



Cerema

Centre d'études et d'expertise sur les risques,
l'environnement, la mobilité et l'aménagement

COTEBAT

Journée matériaux biosourcés

Caractéristiques des matériaux biosourcés

12/10/2020

Etienne GOURLAY
Cerema, Direction territoriale Est

Quelques préjugés sur les matériaux biosourcés...

Réponses aux préjugés sur les matériaux biosourcés...

- « Ils sont **difficiles à mettre en œuvre**. Il y aura forcément des désordres et malfaçons en fin de chantier ou après »
 - *La mise en œuvre des matériaux biosourcés, comme celle de matériaux conventionnels, répond à des **règles d'exécution** établies à partir de **retours d'expériences** et de **bonnes pratiques** observées sur le terrain.*
 - *Les professionnels utilisant ces matériaux dans de bonnes conditions connaissent ces règles et ont suivi des **formations adéquates**.*
 - *Une grande majorité des produits biosourcés ne demandent pas vraiment de **formation spécifique** (isolants, panneaux de cloisonnement, etc.).*

Réponses aux préjugés sur les matériaux biosourcés...

- « Il n'est pas toujours évident de **s'approvisionner** en matériaux biosourcés. Aller à trois endroits différents pour se fournir n'est pas envisageable... »
 - *De nombreux matériaux biosourcés sont aujourd'hui disponibles dans les circuits de distribution classiques.*
 - *Les matériaux biosourcés peuvent être intégrés aux **catalogues « achat »** des grandes entreprises, en s'assurant que les capacités de production sont suffisantes.*
 - *Pour des chantiers importants, les fabricants sont en capacité de **livrer directement sur le chantier** les matériaux.*

Réponses aux préjugés sur les matériaux biosourcés...

- « Les matériaux biosourcés **s'enflamment plus rapidement** que d'autres. Du fait de leurs propriétés, ils diffusent plus facilement la chaleur. »
 - *Il faut différencier la **résistance au feu**, qui est le temps pendant lequel un matériau soumis à un feu conserve ses performances (notamment mécaniques) et la **réaction au feu** qui correspond à la manière dont le matériau va propager l'incendie.*
 - ***Résistance au feu** : mis à part le bois, peu de matériaux biosourcés assurent une fonction en structure de l'ouvrage (la structure est réalisée en béton, en métal, en bois, etc.)*
 - ***Réaction au feu** : les matériaux biosourcés, comme les autres, sont testés et qualifiés vis-à-vis de leur réaction au feu.*

Réponses aux préjugés sur les matériaux biosourcés...

- « Les matériaux biosourcés ne sont pas durables. Ils vont finir par **moisir dans les murs**, voire s'affaisser. »
 - *Pour n'importe quel matériau, la **qualité de sa mise en œuvre** aura une influence déterminante sur sa pérennité.*
 - *On constate sur chantier (en rénovation) que les matériaux biosourcés peuvent parfois **mieux résister dans le temps** que leurs équivalents conventionnels.*
 - *La problématique du **développement fongique ne concerne pas que les matériaux biosourcés**. Sur chantier, on constate des développements fongiques sur **tous types de matériaux**, dès lors qu'ils sont mal mis en œuvre (dégât des eaux par exemple).*

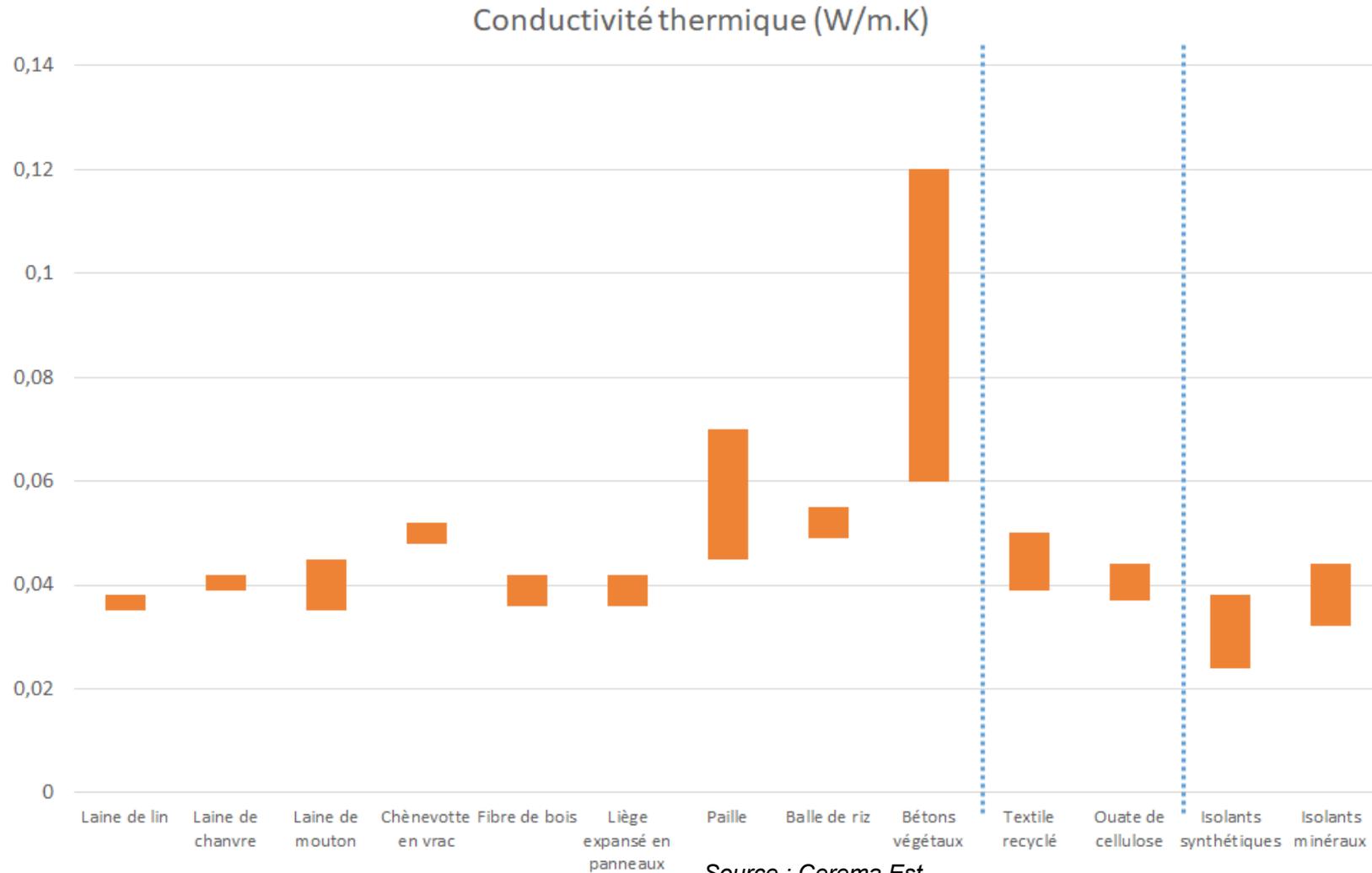
Les performances techniques des matériaux biosourcés

Les performances thermiques

La conductivité thermique

- λ en W/m.K :
 - Elle correspond au flux de chaleur qui s'écoule à travers une surface de 1 m² de matériau, lorsque la différence de température entre ses deux faces est de 1°C, sur une épaisseur de 1 m.
 - Plus le matériau est conducteur (transmet la chaleur), plus son coefficient λ est élevé.

