Renouvelable, mais de disponibilité assez limitée... et cher
 - le réserver aux emplois pour lesquels il est particulièrement adapté (isolation enterrée ou en sols).



Isolants bio-sourcés et recyclés

Chanvre

- Plante annuelle cultivée chez nous depuis les Celtes
- **Fabrication :**
 - Fibres de chanvre longues = partie noble
 - Chènevotte = partie ligneuse, longtemps considérée comme un sous-produit
- **Domaines d'utilisations:**

Chènevotte	Laine de chanvre
Isolant en vrac, granulats pour bétons allégés	Panneaux ou rouleaux d'isolant texturé, utilisés entre ossatures



<http://www.materiaux-ecologique-decoration.fr>



Isolants bio-sourcés et recyclés

Chanvre

- **Principales caractéristiques :**

	Chènevotte en vrac	Laine de chanvre
ρ (kg/m ³)	90 à 115	25 à 40
λ (W/mK)	0,048 à 0,06	0,039 à 0,042

- **Impact sur l'environnement :**
 - Chènevotte: excellent bilan carbone, très faible énergie grise
 - Laine: bilan carbone neutre, énergie grise de faible à moyenne (fonction de la densité)
 - Matière première renouvelable à court terme
 - Particulièrement écologique (pas de désherbants, d'intrants chimiques ni de pesticide, très peu de besoin en eau)



Isolants bio-sourcés et recyclés

Pailles

- **Co-produit** de la production de céréales, correspondant à la partie de la tige de certaines graminées (blé, orge, avoine, seigle, etc.)
- Utilisée comme:
 - fourrage et litière
 - bio masse pour la production d'énergie
 - matériau de construction (torchis, « terre-paille », isolant, couverture de toiture, panneaux fortement compressés)
- **Domaines d'utilisations en tant qu'isolant:**



Botte de paille moyenne densité ($80 < \rho < 120 \text{ kg/m}^3$)	Botte de paille haute densité ($150 < \rho < 250 \text{ kg/m}^3$)
Isolation des murs, toitures et planchers (remplissage d'une structure porteuse, caissons préfabriqués ou isolation extérieure)	Rôle structurel: les bottes de paille portent la charpente



Isolants bio-sourcés et recyclés

Pailles

- Principales caractéristiques :

	Botte de paille moyenne densité (flux thermique \perp)	Botte de paille moyenne densité (flux thermique $//$)	Botte de paille haute densité
ρ (kg/m ³)	80 à 120	80 à 120	150 à 250
λ (W/mK)	0,040 à 0,055	0,060 à 0,075	0,060 à 0,080

- Impact sur l'environnement :
 - Excellent bilan carbone, très faible énergie grise
 - Matière première renouvelable valorisant un coproduit de grande disponibilité
 - Facilement réutilisable (si pas d'enduits directs sur la fibre) sinon valorisable en humus.
- De plus, **coût faible** et possibilité d'**auto-construction!**



Isolants bio-sourcés et recyclés

Pailles

- Marché en **plein essor** mais pénalisé par les **préjugés** et le **manque de connaissance**.
- En France:
 - 1000 à 3000 bâtiments en paille
 - Organisation de la filière: Compailleurs, règles professionnelles de la construction en paille,...
- En Belgique
 - Premier pas: 100 à 150 bâtiments
 - Projet régional aPROpaille



Maison Feuillette en construction (Science et Vie n°56, 1921) (site des Compailleurs)



Maison Feuillette en 2011 (Photo JB THEVARD, Compailleurs)



Isolants bio-sourcés et recyclés

Projet aPROpaille

- **Objectif de la recherche:**
« Améliorer la connaissance sur le comportement et les performances de parois dont la performance thermique est essentiellement obtenue par usage de la paille. »
- **Partenaires:**
Université de Liège
Université Catholique de Louvain
Institut de Conseil et d'Etude en Développement Durable
Paille-Tech
- **Financement :**
Service public de Wallonie (DGO4 et DGO6)

