



**CSTB**  
le futur en construction



**CONVENTION CSTB-DHUP 2017  
FICHE ACTION 28  
PROPRIETES ACOUSTIQUES DES  
MATERIAUX BIOSOURCES**

**Rapport final**

Thibaut BLINET

Thierry FALWISANNER

Philippe GLÉ

Catherine GUIGOU CARTER

Elias KADRI

**Demandeur de l'étude**

Farid BOU-CHERIFI  
DGALN - DHUP  
Sous-Direction QC2  
La Grande Arche  
92055 PARIS LA DEFENSE CEDEX

N/Réf. DSC/2018-123/CG/ME

***Toute reproduction partielle susceptible de dénaturer le contenu du présent document, qu'il s'agisse d'une omission, d'une modification ou d'une adaptation engage la responsabilité du client vis-à-vis du CSTB et du CEREMA ainsi que des tiers concernés.***

# VERSION 1

Chaque version annule et remplace la précédente

Version	Date	Pages modifiées/ nature modifications
00	18/12/2018	
01	21/12/2018	Corrections à la suite de la réunion de clôture du 20/12/2018

## RESUME

Ce rapport présente les mesures de caractérisations des différents matériaux pris en compte dans cette étude, les mesures de performance acoustique de parois intégrant des matériaux biosourcés ainsi que les extensions de ces résultats pour des épaisseurs différentes ou d'autres matériaux.

Les résultats de cette étude sont publics et seront intégrés dans les bases de données à la fois du logiciel de prédiction de la performance acoustique des systèmes AcouSYS (propriétés des matériaux) et des logiciels de prédiction de la performance acoustique des bâtiments AcouBAT et AcouBATBIM (performances des systèmes) ; ces trois logiciels sont commercialisés par le CSTB.

---

## SOMMAIRE

---

<b>1 - OBJET.....</b>	<b>5</b>
<b>2 - CARACTERISATIONS AU NIVEAU MATERIAU.....</b>	<b>7</b>
2.1 - PARAMETRES ACOUSTIQUES .....	7
2.1.1 - Présentation des matériaux caractérisés.....	7
2.1.2 - Résultats .....	13
2.2 - PARAMETRES MECANIQUES .....	26
2.2.1 - Présentation des matériaux caractérisés.....	26
2.2.2 - Résultats .....	27
2.3 - RECAPITULATIF .....	28
<b>3 - CARACTERISATIONS AU NIVEAU SYSTEME .....</b>	<b>30</b>
3.1 - CLOISONS SUR OSSATURE METALLIQUE .....	30
3.1.1 - Cloisons 72/48.....	30
3.1.2 - Cloison 98/48.....	32
3.2 - DOUBLAGES INTERIEURS SUR OSSATURE METALLIQUE .....	33
3.2.1 - Mur support en béton.....	33
3.2.2 - Mur support en parpaings .....	34
3.3 - DOUBLAGE EXTERIEUR .....	36
3.4 - PLAFOND SUSPENDU.....	37
3.5 - COMBLE PERDU .....	39
3.5.1 - Isolation entre solives .....	40
3.5.2 - Isolation entre et au-dessus des solives .....	40
3.5.3 - Absorption acoustique.....	41
3.6 - TOITURE.....	43
3.7 - MURS EN BETON DE CHANVRE .....	44
3.7.1 - Mur de refend en béton de chanvre d'épaisseur 270 mm.....	45
3.7.2 - Mur de façade en béton de chanvre d'épaisseur 320 mm .....	46
3.8 - RECAPITULATIF .....	47
<b>4 - EXTENSION DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES DE SYSTEME .....</b>	<b>48</b>
4.1 - METHODE DE PREDICTION .....	48
4.1.1 - Outil de simulation : AcouSYS.....	48
4.1.2 - Données d'entrée .....	49
4.2 - VALIDATION DE LA METHODE : COMPARAISONS CALCUL/MESURE .....	49
4.2.1 - Cloisons sur ossature métallique.....	50

4.2.2 - Doublages intérieurs sur ossature métallique .....	53
4.2.3 - Doublage extérieur.....	57
4.2.4 - Plafond suspendu.....	58
4.2.5 - Combles perdus.....	59
4.2.6 - Toitures.....	65
4.2.7 - Murs en béton de chanvre.....	67
<b>4.3 - EXTRAPOLATION DES RESULTATS .....</b>	<b>72</b>
4.3.1 - Cloisons sur ossature métallique.....	72
4.3.2 - Doublages intérieurs sur ossature métallique .....	75
4.3.3 - Plafonds suspendus .....	85
4.3.4 - Combles perdus.....	87
4.3.5 - Absorption en combles perdus.....	90
4.3.6 - Toitures.....	94
4.3.7 - Murs en béton de chanvre.....	96
<b>5 - CONCLUSIONS .....</b>	<b>102</b>
<b>6 - REFERENCES.....</b>	<b>105</b>
<b>7 - ANNEXE A – METHODES DE CARACTERISATION .....</b>	<b>107</b>
7.1 - PARAMETRES ACOUSTIQUES AU NIVEAU MATERIAU.....	107
7.1.1 - Méthodes de caractérisation acoustiques utilisées .....	107
7.2 - PARAMETRES MECANQUES AU NIVEAU MATERIAU .....	109
7.2.1 - Méthodes de caractérisation mécaniques utilisées.....	110
7.3 - PERFORMANCE ACOUSTIQUE AU NIVEAU SYSTEME .....	112
7.3.1 - Indice d'affaiblissement acoustique $R$ et indice d'efficacité aux bruits aériens $\Delta R$ .....	112
7.3.2 - Indice d'efficacité aux bruits de choc $\Delta L$ .....	113
7.3.3 - Coefficient d'absorption acoustique $\alpha$ .....	114

---

## 1 - OBJET

---

Les travaux menés dans le cadre de cette étude concernent « la prédiction des caractéristiques des ouvrages et des systèmes en tenant en compte des produits biosourcés ». Ce rapport présente les résultats obtenus concernant la caractérisation de matériaux biosourcés et les évaluations (mesure et prédiction) de la performance acoustique de systèmes (c.à.d. de parois) intégrant des matériaux biosourcés.

Ces résultats sont publics et seront intégrés dans les bases de données à la fois du logiciel de prédiction de la performance acoustique des systèmes AcouSYS (propriétés des matériaux permettant d'évaluer la performance des systèmes ou parois) et des logiciels de prédiction de la performance acoustique des bâtiments AcouBAT et AcouBATBIM (performance des systèmes permettant d'évaluer la performance du bâtiment), utilisés par les bureaux d'étude acoustique et les bureaux de contrôle. De plus, la mise à disposition de ce rapport permettra aux éditeurs d'autres logiciels, aux bureaux d'étude acoustique et aux bureaux de contrôle d'utiliser les données directement. Ainsi, le travail de la maîtrise d'œuvre lors de la phase de conception vis-à-vis de solutions à base de matériaux biosourcés s'en trouvera fortement facilité.

Un premier rapport [Blinet et al, 2017] a concerné l'état de l'art des données disponibles sur les caractéristiques acoustiques des matériaux biosourcés ainsi que les performances acoustiques des systèmes intégrant ce type de matériaux. Cet état de l'art s'est basé à la fois sur des données internes à chacun des deux établissements (CEREMA et CSTB), mais aussi sur des données de la littérature. Sur cette base, des propositions étaient formulées sur les familles de matériaux biosourcés pour lesquels des informations acoustiques pertinentes ne sont pas disponibles, ainsi que les familles de systèmes composés en partie de matériaux biosourcés ne disposant pas de performances acoustiques connues.

Les échanges avec les acteurs du secteur ont permis de conforter ces propositions et de lister précisément les systèmes et les matériaux à tester en priorité. L'AICB et C2C sont particulièrement remerciés pour la fourniture et la réalisation de certaines parois testées en laboratoire. Malheureusement, le CF2B n'a pas pu contribuer à la campagne expérimentale en laboratoire sur les parois mais des caractérisations au niveau matériau ont bien eu lieu.

La caractérisation au niveau matériau pour obtenir les paramètres physiques des matériaux a été entreprise pour un large panel de matériaux biosourcés dans le but de mener des simulations pour évaluer la performance acoustique de ces matériaux intégrés dans différents systèmes. En effet le nombre de mesures en laboratoire étant limité, ces simulations sont nécessaires pour compléter et étendre les résultats ainsi obtenus. Les caractéristiques au niveau matériau sont indispensables comme données d'entrée des outils de simulation.

Ainsi la Section 2 de ce rapport présente les caractérisations effectuées au niveau matériau ; la Section 3 les résultats des mesures effectuées en laboratoire sur des systèmes (cloisons, doublages, plafonds suspendus, murs, combles perdus, toitures) intégrant les matériaux biosourcés. La Section 4 introduit la méthode de simulation pour l'extension des performances acoustiques, présente une validation de la méthode et une extension des résultats obtenus.

Au niveau scientifique, cette étude a déjà donné lieu à plusieurs communications. Notamment, des éléments préliminaires de cette étude ont fait l'objet d'un article et d'une présentation lors du 14<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique (Le Havre du 23 au 27 avril 2018) [Blinet et al, 2018] et lors du congrès international Euronoise 2018 (Héraklion, Crète du 27 au 31 mai 2018) [Glé et al, 2018]. Les résultats de cette étude vont être présentés dans un article et d'une présentation lors du congrès International Conference on Bio-Based Building Materials ICBBM 2019 qui se tiendra en juin 2019 à Belfast, UK.

