



Prédiction de la Performance Acoustique de Parois incluant des Matériaux Biosourcés

JTAV 2018 – Langueux

13/06/2018 – Thibaut Blinet, Philippe Glé, Catherine Guigou-Carter

Journées Techniques « Acoustique et Vibrations »
(Langueux 12 & 13 juin 2018)

Projet

1. ECHELLE MATÉRIAU

- > Définition
- > Spécificités et modèles employés
- > Caractérisations
- > Résultats

2. ECHELLE SYSTEME

- > Outil de modélisation
- > Cas étudiés
- > Résultats

Synthèse



CSTB
le futur en construction

Projet

Problématique

EMERGENCE DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS DANS LE BÂTIMENT

FAIBLES CONNAISSANCES DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES (MATÉRIAUX, SYSTÈMES)

- > Complique le travail de la maîtrise d'œuvre lors de la phase de conception

ACTEURS DES FILIÈRES

- > Petite taille (local, régional) et peu structurés syndicalement
- > Pas toujours consciences
 - des problématiques technico-réglementaires
 - et/ou des moyens nécessaires à la caractérisation et la certification de leurs produits

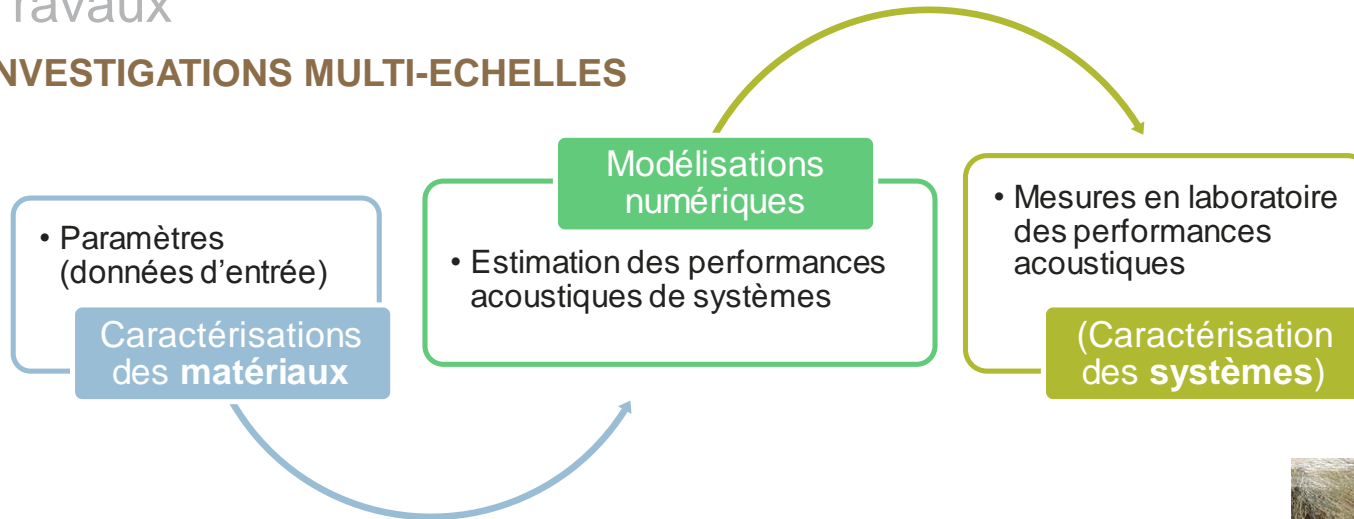
Objectif

MIEUX COMPRENDRE LE COMPORTEMENT ACOUSTIQUE DE SYSTÈMES INTÉGRANT DES MATÉRIAUX BIOSOURCÉS ET EVALUER LEURS PERFORMANCES ACOUSTIQUES

- > Prédiction des performances acoustiques

Travaux

INVESTIGATIONS MULTI-ECHELLES



ANALYSES

> Matière végétale : Fibres (Laines), Granulaires (Vrac, bétons)



Partenariat





CSTB
le futur en construction

01-Echelle Matériau

Définition

RÉGLEMENTÉE

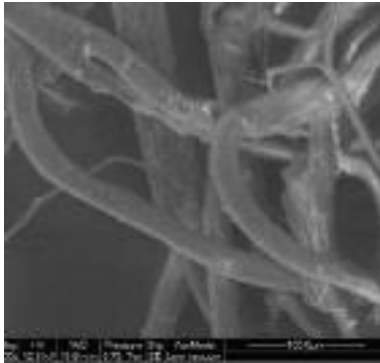
- > Arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé »