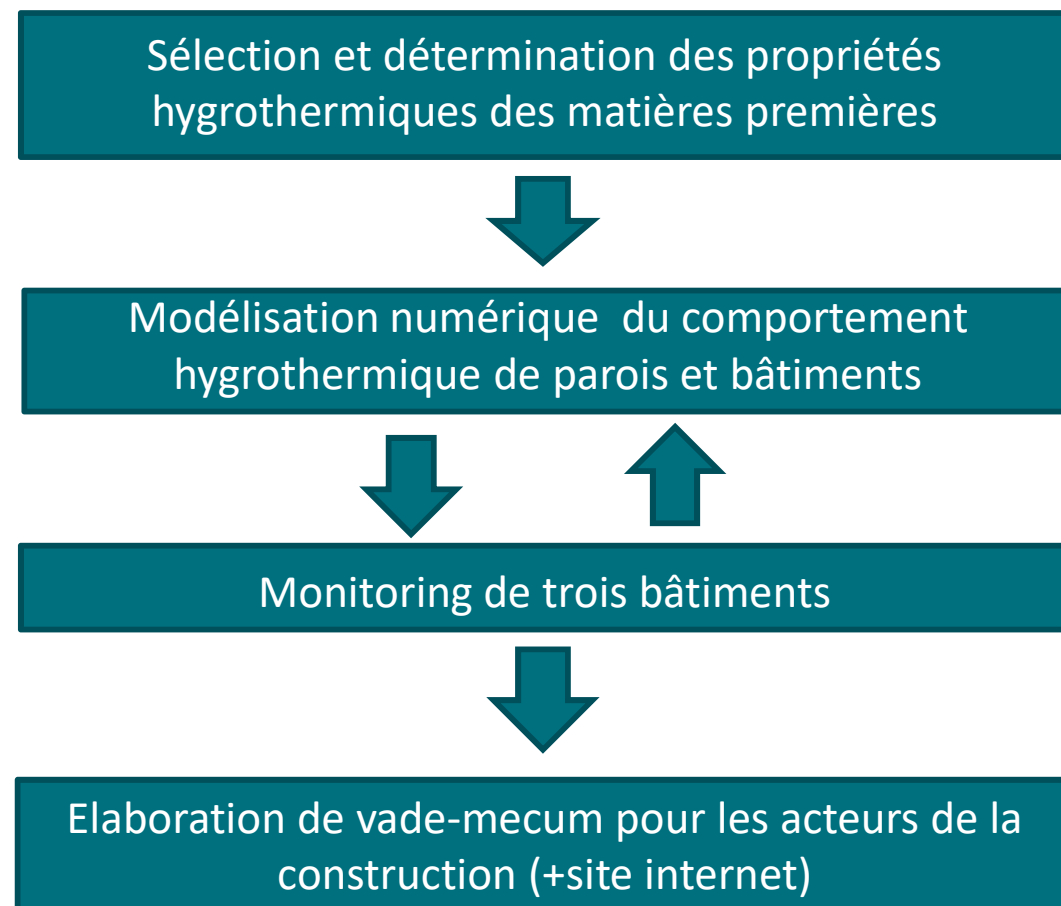


Isolants bio-sourcés et recyclés

Projet aPROpaille



Ballot froment
(36X46X80) cm³





Isolants bio-sourcés et recyclés

Ouate de cellulose

- **Fabrication :**
 - Issue du recyclage du papier (principalement journaux neufs invendus)
 - Broyé et défibré en flocons, puis stabilisé pour résister au feu et aux moisissures

- **Domaines d'utilisations:**



Vrac			Panneau ou rouleau	Panneau Pan-Terre
Epandage	Insufflation	Projection humide		
Combles perdus ou autre surface horizontale (tassement important)	A sec sous pression dans volumes fermés (sols, toitures, murs)	Sous pression avec une faible quantité d'eau → colle sur le mur	Remplissage entre ossatures	Isolant phonique (+ OSB, plaque de plâtre,...)



