

Bétons écologiques :

Impact, évolution, évaluation

2. Matériaux biosourcés pour la construction durable

Sandrine Marceau

sandrine.marceau@ifsttar.fr
01 81 66 81 21



Sommaire

Contexte

- Contexte environnemental
- Protocole de Kyoto
- Débat national sur la transition énergétique

① Réglementation et labels

- Lois Grenelle 1 et 2
- Réglementations thermiques
- Démarche HQE
- Labels

② Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

- Définitions
- Intérêt de ces matériaux
- Freins à l'utilisation des matériaux biosourcés
- Label Bâtiment biosourcé
- Fonctions dans un bâtiment
- Exemples de bâtiments

③ Bétons de chanvre

- Production et applications du chanvre
- Bétons de chanvre
- Constituants de base
- Fabrication
- Comportement mécanique
- Comportement acoustique
- Comportement thermique
- Comportement hygro-thermique

Sommaire

Contexte

- Contexte environnemental
- Protocole de Kyoto
- Débat national sur la transition énergétique

① Réglementation et labels

- Lois Grenelle 1 et 2
- Réglementations thermiques
- Démarche HQE
- Labels

② Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

- Définitions
- Intérêt de ces matériaux
- Freins à l'utilisation des matériaux biosourcés
- Label Bâtiment biosourcé
- Fonctions dans un bâtiment
- Exemples de bâtiments

③ Bétons de chanvre

- Production et applications du chanvre
- Bétons de chanvre
- Constituants de base
- Fabrication
- Comportement mécanique
- Comportement acoustique
- Comportement thermique
- Comportement hygro-thermique



Contexte environnemental

■ Consommation d'énergie en France

- Construction : 43%
- Transports : 31%
- Industrie : 20%

■ Émissions de gaz à effet de serre (GES)

- Construction : 25%
- Transports : 28%
- Industrie : 21%

■ Directive Européenne sur la performance énergétique des bâtiments (DPEB) en 2002

- Application des engagements pris lors de la conférence de Kyoto (1997)
- Réduction des émissions de GES d'un facteur 4 d'ici 2050

■ Réglementations thermiques 2000, 2005, 2012

- ➔ Réduction des consommations énergétiques d'au moins 15% avec une progression tous les 5 ans
- ➔ Limitation du recours à la climatisation
- ➔ Maîtrise de la demande en électricité

■ Grenelle de l'environnement en 2007

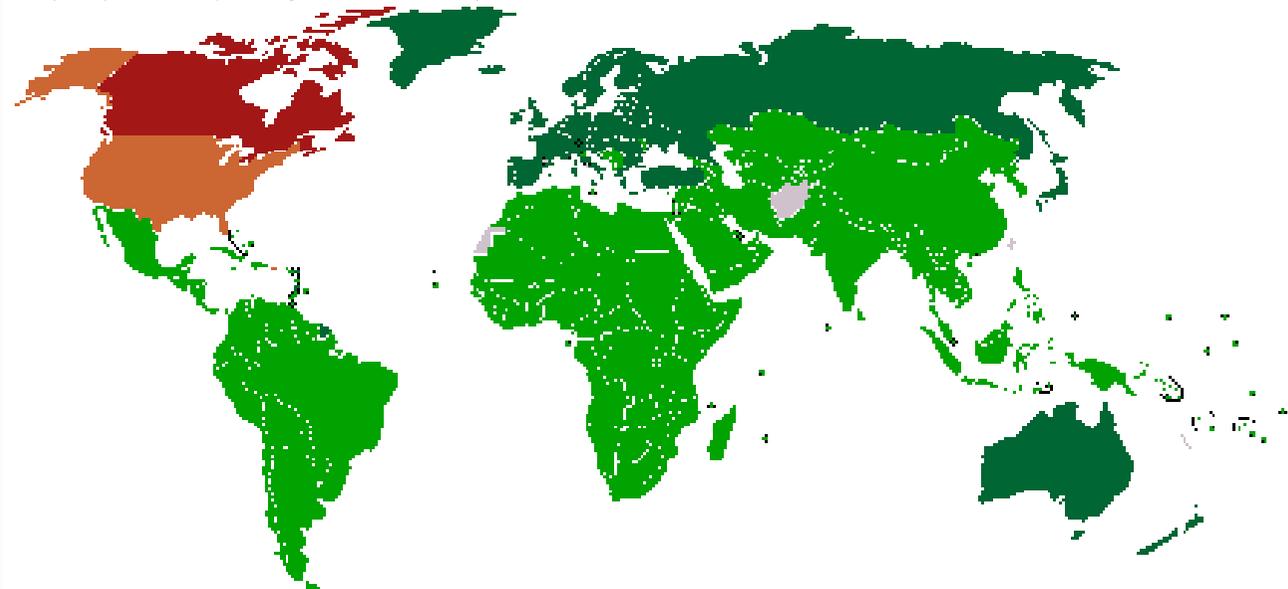
- 3 comités pour le secteur du bâtiment
- réduire la consommation de tous les logements neufs à moins de 50 kWh/m²/an en 2012
- tous les logements neufs à énergie passive ou positive en 2020

Protocole de Kyoto



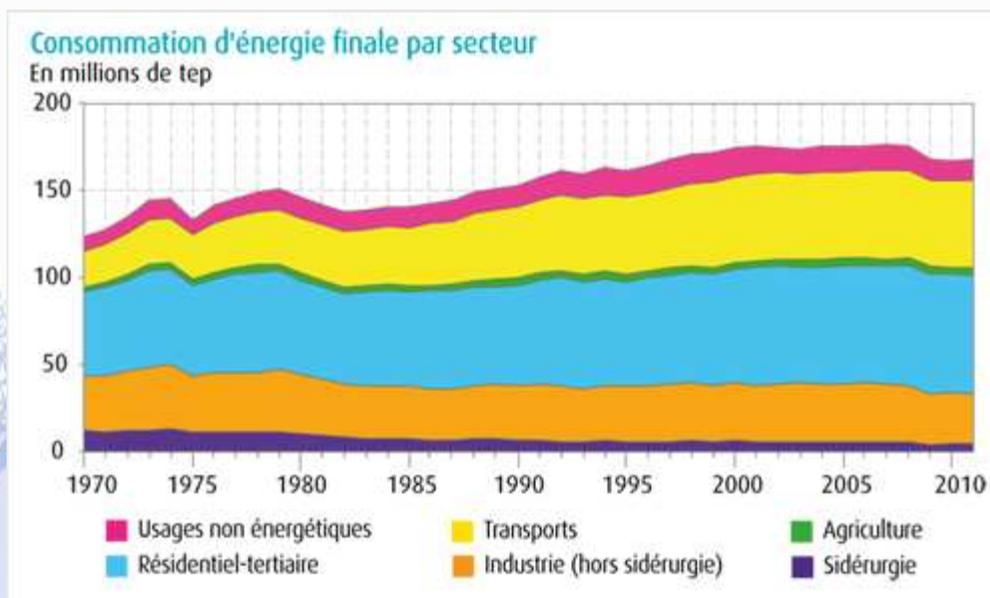
- Première étape de la révolution écologique dans les politiques publiques
- Premier accord des pays industrialisés pour diminuer leur émissions de gaz à effet de serre
- initié en 1997, ratifié par 55 pays en 2005
- vise à réduire, entre 2008 et 2012, de 5,2 % par rapport au niveau de 1990 les émissions de six gaz à effet de serre

Pays ayant ratifié le protocole de Kyoto en 2011



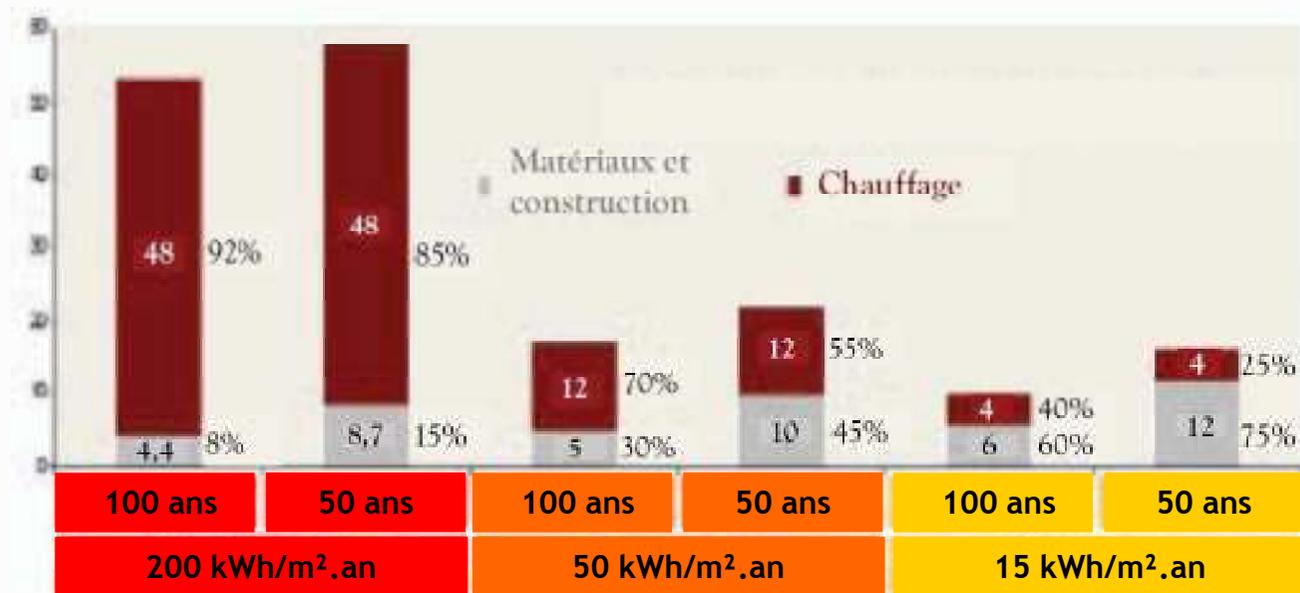
■ enjeux :

- écologiques : réduire nos émissions de Gaz à effet de serre et maîtriser les autres impacts environnementaux et sanitaires, réduire l'insécurité climatique
- économiques : réduire notre dépendance énergétique, gagner en compétitivité et créer ou développer des filières industrielles et des emplois, limiter les coûts de l'inaction
- sociaux : maîtriser le prix et la facture de l'énergie, lutter contre la précarité énergétique et l'injustice sociale face à ce service essentiel



Part des matériaux dans l'ACV d'un bâtiment

- Poids des matériaux de construction sur les impacts environnementaux du bâtiment
 - Part de plus en plus importante des matériaux avec la réduction des consommations énergétiques
 - Place de plus en plus importante des phases de construction et de démolition



- ▶ Développer des matériaux de construction alternatifs à faible coût environnemental
- ▶ Limiter les consommations énergétiques liées à la phase d'exploitation du bâtiment (qualités thermiques), de construction et de déconstruction

Une réglementation en constante évolution

- Impact environnemental : ACV (ISO 14 040)
- Mise en place des FDES : ACV + aspects hygiène, sécurité et sanitaire des produits (NF P 01 010)
 - Pas d'obligation réglementaire
- 2008 : réglementation REACH : obligation d'indiquer les caractéristiques d'émission en substances volatiles polluantes du produit mis en œuvre
- Etiquetage environnemental des matériaux non obligatoire



Sommaire

Contexte

- Contexte environnemental
- Protocole de Kyoto
- Débat national sur la transition énergétique

① Réglementation et labels

- Lois Grenelle 1 et 2
- Réglementations thermiques
- Démarche HQE
- Labels

② Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

- Définitions
- Intérêt de ces matériaux
- Freins à l'utilisation des matériaux biosourcés
- Label Bâtiment biosourcé
- Fonctions dans un bâtiment
- Exemples de bâtiments

③ Bétons de chanvre

- Production et applications du chanvre
- Bétons de chanvre
- Constituants de base
- Fabrication
- Comportement mécanique
- Comportement acoustique
- Comportement thermique
- Comportement hygro-thermique



Loi Grenelle

- 3 août 2009 : Loi Grenelle 1 : engagement de diviser par 4 d'ici 2050 ses émissions de GES sur la base des chiffres de 1990
- 30 juin 2010 : Loi Grenelle 2 : consolidé et concrétisé les objectifs fixés par la Loi Grenelle 1 notamment pour le bâtiment : tertiaire et résidentiel, public et privé, neuf et rénovation.

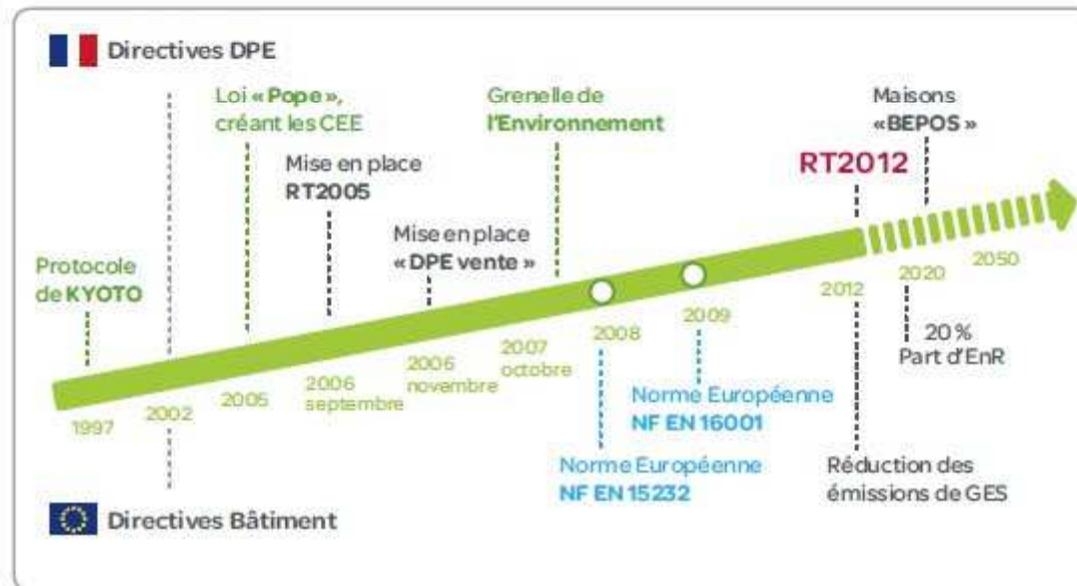


Règlementations thermiques

■ Objectif

■ fixer une limite maximale à la consommation énergétique des bâtiments neufs pour le chauffage, la ventilation, la climatisation, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage

- Suite logique d'une réglementation mise en place en 1974 après le premier choc pétrolier
- Mise en œuvre des principes du Plan Bâtiment, issu du Grenelle de l'Environnement



Règlementation thermique 2012



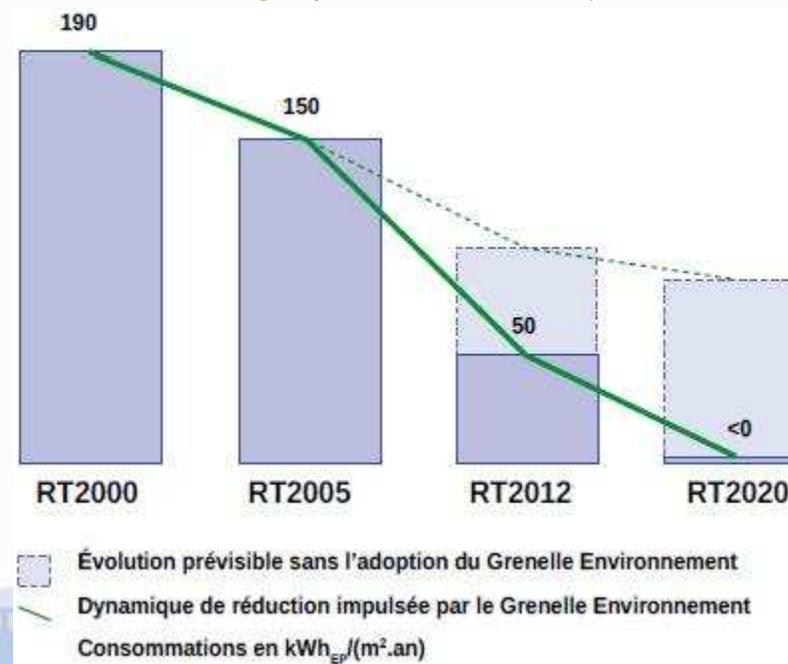
**RÉGLEMENTATION
THERMIQUE
2012**

- Règlementation thermique "Grenelle Environnement 2012"
 - outil réglementaire concernant les bâtiments résidentiels et tertiaires neufs

- Objectif :

- limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 kWhEP/(m².an) en moyenne

Évolution des exigences réglementaires de consommation énergétique des bâtiments neufs

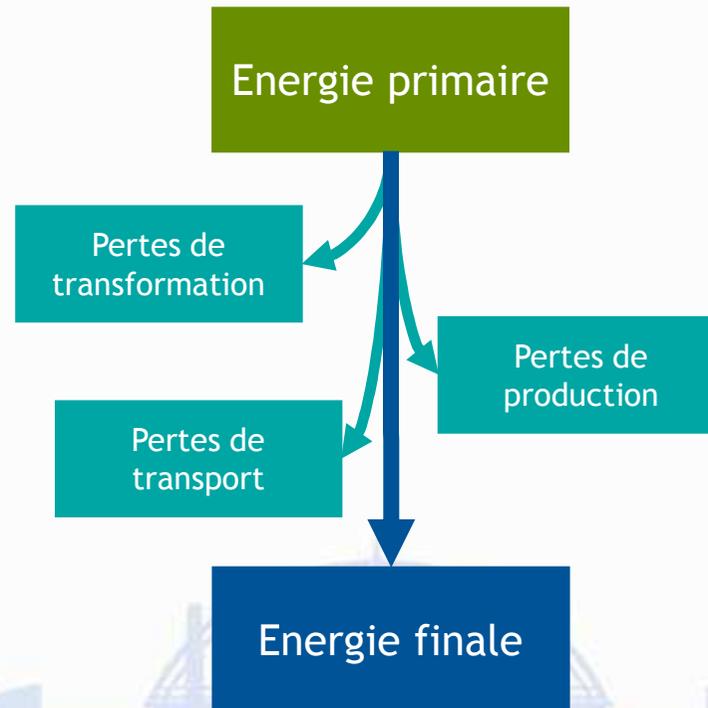


Règlementation thermique 2012

■ Energie primaire, énergie finale

■ exigences en énergie primaire

- kWh_{EF} : quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final
- $1 \text{ kWh}_{\text{EF}} = 2,58 \text{ kWh}_{\text{EP}}$ pour l'électricité
- $1 \text{ kWh}_{\text{EF}} = 1 \text{ kWh}_{\text{EP}}$ pour les autres énergies (bois, gaz, réseaux de chaleur...)