« Biomasse : matière d'**origine biologique**
≠ matières de formation géologique ou fossile »

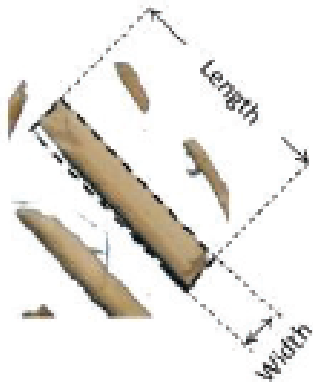


« Matière biosourcée : matière issue de la **biomasse végétale** ou **animale** pouvant être utilisée comme matière première dans des produits de construction ... comme matériau de construction dans un bâtiment »





Fibres végétales



Particules végétales

Spécificités

MATÉRIAUX POREUX

FORTE ANISOTROPIE

- > Comportement orthotrope lié à la forme allongée des fibres et particules s'organisant dans des plans successifs parallèles

POROSITÉ MULTI-ÉCHELLE

- > Entre fibres/particules
- > Au sein des fibres/particules
- > Dans le liant (éventuellement)

DISTRIBUTION GRANULOMÉTRIQUE ÉTALÉE

- > Quelle dimension caractéristique à retenir dans des modélisations type micro-macro ??

01-Echelle Matériau

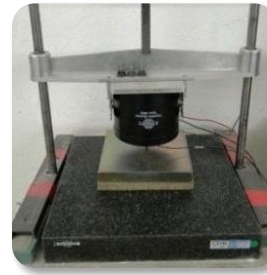
Caractérisations - Paramètres mécaniques

Paramètres mécaniques (CSTB)

> Non mesurés à ce jour

PARAMÈTRES ÉVALUÉS

- > **Module de Young E**
- > **Facteur d'amortissement η**



MÉTHODES

- > Mesure de raideur dynamique → Matériaux isolants
 - Adaptation de la norme EN 29052-1⁽¹⁾
- > Mesure du module de rigidité en flexion → Parements (plaques)
 - Adaptation de la norme ISO 16940⁽²⁾
- > Mesure du module d'élasticité dynamique longitudinal → Bétons, enduits...
 - Adaptation de la norme NF EN 14146⁽³⁾



(1) Détermination de la raideur dynamique - Partie 1 : matériaux utilisés sous les dalles flottantes dans les bâtiments d'habitation

(2) Verre dans la construction - Vitrages et isolation aux bruits aériens - Mesurage de l'impédance mécanique du verre feuilleté

(3) Méthodes d'essai pour pierres naturelles - Détermination du module d'élasticité dynamique (par la mesure de la fréquence de résonance fondamentale)

01-Echelle Matériau

Caractérisations - Paramètres acoustiques

Paramètres acoustiques (CEREMA)

PARAMÈTRES ÉVALUÉS

- > **Résistivité** σ
- > **Porosité** φ
 - Pas toujours = porosité ouverte (caractère multi-échelle du matériau)
- > **Tortuosité** α_{∞}
 - Peut être relativement élevée (cas granulaires du à la forme et allongement des particules)
- > **Longueur caractéristique visqueuse** λ
- > **Longueur caractéristique thermique** λ' et **perméabilité thermique** k_0'
 - Uniquement pour les laines végétales

MÉTHODES

- > Méthodes indirectes au tube de Kundt 3 micros ⁽⁴⁾ (\varnothing 100 mm ; [50 – 2000 Hz])

MODÈLES EMPLOYÉS

- > **Modèle Johnson-Champoux-Allard-Lafarge (JCAL)**
 - Matériaux fibreux
- > **Modèle 'hybride' Johnson-Zwikker-Kosten**
 - Matériaux granulaires



(4) T. Iwase, Y. Izumi et R. Kawabata (1998)

01-Echelle Matériau

Résultats (thèse de P. Glé ⁽⁵⁾)