On notera que d'autres travaux sont menés en parallèle sur les matériaux biosourcés et concernent plus spécifiquement les aspects environnementaux, thermo-hygrométriques et incendie avec le soutien de la DHUP.

---

## 2 - CARACTERISATIONS AU NIVEAU MATERIAU

---

On parle de caractérisation à l'échelle matériau lorsque des mesures sont réalisées indépendamment du système de montage qui pourrait être mis en œuvre in situ (suspentes de faux plafond, fixation à des rails ou montants métalliques pour des cloisons, renforts éventuels...). L'idée de l'échelle matériau fait aussi écho ici à des dimensions limitées, de l'ordre d'une dizaine de centimètre de côté, et donc particulièrement réduites par rapport à l'échelle d'un système du bâtiment telle une paroi.

Cette approche est intéressante dans la mesure où elle permet de caractériser très finement les phénomènes dissipatifs qui peuvent exister dans ces matériaux poreux (dissipations visco-inertielle, thermique et mécanique) et qui sont souvent combinés, dans des caractérisations à plus grande échelle, à d'autres effets (couplage multicouche, comportement mécanique de la paroi, transmissions parasites...). Pour autant, la caractérisation à l'échelle d'une paroi reste une étape indispensable à l'évaluation des performances de ces systèmes en situation réelle. La caractérisation à l'échelle matériau est pour sa part très importante vis-à-vis des simulations à mener étant donné que les paramètres mesurés font office de données d'entrée aux outils de simulation.

Les matériaux biosourcés étudiés ici sont donc caractérisés acoustiquement (propriétés relatives à un matériaux poreux) et mécaniquement (propriétés élastique et amortissante); les méthodes de caractérisation sont décrites respectivement dans la première et deuxième section de l'Annexe A.

### 2.1 - Paramètres acoustiques

Dans cette section, on s'intéresse aux paramètres acoustiques des matériaux biosourcés. Les méthodes de caractérisation ainsi que les approches de modélisation utilisées sont décrites en Annexe A. Les résultats de ces caractérisations sont présentés ci-dessous.

#### 2.1.1 - Présentation des matériaux caractérisés

Un grand nombre de matériaux a pu être caractérisé dans le cadre de cette étude. Pour davantage de lisibilité, ces derniers peuvent être regroupés dans les catégories suivantes :

- Fibres en vrac (fibres de chanvre, ouate, ...)
- Laines végétales (laines de bois, laines de chanvre, ...)
- Granulats en vrac (balles de céréales principalement)
- Bétons végétaux (bétons de chanvre)
- Pailles

Ces catégories sont détaillées dans les tableaux suivants.

**Tableau 2-1 : Fibres en vrac caractérisées.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Photo	Fabricants
JETFIB'NATUR	60	Fibres de chanvre en vrac		CAVAC BIOMATERIAUX
CHANVRE 3C L1	60	Fibres de chanvre longues en vrac - Chanvre roui de variété FEDORA 17 semé à 35 kg/ha, Battu, ensilé et tamisé		CHANVRIERS 3C
CHANVRE 3C L10	60	Fibres de chanvre longues en vrac - Chanvre peu roui de variété FEDORA 17 semé à 50 kg/ha, Battu, ensilé et tamisé		CHANVRIERS 3C
OUATE	50	Fibres de ouate de cellulose en vrac		CELLAOUATE
PM+	60	Laine en fibres de coton recyclé en vrac		LE RELAIS METISSE

**Tableau 2-2 : Laines végétales caractérisées.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Photo	Fabricants
BIOFIB CHANVRE	45 60	Laine en fibres de chanvre		CAVAC BIOMATERIAUX
BIOFIB OUATE	45 60	Laine en fibres naturelles de chanvre et de ouate (cellulose recyclée)		CAVAC BIOMATERIAUX
BIOFIB TRIO	45 60	Laine en fibres de chanvre, coton et lin		CAVAC BIOMATERIAUX
PM+	50	Laine en fibres de coton recyclé (85%), de liant polyester et d'adjuvants		LE RELAIS METISSE
Flex	40 60	Laine en fibres de bois		STEICO
PROTECT	40 60	Laine en fibres de bois		STEICO
INTEGRAL	40 60	Laine en fibres de bois		STEICO
UNIVERSAL	35	Laine en fibres de bois		STEICO

**Tableau 2-3 : Granulats en vrac caractérisés.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Photo	Fabricants
B2AV	50	Balle d'avoine tamisée (>T10), 2017		FAVRICHON
B2GE	50	Balle de grand épeautre tamisée (>T10), 2016		MOULIN DES MOINES
B2PE	50	Balle de petit épeautre tamisée (>T10), 2017		INCONNU
B2R_HD	50	Balle de riz haute densité tamisée (>T10), 2017		TOURTOULEN
B2R_NC	50	Balle de riz non compacté tamisée (>T10), 2017		TOURTOULEN
C2SA_CF	50	Cosse de sarrasin en cylindre, français, tamisée (>T10), 2017		INCONNU

C2SA_CI	50	Cosse de sarrasin en cylindre, import, tamisée (>T10), 2017		JP CLOTEAU
C2SA_MF	50	Cosse de sarrasin en meule, français, tamisée (>T10), 2017		MOULIN DE LA FATIGUE
C2SA_MI	50	Cosse de sarrasin en meule, import, tamisée (>T10), 2017		MOULIN DE LA FATIGUE
C2TO	50	Cosse de tournesol tamisée (>T10), 2017		SAIPOL LEZOUX

**Tableau 2-4 : Bétons végétaux caractérisés.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Photo	Fabricants
BETON A : TRADICAL- CHANVRIBAT	40	Béton banché avec chènevotte Chanvribat et liant Tradical		TRADICAL
BETON B : SAINT ASTIER - ISOCANNA	40	Béton projeté avec chènevotte Isocanna et liant Saint Astier		SAINT ASTIER

**Tableau 2-5 : Pailles caractérisées.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Photo	Fabricants
CERRI A	60	Paille en vrac, comprimée dans un cylindre		CERRI
CERRI B	60	Paille en vrac, comprimée dans un cylindre		CERRI
DIÉ	60	Paille en vrac, comprimée dans un cylindre		DIE
OIKOS	50	Paille en vrac, comprimée dans un cylindre		OIKOS

## 2.1.2 - Résultats

Les performances et paramètres acoustiques caractérisés à l'échelle matériau sont discutés pour les 5 catégories identifiées. Pour des raisons de clarté, seules les moyennes de ces valeurs sont présentées dans cette partie mais les dispersions relatives à chaque matériau peuvent être observées dans les documents annexes à ce rapport.

### 2.1.2.1 - Fibres en vrac

Les fibres en vrac peuvent être mises en œuvre suivant différents compactages, nous avons en conséquence réalisé les caractérisations de ces matériaux sur 2 à 3 masses volumiques différentes afin d'illustrer le spectre de performances correspondant.

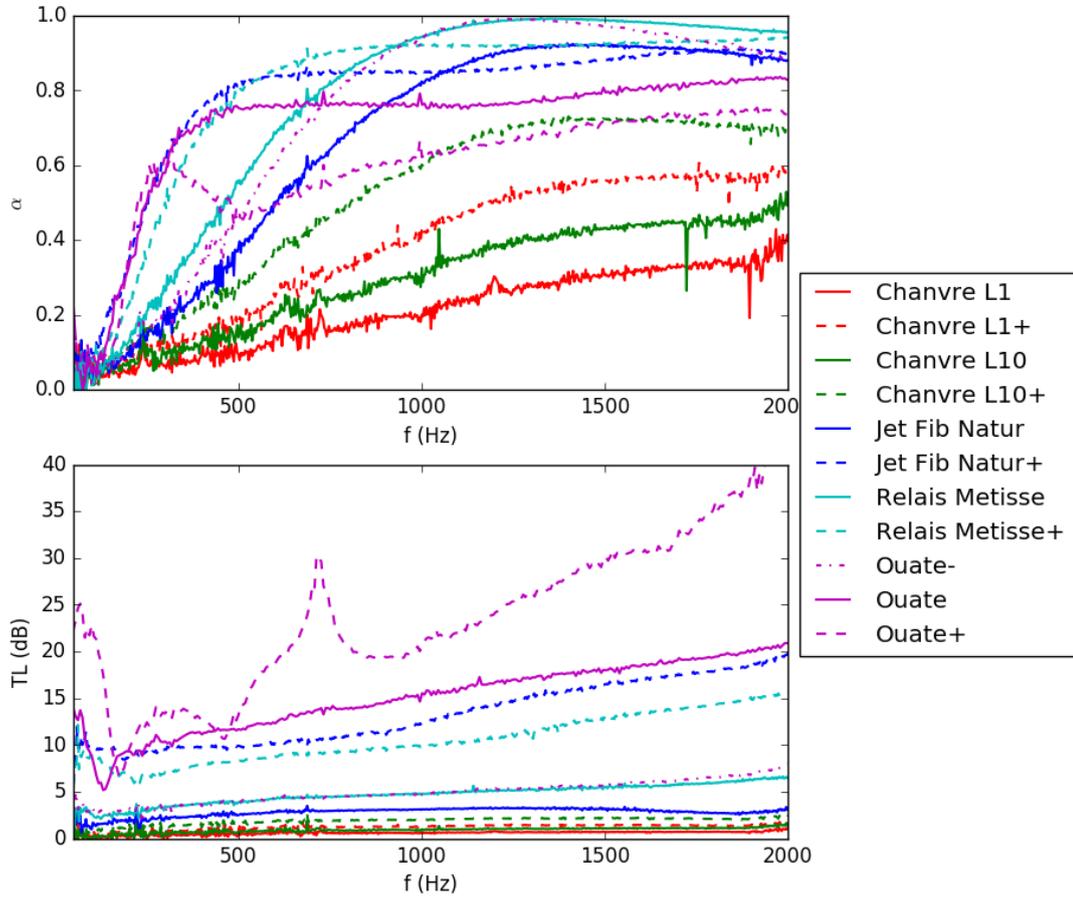
Pour chaque matériau et masse volumique, les essais ont été répétés sur 3 échantillons, puis ont été moyennés. Les résultats sont présentés à la Figure 2-1 et au Tableau 2-6.