Exemples de conductivité thermique



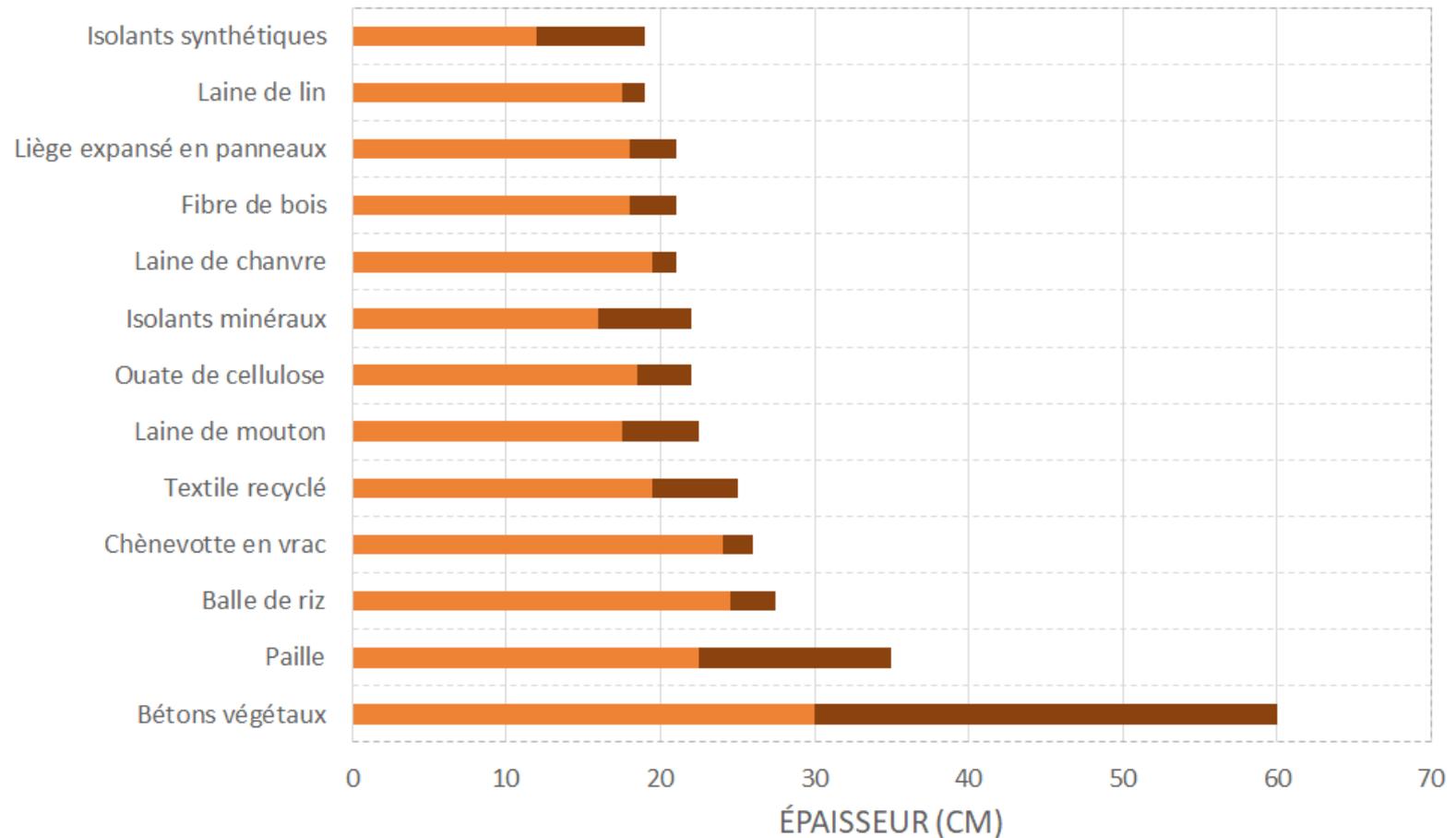
La résistance thermique

- R en m².K/W :
 - Elle dépend de la conductivité thermique λ du matériau et de son épaisseur
 - Elle caractérise la capacité d'un matériau à s'opposer au flux de chaleur susceptible de le traverser

$$R = \frac{e}{\lambda}$$

Épaisseurs pour une résistance de $5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

Épaisseur pour $R = 5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$



Source : Cerema Est

La capacité thermique

- C en $\text{J}/\text{m}^3 \cdot \text{K}$:
 - C'est la capacité d'un matériau à emmagasiner la chaleur par rapport à son volume
 - Elle mesure la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1°C la température de 1 m^3 de matériau

$$C \equiv \rho \rho \cdot c$$

- ☞ ρ masse volumique du matériau [kg/m^3]
- ☞ c (chaleur spécifique) [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$] : quantité de chaleur à apporter à 1 kg du matériau pour élever sa température de 1°C

La diffusivité thermique

- D en m²/s :
 - Elle caractérise la vitesse à laquelle la chaleur se propage, par conduction, dans un matériau
 - Plus la diffusivité thermique est faible, plus le front de chaleur mettra du temps à traverser l'épaisseur du matériau : le temps entre le moment où la chaleur arrive sur une face de la paroi et le moment où elle atteint l'autre face (déphasage) s'en trouve augmenté.

$$D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$$

- ☞ λ conductivité thermique du matériau [W/m.K]
- ☞ ρ masse volumique [kg/m³]
- ☞ c chaleur spécifique [J/kg.K]

Calcul du déphasage thermique

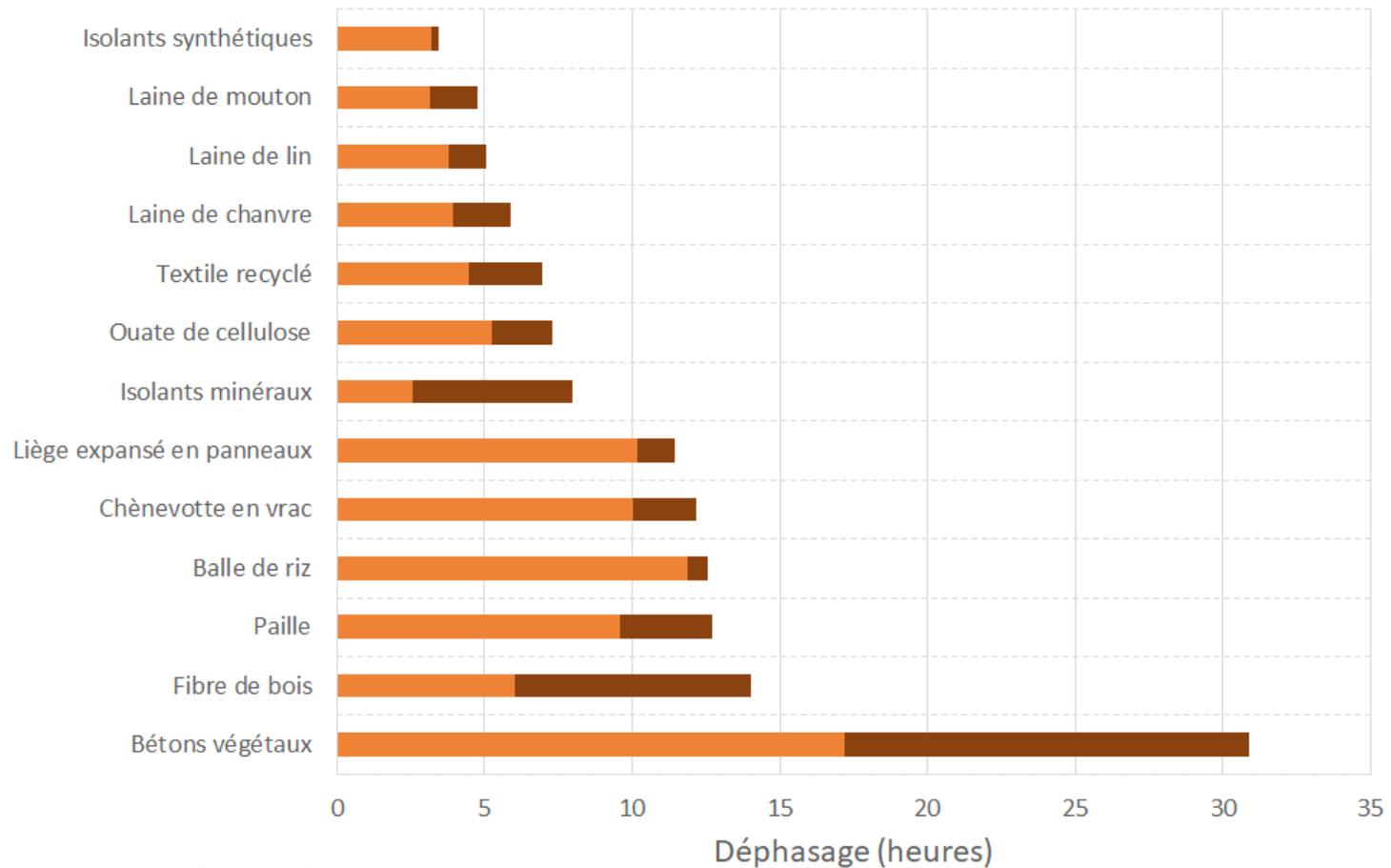
- d en s :
 - Le déphasage est le retard avec lequel la paroi va émettre la chaleur transmise
 - Le temps de déphasage est proportionnel à l'épaisseur de la paroi et est inversement proportionnel à sa diffusivité thermique :