Laines végétales

Type	Matériau	Composition	e (m)	ρ (kg/m ³)	σ (Nm ⁻⁴ .s)	ϕ (%)	α_{∞}	Λ (μ m)	Λ' (μ m)	k_0' (10 ⁻³ m ²)
Laine minérale	Référence	Laine de verre		30	21 000	95,0	1,00	60	150	
Laines végétales	1	Bois - Kenaf	0,040	53	5 030	94,9	1,02	118	211	0,95
	2	Bois	0,085	57	8 222	93,6	1,14	98	351	0,37
	3	Bois - PES	0,050	65	27 709	96,0	1,72	81	202	0,33
	4	Chanvre	0,090	29	1 652	93,5	1,00	335	360	1,66
	5	Chanvre vert	0,090	24	3 300	97,6	1,00	359	453	3,56
	6	Chanvre - Lin	0,100	32	4 900	97,0	1,00	155	252	1,60
	7	Chanvre - Chênevotte	0,050	56	8 100	94,9	1,12	134	272	1,56
	8	Chanvre aiguilleté	0,008	92	11 000	93,6	1,35	58	122	0,97
	9	Chanvre - Chênevotte	0,018	140	33 000	89,5	1,23	31	145	0,61
	10	Coco	0,105	101	11 581	94,5	1,00	68	339	1,68
	11	Jute	0,011	137	57 000	90,7	1,03	34	124	0,59
	12	Kenaf	0,025	40	4 027	96,3	1,05	181	314	1,22
	13	Lin coton	0,050	33	5 234	94,6	1,00	131	187	0,86
	14	Lin	0,050	33	10 400	96,9	1,00	123	179	0,71
	15	Lin	0,090	34	4 785	94,7	1,00	148	176	0,91
	16	Lin	0,050	36	11 800	97,2	1,00	105	311	0,90
	17	Lin	0,100	47	12 000	96,3	1,00	63	161	0,82
	18	Lin aiguilleté	0,008	251	380 000	83,5	2,05	32	89	1,03

- > Résistivités augmentent avec la densité ($\sigma < 50\ 000\ \text{N.m}^{-4}.\text{s}$)
- > Très poreux ($\phi > 95\%$)
- > Tortuosités $\alpha_{\infty} \sim 1$
- > Longueurs caractéristiques et la perméabilité thermique

Typiques
 de matériaux fibreux
 « traditionnels »

01-Echelle Matériau

Résultats (thèse de P. Glé ⁽⁵⁾)

Granulaires en vrac

Type	Matériau	Composition	e (m)	ρ (kg/m ³)	σ (Nm ⁻⁴ .s)	ϕ (%)	α_{∞}	Λ (μ m)	Λ' (μ m)	k_0' (10 ⁻³ m ²)
Granulaires en vrac	1	Anas lin	0,050	110	4 906	84,5	2,0	156	-	-
	2		0,050	125	6 974	83,3	2,2	126	-	-
	3		0,050	140	9 133	80,9	2,1	90	-	-
	4	Chênevotte	0,050	90	1 459	78,2	1,7	303	-	-
	5		0,050	110	3 143	76,2	2,1	215	-	-
	6		0,050	130	5 761	71,1	2,4	195	-	-
	7	Écorce tounesol	0,050	160	1 842	73,4	2,0	310	-	-
	8		0,050	180	3 088	71,1	2,3	256	-	-
	9		0,050	200	4 539	71,6	2,7	257	-	-
	10	Moelle tounesol	0,050	30	891	88,4	2,0	454	-	-
	11		0,050	35	1 523	85,5	2,3	324	-	-
	12		0,050	40	3 859	77,1	2,3	188	-	-
	13	Paille colza	0,050	60	1 502	88,6	1,6	231	-	-
	14		0,050	80	3 089	85,5	1,8	166	-	-
	15		0,050	100	6 351	84,7	2,2	136	-	-
	16	Pin	0,050	140	3 669	83,6	1,7	147	-	-
	17		0,050	160	5 400	84,9	2,1	140	-	-
	18		0,050	180	8 120	83,3	2,4	132	-	-

- > Très peu résistifs ($\sigma < 10\ 000\ \text{N.m}^{-4}.\text{s}$) → Pores de grandes dimensions entre les particules
- > Porosités moyennes selon le matériau ($70 < \phi < 90\%$)
 - < fibreux
 - = porosités interparticules des matériaux (les pores, dits intraparticules, ne participent pas à la dissipation)
- > Tortuosités $\alpha_{\infty} \sim 2,0$ → Forme parallélépipédique des particules
- > Longueurs caractéristiques < laines

Bétons végétaux

Type	Matériau	Composition	e (m)	ρ (kg/m ³)	σ (Nm ⁻¹ .s)	ϕ (%)	α_{∞}	Λ (μ m)	Λ' (μ m)	k_0' (10 ⁻³ m ²)
Bétons végétaux	1	Béton chanvre 1	0,050	427	27000	49,0	4,4	50	-	-
	2	Béton chanvre 2	0,050	454	40000	46,0	4,7	30	-	-
	3	Enduit sable dégrossi,	0,015	1 660	10 ⁷	38,0	-	-	-	-
	4	Enduit chanvre non taloché	0,015	760	10 ⁷	66,0	-	-	-	-
	5	Enduit chanvre taloché	0,015	820	10 ⁷	62,0	-	-	-	-