Les performances caractérisées sont très étalées que ce soit en termes d'absorption acoustique ou d'affaiblissement, ce qui s'explique par la grande gamme de densité, et de résistivité associée (allant de 200 à plus de 100000 Nm<sup>-4</sup>s). Les fibres de chanvre L1 et L10 sont les moins résistives, du fait de la longueur importante des fibres et de l'élasticité du matériau sous compactage. Au contraire, la ouate et le coton recyclé en vrac (Relais Metisse) se compactent très facilement du fait de leur granulométrie, ce qui permet d'atteindre de forts niveaux d'absorption et d'affaiblissement. On constate enfin un effet très significatif de la masse volumique testée sur les performances de ces matériaux, ce qui pourrait se manifester à l'échelle du système mis en œuvre.

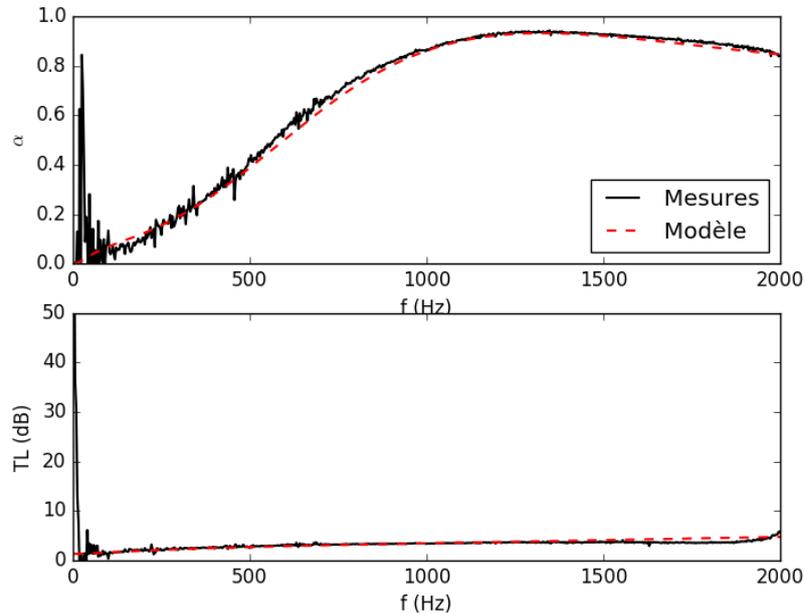
Ces matériaux ont été modélisés suivant l'approche JCAL qui reflète de façon très satisfaisante leur comportement comme le montre la Figure 2-2.

**Tableau 2-6 : Paramètres acoustiques des fibres en vrac caractérisées.**

Matériau	e (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Modèle	$\phi$	$\sigma$ (Ns/m <sup>4</sup> )	$\alpha_{\infty}$	$\Lambda$ (m)	$\Lambda'$ (m)	$k_0'$ (m <sup>2</sup> )
Relais Metisse	0,06	29,7	JCAL	0,98	5416	1,00	9,35E-05	1,39E-04	5,87E-09
Relais Metisse +	0,06	59,4	JCAL	0,96	23621	1,00	4,14E-05	7,65E-05	3,19E-09
Jetfib'Natur	0,06	39,8	JCAL	0,974	2377	1,00	1,01E-04	5,29E-04	1,61E-08
Jetfib'Natur +	0,06	133,7	JCAL	0,911	27262	1,00	2,08E-05	1,03E-04	4,20E-09
Chanvre L1	0,06	27,7	JCAL	0,982	219	1,04	6,93E-04	3,43E-03	8,66E-08
Chanvre L1 +	0,06	52,6	JCAL	0,965	600	1,11	3,15E-04	2,11E-03	4,62E-08
Chanvre L10	0,06	27,8	JCAL	0,981	352	1,01	4,42E-04	1,94E-03	4,88E-08
Chanvre L10 +	0,06	52,8	JCAL	0,965	1411	1,09	2,03E-04	1,37E-03	2,42E-08
Ouate -	0,05	34,2	JCAL	0,977	6288	1,00	5,69E-05	1,01E-04	7,29E-09
Ouate	0,05	68,4	JCAL	0,954	50423	1,92	3,33E-05	1,06E-04	2,72E-09
Ouate +	0,05	102,6	JCAL	0,932	116491	2,33	1,85E-05	1,46E-04	1,58E-08



**Figure 2-1 : Performances acoustiques des fibres en vrac caractérisées.**



**Figure 2-2 : Comparaison mesures-modélisation, exemple du matériau Jetfib'Natur.**

#### 2.1.2.2 - Laines végétales

Les résultats moyens relatifs aux laines végétales sont présentés dans les Figure 2-3, Figure 2-4 et Tableau 2-7. Les performances acoustiques sont regroupées en fonction du type de laine (laines de chanvre ou de coton / laines de bois).

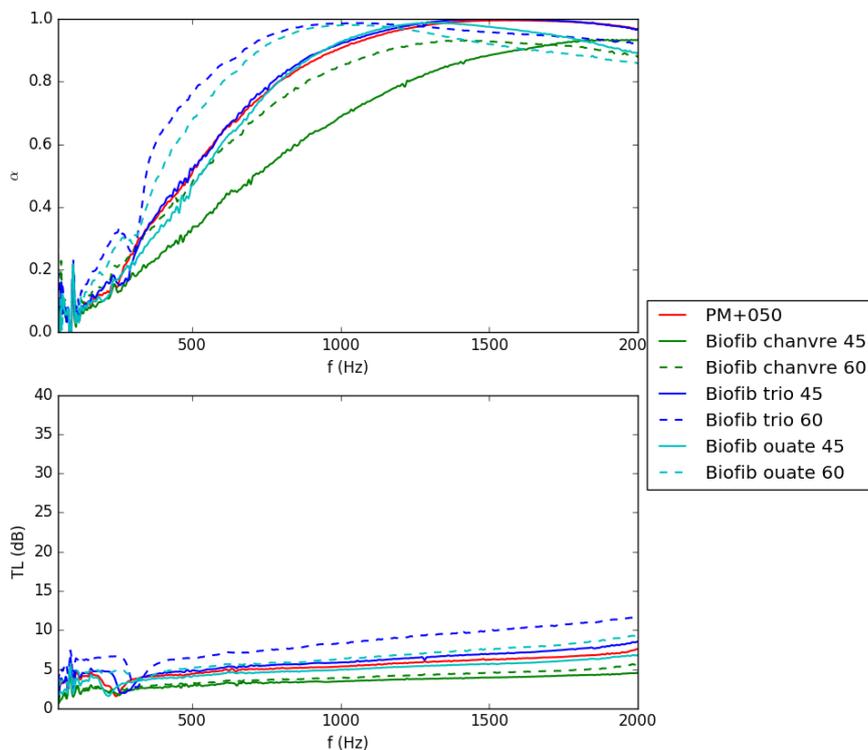
Pour chaque matériau, les panneaux ont été carottés en différentes positions de telle sorte que la dispersion des performances soit bien évaluée. Ainsi, 5 à 6 échantillons ont été systématiquement testés sur leurs deux faces, ce qui représente 10 ou 12 caractérisations.

Ces laines végétales sont toutes de bons absorbants acoustiques du fait de leur gamme de résistivité intermédiaire (4 000 à 100 000  $\text{Nm}^{-4}\text{s}$ ). Les laines de bois sont globalement de plus haute densité, ce qui leur confère une résistivité plus importante et un plus fort affaiblissement (La laine Universal 35 sort du lot de ce point de vue avec les valeurs de densité et de résistivité les plus importantes).