$$d = \frac{1,38e}{\sqrt{D}}$$

☞ e épaisseur du matériau [m]

☞ D diffusivité thermique [m²/s]

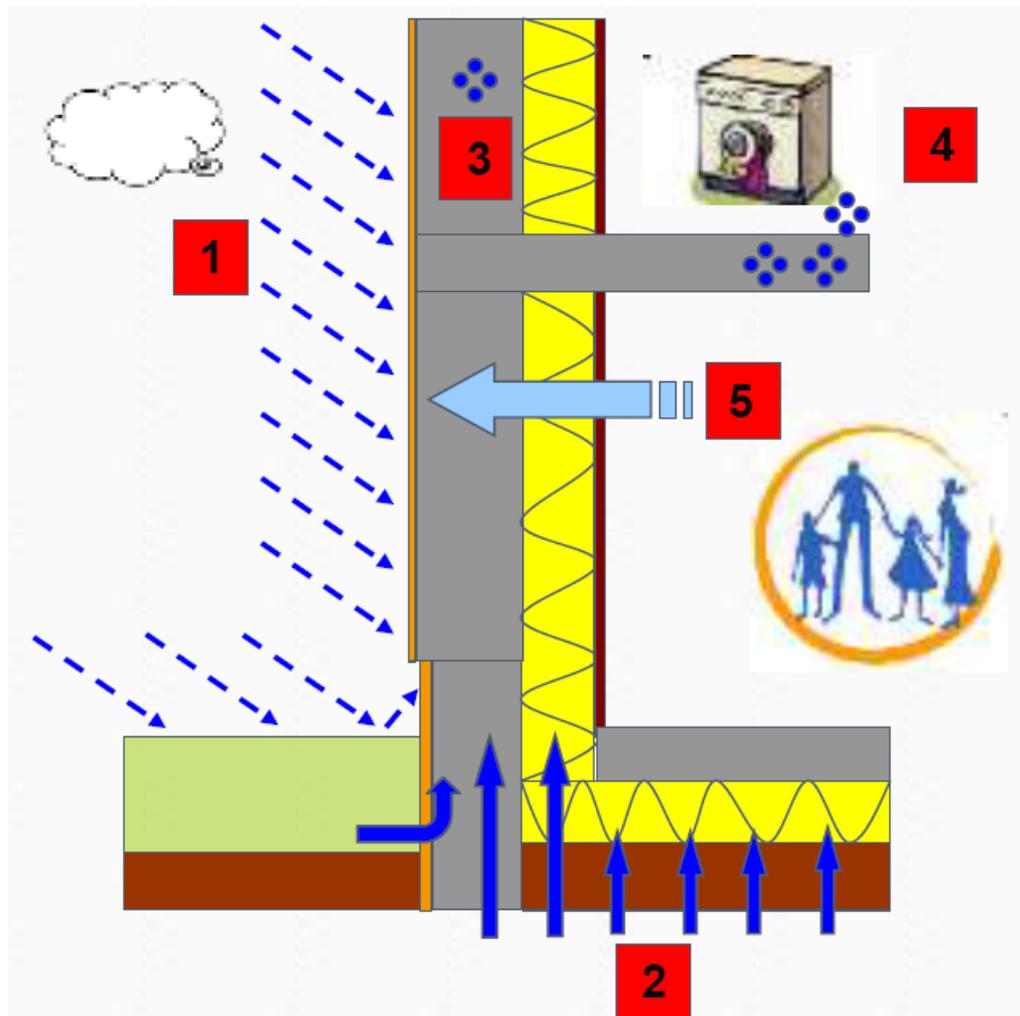
Temps de déphasage pour une résistance thermique de 5 m².K/W



Source : Cerema Est

Les performances hydriques

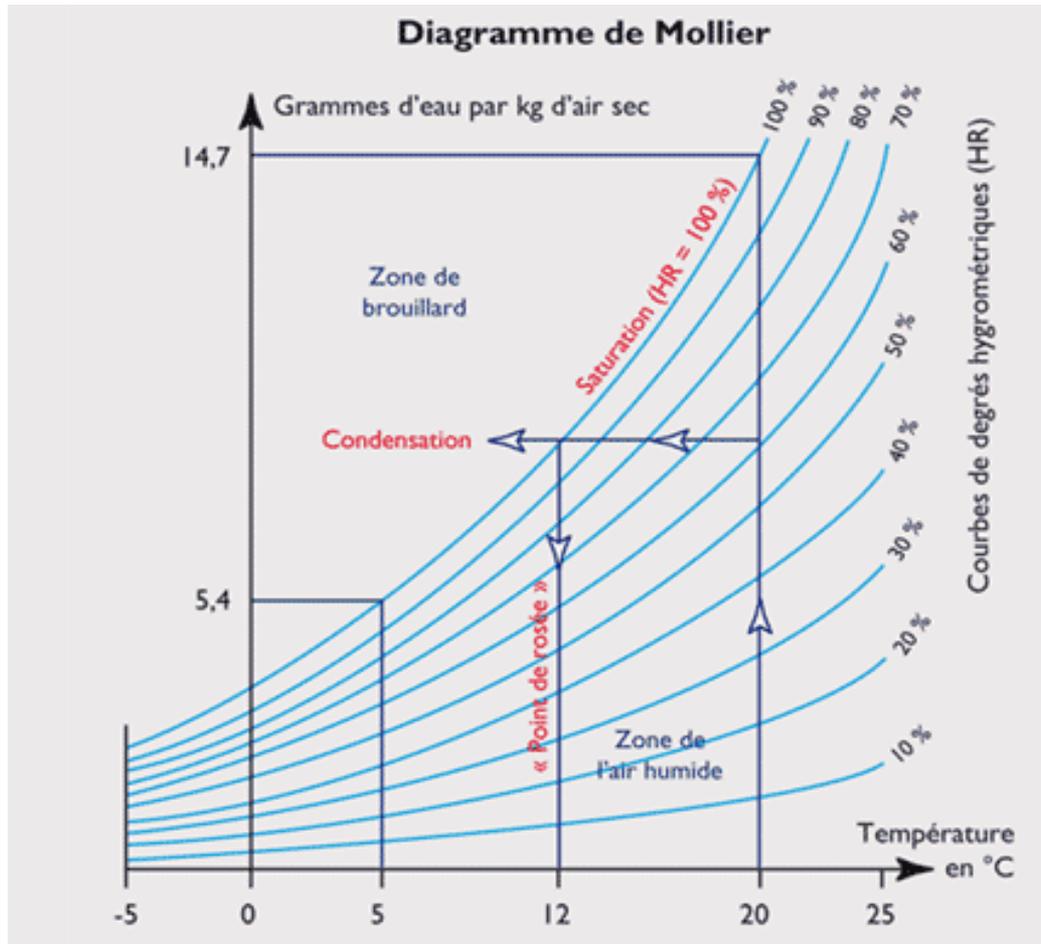
Sources d'humidité



Source : Samuel Courgey, Arcanne

1. Pluie
2. Remontées capillaires
3. Eau contenue dans les matériaux
4. Inondations et accidents domestiques
5. Vapeur d'eau