BÉTONS DE CHANVRE

- > Résistivités modérées ($25\ 000 < \sigma < 40\ 000$ N.m⁻⁴.s)
- > Porosités assez faibles ($\phi < 50\%$)
 - Dû aux pores interparticules saturés par le liant
- > Tortuosités relativement importantes ($\alpha_{\infty} > 4,0$)
- > Longueur caractéristique visqueuse relativement faible ($\Lambda \leq 50$ μ m)



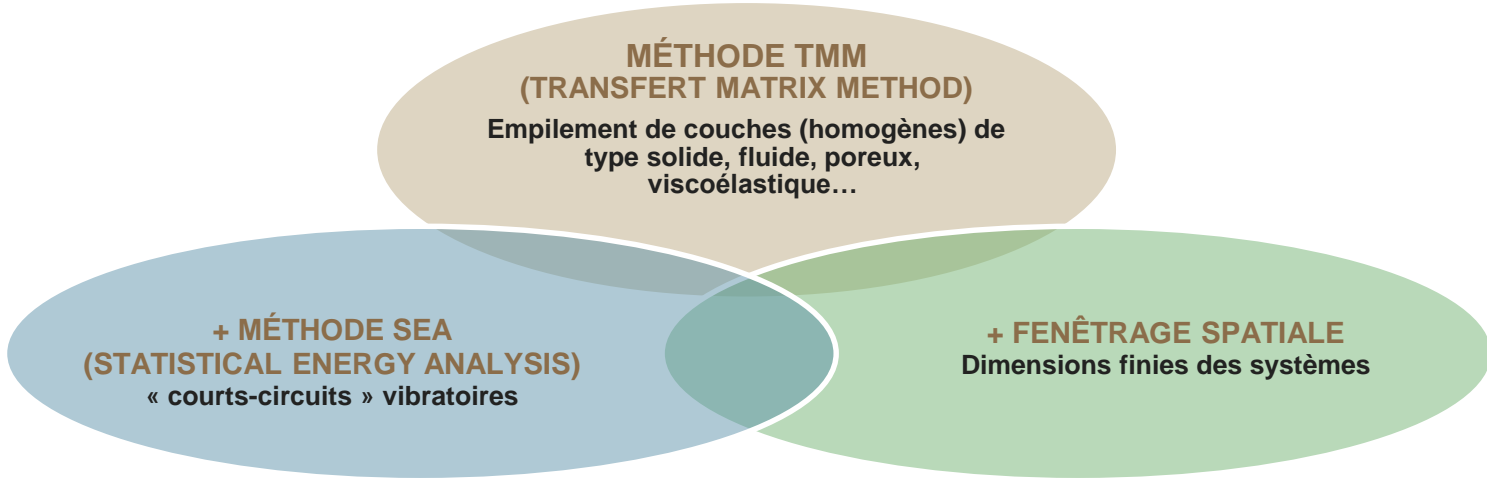
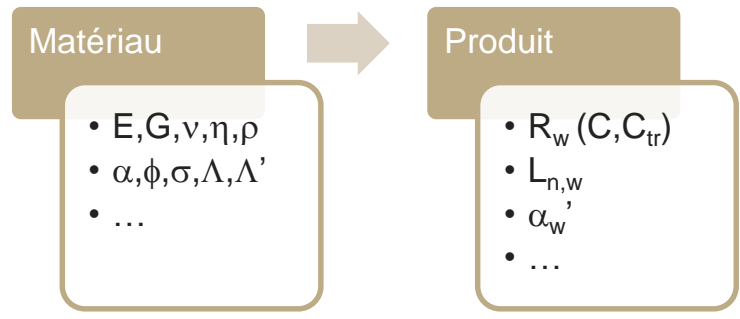
CSTB
le futur en construction