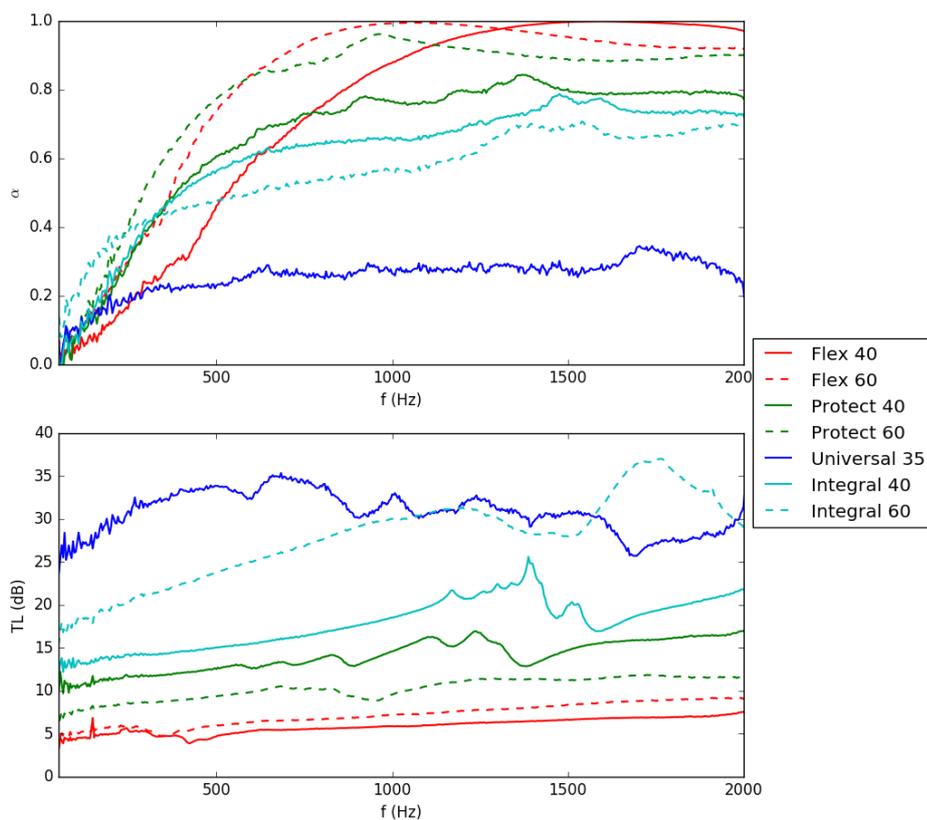
Un comportement élastique est clairement visible pour certaines de ces laines (avec une résonance type quart d'onde apparaissant entre 200 et 500 Hz). Concernant le comportement poreux, l'approche JCAL a été utilisée pour tous les matériaux à l'exception de la laine de bois Universal 35, trop résistive pour évaluer les paramètres complémentaires. La Figure 2-5 montre pour l'exemple PM+050 une comparaison modèle-mesure, et souligne la très bonne convergence de ces deux approches. Seule la résonance mécanique n'est pas prise en compte par cette modélisation reposant sur l'hypothèse de squelette rigide (ce phénomène est bien intégré au niveau système grâce à l'évaluation des paramètres mécaniques des matériaux).

**Tableau 2-7 : Paramètres acoustiques des laines végétales caractérisées.**

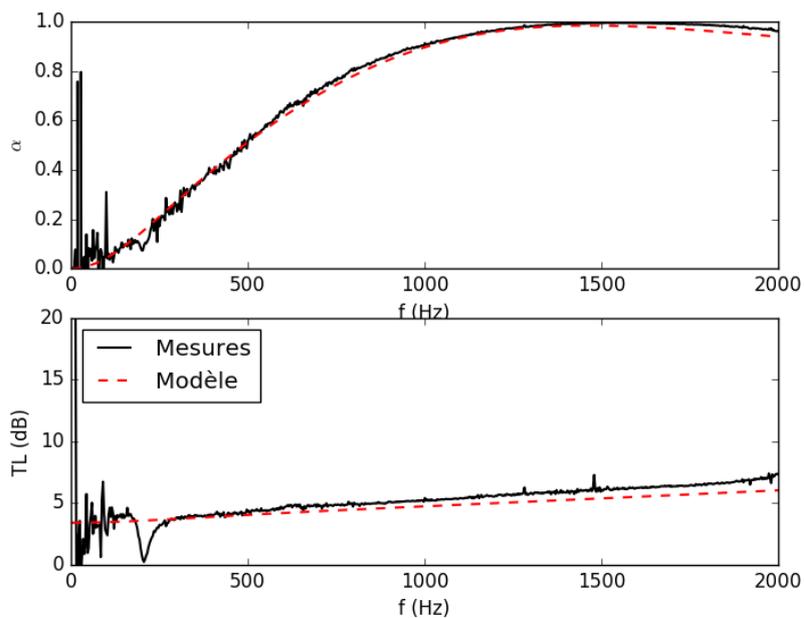
Matériau	$e$ (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Modèle	$\phi$	$\sigma$ (Ns/m <sup>4</sup> )	$\alpha_{\infty}$	$\Lambda$ (m)	$\Lambda'$ (m)	$k_0'$ (m <sup>2</sup> )
PM+050	0,051	31,2	JCAL	0,980	9271	1,00	7,08E-05	1,74E-04	5,68E-09
Biofib Chanvre 45	0,045	42,1	JCAL	0,970	4747	1,00	1,11E-04	3,08E-04	8,91E-09
Biofib Chanvre 60	0,060	40,8	JCAL	0,972	3934	1,00	1,22E-04	3,85E-04	8,79E-09
Biofib Trio 45	0,048	35,5	JCAL	0,978	12096	1,01	6,02E-05	2,32E-04	4,17E-09
Biofib Trio 60	0,061	37,0	JCAL	0,974	13516	1,02	5,51E-05	2,62E-04	3,92E-09
Biofib Ouate 45	0,047	48,6	JCAL	0,966	7074	1,22	7,23E-05	2,32E-04	5,40E-09
Biofib Ouate 60	0,059	49,6	JCAL	0,968	9214	1,34	8,47E-05	2,43E-04	7,64E-09
Flex 40	0,042	68,3	JCAL	0,954	14169	1,01	5,36E-05	1,09E-04	3,49E-09
Flex 60	0,062	61,3	JCAL	0,959	11270	1,00	5,96E-05	9,99E-05	4,61E-09
Protect 40	0,040	121,5	JCAL	0,919	52272	1,16	2,62E-05	2,47E-04	2,88E-09
Protect 60	0,059	82,5	JCAL	0,945	20523	1,06	4,17E-05	2,32E-04	3,25E-09
Universal 35	0,036	271,5	MIKI	0,819	400000				
Integral 40	0,040	147,8	JCAL	0,901	77724	1,00	1,37E-05	1,90E-04	2,64E-09
Integral 60	0,060	147,6	JCAL	0,902	99501	1,00	1,08E-05	2,25E-04	1,28E-08



**Figure 2-3 : Performances acoustiques des laines végétales caractérisées.**



**Figure 2-4 : Performances acoustiques des laines de bois caractérisées.**



**Figure 2-5 : Comparaison mesures-modélisation, exemple du matériau PM+050.**

### 2.1.2.3 - **Granulats en vrac**

Les granulats biosourcés considérés ici sont des balles de céréales ou des cosses, et correspondent à l'enveloppe des graines se développant au sein de ces plantes (on parle généralement de balles pour les céréales<sup>1</sup>). Ces granulats sont utilisés sous différentes formes (vrac, bétons, enduits, panneaux) à des fins principalement d'isolation thermique dans les bâtiments.

De nombreux types de granulats nous ont été fournis dans cette étude, ce qui nous permet d'apprécier assez justement le spectre de performances associé à ces matériaux. Par ailleurs, étant donnée l'application vrac visée ici, trois densités ont été testés pour chaque matériau. Les essais ont été répétés 3 fois pour chaque matériau et chaque densité. Les résultats moyennés sont présentés au

---

<sup>1</sup> [http://www.batirenballes.fr/quoi\\_grains\\_vetus.html](http://www.batirenballes.fr/quoi_grains_vetus.html)

Tableau **2-8** et à la Figure 2-6.

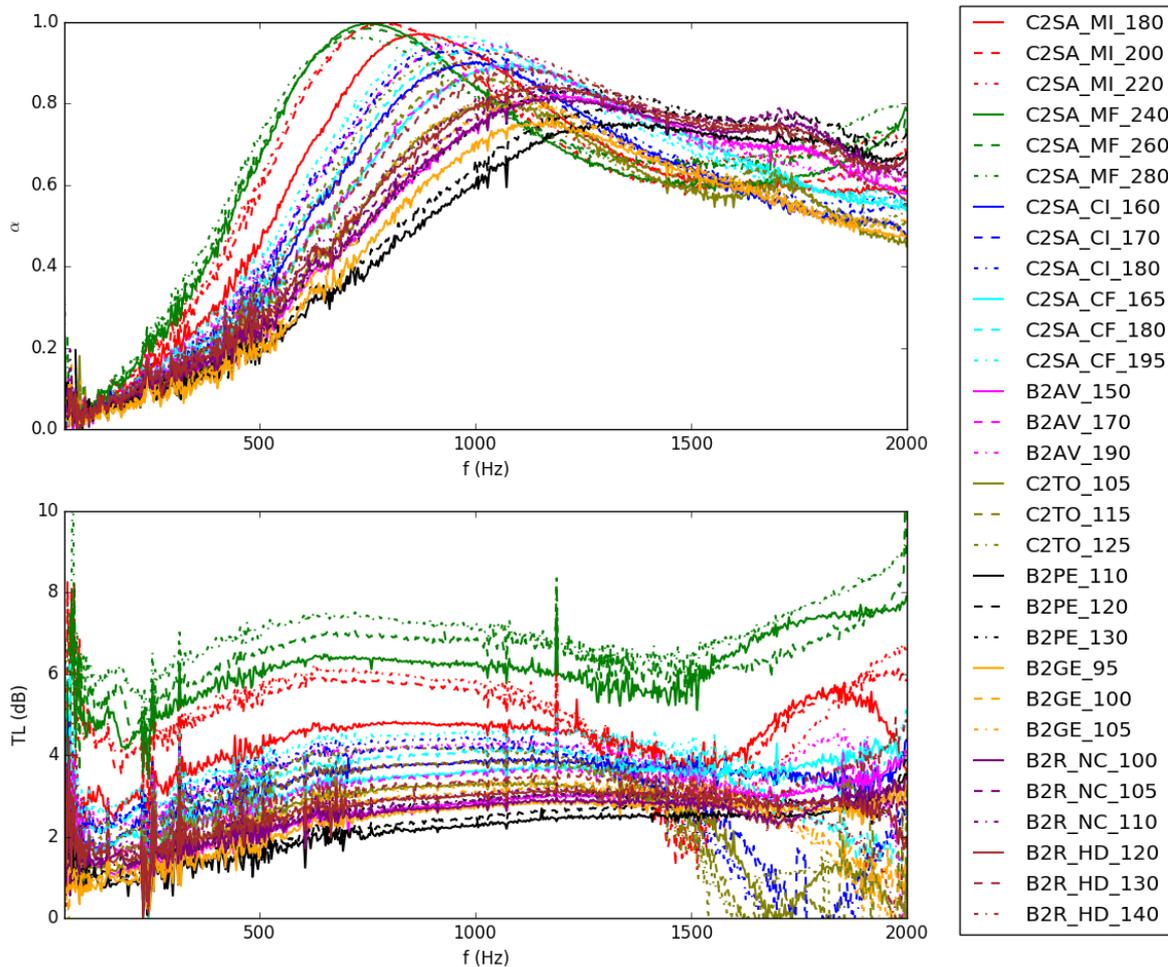
Les performances de ces granulats sont assez nuancées sur les plans de l'absorption et de l'affaiblissement. Cela est à mettre en lien avec les différentes granulométries rencontrées et les gammes de densité applicables associées. Ainsi, plus les granulats sont de faibles dimensions, plus le matériau s'arrange facilement et permet de monter en densité, en résistivité et donc en absorption et affaiblissement. Les cosses de sarrasin présentent pour cette raison les meilleures performances.