Condensation par saturation de vapeur d'eau



Source : EnR-ABF

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'un matériau

- Selon leur nature, les matériaux s'opposent plus ou moins à la diffusion de vapeur d'eau



Gore-Tex



K-Way

Résistance à la diffusion de vapeur d'eau d'un matériau

- Le coefficient μ (coefficient de résistance à la diffusion de vapeur d'eau) indique dans quelle mesure un matériau s'oppose à la progression de la vapeur d'eau
- La valeur **Sd** (épaisseur de lame d'air équivalente) indique dans quelle mesure une couche de matériau s'oppose à la progression de la vapeur d'eau

$$Sd = \mu * d \text{ (d : épaisseur en mètres)}$$

→ Plus μ et Sd sont faibles, plus la vapeur d'eau se déplace facilement : on parle alors de paroi **perspirante**

Notions de pare-vapeur et de frein-vapeur

- Le **pare-vapeur** est une membrane assez fine ayant une très grande résistance à la diffusion de vapeur. Il empêche la vapeur d'eau de traverser une paroi de l'intérieur vers l'extérieur du bâtiment.
- Le **frein-vapeur** est un pare-vapeur qui laisse partiellement passer la vapeur d'eau.
 - ☞ Limite fixée autour de $S_d = 10m$
- Le frein-vapeur s'utilise si la charge d'humidité du bâtiment n'est pas trop élevée. Il limite la quantité de vapeur d'eau transitant dans la paroi et favorise le séchage de celle-ci en cas d'arrivée d'eau accidentelle. L'action du frein-vapeur permet une circulation bi-directionnelle de l'humidité, ce que ne peut pas effectuer le pare-vapeur.
- 🔊 Au-dessus de 800m d'altitude l'apport d'eau est trop important et on devra **OBLIGATOIREMENT** travailler avec un pare-vapeur.

Sd et « règles » de mise en œuvre

Afin d'éviter tout risque de condensation au sein de parois biosourcées, les professionnels du bâtiment s'appuient sur deux « règles » de mise en œuvre :

- **La règle des 5 pour 1** : pour permettre à l'humidité éventuellement présente à l'intérieur d'une paroi de pouvoir s'évacuer, il faut que le parement extérieur soit au minimum 5 fois plus perméable à la vapeur d'eau que le parement intérieur.
 - ☞ Nécessite que les fabricants établissent et publient les Sd des matériaux
- **La règle des 2/3 – 1/3** : elle consiste à placer deux tiers de l'isolant en face extérieure du pare-vapeur et un tiers entre le pare-vapeur et le support du parement intérieur. Autrement dit, la résistance thermique de la portion de paroi se trouvant en amont du pare-vapeur doit toujours être inférieure à la moitié de la résistance thermique de la portion de paroi se trouvant en aval
 - ☞ Dans les faits, on applique plutôt la règle des 3/4 – 1/4...

Quelques exemples de résistance à la diffusion de vapeur d'eau

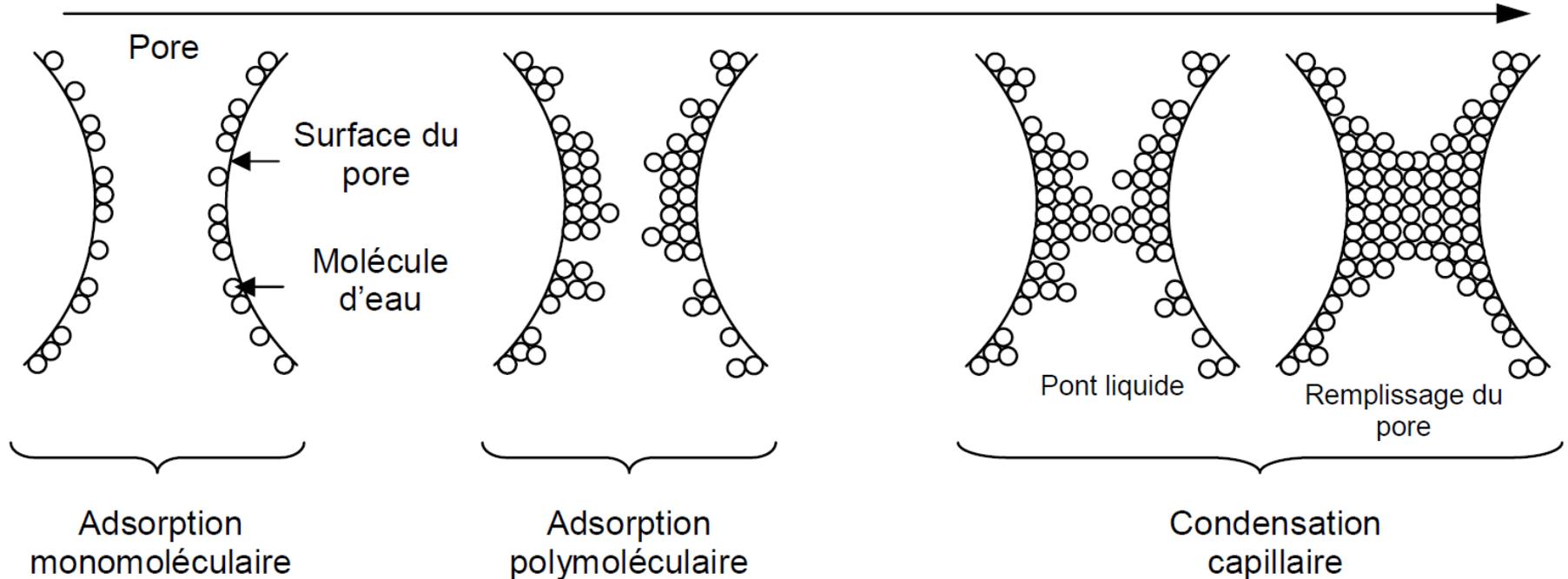
- Laine de lin : $\mu = 1-2$
- Laine de chanvre : $\mu = 1-2$
- Laine de mouton : $\mu = 1-2$
- Chènevotte en vrac : $\mu = 1-2$
- Fibres de bois : $\mu = 1-5$
- Liège expansé en panneaux : $\mu = 5-30$
- Botte de paille : $\mu = 1-2$
- Bétons végétaux : $\mu = 5-30$
- Textile recyclé : $\mu = 1-2$
- Ouate de cellulose : $\mu = 1-2$
- Isolants minéraux : $\mu = 1-2$
- Isolants synthétiques : $\mu = 20-200$