Isolants bio-sourcés et recyclés

Ouate de cellulose

- Principales caractéristiques :

	Vrac		Panneau semi-rigide	Panneau Pan-Terre
	Epandage	Insufflation ou projection humide		
ρ (kg/m ³)	25 à 35	40 à 65	70 à 90	260
λ (W/mK)	0,038 à 0,044	0,038 à 0,044	0,039 à 0,042	0,053

- Impact sur l'environnement :
 - Très bon bilan carbone, énergie grise modérée pour le vrac, mais élevée pour les panneaux
 - Matière première de grande disponibilité
 - Réutilisable, sinon valorisable en agriculture ou en énergie (selon additifs et/ou liants)
- Meilleur rapport impact environnemental/coût parmi les isolants industriels avec certifications



Isolants bio-sourcés et recyclés

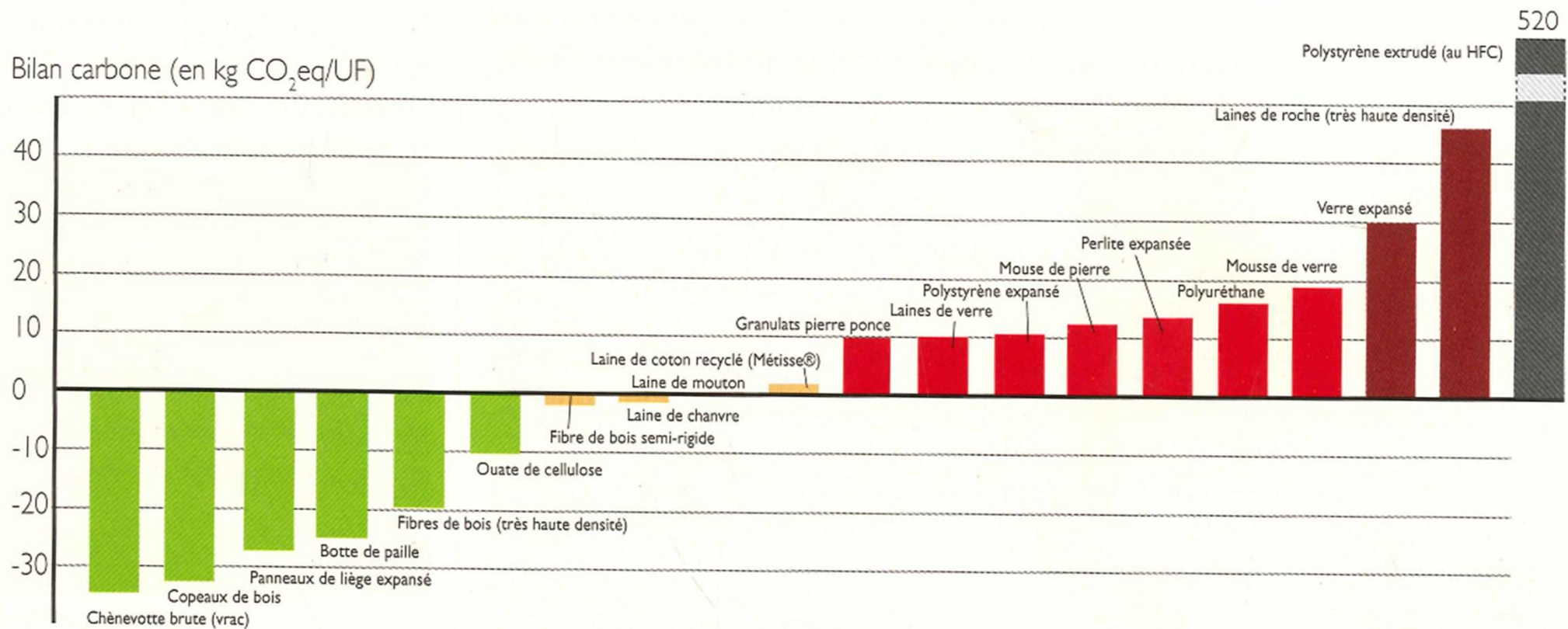
Choix d'un isolant à faible impact environnemental