De plus, on constate un effet systématique mais modéré de la densité pour un même matériau, entraînant un décalage du pic d'absorption vers les basses fréquences et un gain de l'affaiblissement.

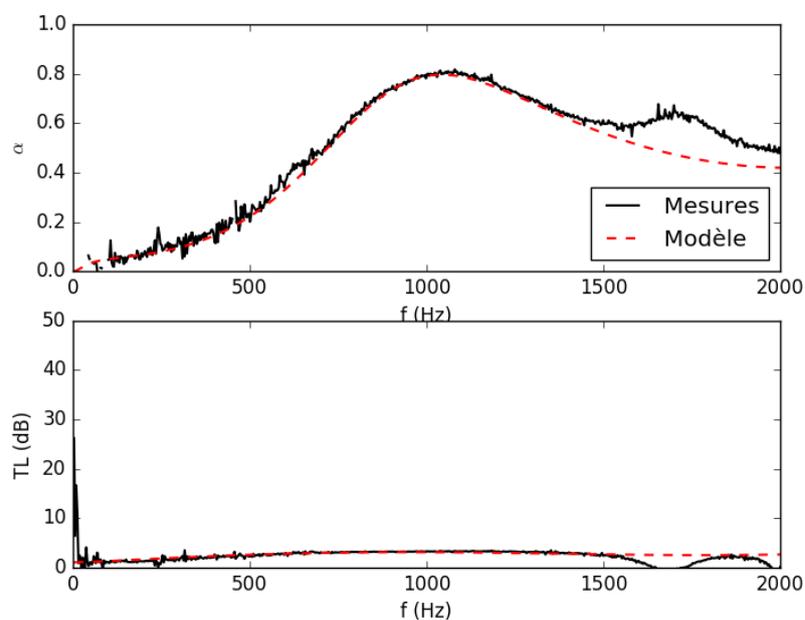
L'approche JCAL est utilisée et donne satisfaction pour la modélisation, mais on peut constater qu'une résonance apparaît de façon plus ou moins marquée en fonction des matériaux entre 1500 et 2000Hz (voir le cas de la cosse de tournesol Figure 2-7). L'origine de cette résonance pourrait être liée à un phénomène mécanique ou à une résonance interne, les balles ou cosses formant des cavités ouvertes pouvant jouer un rôle de résonateur.

**Tableau 2-8 : Paramètres acoustiques des balles de céréales et cosses caractérisées.**

Matériau	e (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Modèle	$\phi$	$\sigma$ (Ns/m <sup>2</sup> )	$\alpha_{\infty}$	$\Lambda$ (m)	$\Lambda'$ (m)	$k_0'$ (m <sup>2</sup> )
B2AV_150	0,050	150	JCAL	0,900	2281	1,83	2,11E-04	5,87E-04	3,22E-08
B2AV_170	0,050	170	JCAL	0,887	3497	2,07	1,83E-04	4,78E-04	2,78E-08
B2AV_190	0,050	190	JCAL	0,873	4950	2,26	1,55E-04	4,58E-04	2,44E-08
B2GE_95	0,050	95	JCAL	0,937	1545	2,28	3,09E-04	2,78E-03	5,63E-08
B2GE_100	0,050	100	JCAL	0,933	1818	2,46	2,74E-04	2,58E-03	7,50E-08
B2GE_105	0,050	105	JCAL	0,930	2016	2,51	2,59E-04	2,19E-03	5,78E-08
B2PE_110	0,050	110	JCAL	0,927	1615	1,64	2,50E-04	1,83E-03	3,47E-08
B2PE_120	0,050	120	JCAL	0,920	1924	1,63	2,19E-04	1,50E-03	3,22E-08
B2PE_130	0,050	130	JCAL	0,913	2566	1,78	2,02E-04	1,45E-03	2,99E-08
B2R_HD_120	0,050	120	JCAL	0,920	3073	1,93	2,21E-04	6,41E-04	2,81E-08
B2R_HD_130	0,050	130	JCAL	0,913	3492	2,00	1,85E-04	5,71E-04	2,60E-08
B2R_HD_140	0,050	140	JCAL	0,907	4823	2,18	1,69E-04	6,09E-04	2,81E-08
B2R_NC_100	0,050	100	JCAL	0,933	2691	1,89	2,20E-04	7,00E-04	3,30E-08
B2R_NC_105	0,050	105	JCAL	0,930	2922	1,91	2,08E-04	6,26E-04	3,20E-08
B2R_NC_110	0,050	110	JCAL	0,927	3070	1,93	1,93E-04	5,90E-04	3,06E-08
C2SA_CF_165	0,050	165	JCAL	0,890	3538	2,09	1,75E-04	6,57E-04	3,20E-08
C2SA_CF_180	0,050	180	JCAL	0,880	4516	2,15	1,43E-04	5,35E-04	3,39E-08
C2SA_CF_195	0,050	195	JCAL	0,870	5879	2,33	1,41E-04	4,69E-04	2,36E-08
C2SA_CI_160	0,050	160	JCAL	0,893	3687	2,41	1,83E-04	6,27E-04	3,26E-08
C2SA_CI_170	0,050	170	JCAL	0,887	4669	2,49	1,51E-04	8,88E-04	5,44E-08
C2SA_CI_180	0,050	180	JCAL	0,880	4888	2,36	1,29E-04	1,03E-03	4,94E-08
C2SA_MF_240	0,050	240	JCAL	0,840	11272	3,38	1,73E-04	4,02E-04	1,53E-08
C2SA_MF_260	0,050	260	JCAL	0,827	13538	2,86	9,77E-05	3,57E-04	2,02E-08
C2SA_MF_280	0,050	280	JCAL	0,813	15816	3,14	1,19E-04	3,10E-04	1,30E-08
C2SA_MI_180	0,050	180	JCAL	0,880	5991	2,86	1,90E-04	7,49E-04	2,37E-08
C2SA_MI_200	0,050	200	JCAL	0,867	9103	3,07	1,27E-04	1,34E-03	3,52E-08
C2SA_MI_220	0,050	220	JCAL	0,853	10304	2,89	1,36E-04	6,39E-04	2,45E-08
C2TO_105	0,050	105	JCAL	0,930	2318	2,63	2,82E-04	3,40E-03	7,89E-08
C2TO_115	0,050	115	JCAL	0,923	2952	2,80	2,24E-04	2,51E-03	7,54E-08
C2TO_125	0,050	125	JCAL	0,917	3793	2,99	2,21E-04	2,58E-03	7,20E-08



**Figure 2-6 : Performances acoustiques des balles de céréales et cosses caractérisées.**



**Figure 2-7 : Comparaison mesures-modélisation, exemple du matériau C2TO\_105.**

#### 2.1.2.4 - Bétons végétaux

Deux bétons de chanvre ont été réalisés dans le cadre de cette étude. Des enduits ont été fabriqués par la même occasion mais n'ont pas fait l'objet de caractérisations à l'échelle matériau, ces derniers étant trop résistifs pour être caractérisés en tant que matériau poreux (Dans ce cas, les caractéristiques mécaniques suffisent pour les prendre en compte dans le cadre de la modélisation à l'échelle du système). Les essais ont ici été réalisés sur 4 à 5 échantillons, sur les deux faces de ces derniers. Les caractéristiques moyennées des bétons de chanvre sont présentées dans le Tableau 2-9 et la Figure 2-8.