02-Echelle Système

02-Echelle Système

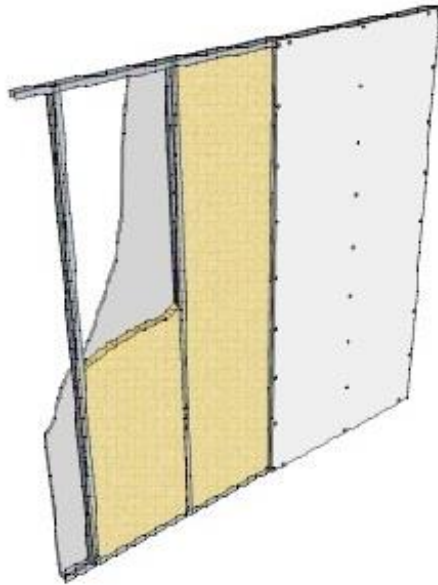
Outil de modélisation

Logiciel AcouSYS



02-Echelle Système

Cas Etudiés - Cloison sur ossature



Présentation

- > Type 72/48
 - Parements en plaque de plâtre BA13 vissés sur une simple ossature de 48 mm
 - Cavité remplie d'un isolant de 45 mm

MÉTHODE

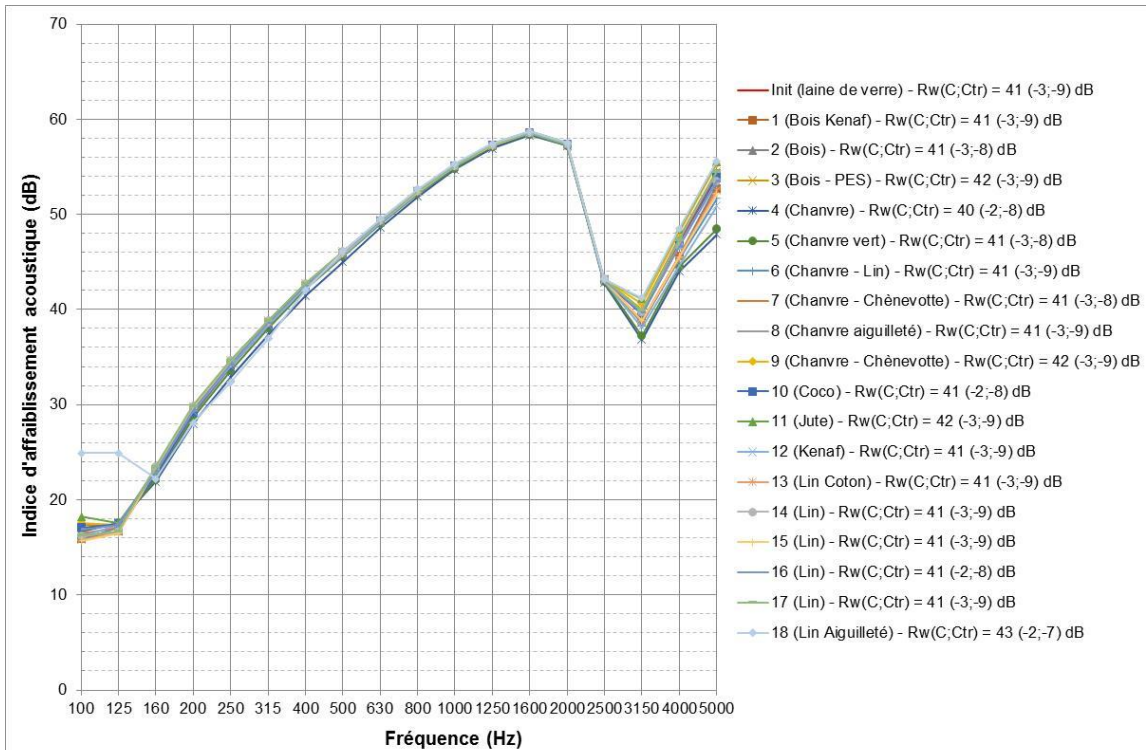
- > **Calage** du modèle sur des mesures en laboratoire
 - Remplissage d'une laine de verre « standard » de 30 kg/m^3 (autres paramètres issus de la base de données AcouSYS)
- > **Modélisation** avec des matériaux biosourcés (laines végétales) en remplissage

HYPOTHÈSES

- > Matériau de remplissage désolidarisé des parements
 - **Pas d'influence des paramètres mécaniques**

02-Echelle Système

Cas Etudiés - Cloison sur ossature



Indice d'affaiblissement acoustique R de cloisons

Résultats simulations

FAIBLE INFLUENCE DU MATÉRIAU DE REMPLISSAGE

- > Différences visibles autour de la fréquence critique des plaques de plâtre (~2600 Hz)
- > Effet de l'ossature métallique primordial