Règlementation thermique 2012

■ 3 indicateurs

■ B_{BIO} : efficacité énergétique minimale du bâti

- impact de la conception bioclimatique sur la performance énergétique du bâti
- *démarche bioclimatique* : optimise entre autres l'orientation, les apports solaires, l'éclairage naturel, le niveau d'isolation, l'inertie, la compacité et la mitoyenneté

■ T_{IC} : Température intérieure conventionnelle

- Exigence relative au confort d'été dans les bâtiments non climatisés
- Température intérieure atteinte au cours d'une séquence de 5 jours chauds

■ Cep : Consommation d'énergie primaire du bâtiment (maximum : 50 kWh_{EP}/(m².an) en moyenne)

- 5 usages pris en compte : chauffage, production d'eau chaude sanitaire, refroidissement, éclairage, auxiliaires (ventilateurs, pompes)

■ Valeur des exigences dépendant de :

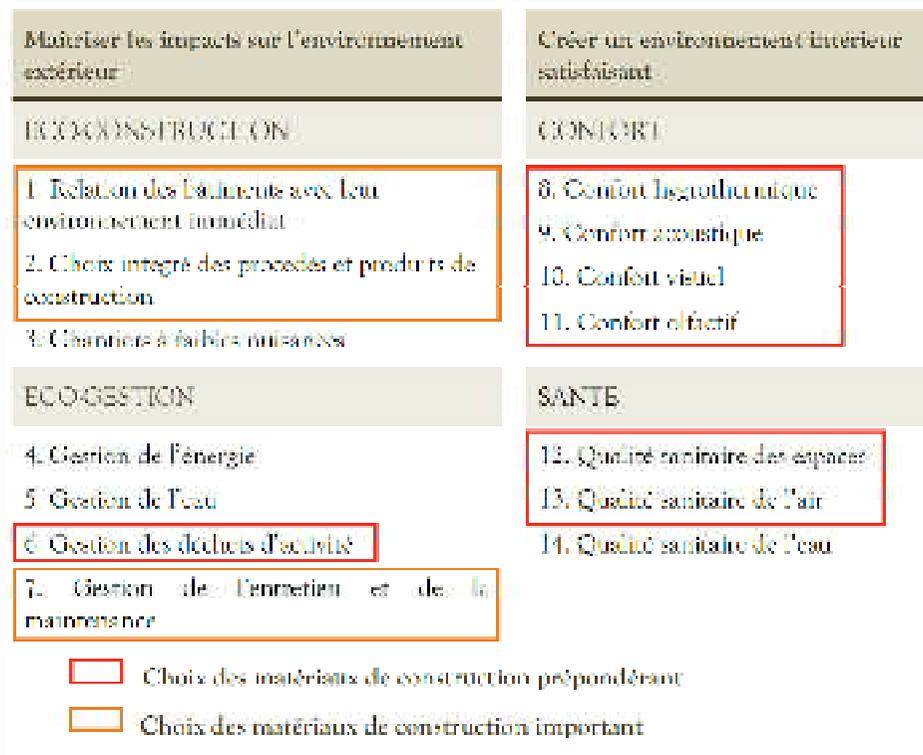
- la localisation géographique, l'altitude
- la surface du logement, la mitoyenneté
- les émissions de GES (favoriser l'utilisation d'énergies renouvelables)
- type et usage du bâtiment (bureaux, écoles, logements...)



Démarche HQE

- Démarche volontaire pour les bâtiments tertiaires, les maisons individuelles et le logement collectif ou groupé

14 cibles de la démarche HQE et importance des matériaux de construction dans cette démarche



Labels



▶ HPE : Haute Performance Energétique

- ▶ Consommation du bâtiment plus performante de 10% par rapport à la réglementation thermique

▶ HPE EnR : Haute Performance Energétique - Energie Renouvelable

- ▶ Consommation du bâtiment plus performante de 10% par rapport à la réglementation thermique
- ▶ Intégrer l'installation d'équipements d'énergie renouvelable

▶ THPE : Très Haute Performance Energétique

- ▶ Consommation du bâtiment plus performante de 20% par rapport à la réglementation thermique

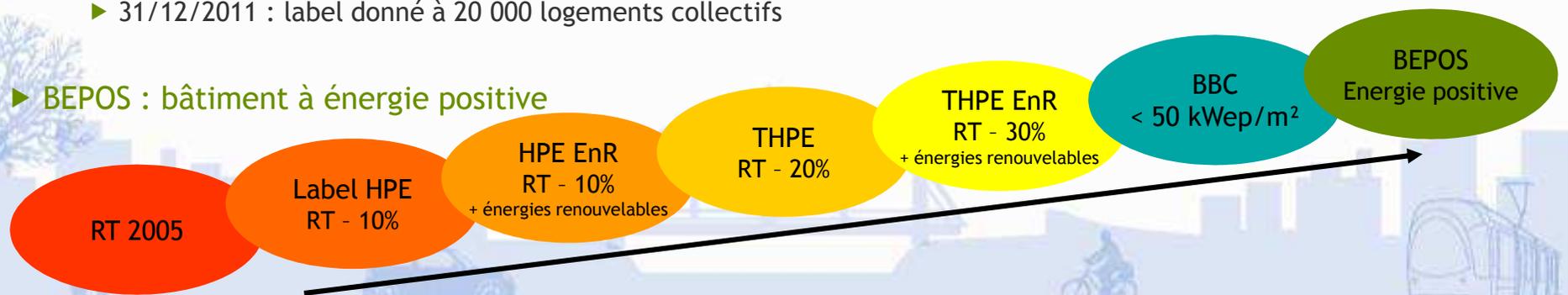
▶ THPE-EnR : Très Haute Performance Energétique - Energie Renouvelable

- ▶ Consommation du bâtiment plus performante de 30% par rapport à la réglementation thermique
- ▶ Intégrer l'installation d'équipements d'énergie renouvelable

▶ BBC : bâtiment à basse consommation

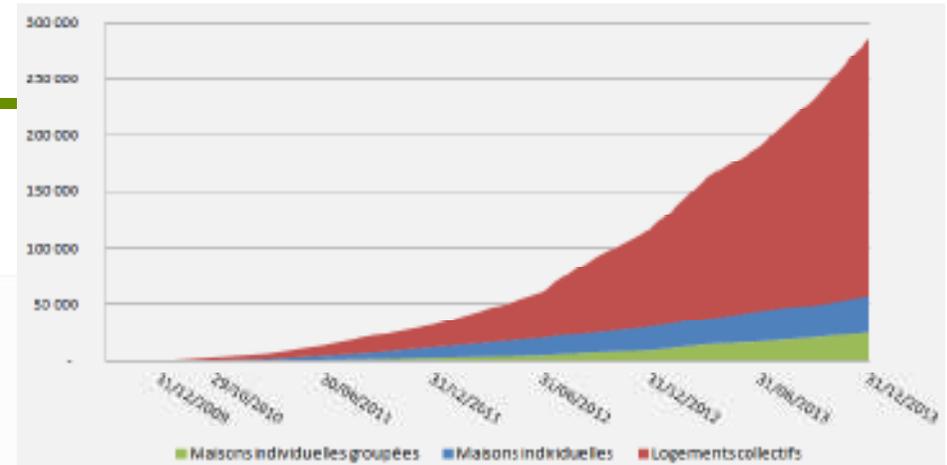
- ▶ pour les bâtiments neufs dont la consommation est $< 50 \text{ kWh/m}^2/\text{an}$
- ▶ 31/12/2011 : label donné à 20 000 logements collectifs

▶ BEPOS : bâtiment à énergie positive



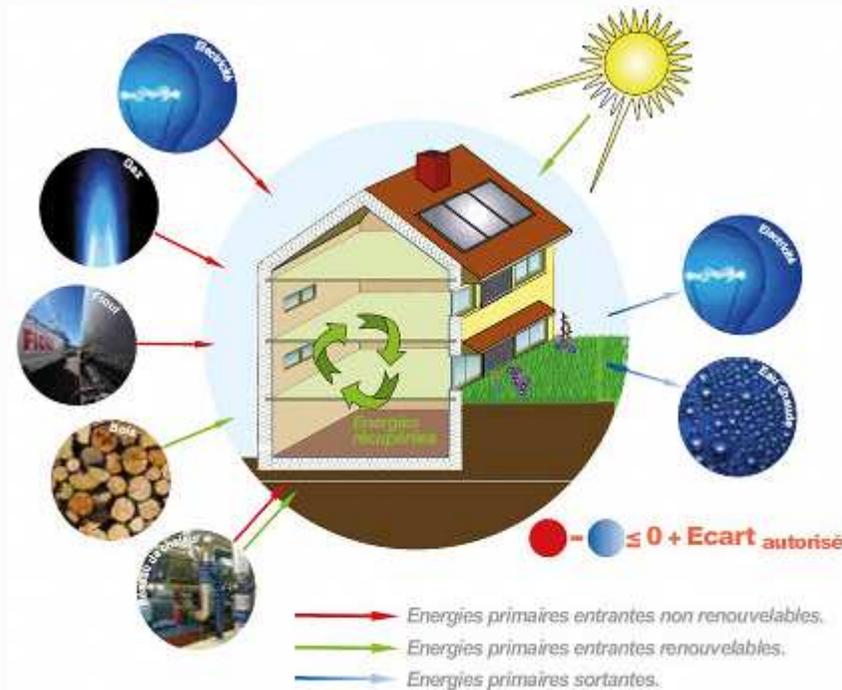
Label BBC

- Respect de la RT 2012
 - Valorisation des apports du soleil
 - Optimiser l'orientation de la maison
 - Renforcement de l'isolation et gestion de la ventilation
 - Traitement des ponts thermiques
 - Recours aux énergies renouvelables
 - Contrôle de la perméabilité à l'air et des dépenses énergétiques du bâtiment
- ➔ 7 fois moins d'énergie pour le chauffage, 2 fois moins d'eau chaude sanitaire
- 287 528 logements certifiés BBC entre 2007 et 2013



Label BEPOS

- Label BEPOS Effinergie 2013 : label pilote
- Bilan en énergie primaire non-renouvelable
- bâtiment à énergie positive obligatoire pour tous les logements neufs à partir de 2020
 - ➔ RT 2020



Immeuble "Bonne Energie" à Grenoble



Sommaire

Contexte

- Contexte environnemental
- Protocole de Kyoto
- Débat national sur la transition énergétique

① Réglementation et labels

- Lois Grenelle 1 et 2
- Réglementations thermiques
- Démarche HQE
- Labels

② Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

- Définitions
- Intérêt de ces matériaux
- Freins à l'utilisation des matériaux biosourcés
- Label Bâtiment biosourcé
- Fonctions dans un bâtiment
- Exemples de bâtiments

③ Bétons de chanvre

- Production et applications du chanvre
- Bétons de chanvre
- Constituants de base
- Fabrication
- Comportement mécanique
- Comportement acoustique
- Comportement thermique
- Comportement hygro-thermique

Définitions

- Arrêté du 19 décembre 2012

- Matière biosourcée : *issue de la biomasse végétale ou animale pouvant être utilisée comme matière première*

- Produit de construction biosourcé : *produit de construction totalement ou partiellement biosourcé*

- Biomasse : *matière d'origine biologique à l'exception des matières premières de formation géologique ou fossile*

- Le bois est le premier des matériaux biosourcés en volume



Intérêt de ces matériaux

- Deux atouts environnementaux principaux

- la matière dont ils sont issus est renouvelable,
- ils peuvent contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et au stockage temporaire de carbone



Freins à l'utilisation des biosourcés en construction

- Manque de structuration

- Tissu industriel composé de petites et très petites entreprises aux capacités de développement limitées

- Réglementation et corpus normatif difficile à comprendre et à gérer par les entrepreneurs de la construction

- Manque de (re)connaissance des matériaux biosourcés par les professionnels

- Déficit de formation des acteurs à tous les niveaux de qualification



Label bâtiment biosourcé

- Label créé par le [décret du 19 avril 2012](#)

■ Création du label : mise en lumière de la qualité environnementale et valorisation des démarches volontaires des maîtres d'ouvrage intégrant une part significative de ces matériaux dans leur construction

- Trois niveaux de label correspondant au taux d'intégration de matériau biosourcé

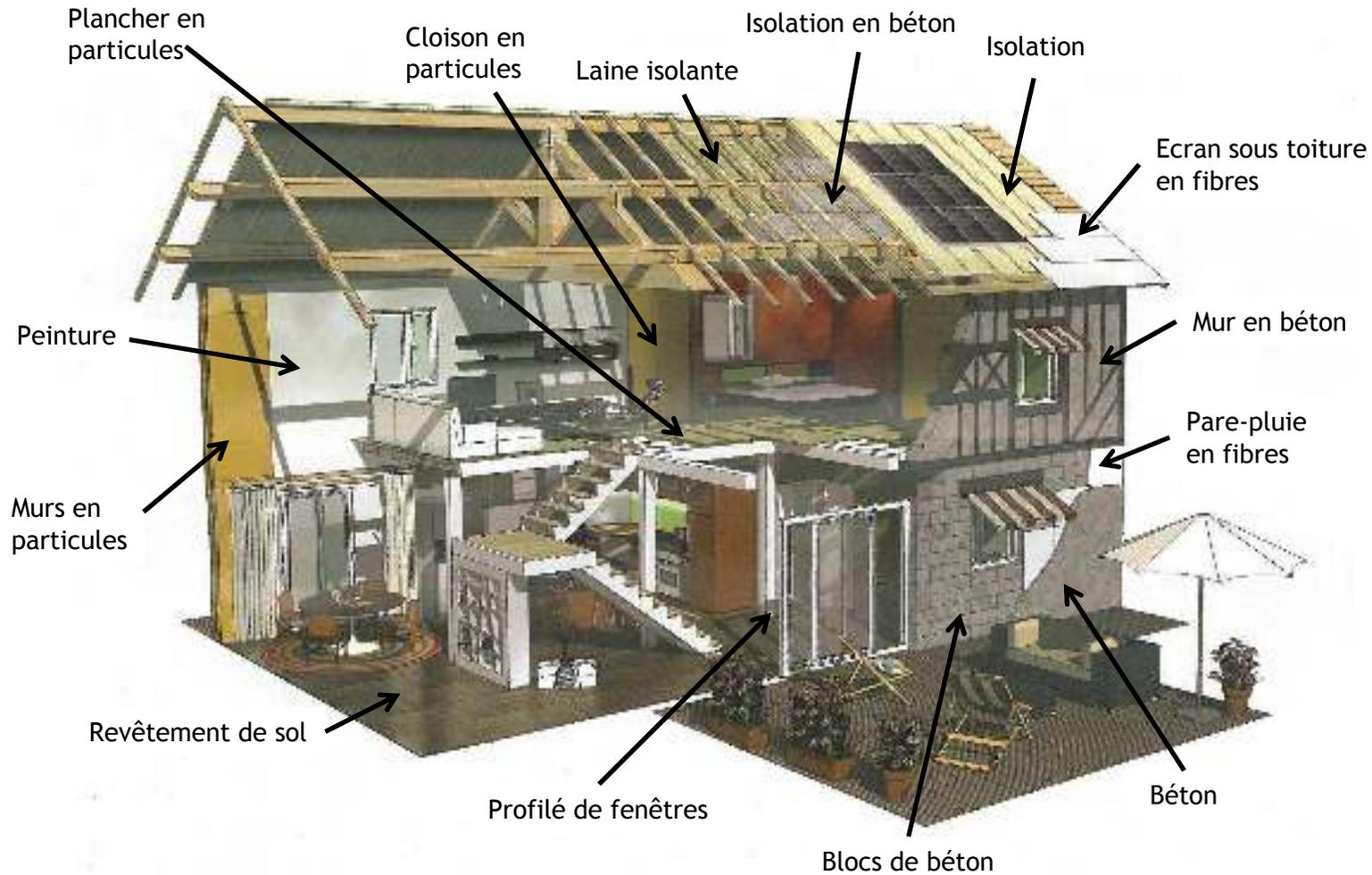
Type d'usage principal	Taux d'incorporation de matières biosourcée du label (kg/m ² de surface au plancher)		
	1 ^{er} niveau	2 ^e niveau	3 ^e niveau
Maison individuelle	42	63	84
Industrie, stockage, service de transport	9	12	18
Autres usages (bâtiment collectif d'habitation, hébergement hôtelier, bureaux de commerce, enseignement, bâtiment agricole, etc.)	18	24	36
	Au moins deux produits biosourcés différents remplissant des fonctions différentes	Au moins deux familles de matériaux biosourcés	

Fonction des matériaux biosourcés

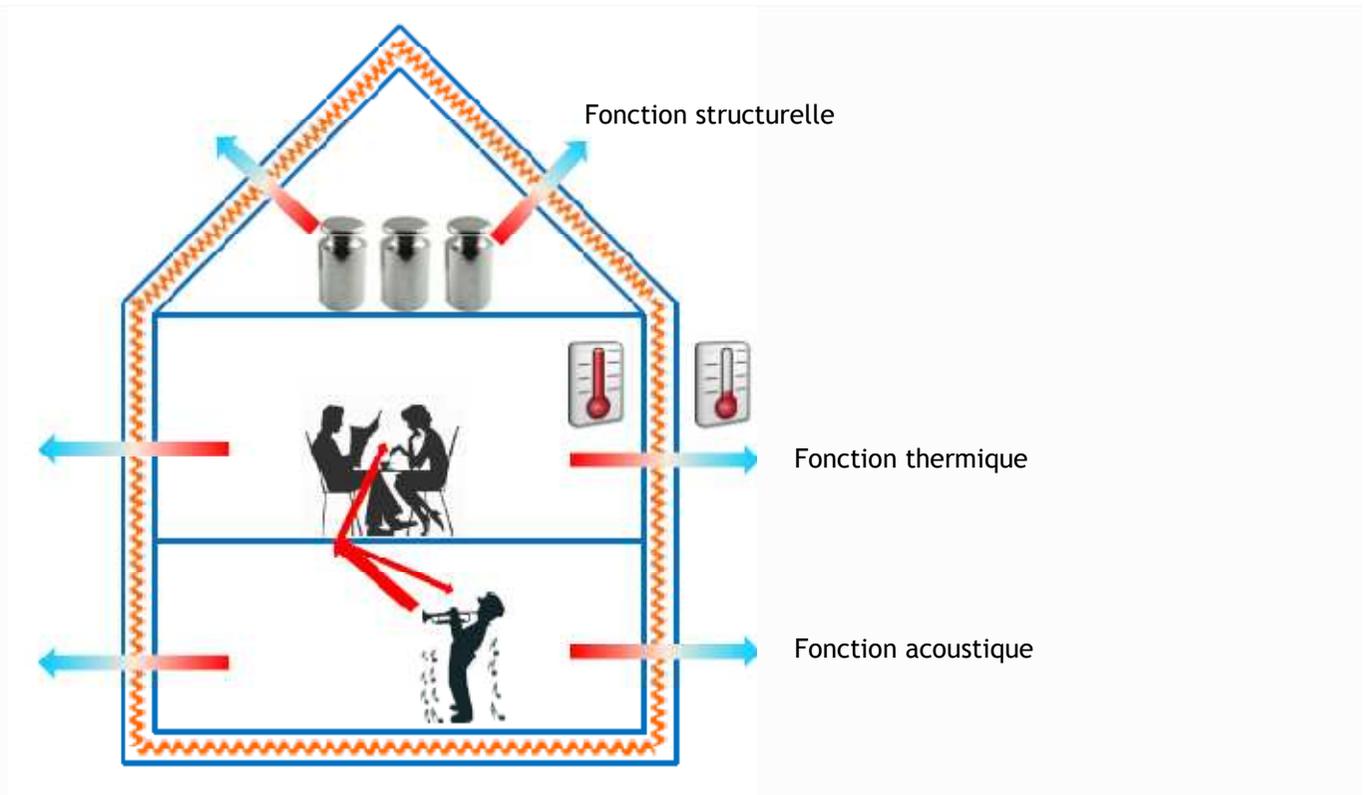
- Exemples de fonctions définies dans le label bâtiment biosourcé :
 - Aménagements extérieurs : terrasses extérieures...
 - Structure, maçonnerie, gros œuvre, charpente : ossatures bois porteur, mur porteur en bois massif, escalier en bois
 - Revêtements de sols et murs, peintures, produits de décoration : plinthes en bois, parquets, bétons de chanvre, panneau de paille compressé...
 - Menuiseries intérieures et extérieures, fermetures : portes, fenêtres, huisseries, volets...
 - façades : bardages
 - isolation : isolants à base de fibres végétales, paille
 - ...