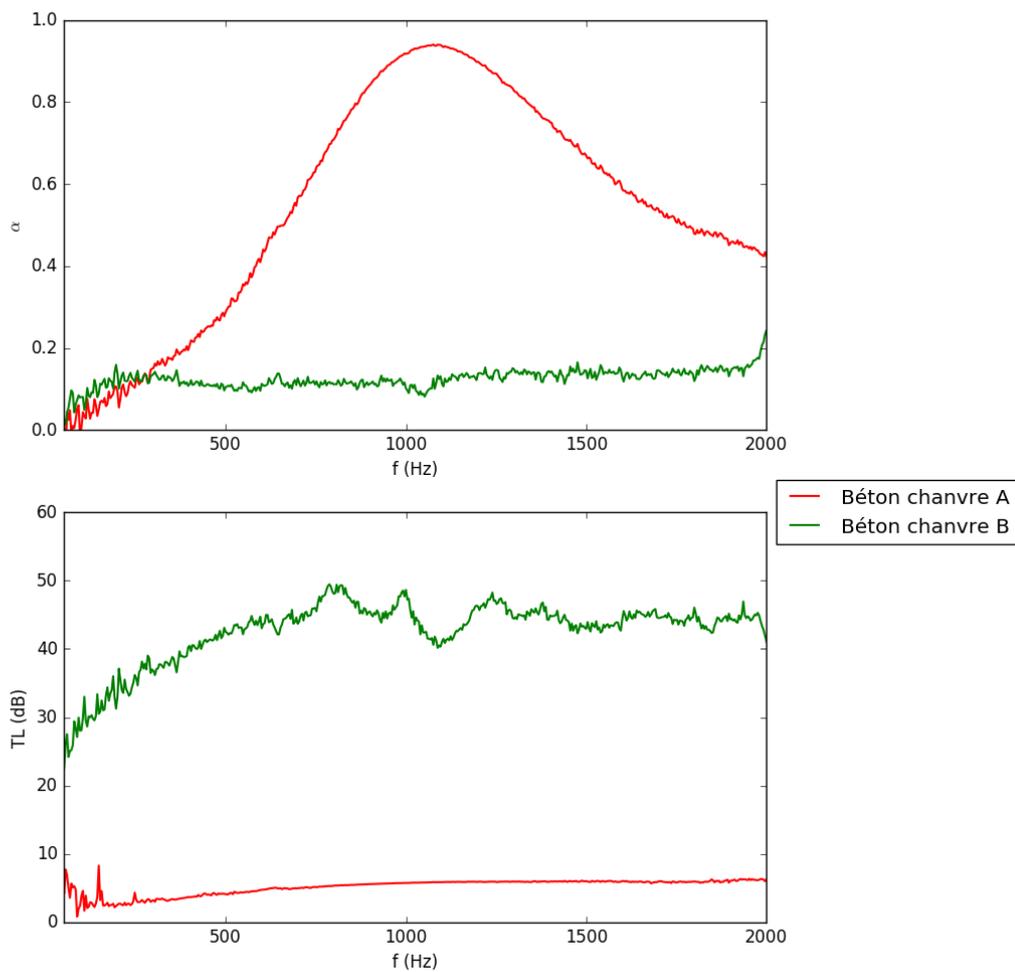
On constate pour commencer que les densités de ces bétons sont très différentes et ne correspondent pas à la mise en œuvre appliquée à l'échelle système, la projection permettant généralement d'atteindre des densités plus faibles qu'en banchage (Le béton A est banché et le B projeté). Cela s'explique par le fait que les échantillons à l'échelle matériau ont été moulés en parallèle de la fabrication des murs de plus grandes dimensions, et qu'une mise en œuvre 'similaire' n'était pas possible du fait de la faible dimension des moules. L'utilisation directe de ces paramètres pour l'échelle système n'est donc pas possible. 4 à 5 échantillons ont été caractérisés, sur les deux faces, pour ces matériaux.

Les performances caractérisées sont en ligne avec les densités des échantillons, et soulignent deux comportements quasi extrêmes rencontrés dans les bétons de chanvre : Le béton A est très léger et poreux avec une bonne absorption et un affaiblissement limité, alors que le béton B est plus dense et très fermé, ce qui lui confère un comportement assez réfléchissant et isolant.

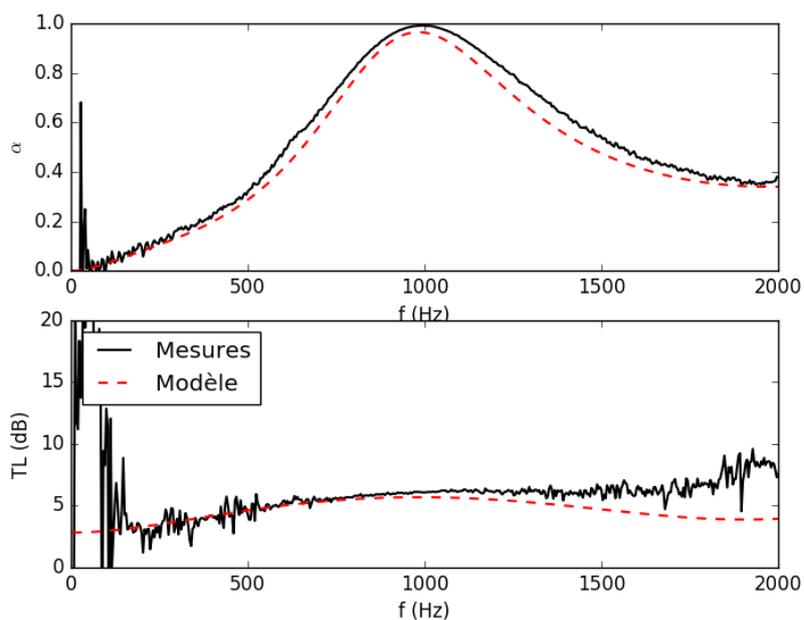
La modélisation de ces bétons a été réalisée grâce à l'approche JZK, en se basant sur la porosité active  $\phi_{acou}$  des matériaux, correspondant à une porosité dite interparticule [Glé, 2013] (différente de la porosité ouverte  $\phi$  de ces derniers). Un exemple pour le Béton de chanvre A présenté Figure 2-9 souligne un bon accord entre les mesures réalisées et cette approche simplifiée.

**Tableau 2-9 : Paramètres acoustiques des bétons de chanvre caractérisés.**

Matériau	$e$ (m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Modèle	$\phi_{acou}$	$\sigma$ (Ns/m <sup>4</sup> )	$\alpha_{\infty}$	$\Lambda$ (m)
Béton chanvre A	0,042	285,0	JZK	0,68	4571	3,2	3,09E-04
Béton chanvre B	0,043	574,0	JZK	0,30	380000	2,5	4,60E-06



**Figure 2-8 : Performances acoustiques des bétons de chanvre caractérisés.**



**Figure 2-9 : Comparaison mesures-modélisation, exemple du matériau Béton chanvre A.**

### 2.1.2.5 - Pailles

4 variétés de paille ont enfin été testées. Ces pailles ont diverses origines et caractéristiques (dimensions, densités, couleur). Elles ont été caractérisées en incidence perpendiculaire à la direction des pailles, à l'aide de moules préparés par les soins du RFCP (des moules PVC ont été utilisés, en fermant les extrémités par des filets transparents acoustiquement. Sans l'aide de ce dispositif, les mesures n'auraient pas été possibles, la paille ayant tendance à se décompacter très facilement. Les essais ont ainsi pu reproduire une configuration de paille proche des matériaux utilisés en construction, de l'ordre de  $100 \text{ kg.m}^{-3}$ . Pour chaque type de paille, 3 échantillons et leurs 2 faces ont été caractérisés.

Sur la base des résultats présentés Tableau 2-10 et Figure 2-10, on constate un comportement similaire entre les 4 natures de paille sur les performances acoustiques. L'absorption est très intéressante pour ces matériaux avec des coefficients assez élevés sur la plage de fréquence expérimentale. L'affaiblissement reste très limité (~5dB) en raison de la faible masse volumique. Enfin, une résonance mécanique est systématiquement visible et située entre 300 et 700 Hz (cette résonance n'apparaît pas clairement sur les performances moyennées mais ressort sur les courbes individuelles des matériaux).

La modélisation de la paille n'est pas triviale du fait de la nature de ce matériau (fibres creuses). En première approche, une modélisation en simple porosité a été utilisée en se basant sur la méthode JZK basée sur une porosité acoustique (inférieure à la porosité ouverte plutôt de l'ordre de 90 à 95% ici). L'exemple présenté Figure 2-12 pour la paille Cerri B montre que l'approche est assez satisfaisante à l'exception de la résonance mécanique négligée autour de 500Hz. Ce travail pourrait néanmoins être poursuivi avec une analyse approfondie et une modélisation multi-échelle plus fidèle du comportement réel de la paille.