Source : Cerema Est

Adsorption et désorption de vapeur d'eau

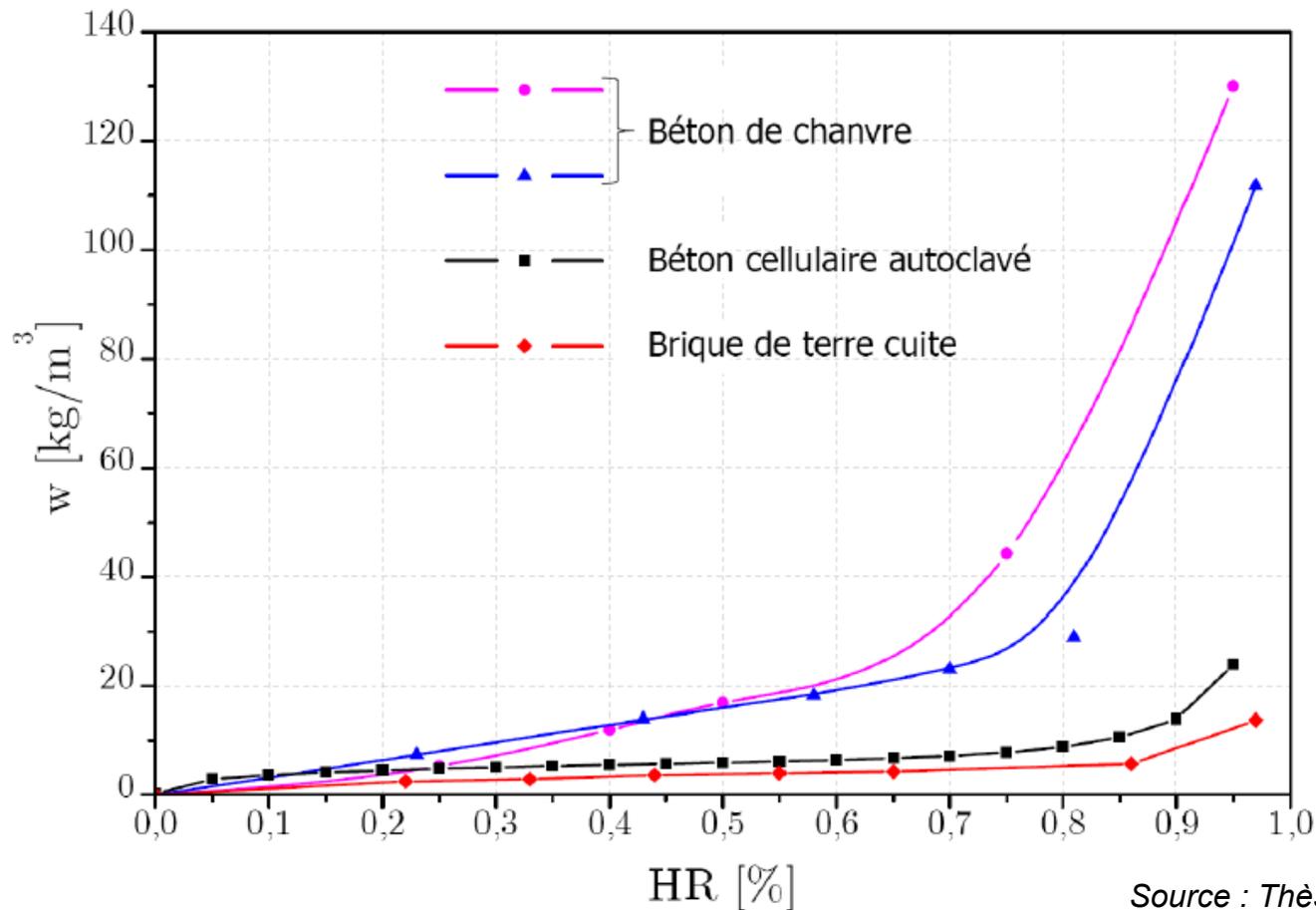
- Matériau hygroscopique : matériau possédant la capacité d'échanger de l'humidité avec l'air ambiant