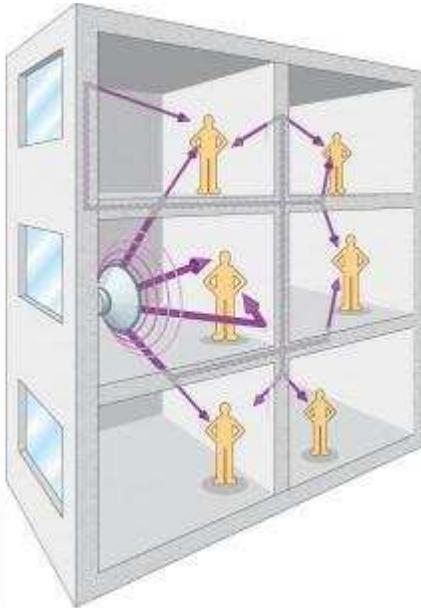
Fonction des matériaux biosourcés



Principales fonctions des matériaux biosourcés

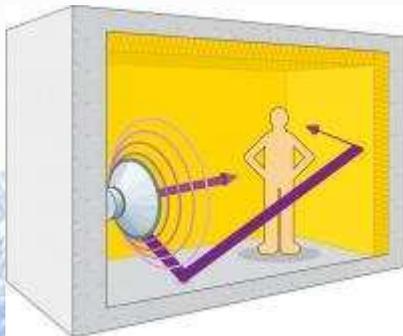


Qualité acoustique des bâtiments



■ Isolation acoustique

- Moyens utilisés pour contrôler la transmission acoustique d'une pièce à l'autre : réduire le niveau des bruits transmis (bruits aériens)
- Structure massive et imperméable



■ Correction acoustique

- moyens pour contrôler la réponse d'une pièce à l'excitation acoustique provenant de la même pièce (effet d'écho)
- Matériaux poreux et perméables



Qualité acoustique des bâtiments

■ Trois types de matériaux acoustiques

- **Matériaux absorbants** : Laines minérales, mousses, bois expansés, matériaux poreux
 - Réduction de la réverbération du bruit à l'intérieur du local
 - Matériaux poreux
- **Matériaux isolants** : bétons, briques, plâtre, matériaux lourds
 - empêchent le bruit de passer d'une pièce à l'autre
 - plus efficaces sur les sons aigus
- **Matériaux résilients** : feutre, liège, caoutchouc, ressorts...
 - empêchent les vibrations mécaniques

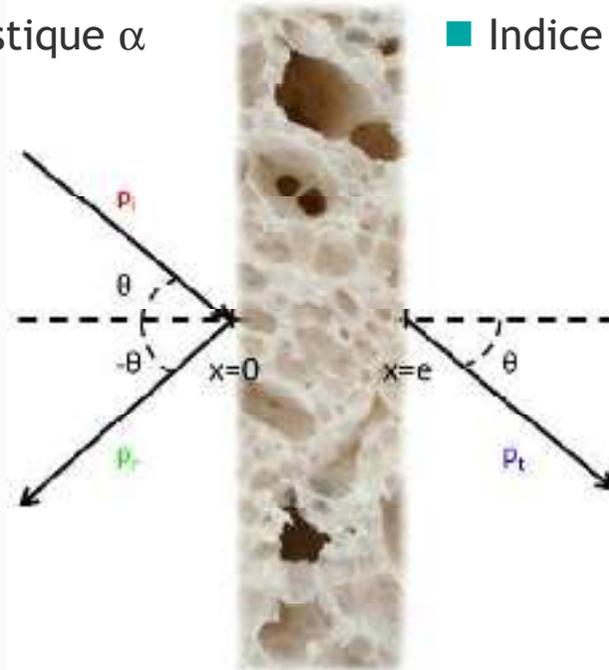


Qualité acoustique des bâtiments

■ Coefficient d'absorption acoustique α

$$\alpha(\theta) = 1 - |R(\theta)|^2$$

$$R(\theta) = \frac{p_r(\theta)}{p_i(\theta)}$$



■ Indice d'affaiblissement du matériau TL

$$TL(\theta) = -10 \log \tau(\theta)$$

$$\tau(\theta) = \frac{I_t(\theta)}{I_i(\theta)}$$



FDES des matériaux biosourcés

- FDES : *Fiches de Déclarations Environnementales et Sanitaires*
 - bilan environnemental des matériaux de construction pouvant être utilisé dans un projet
 - Norme française NF P 01-010 (bientôt norme européenne EN 15804)
- Exemple : isolant chanvre/lin en rouleaux
 - Composition : chanvre (44%) / lin (44%) / polyester (12%) + produit anti-fongique



FDES des matériaux biosourcés

Inies Base nationale française de référence sur les impacts environnementaux et sanitaires des produits, équipements et services pour l'évaluation de la performance des ouvrages

Accueil Consultation Catalogue de la base Recherche d'un produit Lexique Documentation F.A.Q Espace de déclaration

Accueil >> Accueil Consultation >> Recherche d'un produit >> Produit détaillé

← Produit détaillé

Biofib' duo isolant Chanvre/Lin (v1.1)

Organisme déclarant: L'AVAC BILIMAT-BIAUX

Informations Générales **Unité fonctionnelle** Indicateurs environnementaux Santé Confort Documents

Unité fonctionnelle (U.F.)	Assurer une fonction d'isolation thermique sur 1m ² de paroi pendant une année et sur une durée de vie typique de 50 ans avec une résistance thermique de 2,44 K.m ² .W ⁻¹ , tout en assurant les performances prescrites du produit.
Quantité	1 m ²
Durée de vie du produit	50 an(s)
Caractéristiques non contenues dans l'unité fonctionnelle	N/A
Taux de chute lors de la mise en oeuvre	0%
Fréquence d'entretien	0 an(s)
Déclaration de contenu	Utilisation d'un fongicide pour renforcer la protection naturelle des fibres de chanvre et lin, et répondre à la norme pour le classement des produits anti-moisissures: 2-Octyl-2H-isothiazole-3-one: 4E-4 Kg par année
Produits constitutifs de l'unité fonctionnelle	

L'isolant est commercialisé en rouleaux de 0,6m de long et 0,6m de large pour une épaisseur de 100mm. 1m² d'isolant Biofib' duo possède une densité de 30 kg/m³ et peut être décrit comme suit : Chanvre: 1,32 Kg/m² Lin: 1,32 Kg/m² Polyester: 0,26 Kg/m² Produit fongique: 0,02 Kg/m² Pour être délivré sur le chantier, le produit sera conditionné au moyen de Palettes 0,4902 Kg/m² Geine PE: 0,0707 Kg/m² Geisse PE: 0,0374 Kg/m² Colle: 0,0013 Kg/m² Aucun produit complémentaire n'est préconisé pour la mise en oeuvre.

Exemples de bâtiments



Maison individuelle en blocs de béton de chanvre à Jarrie (38)

Béton de chanvre à Villiers sur Loir

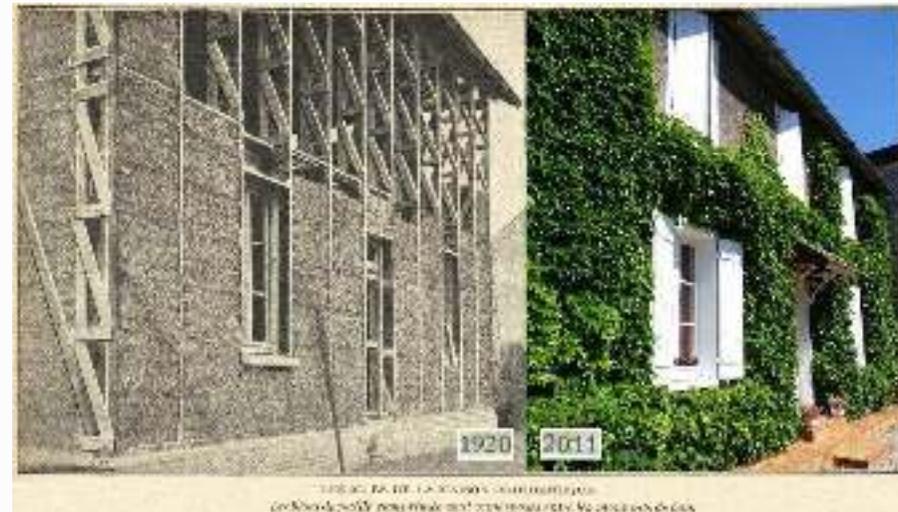


Exemples de bâtiments en paille

Maison Feuillette, 1921, Montargis
Plus ancien bâtiment en paille connu en Europe

FRAICHES EN ÉTÉ, CHAUDES EN HIVER,
LES MAISONS DE PAILLE
SONT AVANT TOUT ÉCONOMIQUES
Par Gustave LAMACHE

Science et Vie n° 56, mai 1921

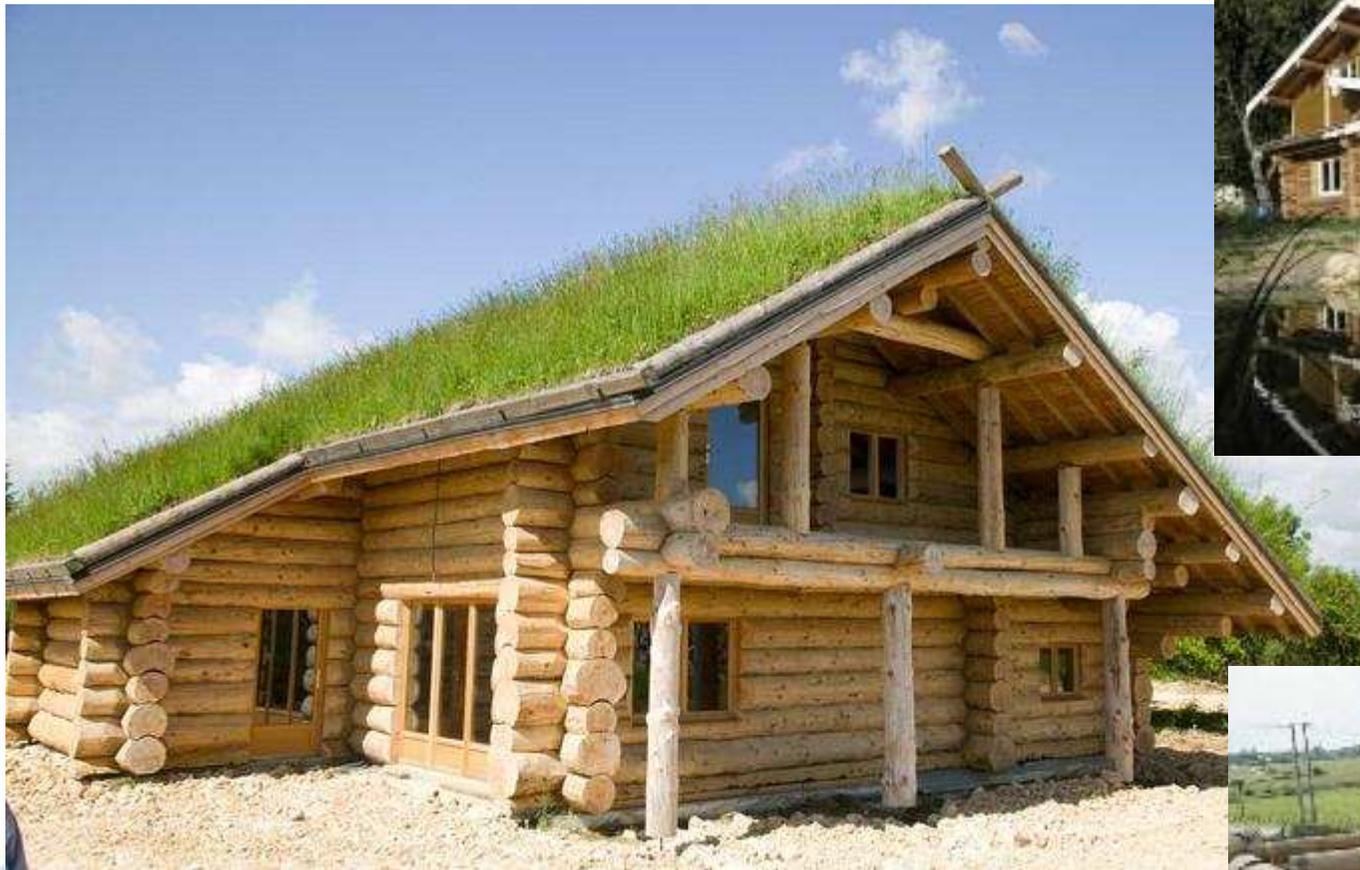


Exemples de bâtiments en paille

- Maisons en paille aux USA depuis 1870 (Etat du Nebraska)
- Entre 100 et 400 maisons en paille en France
- Murs enduits de terre, chaux
- Ossature bois
- Règles professionnelles de construction en paille en France (2012) pour le remplissage isolant et support d'enduit



Exemples de bâtiments en bois



Bois brut (Méthode Fuste, Chaource)

Exemples de bâtiments en bois



Mesquer (44) 2007



Applications pour l'isolation



En rouleau

Laines de chanvre, lin, mélanges...

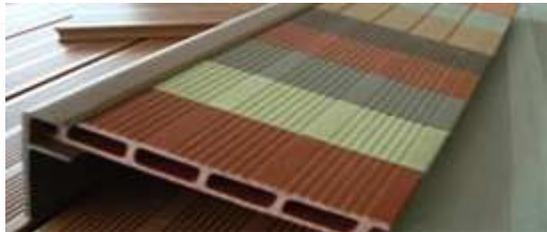


Ouate de cellulose



Autres applications

Lames de terrasse, bardages



Canna'deck
(composite PVC-chanvre)



Wood chop
(composite bois)

Peintures

A base d'huile
carthame, de soja et
de ricin, de cellulose
(85%)



Cadres de fenêtre

Innobat : résine epoxy (partiellement)
biosourcée + fibres de lin



Sommaire

Contexte

- Contexte environnemental
- Protocole de Kyoto
- Débat national sur la transition énergétique

① Réglementation et labels

- Lois Grenelle 1 et 2
- Réglementations thermiques
- Démarche HQE
- Labels

② Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

- Définitions
- Intérêt de ces matériaux
- Freins à l'utilisation des matériaux biosourcés
- Label Bâtiment biosourcé
- Fonctions dans un bâtiment
- Exemples de bâtiments

③ Bétons de chanvre

- Production et applications du chanvre
- Bétons de chanvre
- Constituants de base
- Fabrication
- Comportement mécanique
- Comportement acoustique
- Comportement thermique
- Comportement hygro-thermique



Production du chanvre

■ Culture sans traitement sanitaire

- tiges entre 2 et 4 m de hauteur, 0,5 à 3 cm de diamètre
- rendements de 7 à 10 t par ha pour la paille (40% de fibres et 60% de bois)

■ Produits du chanvre

- Fibres : partie extérieure de la tige
 - Applications : renforts dans les composites, laines isolantes, papiers, textile
- Chènevotte : partie interne de la tige coupé en particules
 - Applications : litière d'animaux (en vrac), granulats pour les bétons de chanvre
- Chènevis : graines
 - Applications : alimentation, cosmétique
- Poussières
 - Applications : litières ou chauffage



Production du chanvre

Culture



Récolte



Chènevis



Fibres



Chènevotte



Applications dans la construction



Plante



Tige

Chènevotte



Forme parallélépipédique
Porosité : 57-78%
Taille des pores : 10-60 μm

Béton de chanvre



Fibres



Forme cylindrique
Longueur : 5-55 mm
Diamètre : 20-40 μm
Porosité : 2-16%
Taille des pores : 0,5-10 μm

Laine isolante



Bétons de chanvre

■ Mélange de :

- granulats de chanvre (chènevotte)
- phase minérale (chaux aérienne et/ou hydraulique, pouzzolanes naturelles, ciment...)
- eau
- parfois charges minérales (fines de calcaire, sable...)