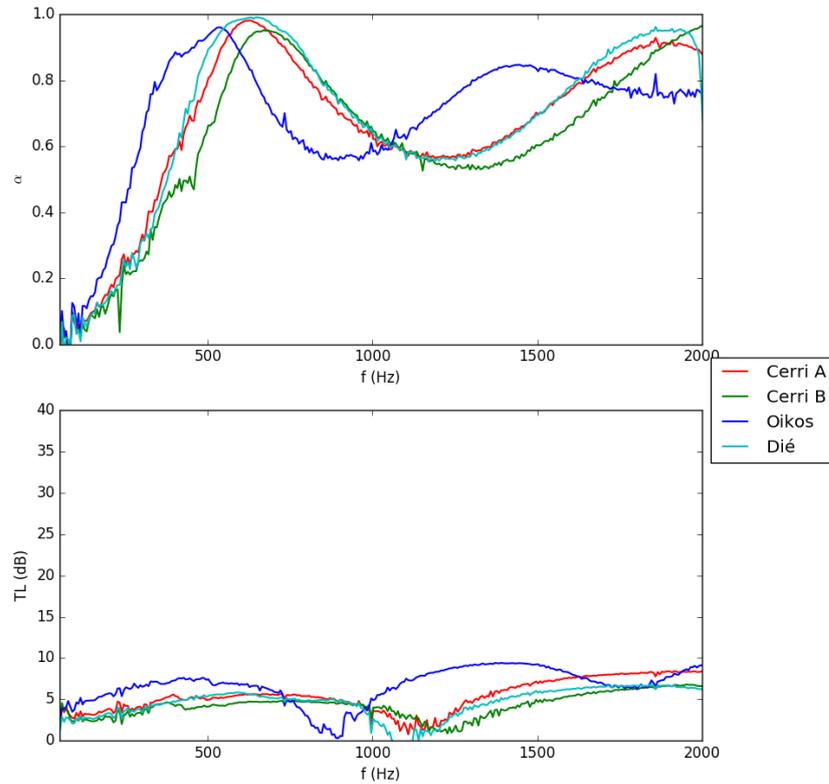
**Tableau 2-10 : Paramètres acoustiques des pailles caractérisées.**

Matériau	e (m)	$\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Modèle	$\phi_{acou}$	$\sigma$ ( $\text{Ns/m}^4$ )	$\alpha_{\infty}$	$\Lambda$ (m)
<b>Cerri A</b>	0,073	105	JZK	0,731	4678	2,20	1,72E-04
<b>Cerri B</b>	0,071	90	JZK	0,751	3506	2,30	2,35E-04
<b>Dié</b>	0,080	81	JZK	0,698	3290	1,77	1,40E-04
<b>Oikos</b>	0,083	110	JZK	0,691	5785	1,99	8,89E-05

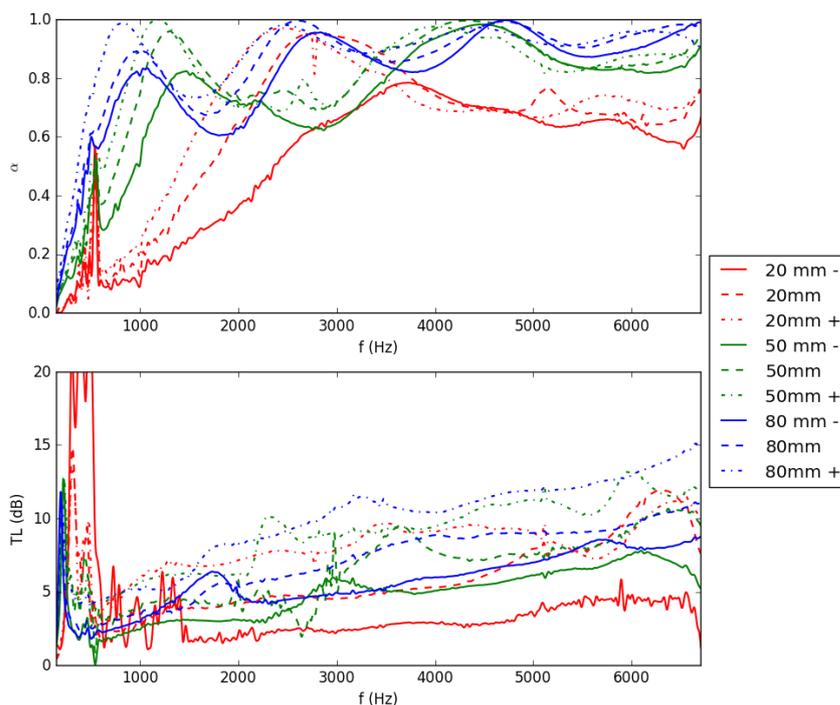
Par ailleurs, la paille est caractérisée par une anisotropie très prononcée, les brins de paille étant positionnés dans une configuration quasi-parallèle. Des mesures complémentaires ont donc été menées sur un type de paille (Cerri A) avec une incidence parallèle aux fibres afin d'évaluer les différences de comportement par rapport au cas standard en incidence perpendiculaire. Les résultats sont présentés sur la Figure 2-11. Les mesures dans ce cas ont été réalisées avec un tube de 30mm de diamètre sur une gamme de fréquence [500 ; 6700 Hz]. 3 épaisseurs (20, 50 et 80 mm) ont été testées pour trois densités dans chaque cas, allant de 110 à 220  $\text{kg.m}^{-3}$ . Si les performances en affaiblissement restent du

<sup>2</sup> <http://rfcp.fr/>

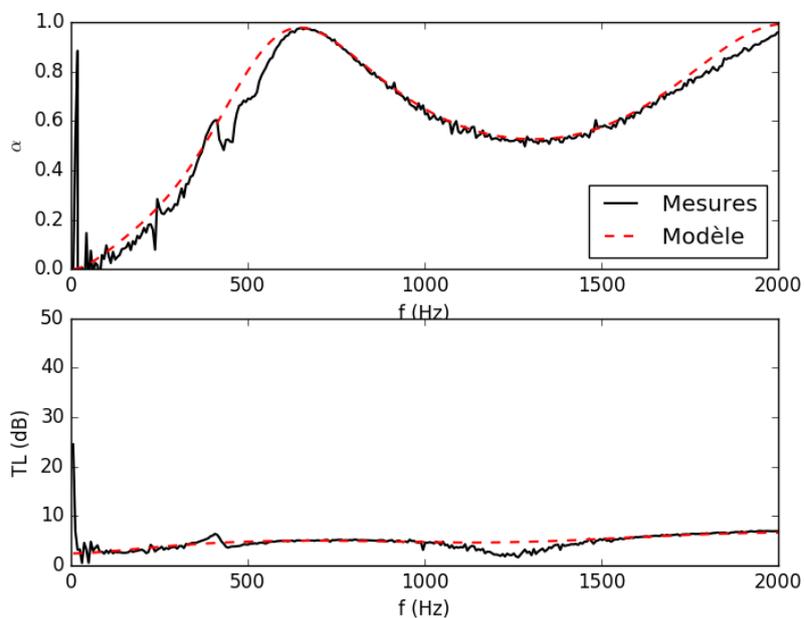
même niveau que précédemment, on observe des pics d'absorption particulièrement larges résultant d'un effet combiné des pores inter- et intra-paille. Cela confère au matériau un comportement d'absorbant large bande particulièrement intéressant qu'il serait intéressant d'approfondir et d'exploiter pour des applications en correction.



**Figure 2-10 : Performances acoustiques des pailles caractérisées – incidence perpendiculaire.**



**Figure 2-11 : Performances acoustiques de la paille Cerri A - incidence parallèle.**



**Figure 2-12 : Comparaison mesures-modélisation, exemple du matériau Cerri B.**

## 2.2 - Paramètres mécaniques

Dans cette section, on s'intéresse aux paramètres mécaniques des matériaux biosourcés. Les méthodes de caractérisation sont décrites à l'Annexe A. Les résultats de ces caractérisations sont présentés ci-dessous.

### 2.2.1 - Présentation des matériaux caractérisés

Les matériaux biosourcés caractérisés mécaniquement sont présentés dans les tableaux suivants. L'ensemble de ces matériaux ont été mis en œuvre dans les systèmes de construction caractérisés à l'échelle du système (voir Section 3).

**Tableau 2-11 : Matériaux biosourcés caractérisés mécaniquement en termes de raideur dynamique.**

Référence	Épaisseur (mm)	Type	Fabricants
BIOFIB TRIO	45 145	Panneaux de laine en fibres de chanvre, coton et lin	CAVAC BIOMATERIAUX
BIOFIB OUATE	45 100	Panneaux de laine en fibres naturelles de chanvre et de ouate (cellulose recyclée)	
BIOFIB CHANVRE	45 100	Panneaux de laine en fibres de chanvre	
JETFIB'NATUR	40 140	Laine en fibres de chanvre en vrac	
METISSE PM	45 50 100 145	Panneaux de laine en fibres de coton recyclé (85%), de liant polyester et d'adjuvants	LE RELAIS METISSE
Protect L Dry	140	Panneaux en fibres de bois	STEICO
Flex F038	80 145		
Universal	35		

**Tableau 2-12 : Matériaux biosourcés caractérisés mécaniquement en termes d'élasticité longitudinale.**

Référence	Type	Fabricants
PF 70	Enduit 1 - Enduit chaux-grise	TRADICAL
COLORCHAUSABLE	Enduit 2 – Liant à la chaux naturelle	SAINT ASTIER
CHANVRIBAT	Béton de chanvre 1	TRADICAL
ISOCANNA	Béton de chanvre 2	SAINT ASTIER

## 2.2.2 - Résultats

Le tableau ci-dessous présente l'ensemble des résultats de mesures mécaniques obtenus sur les matériaux biosourcés caractérisés.