- Outil de base: **ACV**
 - méthode d'évaluation normalisée permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère et multi-étape d'un système sur l'ensemble de son cycle de vie
 - Exhaustif mais complexe -> affaire de spécialiste
- Deux indicateurs environnementaux importants:
 - Le **bilan carbone**: permet de comptabiliser les émissions directes et indirectes de gaz à effet de serre
 - L'**énergie grise**: quantité d'énergie nécessaire lors du cycle de vie d'un matériau ou d'un produit



Isolants bio-sourcés et recyclés

Choix d'un isolant à faible impact environnemental

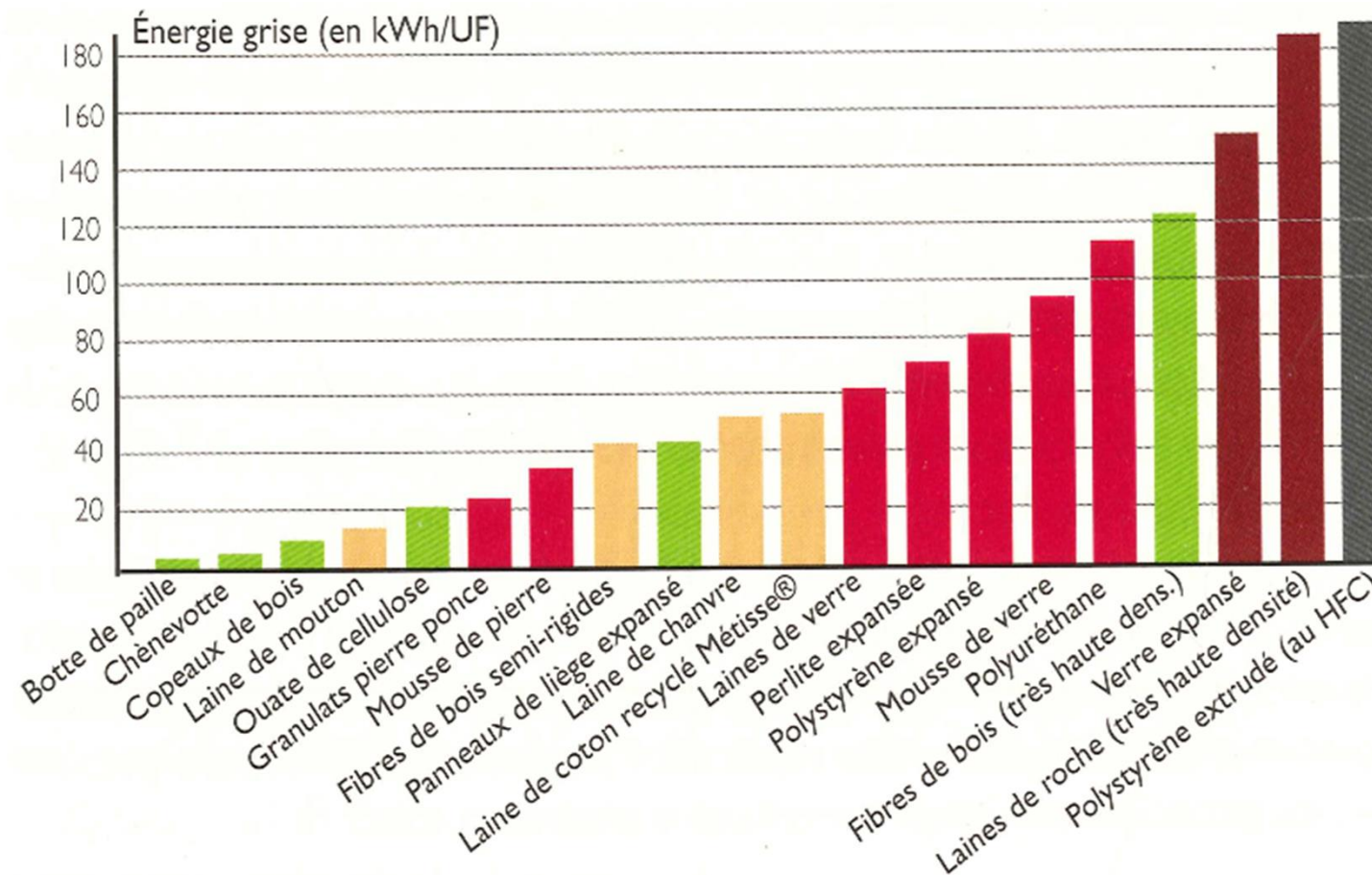


« Bilan CO₂ » de 1 m² de divers isolants pour une épaisseur correspondant à une résistance thermique de 5 m²K/W.