	Chanvre (kg/m ³)	Liant (kg/m ³)	Eau (kg/m ³)	Masse volumique (kg/m ³)
Toit	100	100	200	200
Mur	100	220	350	350
Sol	100	275	500	400
Enduit	100	800	500	700

Bétons de chanvre

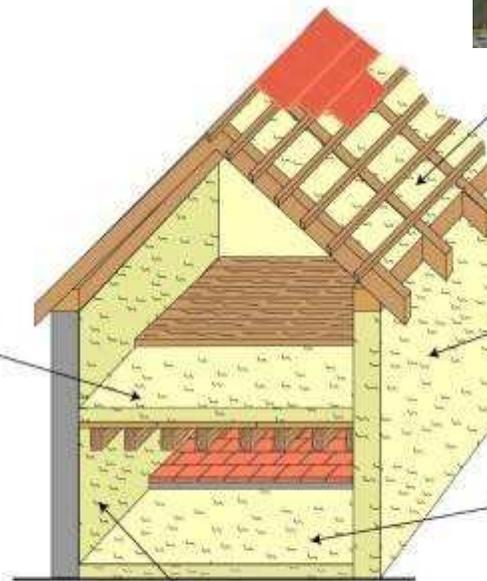
■ Différentes applications



Béton de chanvre isolant sur plancher d'étage



Béton de chanvre en isolation de toiture



Béton de chanvre en mur

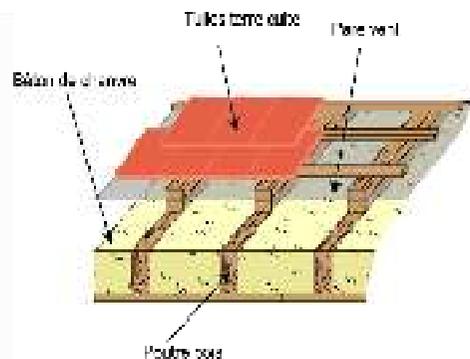
Béton de chanvre en dallage isolant sur terre plein

Mortier de chanvre en enduit intérieur



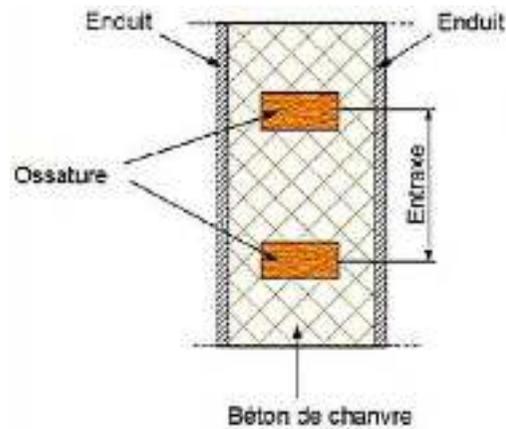
Application toit : 200 kg/m³

Isolation de toit en béton de chanvre



Application mur : 350 kg/m³

Coupe horizontale de mur à ossature noyée

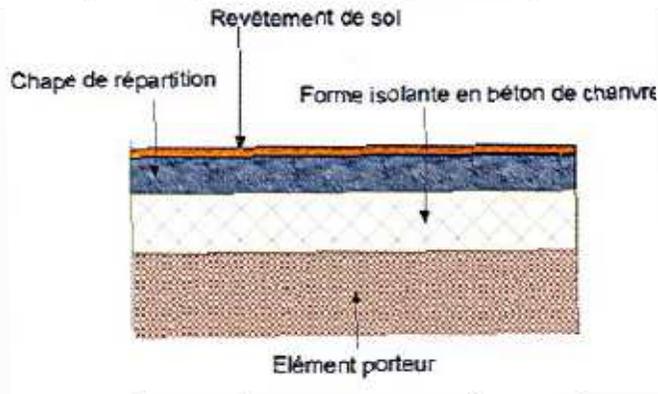


- régulation thermique
- élasticité
- perméabilité à la vapeur d'eau
- acoustique



Application sol : 400 kg/m³

Isolation de sol en béton de chanvre



- Faible masse volumique
- élasticité
- perméabilité à la vapeur d'eau
- isolation thermique et acoustique



Application enduit : 700 kg/m³



- élasticité
- perméabilité à la vapeur d'eau
- régulation thermique
- correction acoustique



En rénovation



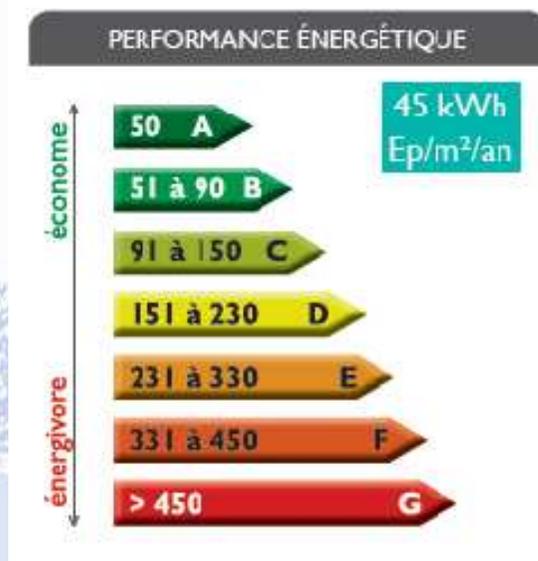
Maison du tourisme de Troyes
Février 2011 - mai 2013



Pour l'habitat collectif



25 rue Bourgon, Paris
Agence Atelier.D, 2012



	ÉTAT DES LIEUX	BILAN
Consommation	45 kWh Ep/m ² /an	
Source d'énergie	Gas naturel Production électrique renouvelable d'origine photovoltaïque	
Enveloppe	Isolation répartie avec chaux-chanvre pour les murs, ouvrants à isolation renforcée	• Coût total du projet : 1 270 000 € • Etude : 121 190 € • Coût au m ² : 1 885 €
Équipements	Chaudière gaz pulsatoire, couverture solaire photovoltaïque	
Comportements	Sensibilisation des locataires	

Pour la réhabilitation



Maison diocésaine de Chalons en Champagne
2002-2004



Contexte

Réglementation et labels

Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

Bétons de chanvre

Pour l'habitat individuel



Contexte

Réglementation et labels

Les matériaux biosourcés dans le bâtiment

Bétons de chanvre

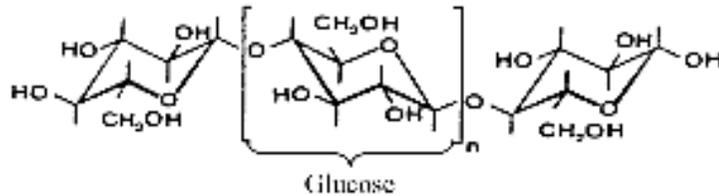
Préfabrication



Constituants de base : la chènevotte

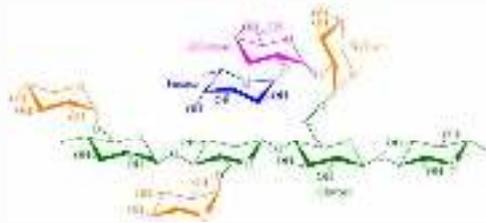
■ Composition

■ Cellulose : principal composant de la matière végétale



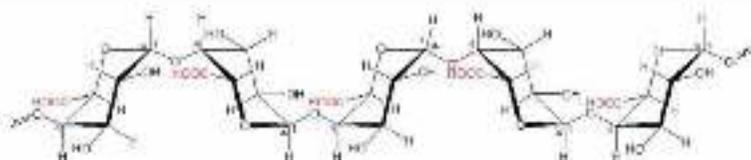
- Chaîne polymère dont le motif de base est le glucose
- Centre des microfibrilles très cristallin et zones amorphes en surface
- Forte densité de liaisons hydrogène → liaisons intraparticulaires très fortes, empêche la pénétration de réactifs
- Cellulose fortement hydrophile mais pas hydrosoluble (jusqu'à 70% d'eau dans des conditions normales)
- Contrainte à la rupture à l'état sec : 700 MPa (Fibres de verre ~ 3000 MPa)

■ les hémicelluloses



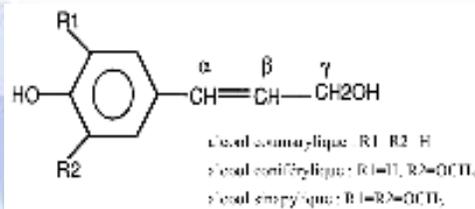
- Polysaccharides ramifiés solubles dans l'eau
- Structure amorphe
- Structure chimique différente selon l'origine végétale, la localisation dans la paroi...

■ les pectines



- Polymères de polysaccharides complexes
- Présence de fonctions carboxyles → capacité à échanger des ions

■ Les lignines



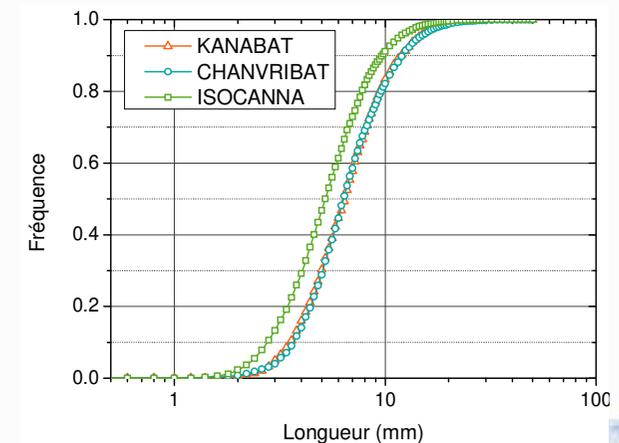
- Polymères tridimensionnels
- Contribue à la résistance mécanique des parois de la plante
- Structure non identifiée complètement
- Caractère hydrophobe

Constituants de base : la chènevotte

■ Composition caractéristique

	Cellulose	Hémicelluloses	Pectines	Lignines	Autres (graisses, cires, protéines...)
Fibres	56.1	10.9	20.1	6.0	6.9
Chènevotte	48.0	12.0	6.0	28.0	6.0

■ Différentes granulométries en fonction du lieu de culture, de la météo, du procédé de transformation...



Constituants de base : la chènevotte

■ Microstructure poreuse

Particule végétale : 78% de porosité



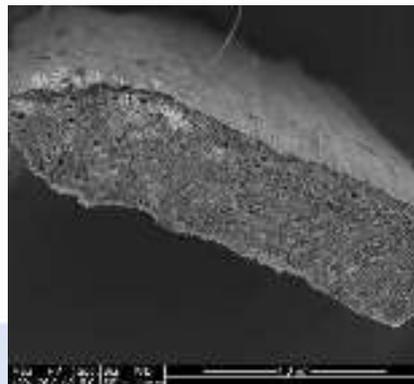
M (kg)		V (m ³)
0	air intra-particule	0,784
320	bois	0,216
320		1,000

Chènevotte en vrac : 91% de porosité

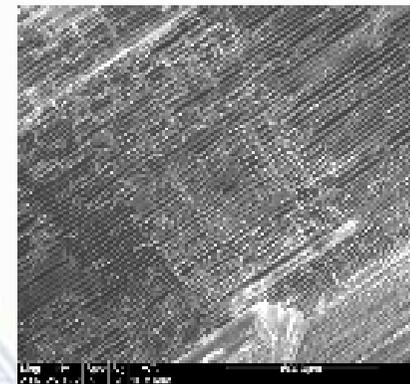
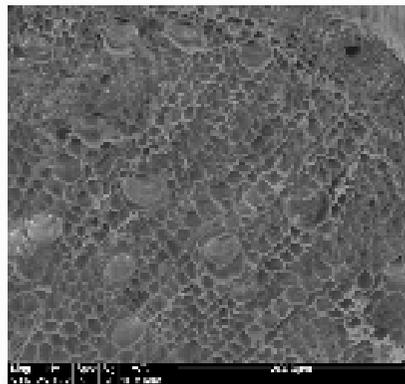
M (kg)		V (m ³)
0	air inter-particules	0,594
130	bois	0,088
0	air intra-particule	0,318
130		1,000



32% air microscopique
59% air mésoscopique



Coupe transversale

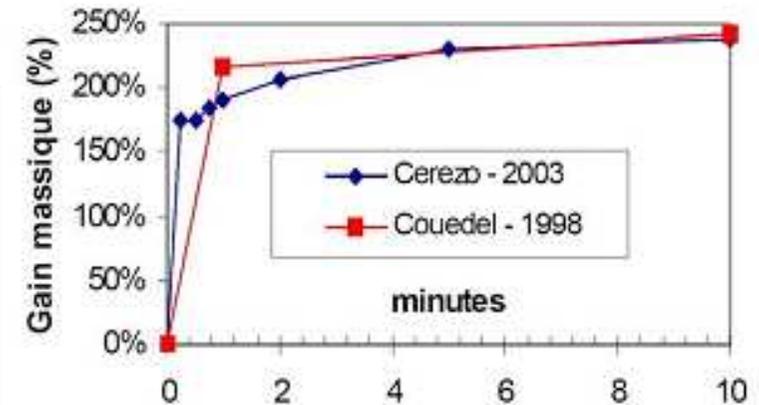


Coupe longitudinale

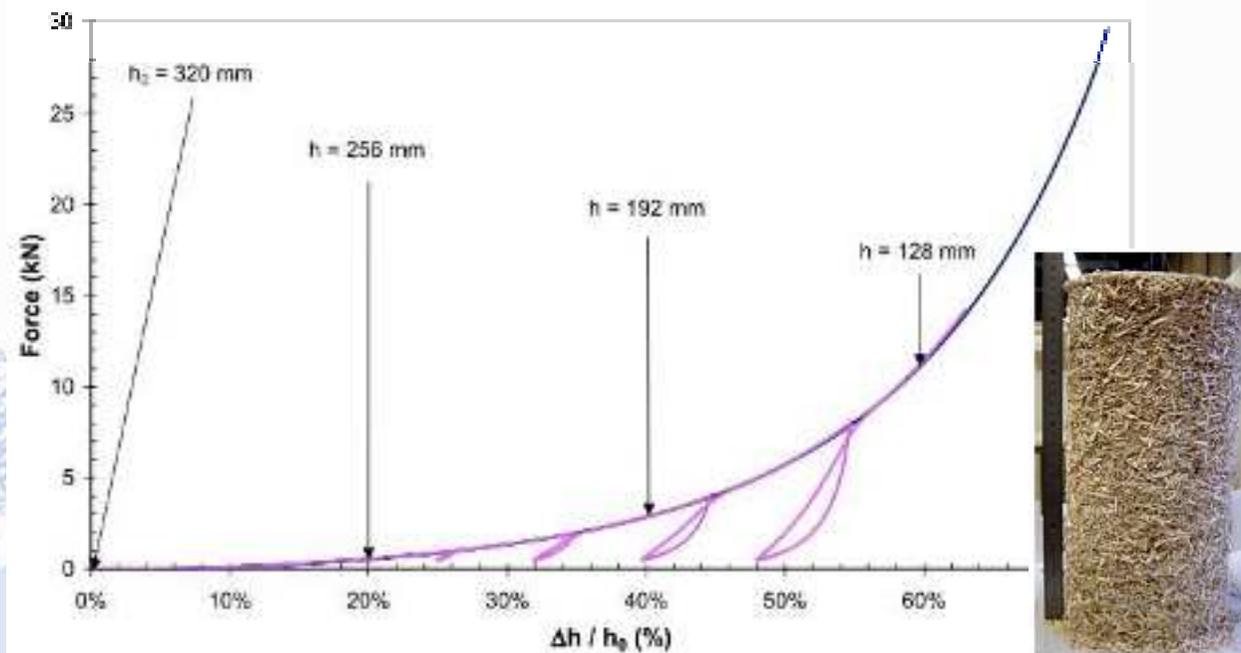
Constituants de base : la chènevotte

■ Absorption d'eau

- grande capacité d'absorption d'eau due à la structure capillaire et à l'hydrophilie de la cellulose
- compétition entre liant et chènevotte pour absorber l'eau de gâchage
- ➔ Problème de prise avec les liants hydrauliques



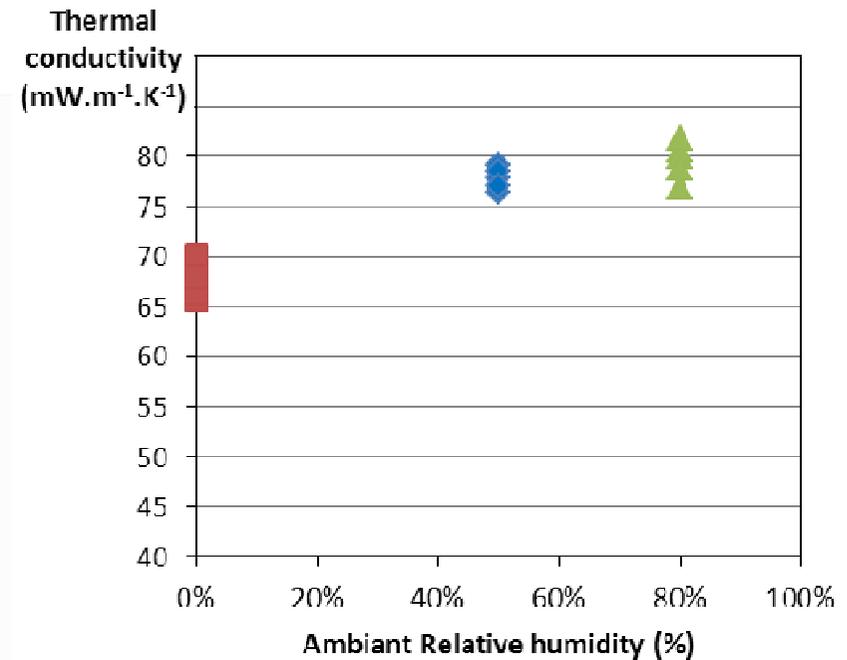
■ Forte compressibilité (taux de compression > 60%)