PERFORMANCES R_w+C

- > Entre 38 et 39 dB
- > 41 dB pour le système intégrant le lin aiguilleté
 - Caractéristiques assez différentes des autres matériaux considérés (résistivité, porosité et tortuosité, **densité**)

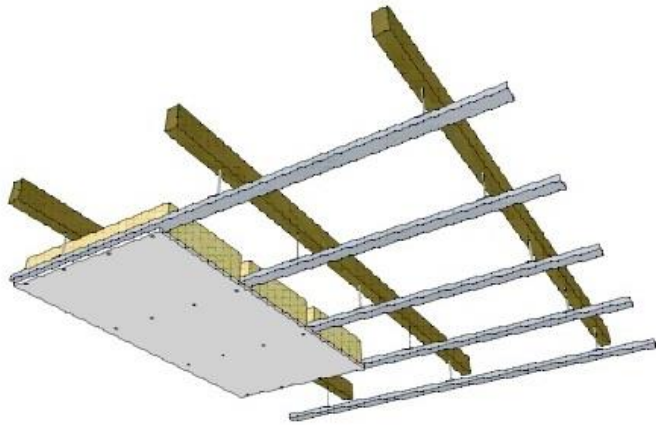
ÉTUDE PARAMÉTRIQUE (sans ossature) ⁽⁶⁾

- > Tortuosité et la résistivité → > 800 Hz
- > Longueurs caractéristiques → > f_c
- > Porosité → intégralité du spectre

(6) R. Foret, C. Guigou-Carter, J.-B. Chéné, "Porous material parameters influencing the acoustic performances of buildings construction systems", Internoise 2010, Portugal, (2010).

02-Echelle Système

Cas Etudiés - Plafond en combles perdues



Présentation

- > Plaques de plâtre BA13 fixées sur une ossature bois (pannes de 160 mm x 60 mm, espacées de 500 mm) + 2 x 100 mm d'isolant

MÉTHODE

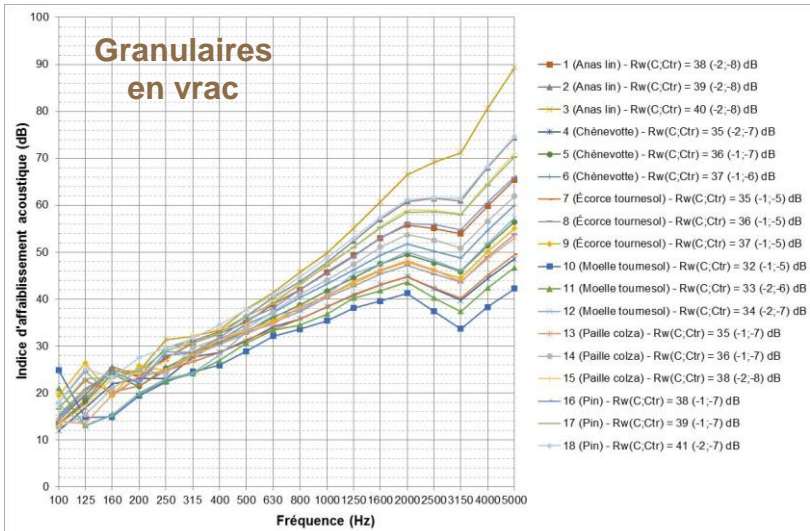
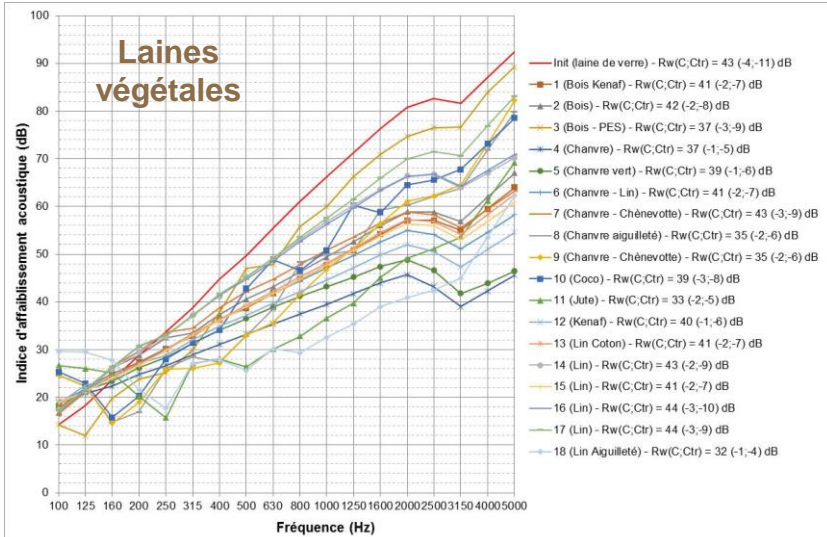
- > **Calage** du modèle sur des mesures en laboratoire
 - Isolant en laine de verre « standard » de 30 kg/m³
(autres paramètres issus de la base de données AcouSYS)
- > **Modélisation** avec des matériaux biosourcés (laines végétales ou granulaires en vrac) en isolant