Isolants bio-sourcés et recyclés

Choix d'un isolant à faible impact environnemental



Coût « Énergie grise » de 1 m² de divers isolants pour une épaisseur correspondant à une résistance thermique de 5 m²K/W.

L'isolation thermique écologique
J.P. Oliva et S. Courgey



Plan de la présentation

- Construction et environnement
- Matériaux bio-sourcés
- Isolants bio-sourcés et recyclés (approche théorique)
- Béton de granulats végétaux (approche recherche)
 - Béton de miscanthus
 - Béton de bois
 - Projet AGROMOB



Béton de granulats végétaux

- Particules végétales + liant

Avantages	Inconvénients
Légèreté Bonnes performances thermo-acoustiques	Propriétés mécaniques relativement faibles → structures non porteuses

- **Difficulté** : sucres contenus dans leur structure qui retardent la prise
- **Domaine d'utilisation**: préfabrication de blocs, mais également utilisé pour le remplissage des parois d'une ossature en bois



Béton de granulats végétaux

- Exemples:
 - Béton de chanvre:
 - Mélange à base de chènevotte, d'un liant à base de chaux et d'eau
 - Porosité ouverte qui lui confère des performances thermiques intéressantes
 - Utilisé et commercialisé depuis de nombreuses années
 - Béton de bois
 - Béton de miscanthus



Projet béton de bois

- Mélange de **copeaux de bois** et de **pâte de ciment**
- Traitement de **pré-minéralisation** à la chaux et au ciment avant d'être intégrés dans le mélange.
 - **Réduit les retards de prises** dus aux réactions chimiques qui se produisent avec le glucose et l'hémicellulose.
 - **Réduit l'absorption d'eau** de gâchage utile pour la prise du ciment (car structure en réseaux capillaires des copeaux)



Projet béton de bois

- Avantage: **légèreté** ($\rho = 600$ ou 700 kg/m^3)
 - facile à transporter et à manipuler.
 - **faible conductivité thermique** : $\lambda = 0,09$ à $0,016 \text{ W/mK}$ (bloc de béton cellulaire $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ et brique de terre cuite $\lambda = 0,27 \text{ W/mK}$)





Projet béton de miscanthus

- Miscanthus:
Variété de la famille des graminées, produisant une canne ressemblant au bambou pouvant atteindre 4m de hauteur.
- Impact environnemental très faible - besoins en engrais et en pesticides très limités
- Ressource **renouvelable** (récolte: 1x/an) et **disponible** presque partout dans le monde
- Rendement très élevé