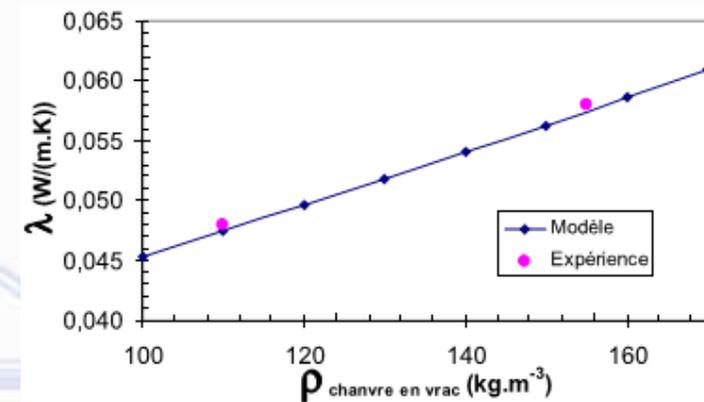
Constituants de base : la chènevotte

■ Conductivité thermique

■ variable en fonction du taux d'humidité

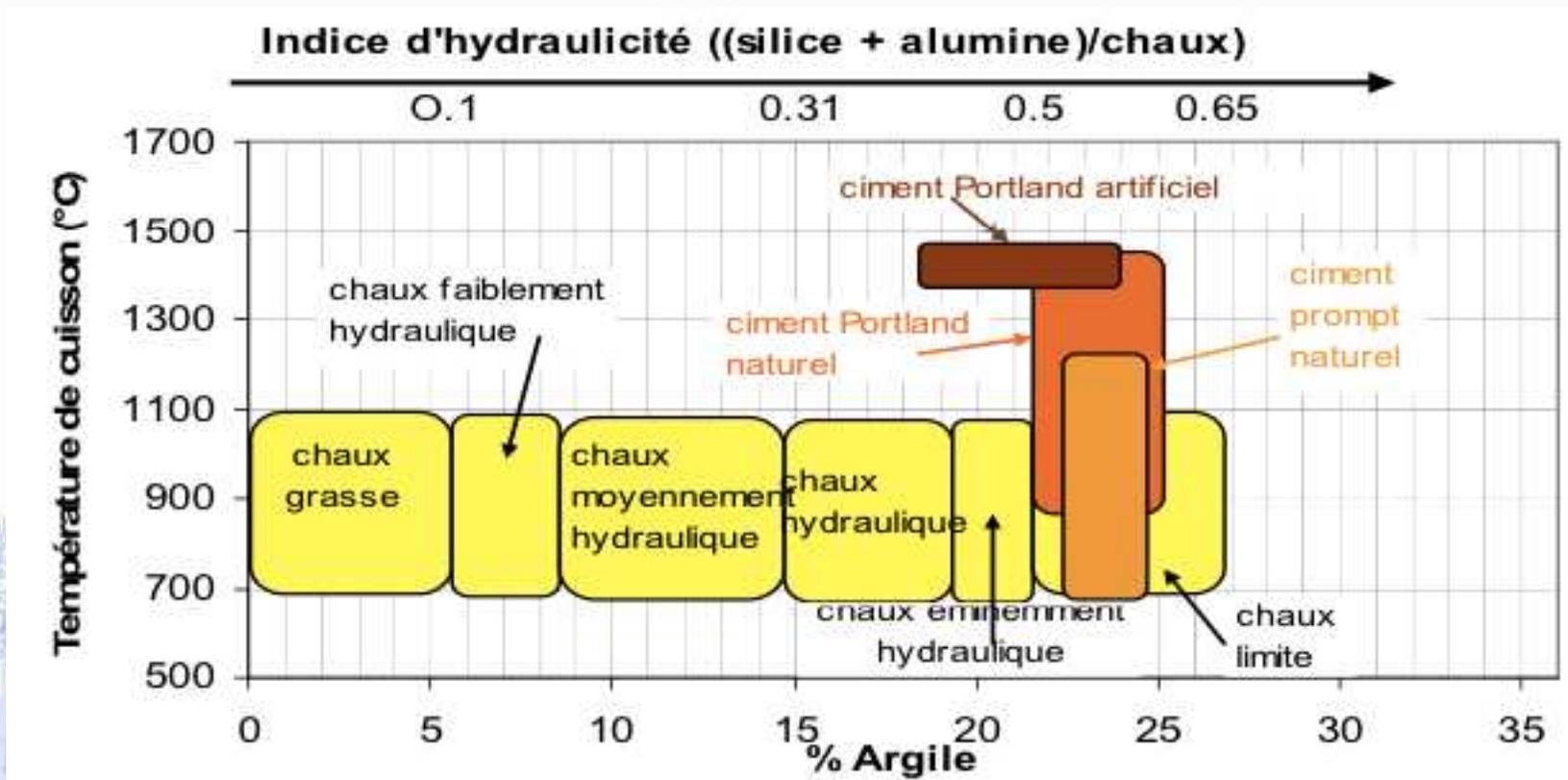


■ variable en fonction de la densité



Constituants de base : le liant

- Liants couramment utilisés : **ciment naturel prompt**
 - Fabriqué à partir d'une même pierre, sans ajout
 - haute teneur (40%) en silicate dicalcique (C2S) : hydratation lente
 - Présence d'aluminates (20%) : durcissement rapide



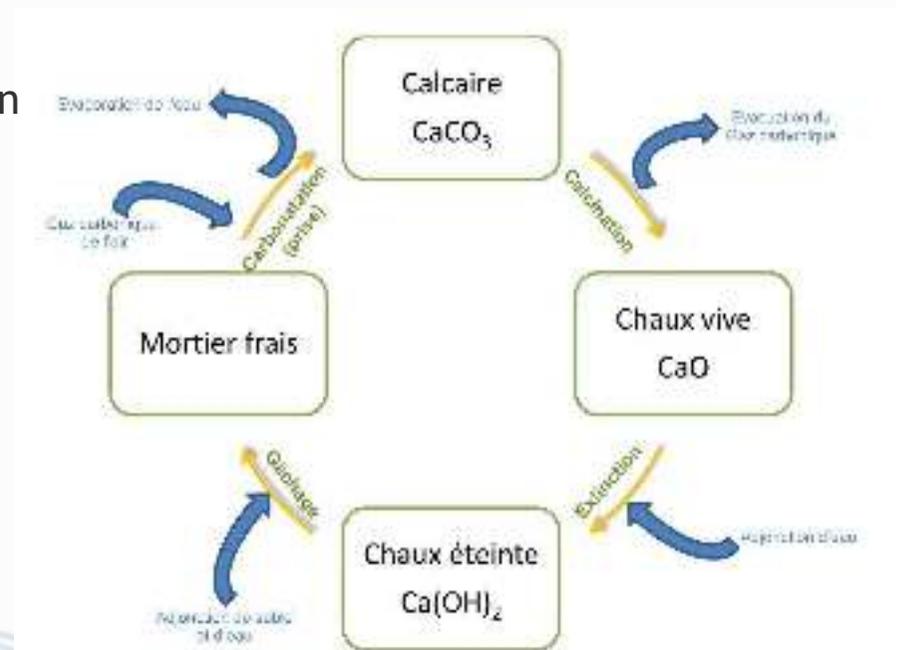
Constituants de base : le liant

■ Liants couramment utilisés : liants à base de chaux

- chaux hydraulique, chaux aérienne, ciment

■ Propriétés de la chaux

- Obtenue par calcination et décarbonatation d'une roche calcaire
- Produit naturel recyclable utilisé dans la construction et la rénovation
- Adhère facilement au support
- Favorise les échanges hygriques
- Perméable à l'air et imperméable à l'eau liquide
- Bon isolant thermique et acoustique, bon comportement au feu



Constituants de base : le liant

- Liants couramment utilisés : liants à base de chaux

- chaux hydraulique, chaux aérienne, ciment

- **Prise aérienne**



- Carbonatation très lente en présence d'eau (diffusion du CO_2 dans la matière)

- **Double prise hydraulique**



- Prise aérienne de la chaux éteinte



Constituants de base : le liant

■ Propriétés de la chaux

■ Matériau poreux

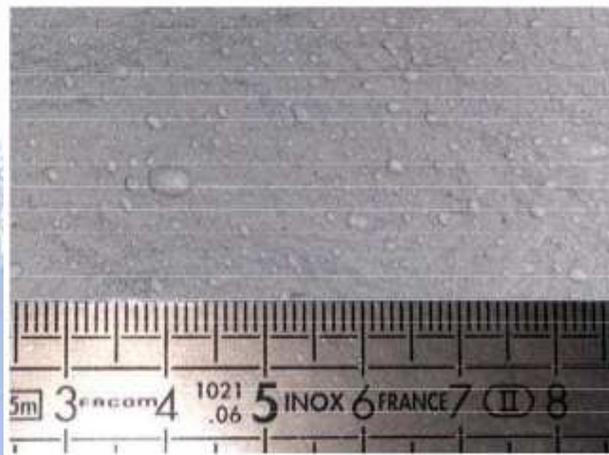
■ utilisation d'entraineurs d'air

➔ Taille et type de pores

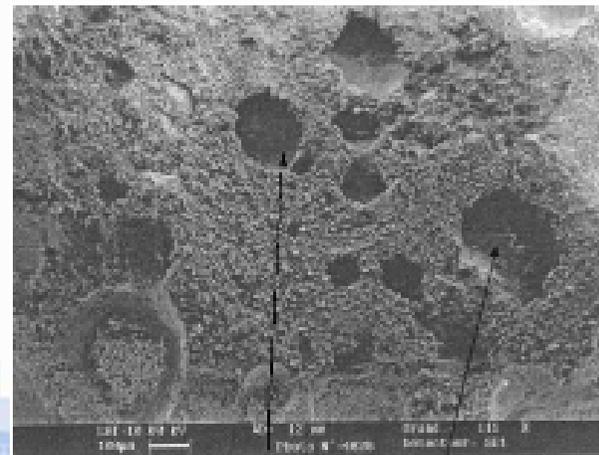
■ Différentes tailles de pores

Liant frais			Liant durci à 40% d'HR		
M (kg)		V (m3)	M (kg)		V (m3)
925	grains liant	0,344	925	grains liant	0,344
525	eau	0,525	205	eau	0,205
0	air	0,131	0	air	0,451
1450		1,000	1130		1,000

Pores de taille mésoscopique
Entraineurs d'air
(5 μm à 1 mm)



Pores de taille microscopique
Hydrates
(0,01 à 5 μm)



Constituants de base : le liant

- Propriétés de la chaux

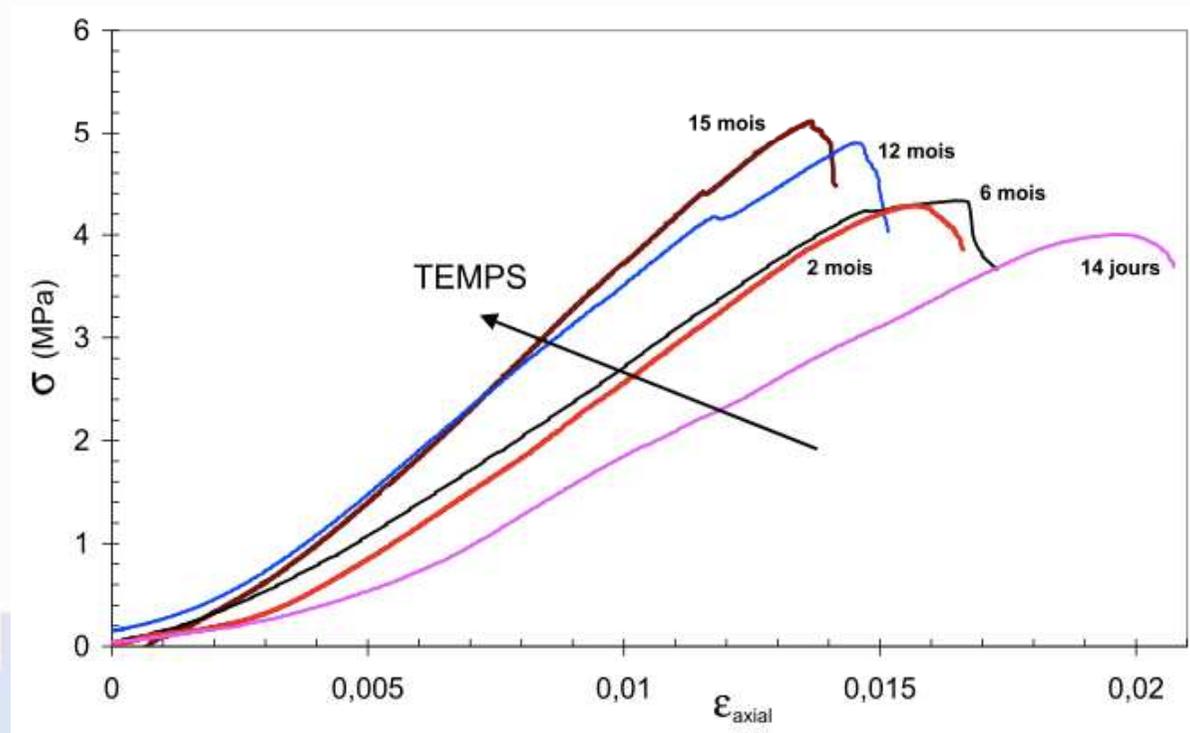
- Cinétique de prise lente

- Performances mécaniques moyennes :

- $\sigma_{\max} = 5 \text{ MPa}$

- $E = 450 \text{ MPa}$

- $\epsilon_{\max} = 10^{-2}$



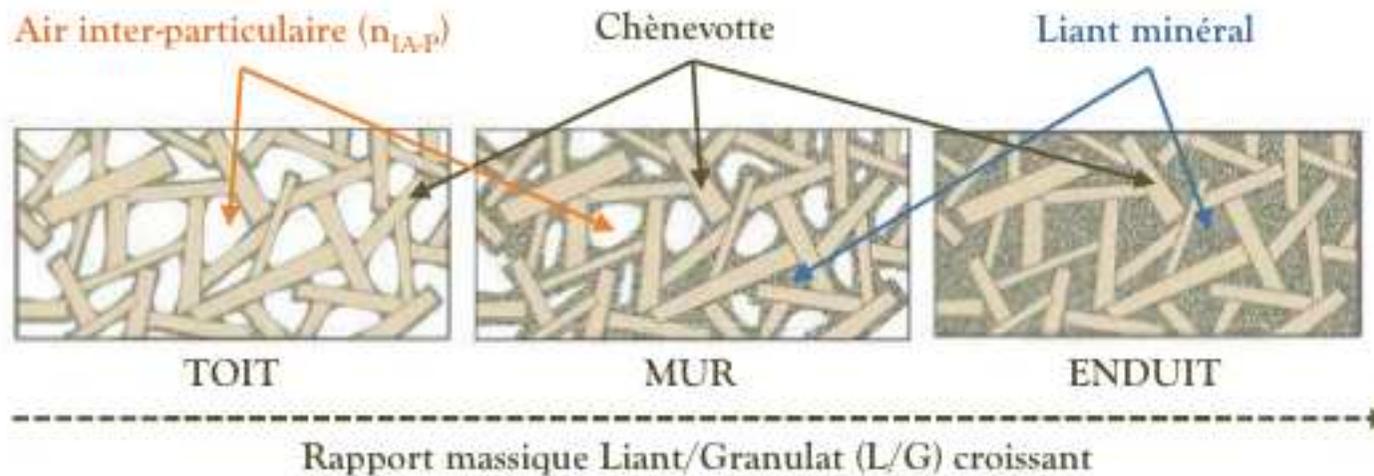
Fabrication du béton de chanvre

- Mode opératoire :
 - Séparer les granulats de chanvre sans les écraser
 - Obtenir une bonne homogénéité du mélange



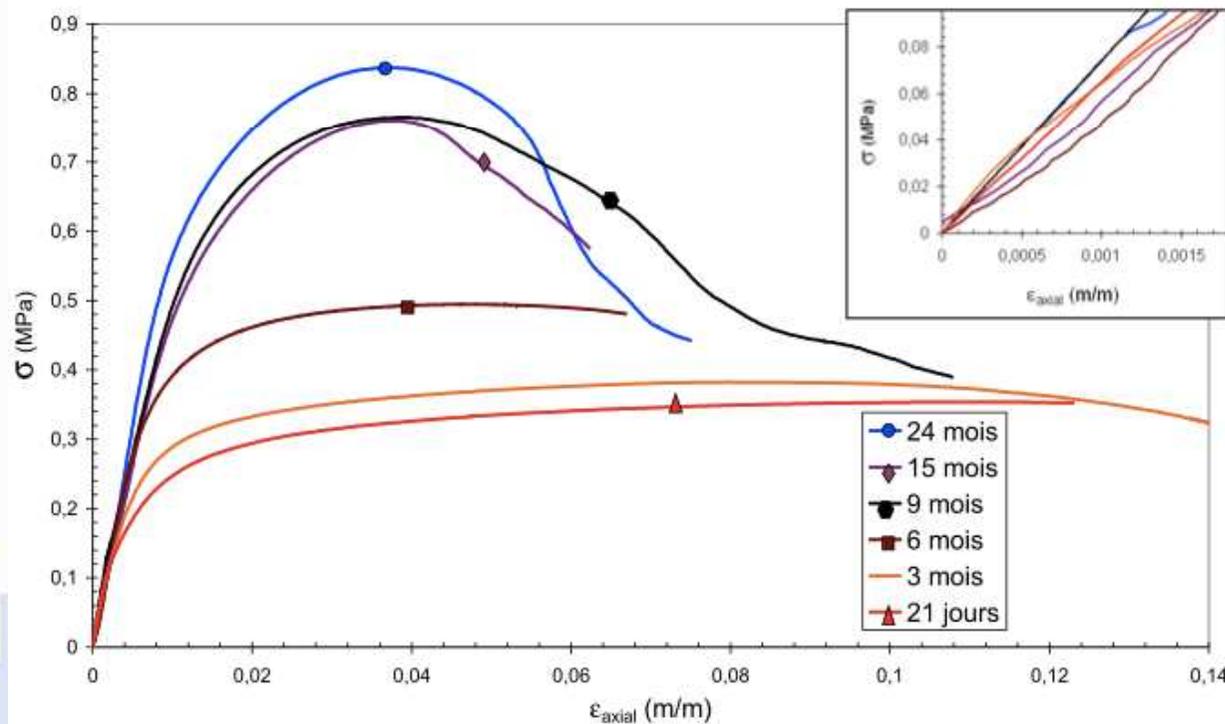
Fabrication du béton de chanvre

- Différentes formulations :
- large gamme de dosages en liant : 18-55% en masse
- formulations type identifiées et validées



Comportement mécanique

- Evolution des propriétés mécaniques en fonction du temps
 - jusqu'à 6 mois, pas de pic de contrainte : prise peu avancée, caractéristiques proches de celles des particules
 - après 6 mois, pic de contrainte observable : rigidité du liant, coquille rigide entourant un matériau souple (liant fragile, particules ductiles)