Humidité relative ambiante croissante →



Source : Thèse Florence Collet, 2004

Isothermes d'adsorption de vapeur d'eau

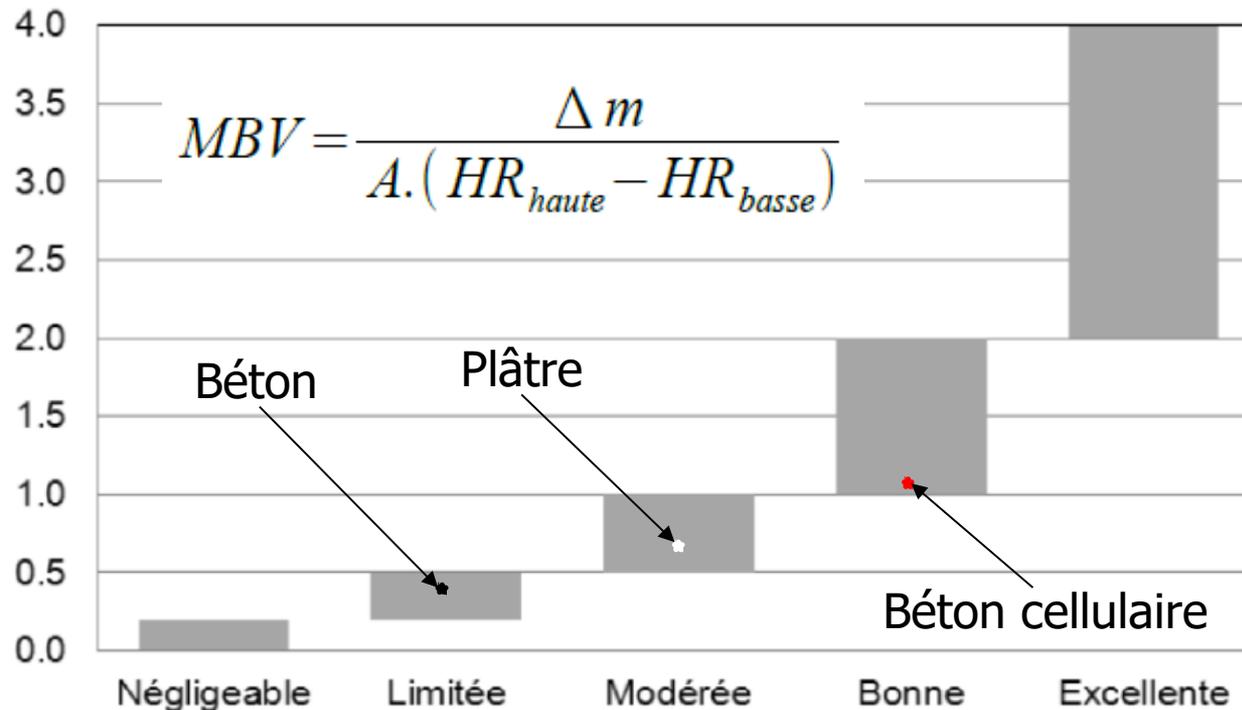


Source : Thèse Driss Samri, 2008

Valeur tampon hydrique MBV

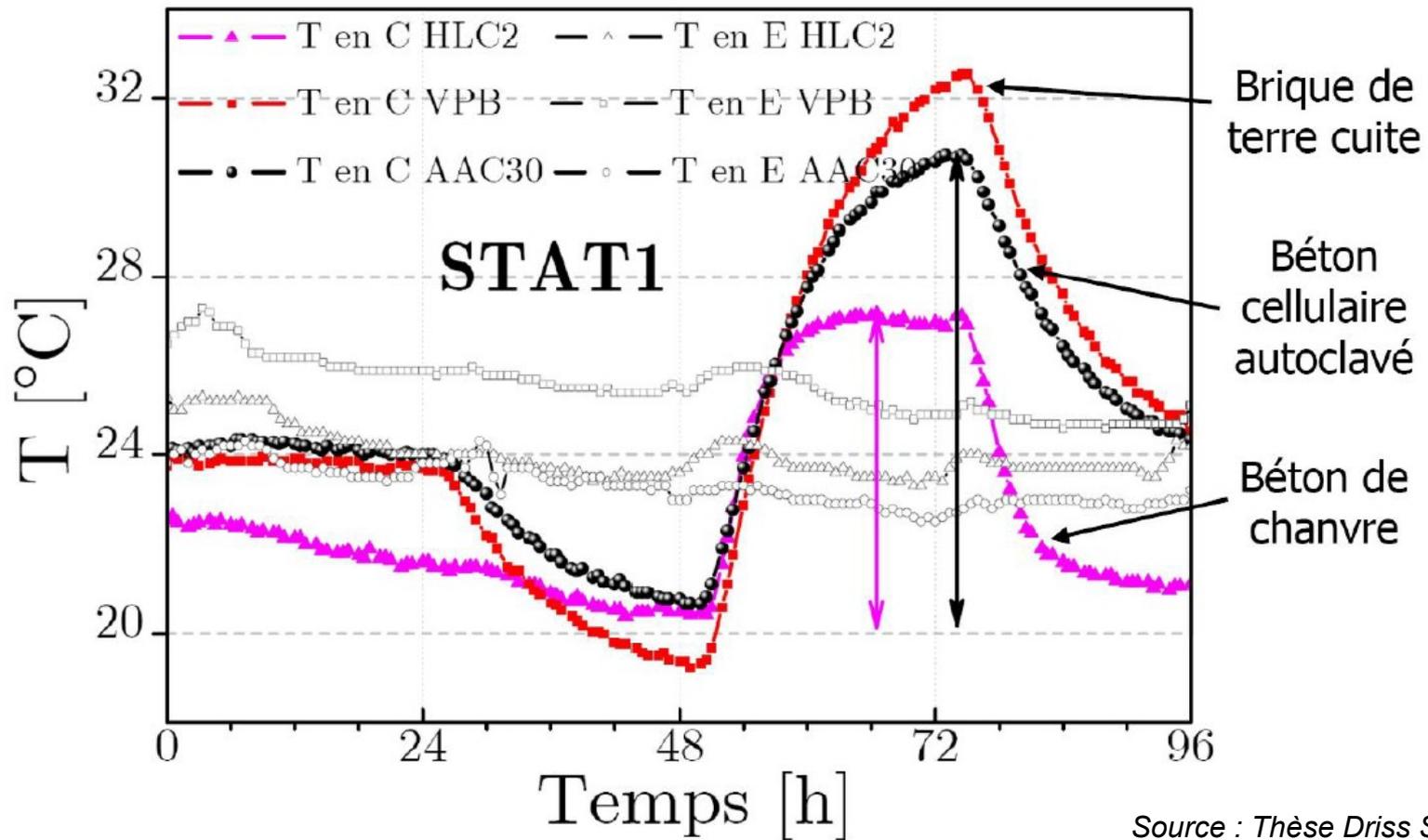
MBV [g/(m².%RH)] @8/16h

Source : LGCGM, IUT de Rennes



→ Impact sur le confort hydrique ressenti par l'utilisateur
MBV du béton de chanvre : 1,8-2,5

Fonctionnement hygrothermique d'une paroi



Source : Thèse Driss Samri, 2008

Références



REHABILITATION-BATI-ANCIEN.FR

Un centre de ressources en ligne pour la réhabilitation du bâti ancien !



Que contient le portail CREBA ?



Des **fiches-résumés d'études et d'ouvrages** (publiés au niveau local et national) sur la réhabilitation responsable du bâti ancien



Des **retours d'expériences sur des opérations** conciliant préservation du patrimoine ET réhabilitation énergétique

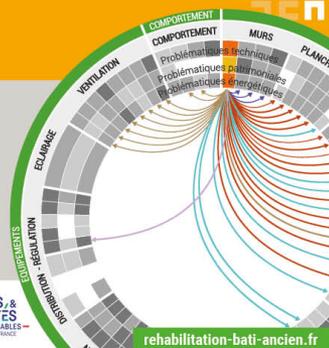


Un **OUTIL** d'aide à la décision permettant de :

- Comparer différentes solutions de réhabilitation du point de vue technique, patrimonial et énergétique
- Repérer les points de vigilance associés à ces différentes solutions
- Composer des bouquets de travaux responsables

Maitres d'œuvres, architectes, bureaux d'études, prescripteurs, techniciens, experts, chercheurs, artisans...

Vous êtes concernés par la réhabilitation énergétique du bâti ancien ? Le portail CREBA vous aide à adopter une approche globale et responsable de votre projet !



rehabilitation-bati-ancien.fr



Les membres fondateurs de CREBA

Le projet CREBA est soutenu par le Programme ministériel d'Action pour la qualité de la Construction et la Transition Énergétique (PACTE) dans le cadre de l'axe 2.3 dédié aux « outils numériques d'aide à la décision de stratégies de rénovation ».

- Il est piloté par le Cerema aux côtés de 4 partenaires :
- l'école des Arts et Métiers Paris Tech,
 - le Laboratoire de Recherche en Architecture de l'École Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse,
 - les associations Maisons Paysannes de France et Sites & Cités Remarquables de France.

Ce projet est soutenu par PACTE. Le programme vise à renforcer la qualité dans la construction et les travaux de réhabilitation. Les objectifs sont d'assurer l'efficacité énergétique des opérations et la prévention de la sinistrité, par une montée en compétences de l'ensemble des acteurs de l'acte de construire.

www.programmepacte.fr



REHABILITATION-BATI-ANCIEN.FR

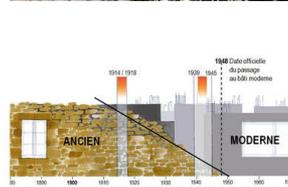
AMÉLIORER LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES BATIMENTS ANCIENS



RESPECTER LEURS VALEURS ARCHITECTURALES ET PATRIMONIALES



ÉVITER LES PATHOLOGIES ET ASSURER LA DURABILITÉ DE CE PATRIMOINE



Pour aider les professionnels du bâtiment à répondre aux enjeux de la Transition énergétique par des réhabilitations de qualité qui préserveront le patrimoine bâti ancien.

rehabilitation-bati-ancien.fr

Pourquoi ce centre de ressources ?

Alors que les exigences d'amélioration thermique des bâtiments existants sont renforcées par la Loi de Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV), ce centre de ressources permet d'aider les professionnels à mener des réhabilitations « responsables » du bâti ancien (construit avant 1948) à la croisée des enjeux énergétiques, techniques et patrimoniaux qui le concernent.

Plusieurs constats :

- un besoin de structuration et de centralisation des ressources et des connaissances relatives à la réhabilitation du bâti ancien
- un besoin de diffusion des connaissances et de partage de bonnes pratiques
- un besoin d'outils ayant une approche globale de cette problématique

En conciliant spécificités énergétiques ET architecturales, CREBA offre un ensemble de ressources permettant une approche GLOBALE de la réhabilitation du bâti ancien.

Vous souhaitez contribuer à CREBA en partageant votre expérience et vos connaissances ?

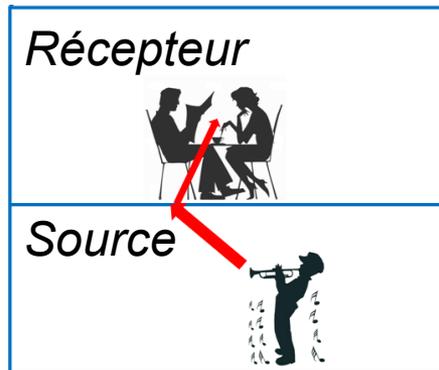
CONTACTEZ LE COMITÉ :
contact@rehabilitation-bati-ancien.fr

Les performances acoustiques

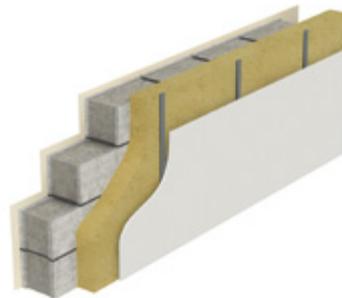
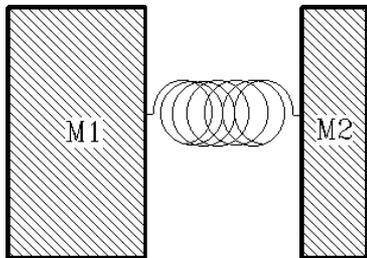
Grandeurs étudiées