HYPOTHÈSES

- > Effet de l'ossature bois négligé (impact les performances HF et ne modifie pas l'indice global de performance)
- > Contact direct isolant / plaques de plâtre (
 - Excitation du squelette du matériau poreux
 - **Influence des paramètres mécaniques**
 - Laines végétales → Déduites de matériaux plus « standards » sur la base de la densité / résistivité
 - Granulaires en vrac → Représentatives de ces types de matériaux (E = 0,25 MPa).

02-Echelle Système

Cas Etudiés - Plafond en combles perdues



Indice d'affaiblissement acoustique R de combles perdues

Résultats simulations

FORTE INFLUENCE DU MATÉRIAU

> Due au couplage plaque / isolant (propriétés mécaniques)

PERFORMANCES R_w+C

> Laines végétales : entre 31 et 41 dB (soit 10 dB de variation)

> Granulaires en vrac : entre 31 et 39 dB (soit 7 dB de variation)

ÉTUDE PARAMÉTRIQUE

> Paramètres mécaniques

- Allure générale de la courbe (positionnement des fréquences de résonance spécifiques du matériau et du système)

> Paramètres acoustiques

- Pente de la courbe

> Meilleures performances → matériaux les plus lourds, les moins résistifs et les plus poreux (donc généralement les plus « souples »)

02-Echelle Système

Cas Etudiés - Mur en béton de chanvre

Présentation

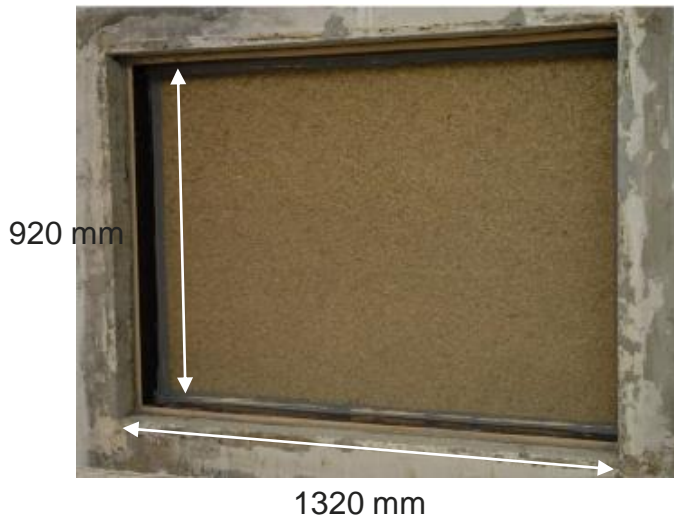
- > Testé en laboratoire (ENTPE ; Thèse de P. Glé ⁽⁵⁾)
- > Dimensions 1320 x 920 mm² et ép. 200 mm
- > Avec et sans enduits (20 mm) appliqués sur les deux faces

MÉTHODE

- > **Modélisations** et **simulations** du mur sans et avec enduit
- > Mur support = élément poreux / solide.