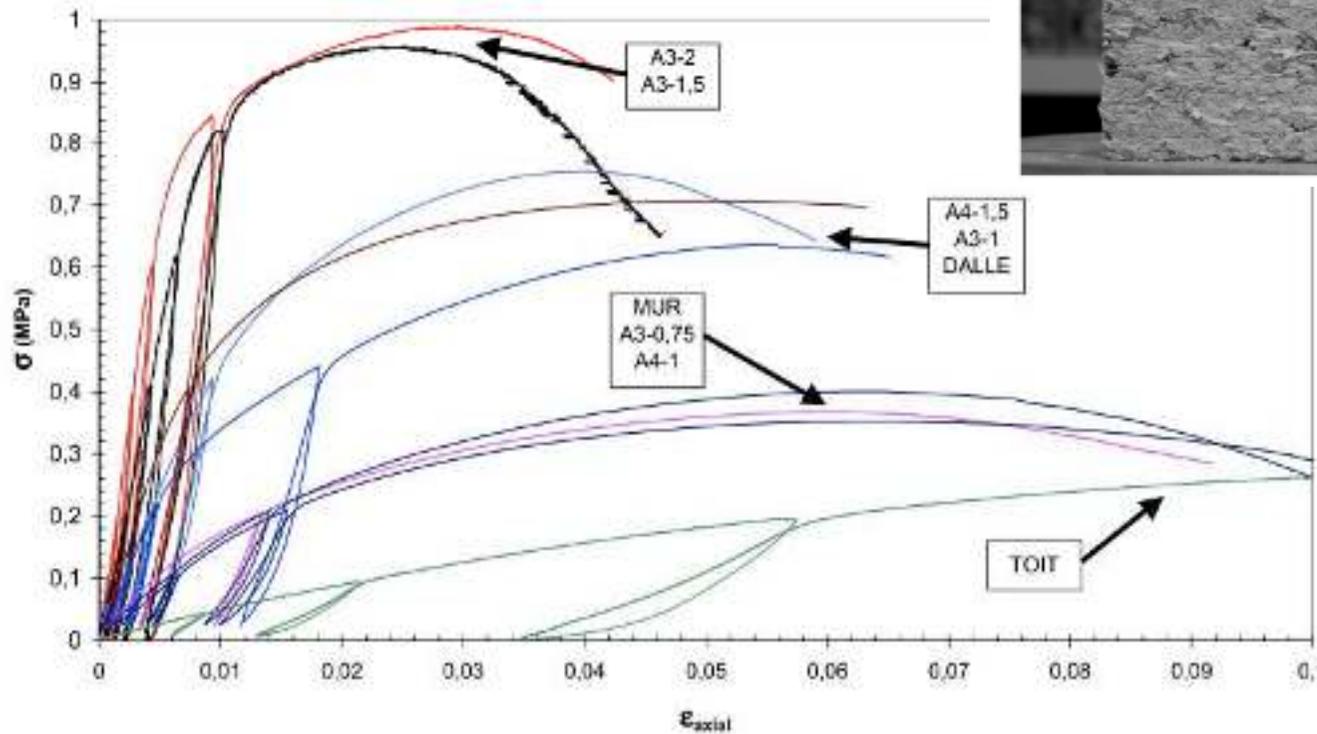
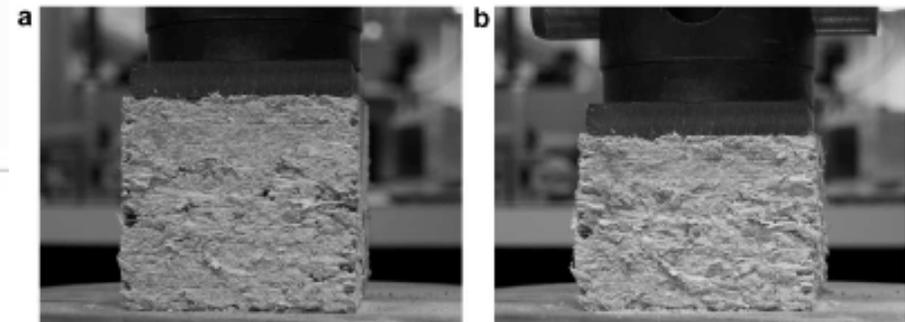


Comportement mécanique

- Influence de la formulation à un an
 - comportement élasto-plastique
 - $\sigma_{\max} = 0,25$ à $1,15$ MPa

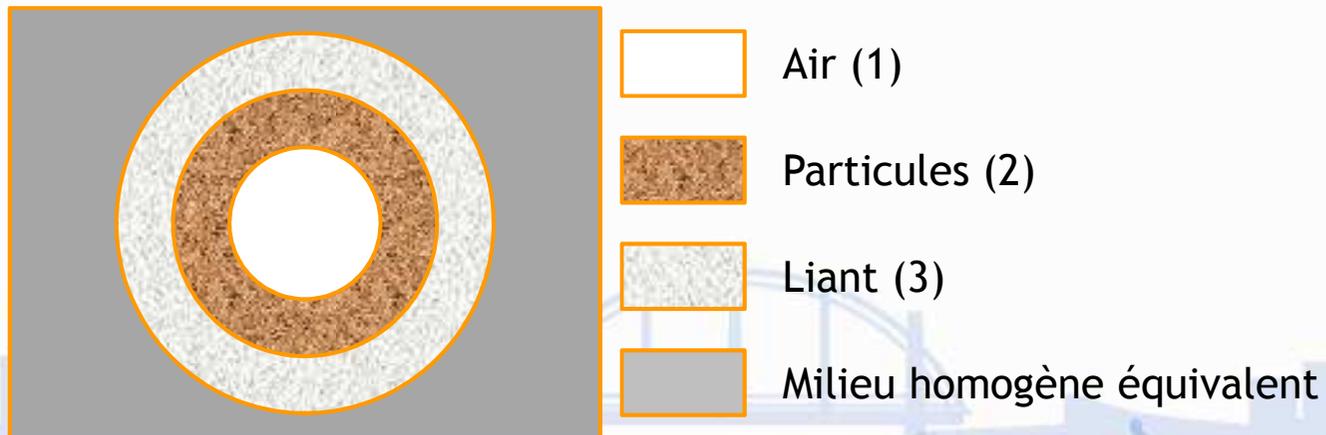
$E = 4$ à 160 MPa

$\epsilon_{\max} = 4$ à 15%



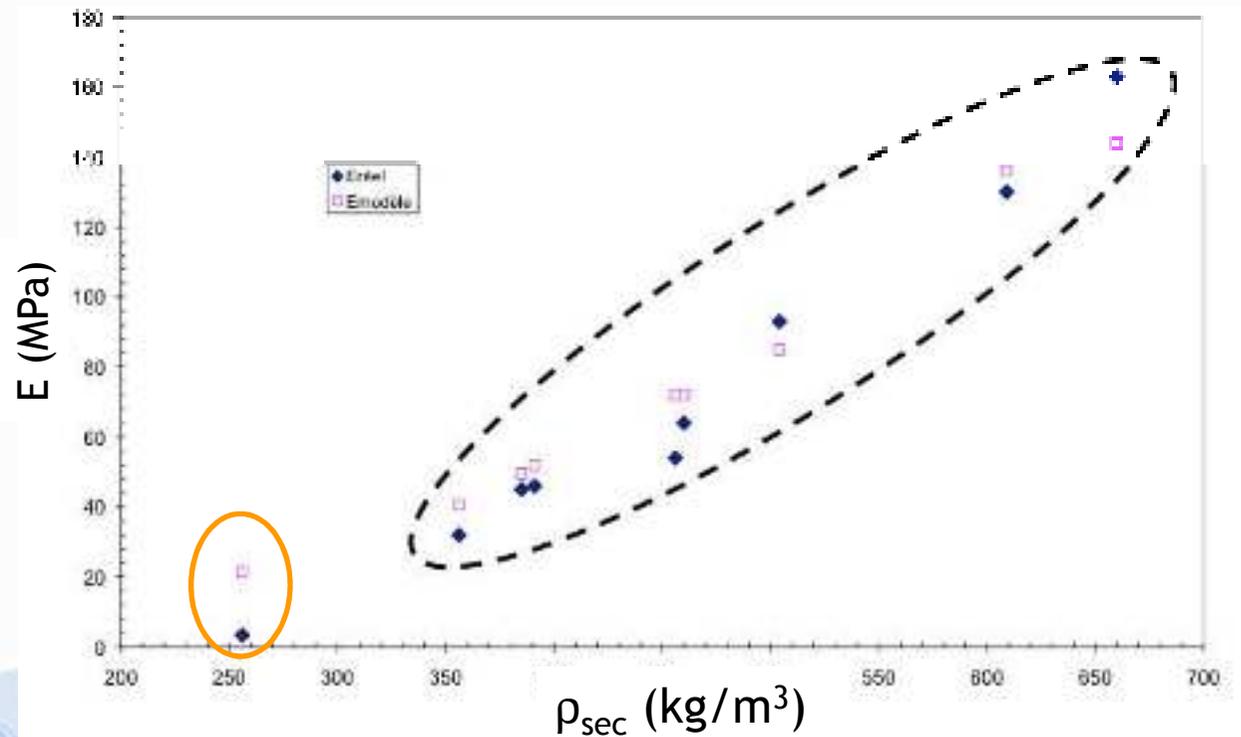
Comportement mécanique

- Modélisation : approche auto-cohérente
 - peu d'informations sur la microstructure
 - caractéristiques des constituants et composition volumique connue
 - Principe : assimiler un matériau hétérogène à un milieu homogène équivalent dont on doit déterminer les caractéristiques
- Motif générique (Volume élémentaire représentatif) :



Comportement mécanique

- Modélisation : approche auto-cohérente
- Résultats corrects pour les plus forts dosages en liant
- Pas de modèle satisfaisant pour les formulations de type toit

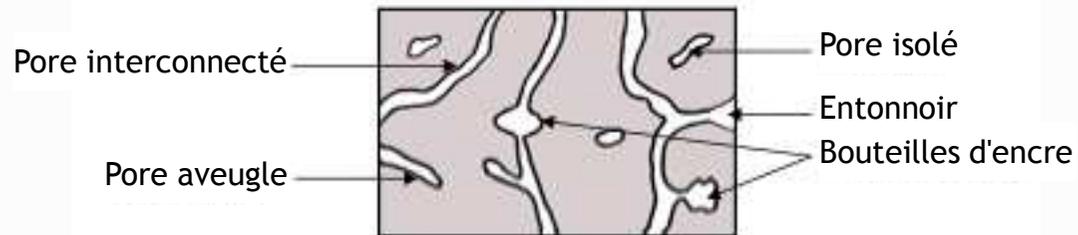


Comportement acoustique

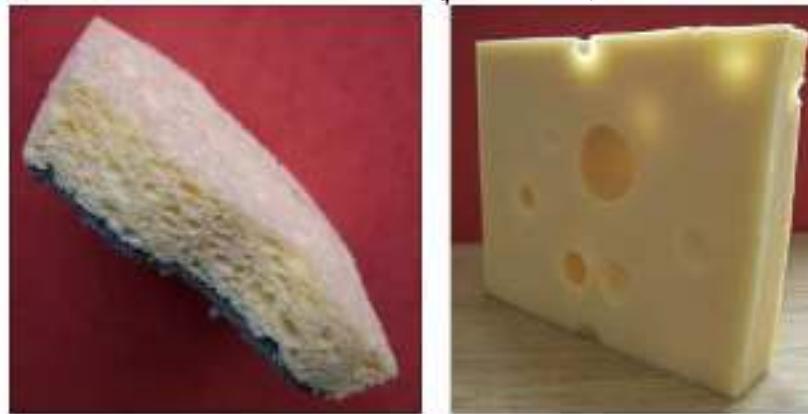
- deux notions clé : **porosité et perméabilité**

- **Porosité** : proportion de fluide contenue dans les porosités d'un matériau

- **Tortuosité** : allure des chemins fluides dans un milieu poreux



Porosité ouverte vs porosité fermée



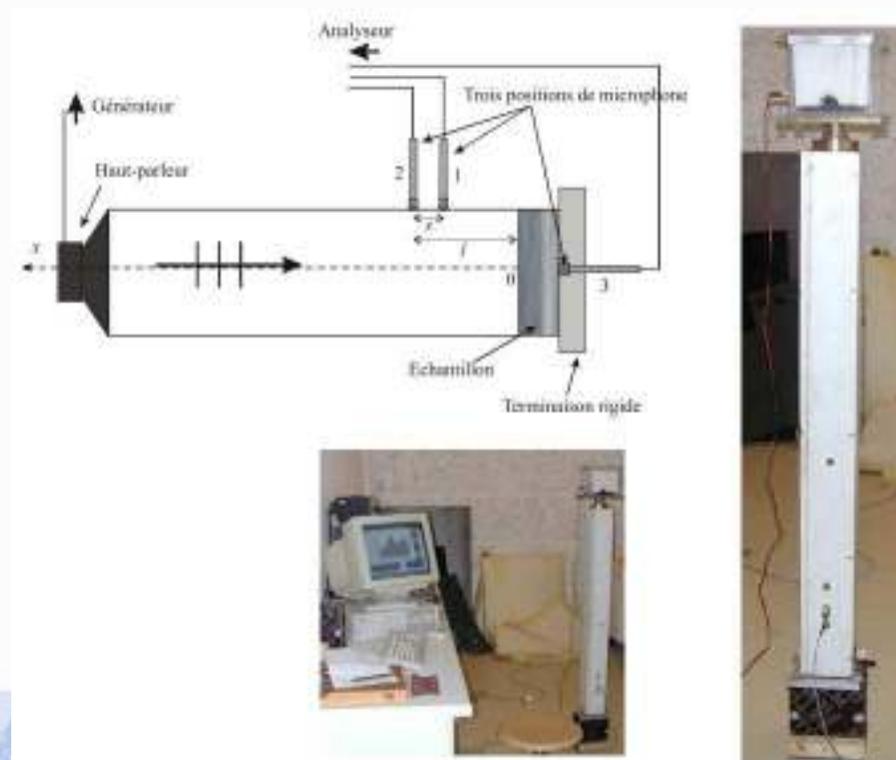
Comportement acoustique

- Mesure expérimentale de l'absorption acoustique : tube de Kundt

- α compris entre 0 et 1

- Fonction de f entre 125 et 2 kHz

- dépend de la formulation, de l'épaisseur de la paroi

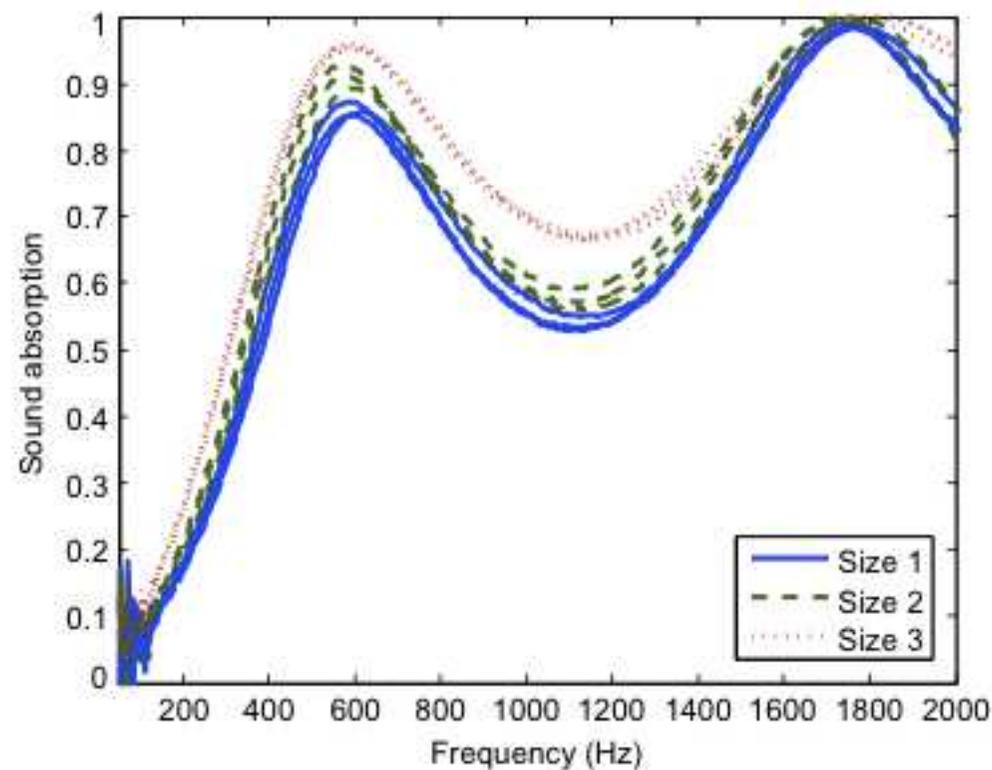


Comportement acoustique

- Granulats seuls : influence de la distribution en taille des particules

- S1 et S2 : tailles similaires

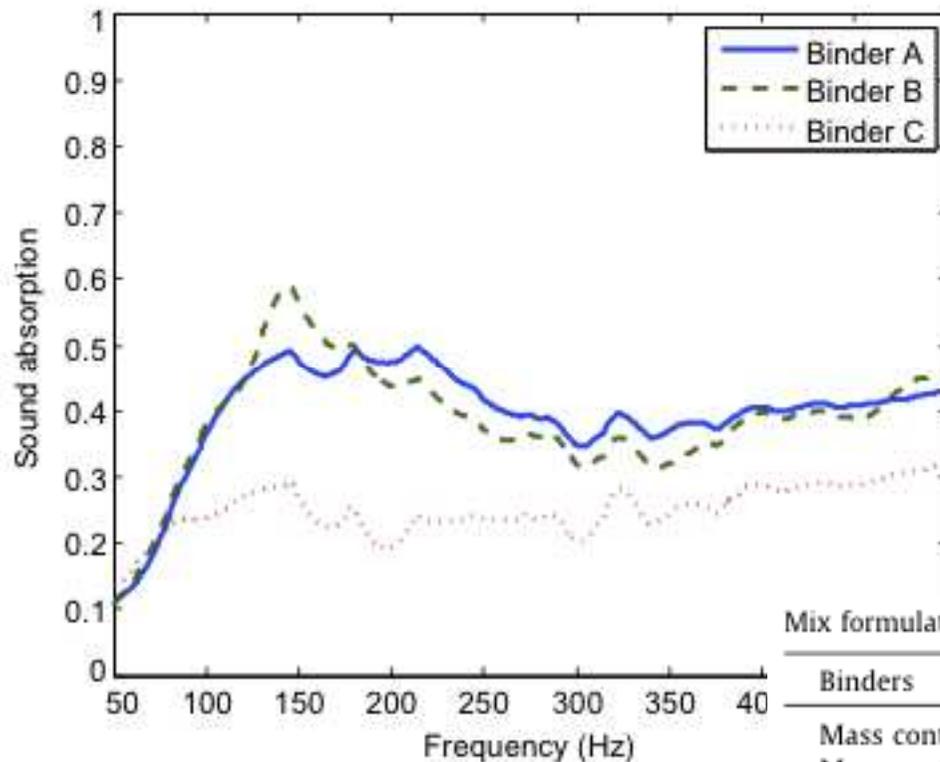
- S3 : plus petites particules → meilleure absorption acoustique (surtout aux basses fréquences) : porosité et résistivité plus élevées



Comportement acoustique

■ Influence du type de liant

■ Variations liées à la porosité des liants

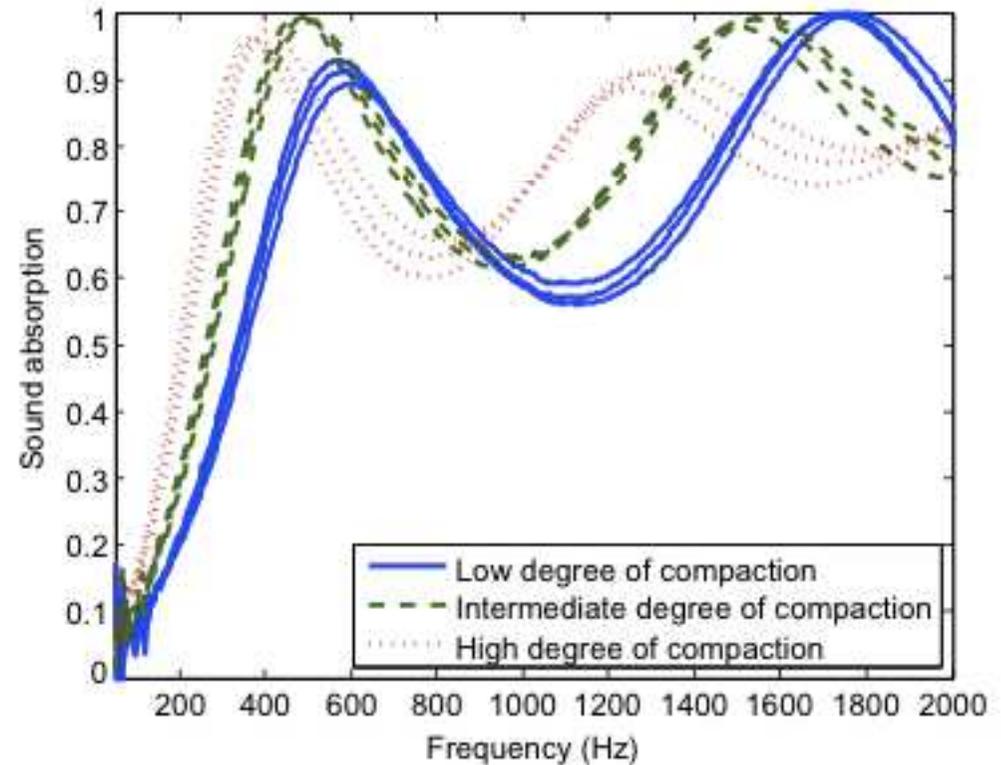


Mix formulation, density and porosity of the binders.