Isolation acoustique

- But : Réduire les nuisances sonores liées à des sources situées à l'extérieur



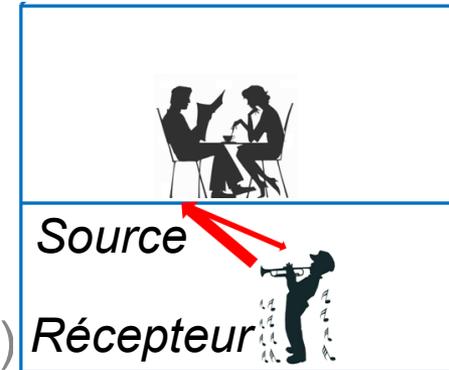
- Moyens :



Source : Cerema Est

Correction acoustique

- But : Assurer la qualité acoustique d'un local (réverbération, intelligibilité, effets géométrique)



- Moyens :



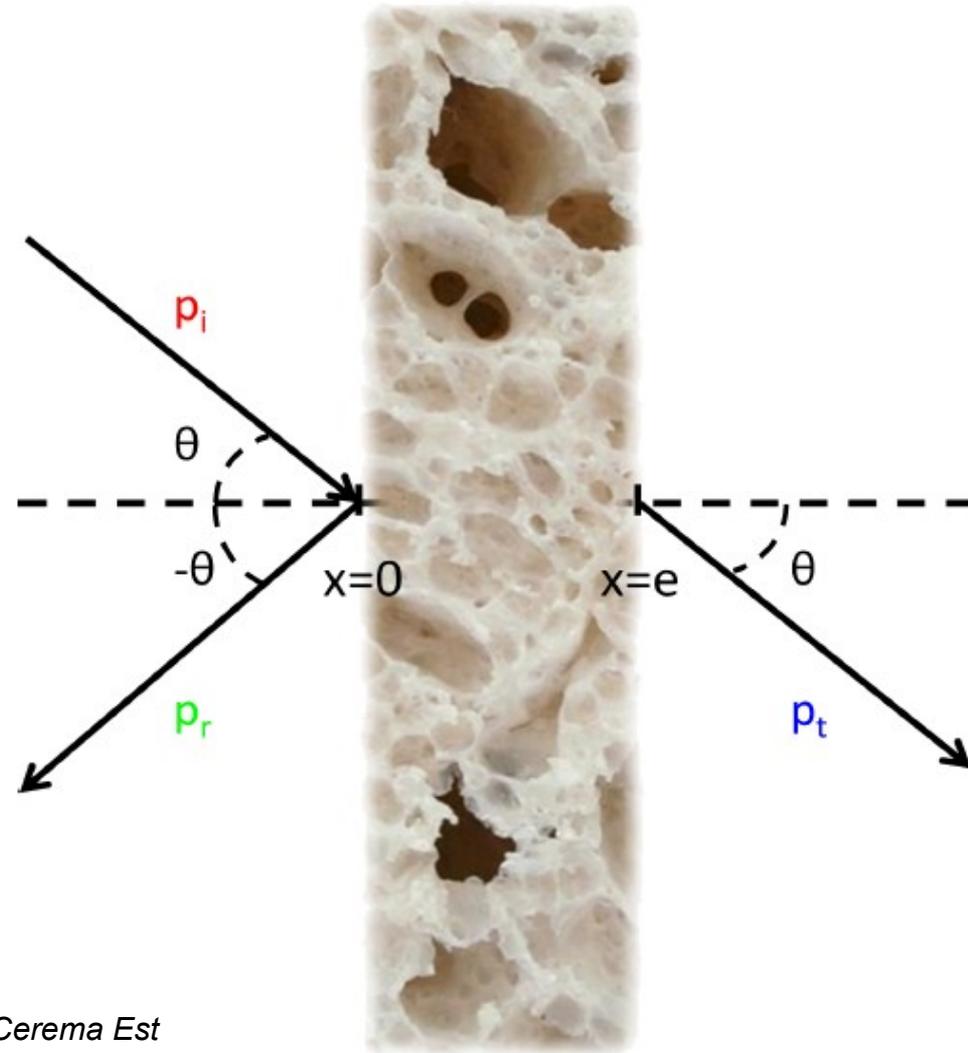
Grandeurs étudiées

Coefficient d'absorption

$$\alpha(\theta) = 1 - \left| \frac{p_r(\theta, x = 0)}{p_i(\theta, x = 0)} \right|^2$$

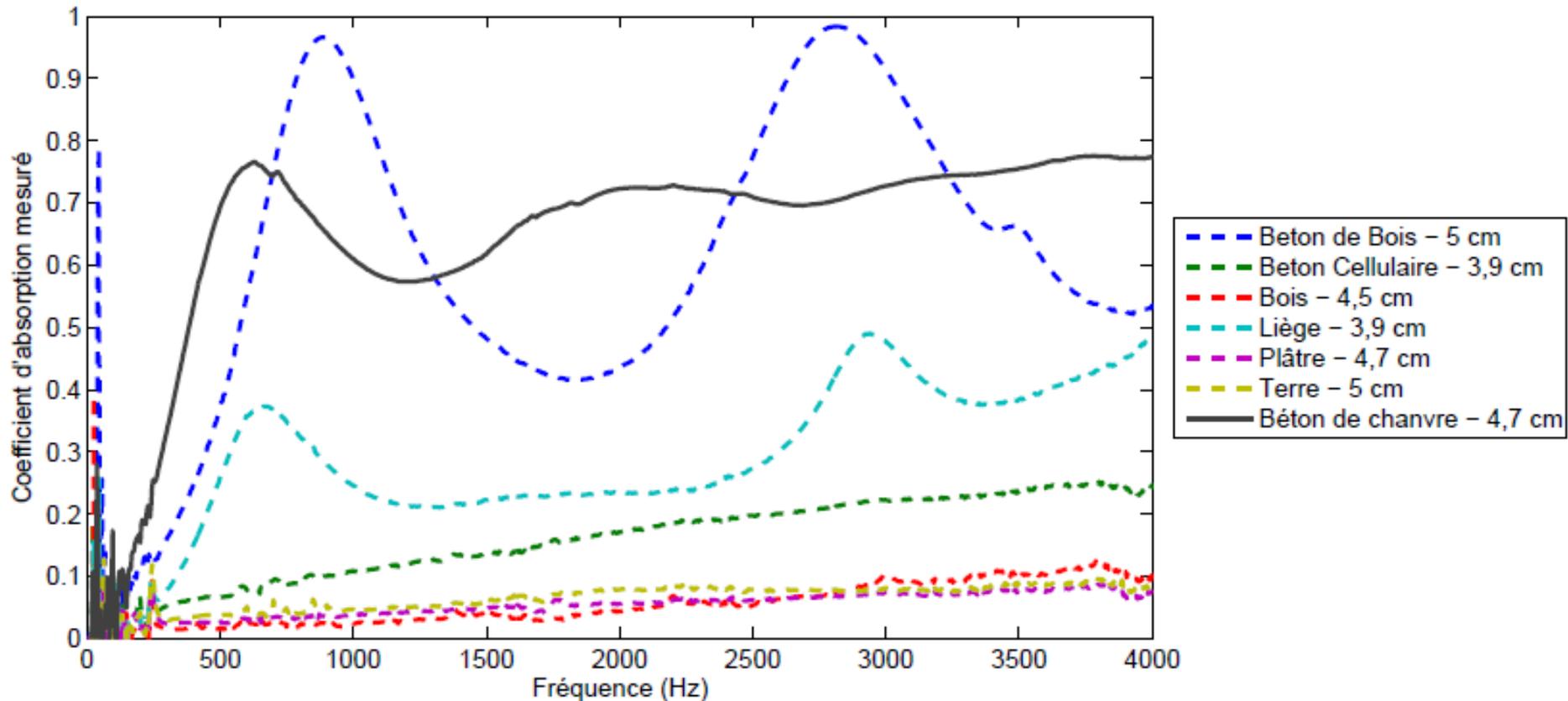
Indice d'affaiblissement
(TL : Transmission Loss)

$$TL(\theta) = -10 \log \left| \frac{p_t(\theta, x = e)}{p_i(\theta, x = 0)} \right|^2$$