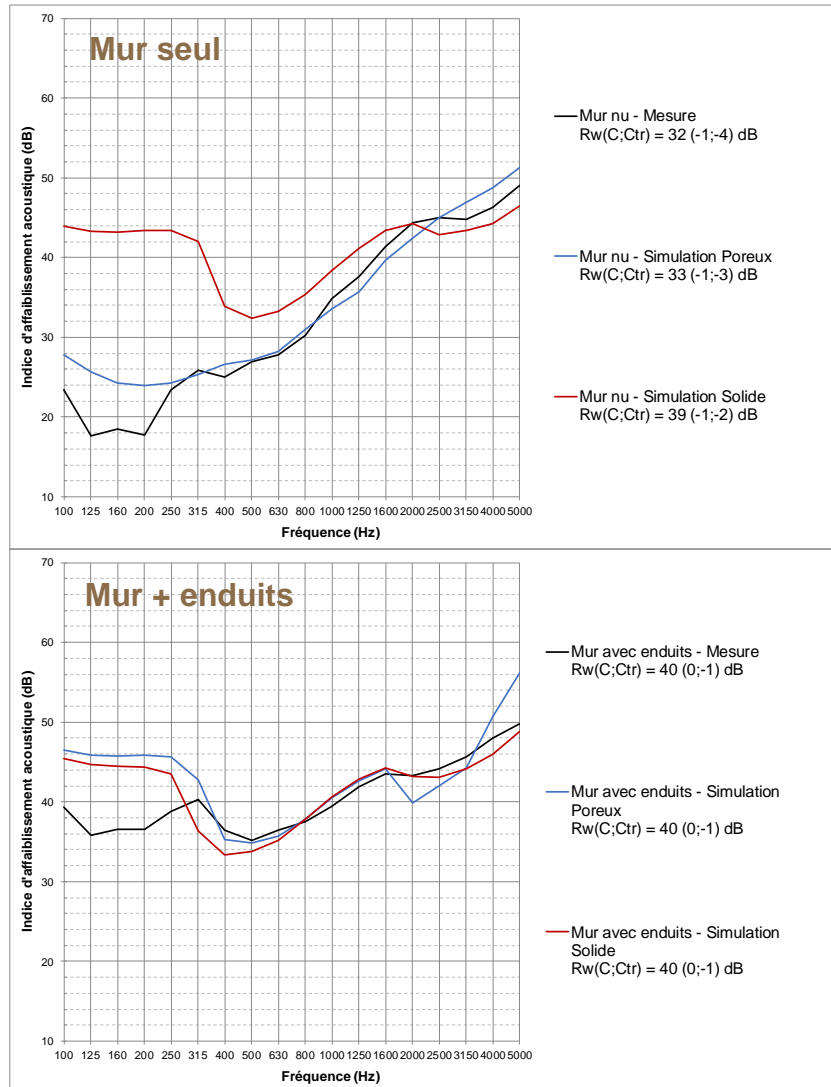
HYPOTHÈSES

- > **Déduction des modules d'élasticité**
($E_{\text{béton de chanvre}}$ utilisé ~500 MPa).



02-Echelle Système

Cas Etudiés - Mur en béton de chanvre



Indice d'affaiblissement acoustique R d'un mur avec et sans enduit

Résultats simulations

COMPARAISON CALCUL/MESURE

- > Relativement satisfaisantes
 - Mur support seul = matériau poreux
 - Mur support + enduits (matériau solide) ≈ un seul et même matériau solide

PHÉNOMÈNES OBSERVÉS

- > [100 – 250 Hz] → Comportement modal du système (non pris en compte par l'outil de calcul)
- > Mur support seul
 - [400 – 500 Hz] → Fréquence critique du mur support
 - [2000 – 2500 Hz] → Fréquence de résonance de l'onde de compression se propageant dans le mur
- > Mur avec enduit
 - ~2800 Hz → Fréquence de résonance du système « masse/ressort/masse »
 - ~4000 Hz → Fréquence critique des enduits



CSTB
le futur en construction

Synthèse

Synthèse des travaux

INTÉGRATION DE MATÉRIAUX BIOSOURCÉS DANS DES SYSTÈMES DE CONSTRUCTION STANDARDS DU BÂTIMENT

- > Caractérisation des paramètres acoustiques de matériaux biosourcés (fibreux, granulaires en vrac, ...)
- > Utilisation de ces paramètres comme données d'entrée injectées dans un modèle de calcul
- > Estimation des performances acoustiques de quelques systèmes (cloisons sur ossature, plafonds en combles perdus, mur supports en béton/chanvre)

LA PRISE EN COMPTE DES PARAMÈTRES MÉCANIQUES EST PRIMORDIALE

- > Comportement « masse/ressort/masse »

Suite des travaux

CARACTÉRISATION DES PARAMÈTRES MÉCANIQUES

FINALISATION ET VALIDATION DE LA DÉMARCHE

- > Réalisation d'essais en laboratoire sur des maquettes à l'échelle du système
 - Cloisons
 - Doublages (sur parois béton et/ou maçonneries)
 - Combles perdues
 - Plafonds suspendus (sous dalle béton)
 - Murs façades et/ ou séparatifs
 - Traitement acoustique (enduits)
 - ...

Merci pour votre attention



Journées Techniques « Acoustique et Vibrations »
(Langueux 12 & 13 juin 2018)