Binders	A	B	C
Mass content of powder (%)	64.3	64.3	66.4
Mass content of water (%)	35.7	35.7	33.2
Mass content of retarding agent (%)	0	0	0.4
Density of the grains ρ_G (kg/m ³)	2800	2700	3200
Porosity of the binder matrix (%)	52	50	39
Density of the binder matrix (kg/m ³)	1000	1200	1500

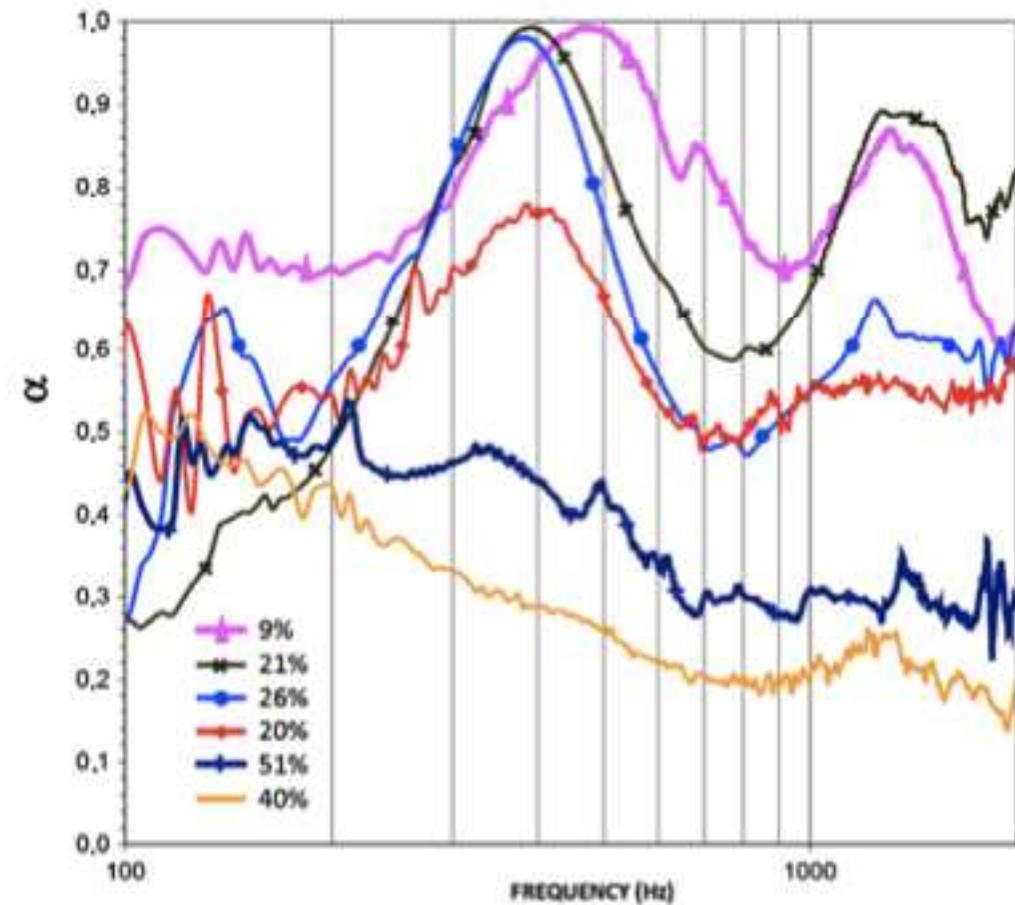
Comportement acoustique

- Influence de la compaction des granulats
 - décalage des courbes vers les basses fréquences
 - Rôle sur l'amplitude de l'absorption
 - Effet plus important que la taille des particules



Comportement acoustique

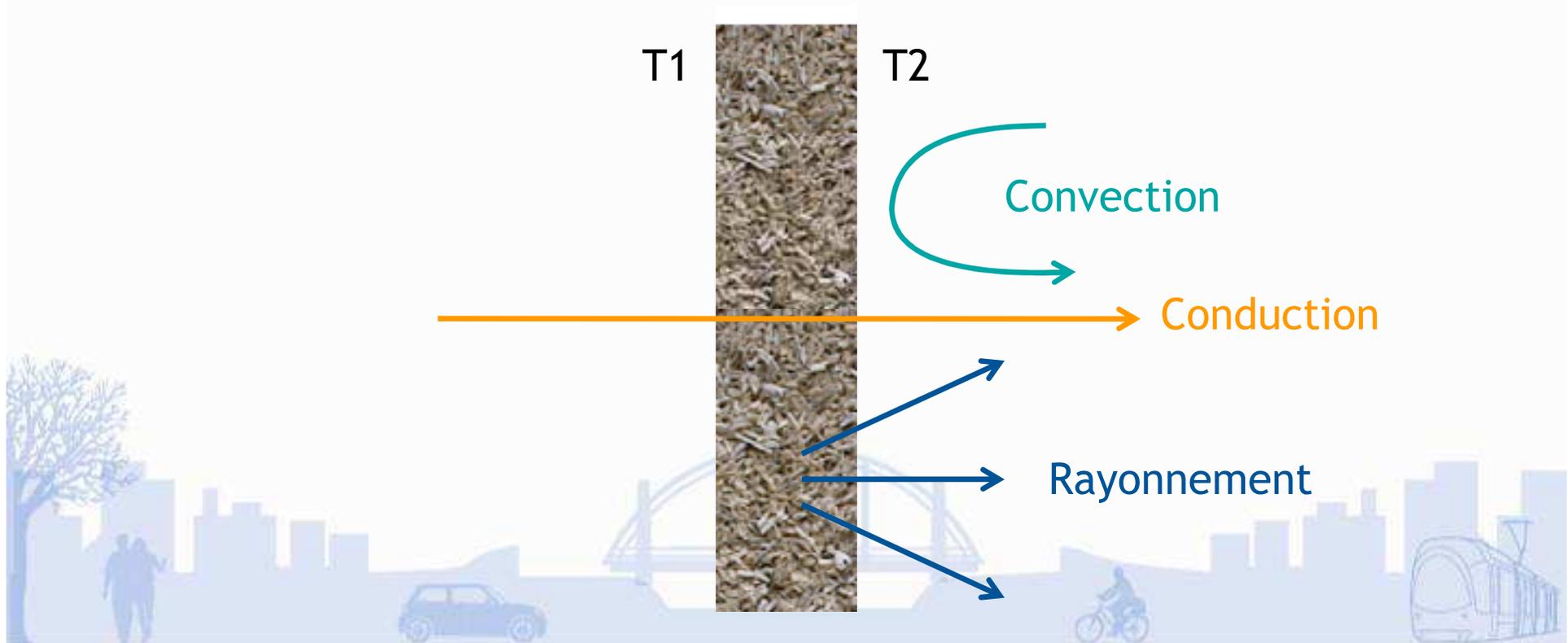
- Influence de la quantité de liant
 - Diminution de la porosité
 - Disparition des pics d'absorption
 - Diminution de l'absorption



Comportement thermique

■ Trois modes de transmission de la chaleur

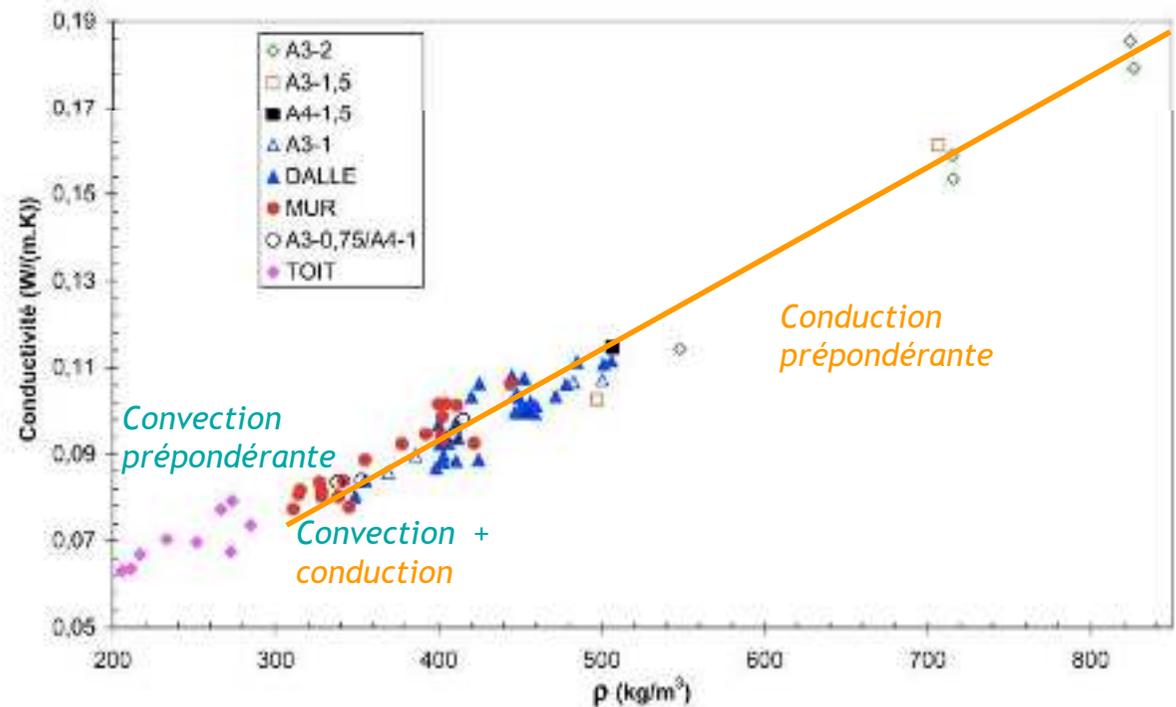
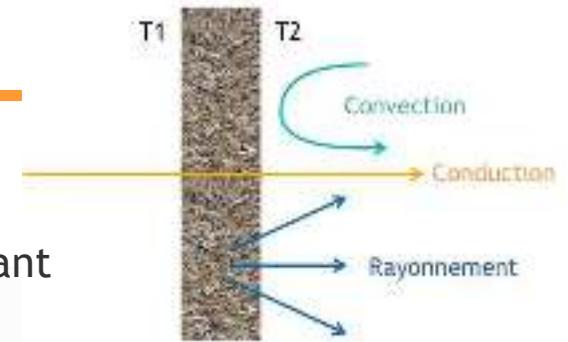
- Conduction : dans la phase solide, liquide et gazeuse
- Convection (flux d'air) : dans les pores
- Rayonnement (émissivité) : entre les parois des pores



Comportement thermique

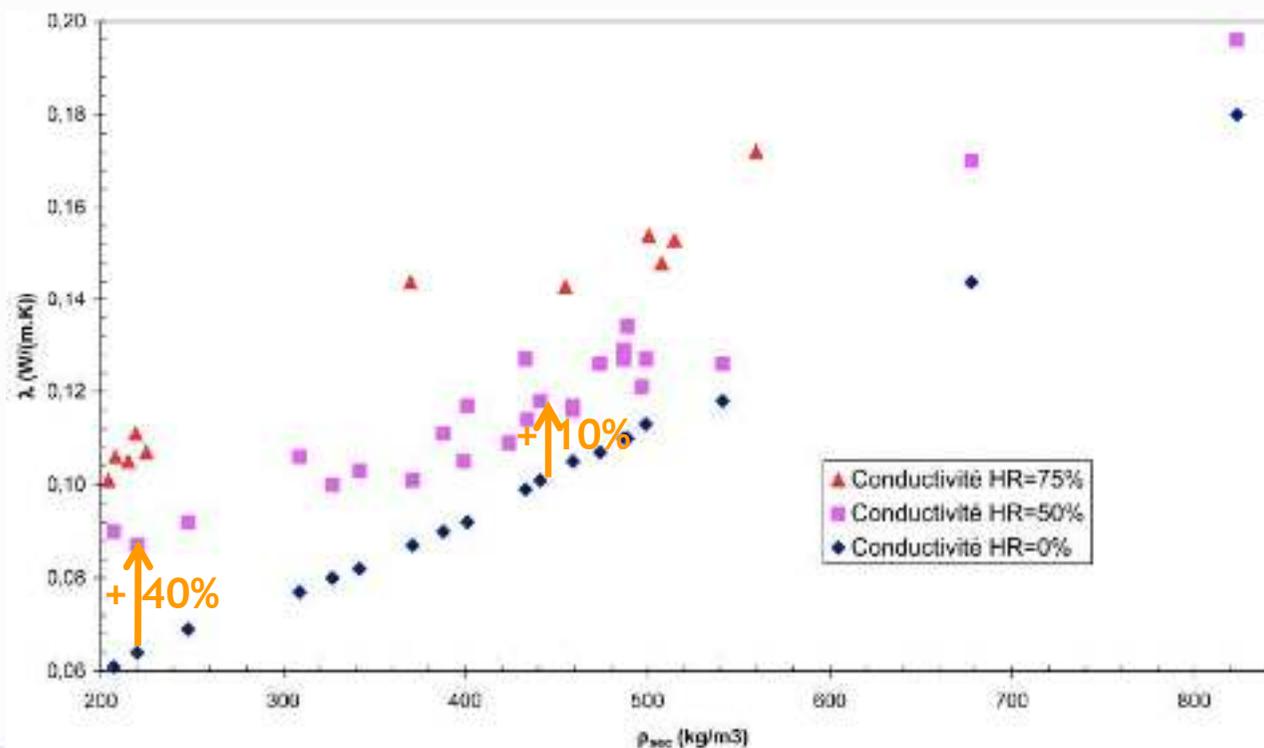
■ Influence de la quantité de liant (état sec)

- La conductivité thermique augmente quand la quantité de liant augmente
- On remplace l'air (bon isolant thermique) par du liant (bon conducteur thermique)
- Entre 200 et 800 kg/m³, la conductivité varie de manière quasi-linéaire avec ρ
- Modèle prédictif fiable



Comportement thermique

- Influence de l'humidité
 - La conductivité thermique augmente quand l'humidité relative augmente
 - Impact non négligeable de l'humidité relative ambiante



Comportement thermique

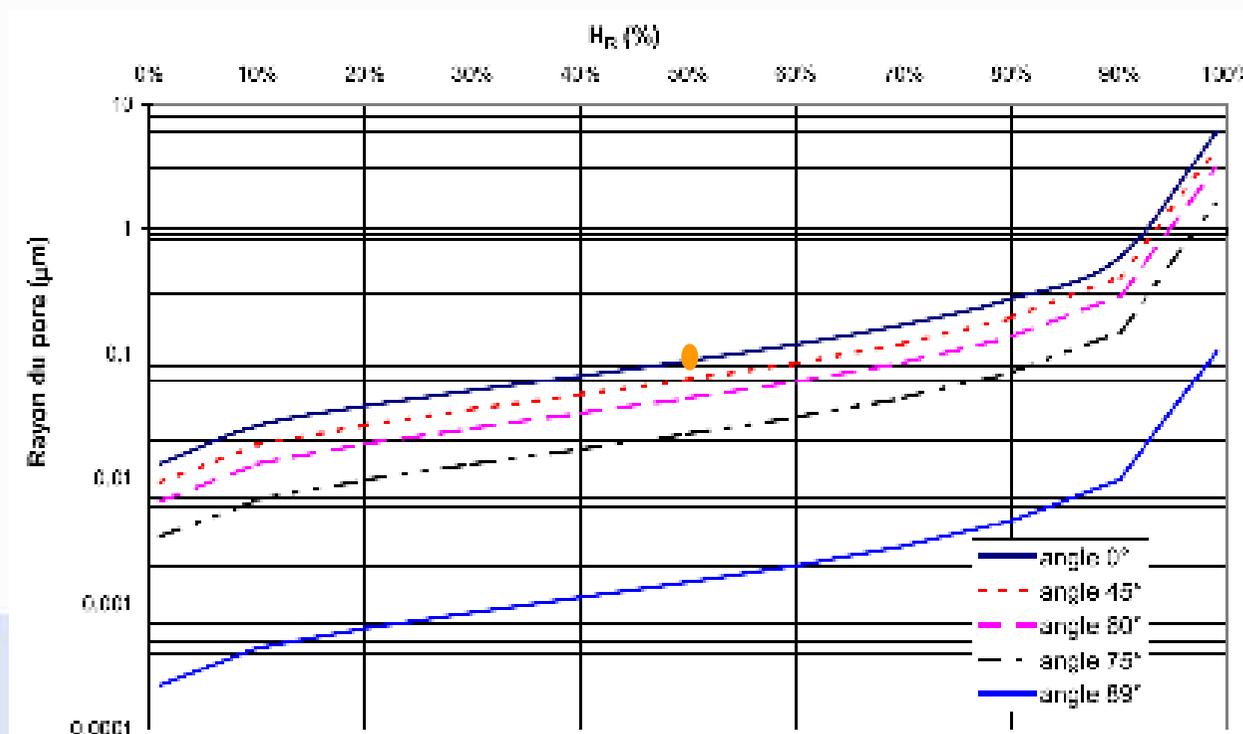
■ Comparaison avec d'autres matériaux

Matériaux	Conductivité en W/(m.°C)
Béton plein	2
Béton cellulaire	0.11
Béton de copeaux de bois	0.16
Pisé, bauge, béton de terre stabilisé, blocs de terre compactée	1.1
Bauge	0.45
Fibres-ciment-cellulose	0.35-0.46
Paille compactée	0.12
Laine de verre	0.034-0.056
Laine de chanvre	0.042
Polystyrène	0.036-0.058
Plâtre courant d'enduit	0.57