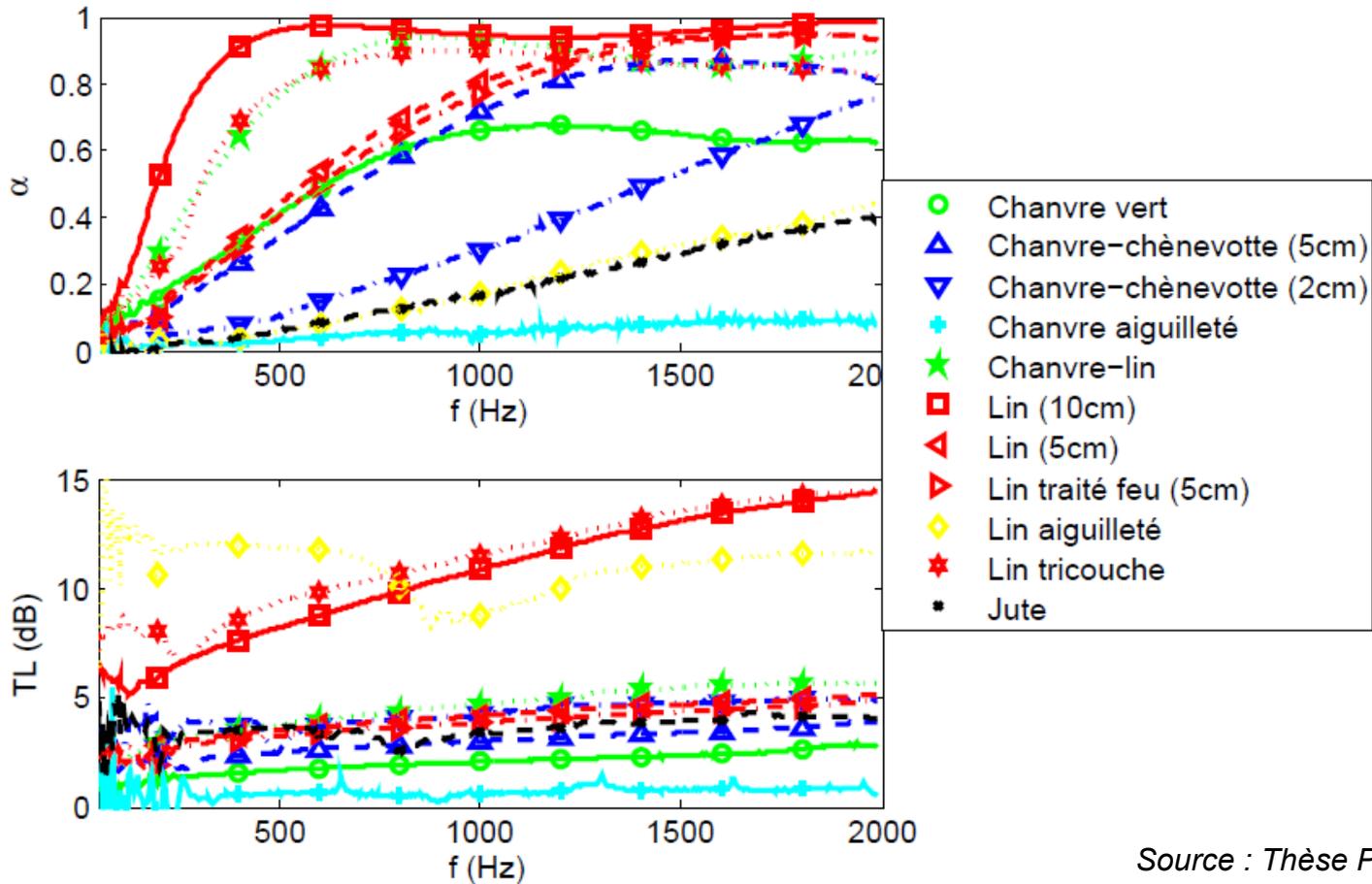
Source : Cerema Est

Absorption acoustique de différents matériaux



Source : Thèse Philippe Glé, 2013

α et TL de différentes laines végétales



Source : Thèse Philippe Glé, 2013

Pour aller plus loin...

- Étude sur la caractérisation et la modélisation multi-échelle des propriétés acoustiques des matériaux biosourcés dans le bâtiment menée par le Cerema et le CSTB publiée en décembre 2018

[https://
www.cerema.fr/fr/actualites/mieux-connaître-performances-acoustiques-matériaux](https://www.cerema.fr/fr/actualites/mieux-connaître-performances-acoustiques-matériaux)

Classement de réaction et de résistance au feu

Réaction au feu

- Il s'agit de la propriété du matériau à contribuer au démarrage et au développement d'un incendie.
 - ☞ Notions associées : combustibilité (chaleur émise par combustion complète du matériau), inflammabilité (quantité de gaz inflammable émise par le matériau)
- Euroclasses définies dans la norme européenne EN 13501-1+A1 : système de classement en cinq catégories d'exigence (A1, A2, B, C, D, E, F)
 - ☞ 2 critères essentiels : opacité des fumées (notée *s*), gouttelettes et débris enflammés (notées *d*)
- Quelques résultats :
 - Isolants biosourcés : C à F
 - Bétons végétaux : A2, B
 - Mur paille avec enduits terre et chaux : B s1,d0

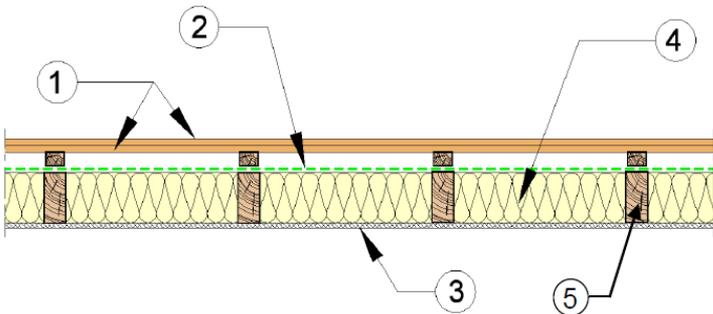
Résistance au feu

- Il s'agit de la durée pendant laquelle un élément, soumis à un incendie, continue à remplir sa fonction.
- 3 classes de résistance au feu :
 - ☞ **R** : résistance mécanique ou stabilité
 - ☞ **E** : étanchéité aux gaz et flammes
 - ☞ **I** : isolation thermique (forcément utilisée en complément d'une classification R ou E)

Ces lettres sont suivies de 2 ou 3 chiffres donnant le temps de résistance en minutes.
- Quelques résultats :
 - Mur parpaings béton de chanvre : EI 90
 - 2 OSB + isolant chanvre ou bois ou ouate + 2 BA13 : EI 30 et EI 60 avec 1 BA15F (à la place des 2 BA13)

Résistance au feu

Parement exposé au feu	Parement non exposé au feu	Type d'isolant	Chute 1 ^{ère} couche du parement côté feu (min)	Chute 2 ^{ème} couche du parement côté feu (min)	Instant du début de la combustion des montants (min)	Durée réelle de résistance au feu	Classement
2 BA13A	20SB (2*9 mm)	Laine de verre	41	41	38	EI49	EI30
		Ouate de cellulose	29,5	pas de chute	39	EI50	EI30
		Fibres de bois	24	44	36	EI50	EI30
		Chanvre	28	45,5	37	EI50	EI30
1 BA15F	20SB (2*9 mm)	Laine de verre	65	-	24	EI65	EI60
		Ouate de cellulose	77	-	25	EI77	EI60
		Fibres de bois	73	-	30	EI73	EI60
		Laine de mouton	72	-	27	EI78	EI60



CSTB
le futur en construction

FCBA
INSTITUT
TECHNOLOGIQUE

12/10/2020

COTEBAT : Journée matériaux biosourcés

 Cerema

Des questions ?

Contact :

➤ etienne.gourlay@cerema.fr