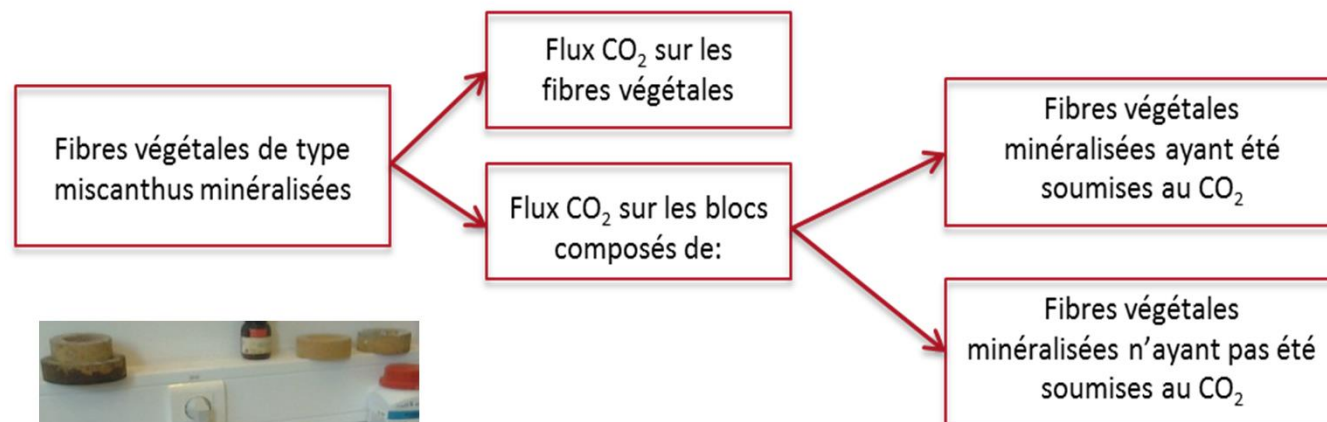




Projet béton de miscanthus

Objectif du projet

Fabrication d'éléments de construction durables, spécifiquement des blocs de construction en béton de fibres de miscanthus minéralisées, obtenus en séquestrant du CO₂.





Projet béton de miscanthus

- Objectif de la fixation du CO_2

Performances améliorées en termes de résistance mécanique, de durabilité et de stabilité dimensionnelle, grâce à la disparition aussi complète que possible de $\text{Ca}(\text{OH})_2$

➡ Carbonatation

- Fixation potentielle de CO_2

- dans un bloc $39 \times 19 \times 19 \text{ cm}^3$: 0,18 kg
- dans 1 mur de 1 m^2 (soit 12.5 blocs): 2,25 kg



- Blocs de béton : Faible teneur en ciment et aucune cuisson nécessaire

➔ limite fortement émissions de CO_2



Projet béton de miscanthus

Traitement préalable avant d'utiliser les fibres de miscanthus, de façon à accroître la durabilité du composite et à réduire les transferts de liquide entre les fibres végétales et leur environnement

➔ **minéralisation**: imprégnation des fibres par un mélange de chaux, ciment, adjuvants, additions et eau