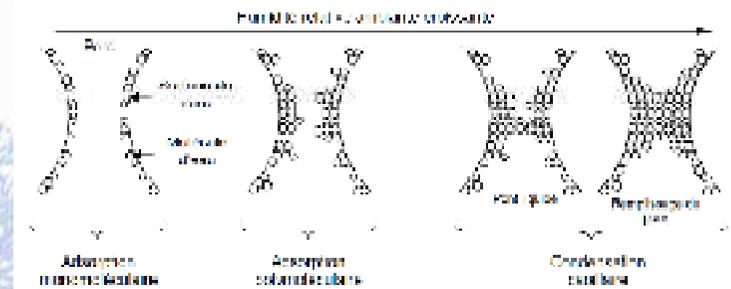
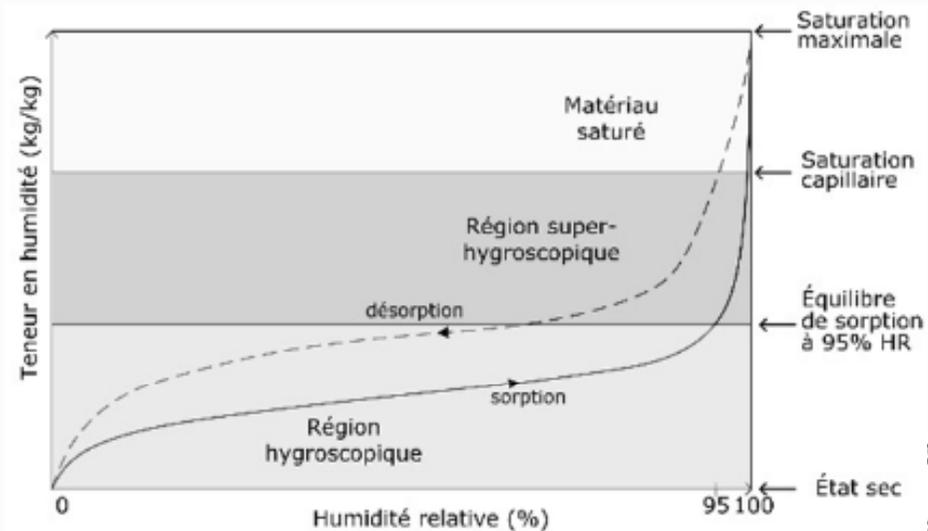
Comportement hygro-thermique

- Travail essentiel pour l'évaluation des performances énergétiques (classements, labels...)
- Capacité de stocker et déstocker la vapeur d'eau
- **Condensation capillaire** : condensation de l'eau dans les pores de rayon inférieur à un rayon limite
 - exemple : à 50% HR, condensation dans les pores de diamètre $< 0,1 \mu\text{m}$

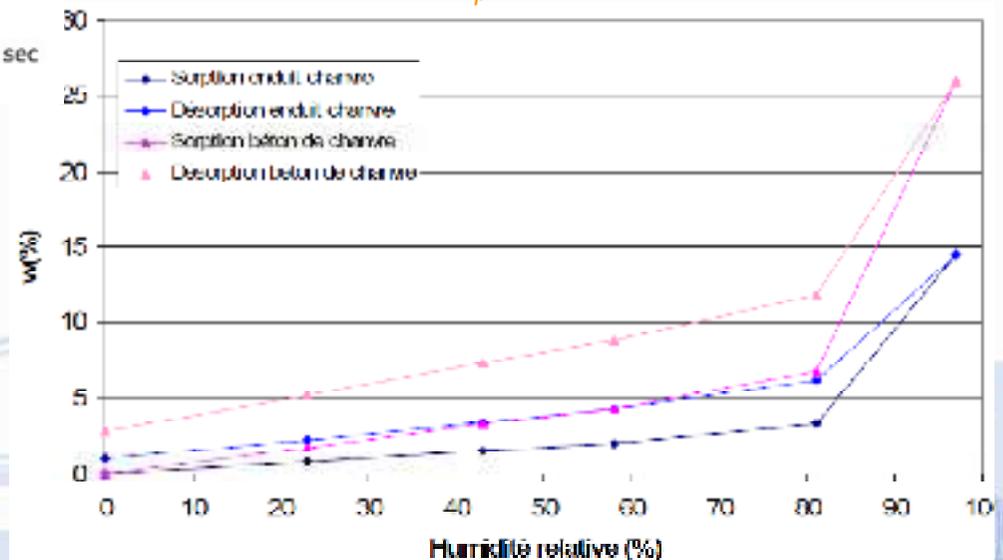


Comportement hygro-thermique

- **Isothermes de sorption/désorption** : courbe qui décrit la teneur en eau d'un matériau en équilibre avec l'humidité relative de l'ambiance dans une certaine température



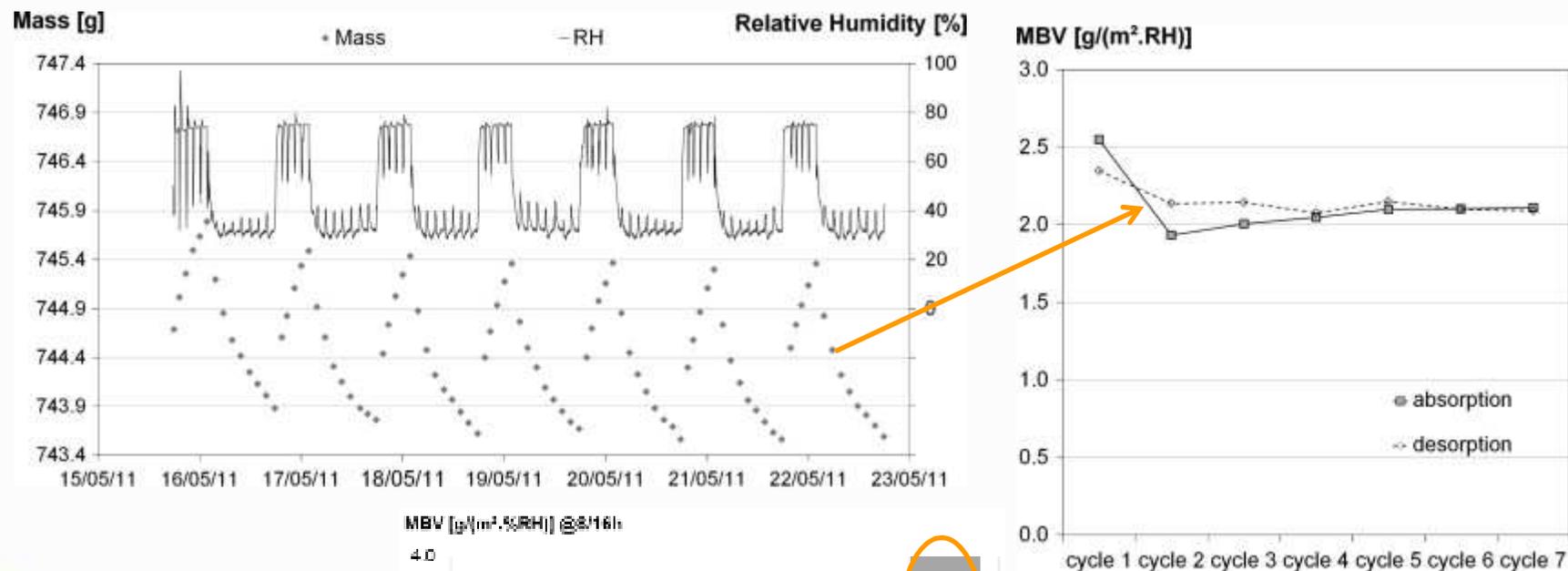
Isothermes de sorption d'un enduit et d'un béton de chanvre



Comportement hygro-thermique

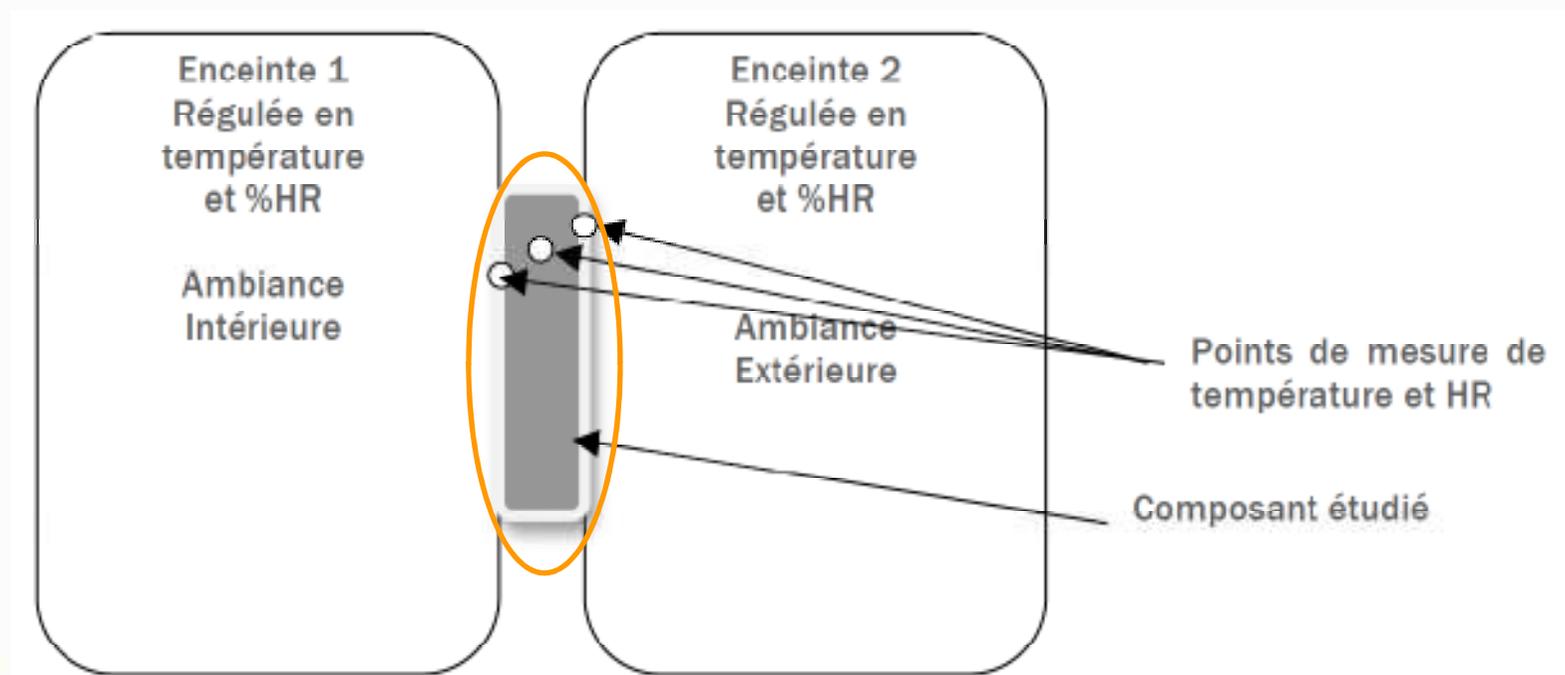
■ **Capacité de tampon hygrique** (Moist Buffer Value, MBV) : quantité d'eau adsorbée ou désorbée quand le matériau est soumis à une variation de l'humidité relative extérieure

➔ capacité à modérer les variations de l'humidité relative de l'air

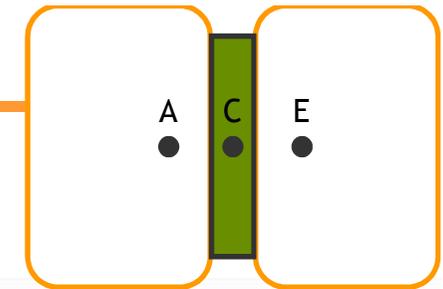


Comportement hygro-thermique

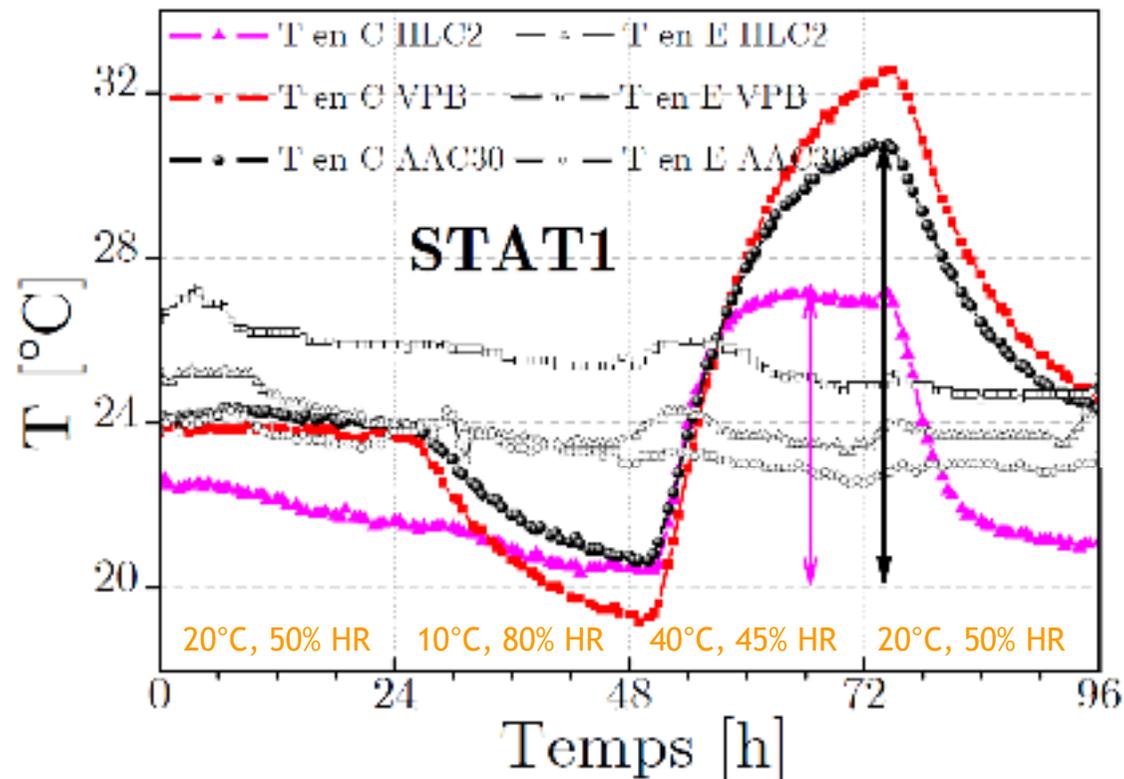
- Représentation schématique du dispositif expérimental utilisé pour l'étude du comportement hygrothermique d'un composant



Comportement hygro-thermique



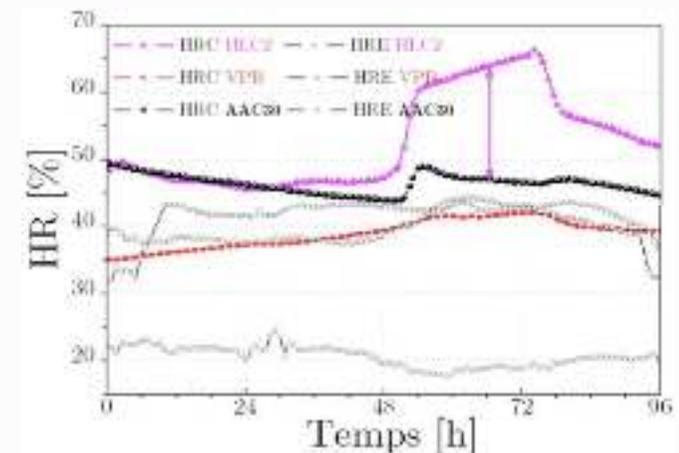
- Comparaison des comportements thermo-hygriques de trois matériaux



HLC2 : Béton de chanvre

VPB : Brique de terre cuite

AAC30 : Béton cellulaire autoclavé



Fortes variations d'humidité dans le mur en béton de chanvre

➔ Phénomènes de changement de phases

- ➔ Amortissement passif des variations de température et d'hygrométrie

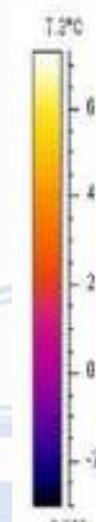
Observation en thermographie infra-rouge



Briques



Béton de chanvre



Conclusions

- Importance de la rénovation : 75% des logements de 2050 sont déjà construits...

- Matériaux biosourcés :

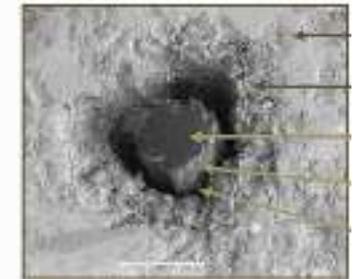
 - Contrôle des matières premières : chènevotte, liants ➔ standardisation, norme, labellisation

- Bétons de chanvre

 - Compréhension et maîtrise des effets d'interface

 - Compréhension du fonctionnement du matériau dans l'ouvrage

 - ➔ Rôle sur le confort hygrothermique et la consommation énergétique des bâtiments



Bibliographie

- **V. Cerezo** : Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique, Thèse de l'INSA de Lyon (2005)
- **F. Collet** : Caractérisation hydrique et thermique de matériaux de Génie Civil à faibles impacts environnementaux, Thèse de l'INSA de Rennes (2004)
- **Ph. Glé** : Acoustique des Matériaux du Bâtiment à base de Fibres et Particules Végétales - Outils de Caractérisation, Modélisation et Optimisation, Thèse de l'INSA de Lyon (2013)
- **C. Magniont** : Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources, Thèse de l'Université Paul Sabatier (2010)
- **V. Nozahic** : Vers une nouvelle démarche de conception des bétons de végétaux lignocellulosiques basée sur la compréhension et l'amélioration de l'interface liant / végétal : application à des granulats de chenevotte et de tige de tournesol associés à un liant ponce / chaux, Thèse de l'Université Clermont-Ferrand 2 (2012)
- **D. Samri** : Analyse physique et caractérisation hygrothermique des matériaux de construction : approche expérimentale et modélisation numérique, Thèse de l'INSA de Lyon (2008)
- Etat des lieux des connaissances actuelles sur le fonctionnement hygrothermique des matériaux biosourcés (Document technique C&B 2012)