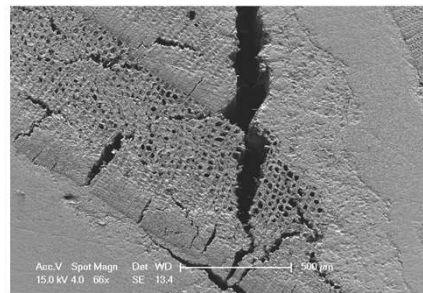


Figure 8c - Miscanthus after mineralization

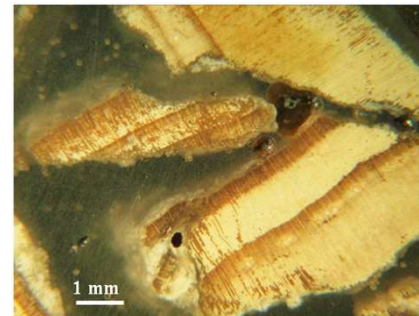


Figure 6c - micanthus after mineralization

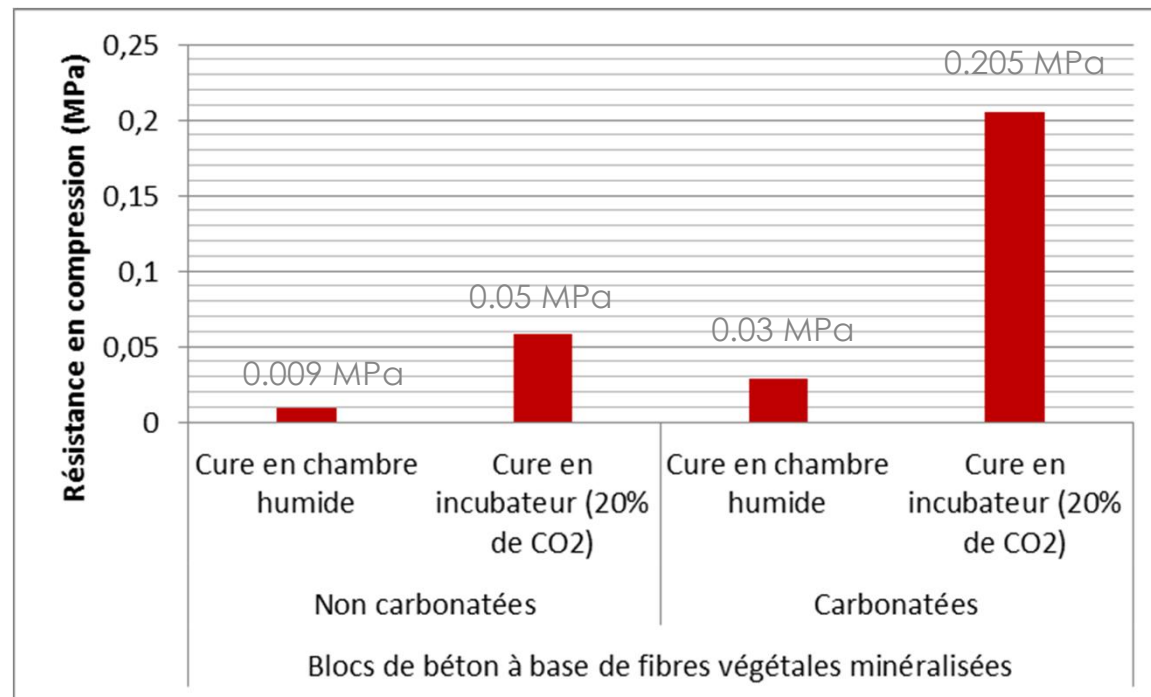
Mineralization of bio-based materials: effect on cement-based mix properties. L. Courard, A. Darimont, A. Louis and F. Michel. Bulletin of the Polytechnic Institute of Iasi (Romania), LIV(LVIII), 2012



Projet béton de miscanthus

Résultats et observations

Résistance en compression à 7 heures



- Amélioration significative de résistance en compression entre les deux types de cure
- Intérêt de carbonater préalablement les fibres



Projet AGROMOB

- **Titre du projet :**

Amélioration de l'inertie thermique des bâtiments à ossature bois par incorporation de matériaux bio-sourcés au moment de la préfabrication

- **Programme CWALity de la DGO6:**

Recherche collaborative entre une PME et un organisme de recherche

- **Durée du projet :** 24 mois (01/12/2011 - 30/11/2013)

- **Partenaires :**

mobic





Projet AGROMOB

- **Cadre général :**

- Construction à ossature bois: marché en plein essor en Europe
- MOBIC réalise depuis + de 15 ans des ossatures bois préfabriquées
- Défaut de ce système constructif: manque d'inertie thermique

- **Objectifs du projet:**

- Identifier et mettre au point un mélange de matériaux bio-sourcés conférant une inertie thermique satisfaisante
- Industrialisation de l'application en atelier (préfabrication) dans les parois en ossature





Projet AGROMOB

Identification du mélange

- **Caractéristiques requises:**
 - Suffisamment malléable
 - Résistance mécanique à court terme élevée
 - Masse volumique élevée (+/- 2000 kg/m³)
 - Economiquement pertinent.
- **Mélange identifié:** à base de boues de lavage (résidus d'exploitation du grès – 40% d'argile), de chaux et de sable



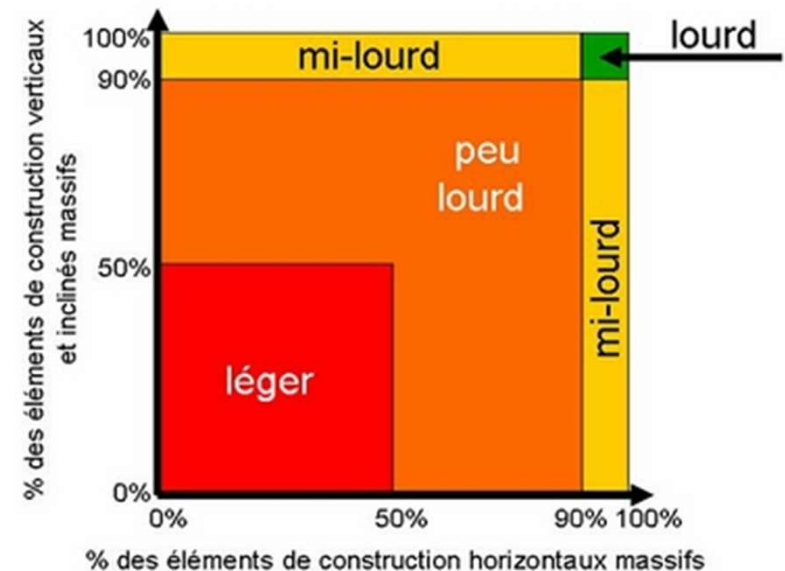


Projet AGROMOB

Travaux de modélisation de l'inertie thermique

Augmentation d'inertie directement valorisable au niveau du cadre réglementaire de la PEB:

- Couche d'inertie de 5 cm -> « léger » à « peu lourd »
- Influence significative sur PEB: jusqu'à 10% de gains de chaleur -> réduction des besoins en chauffage (mais peu d'influence sur surchauffe)

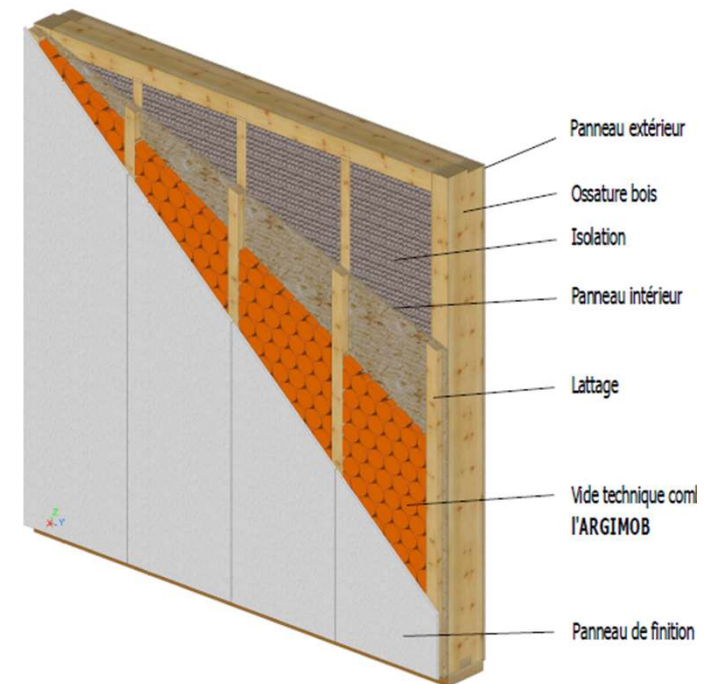




Projet AGROMOB

Avantages

- Réduction des coûts d'énergie sur du long terme
- Réduction importante des besoins de chauffage en mi-saison (+- 10%)
- Réduction du pic de température intérieure atteint durant la saison chaude
- Amortissement des variations des températures intérieures
- Amélioration de l'isolation acoustique par l'apport de masse à la structure.





Conclusions

- Moyens à développer pour répondre au besoin de matériaux de construction
- Propriétés intrinsèques intéressantes
- Apport en terme d'isolation ET inertie thermiques
- Sélection de matériaux à faible consommation d'énergie
- Filières porteuses d'emploi local qualifié, de développement économique ou encore de lien social
- Mise en valeur de l'économie circulaire





MOOC ConstruiRecycler

Comment construire avec des déchets?

- **Objet:** analyser les possibilités de valorisation des ressources secondaires dans le domaine du bâtiment et du génie civil sous forme de granulats, de liants et d'isolants
- **Période:** novembre 2018 - janvier 2019
- **Organisation:** 5 semaines (1 module par semaine)
- **Où:** plateforme FUN - <https://www.fun-mooc.fr>





MERCI POUR VOTRE
ATTENTION!

sophie.grigoletto@ulg.ac.be

+32 4 366 92 24



LIÈGE université
Sciences Appliquées