**Tableau 2-13 : Caractéristiques mécaniques des matériaux biosourcés étudiés.**

Référence	Épaisseur (mm)	Densité* (kg/m <sup>3</sup> )	Module de Young (MPa)		Facteur d'amortissement (%)	
			Sous 2 kg	Sous 4 kg	Sous 2 kg	Sous 4 kg
BIOFIB TRIO	45	38	0,04	0,07	12,8	9,6
	145	38	0,06	0,08	7,6	5,4
BIOFIB OUATE	45	45	0,04	0,06	4,5	3,9
	100	51	0,05	0,07	6,3	5,6
BIOFIB CHANVRE	45	53	0,04	0,05	7,7	5,5
	100	43	0,06	0,07	9,3	10,3
METISSE PM	45	24	0,03	0,05	8,9	12,4
	50	30	0,03	0,05	6,4	7,8
	100	31	0,04	0,06	4,3	6,5
	145	28	0,04	0,05	5,9	7,8
JETFIB'NATUR**	40	136	0,05	0,06	17,7	16,0
	140	89	0,10	0,17	18,0	16,4
Protect L Dry	140	112	1,09	1,28	6,6	5,3
Flex F038	80	58	0,10	0,13	8,2	9,8
	145	59	0,09	0,12	8,0	7,0
Universal	35	290	1,21	1,96	17,0	12,3
PF 70	/	1 774	3 770		/	
COLORCHAUSABLE	/	1 622	4 685			
CHANVRIBAT**	/	314	/			
ISOCANNA	/	511	642			

\* Mesurée sur échantillons

\*\* Échantillons ou résultats inexploitable

Pour information, la caractérisation mécanique de matériaux en vrac (type produit JETFIB'NATUR) s'est avérée délicate. En effet, les caractéristiques mécaniques de ce type de produit étant fortement dépendant de son agencement (épaisseur, densité), les résultats obtenus ont présenté de fortes dispersions et n'ont donc pu être exploités en l'état.

En termes de résultats, les laines en panneaux présentent des modules d'élasticité et des facteurs d'amortissement relativement proches.

## 2.3 - Récapitulatif

Une synthèse des caractérisations mécaniques (paramètres obtenus sous la plus faible charge, soit 2 kg) et acoustiques réalisées sur les matériaux biosourcés étudiés est présentée respectivement Tableau 2-14 et Tableau 2-15. Ces valeurs serviront, par la suite, de données d'entrée aux simulations réalisées à l'échelle des systèmes (voir Section 4).

**Tableau 2-14 : Paramètres mécaniques des différents matériaux modélisés et utilisés comme données d'entrée pour les simulations.**

Produit	Référence	Densité $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Coef. Poisson $\nu$ (-)	Module de Young E (MPa)	Facteur de pertes $\eta$ (%)
Panneaux de laines	BIOFIB TRIO	30	0,00	0,06	5
	BIOFIB OUATE	45		0,05	5
	BIOFIB CHANVRE	40		0,04	7
	METISSE PM	25		0,035	7
Panneaux en fibres de bois	Protect L Dry	110		1,09	10
	Flex F038	55		0,09	8
	Universal	290		1,21	15
Laines en vrac	JETFIB'NATUR	20		0,033*	7*
	CELLAOUATE	30		0,033*	7*
Enduits	PF 70	1 775		0,2	3 770
	COLORCHAUSABLE	1 620	4 685		1*
Bétons chanvre	CHANVRIBAT	315	0,35	47,5*	6*
	ISOCANNA	510		5 500*	1*

\* Valeurs obtenues par recalage/estimation

**Tableau 2-15 : Paramètres acoustiques des différents matériaux biosourcés modélisés et utilisés comme données d'entrée pour les simulations.**

Produit	Référence	Résistivité $\sigma$ (Pa.s/m <sup>2</sup> )	Porosité $\phi$ (—)	Tortuosité $\alpha^\infty$ (—)	Longueurs caractéristiques	
					Visqueuse $\Lambda$ (μm)	Thermique $\Lambda'$ (μm)
Panneaux de laines	BIOFIB TRIO	12 800	0,98	1,00	60	250
	BIOFIB OUATE	8 140	0,97	1,25	80	235
	BIOFIB CHANVRE	4 340	0,97	1,00	120	345
	METISSE PM	9 270	0,98	1,00	70	175
Panneaux en fibres de bois	Protect L Dry	135 000	0,8	1,00	120	260
	Flex F038	13 000*	0,95*	1,00*	55*	105*
	Universal	400 000	0,82	1,00*	120*	260*
Laines en vrac	JETFIB'NATUR	1 000 *	0,9	1,00	200*	1 000*
	CELLAOUATE	4 000 *	0,98	1,00	70*	100*
Bétons chanvre	CHANVRIBAT	2 000 *	0,7	1,15	155	250
	ISOCANNA	15 000 *	0,5	4,4	70	140

\* Valeurs obtenues par recalage/estimation

---

### 3 - CARACTERISATIONS AU NIVEAU SYSTEME

---

Dans cette section, les résultats des mesures en laboratoire sur des systèmes intégrant des matériaux biosourcés sont présentés. Les méthodes de mesurage sont présentées en Annexe A. Les dimensions des systèmes testés sont indiquées pour chaque paroi.

Un ensemble représentatif de systèmes standards du bâtiment a été sélectionné pour la réalisation de ces essais en laboratoire ; il intègre des parois verticales et horizontales :

- Parois verticales
  - o Cloison sur ossature métallique,
  - o Doublage intérieur et extérieur sur voile béton et mur maçonné en bloc de béton creux,
  - o Mur en béton de chanvre.
- Parois horizontales
  - o Plafond suspendu sous dalle support en béton,
  - o Comble perdu avec et sans plancher,
  - o Toiture

Des mesures du coefficient d'absorption en champ diffus ont de plus été réalisées pour les isolants mis en œuvre dans les essais de combles perdus.

#### 3.1 - Cloisons sur ossature métallique

Le premier système considéré correspond à une cloison sur ossature métallique M48/R48 avec une simple et double couche de BA13, soit respectivement une cloison 72/48 et 98/48 avec un isolant de 45 mm de type biosourcé. Deux types d'isolant biosourcé semi-rigide en panneau ont été testés : un isolant en fibres de chanvre (BIOFIB CHANVRE 45) et un isolant en fibres de chanvre, lin et coton mélangées (BIOFIB TRIO 45). Les dimensions de la cloison sont de 4,18 m x 2,47 m (largeur x hauteur).

##### 3.1.1 - Cloisons 72/48

La Figure 3-1 montre une description de la cloison 72/48 et la Figure 3-2 l'indice d'affaiblissement acoustique mesuré pour les deux types d'isolant biosourcés considérés. Les résultats sont relativement proches et en accord avec ceux attendus.

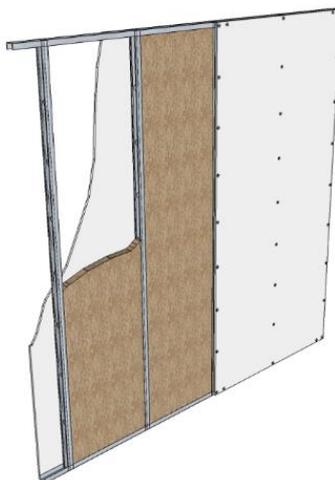
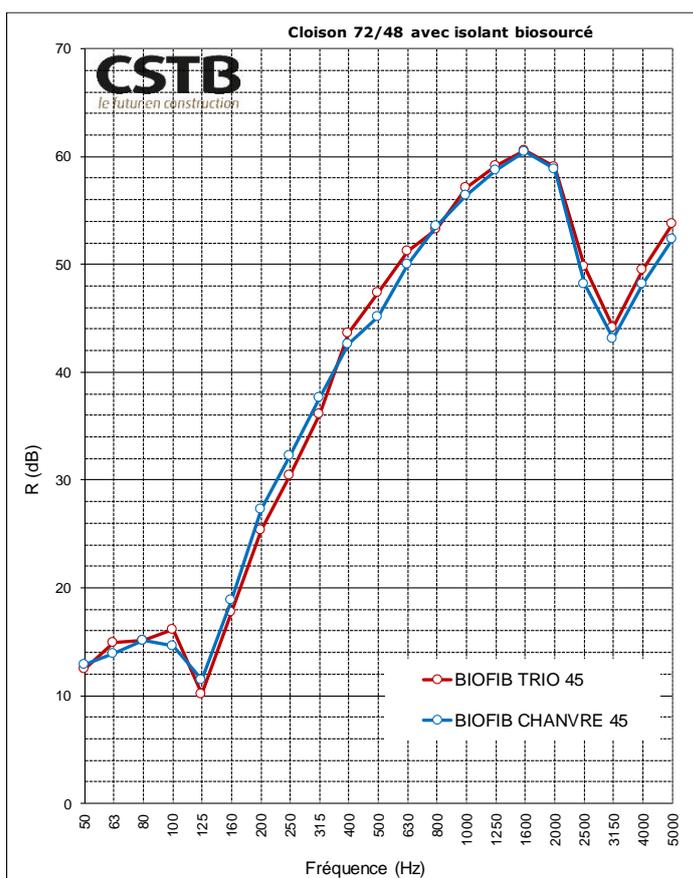


Figure 3-1 : Schéma descriptif de la cloison 72/48 avec isolant biosourcé.



	BIOFIB TRIO 45	BIOFIB CHANVRE 45
Fréquence (Hz)	R (dB)	R (dB)
50	12.5	12.9
63	14.9	13.9
80	15.1	15.1
100	16.1	14.6
125	10.2	11.5
160	17.8	18.9
200	25.4	27.3
250	30.4	32.3
315	36.1	37.6
400	43.6	42.6
500	47.4	45.2
630	51.2	50.0
800	53.3	53.6
1000	57.1	56.4
1250	59.2	58.8
1600	60.6	60.5
2000	59.1	58.9
2500	49.8	48.2
3150	44.1	43.1
4000	49.5	48.2
5000	53.8	52.4

$R_w =$	39	40
$C =$	-5	-5
$C_{tr} =$	-11	-11
$C_{(50-3150)} =$	-5	-6
$C_{tr(50-3150)} =$	-12	-13

$R_w + C =$	34	35
-------------	----	----

Figure 3-2 : Indice d'affaiblissement acoustique de cloisons 72/48 avec isolant biosourcé.

### 3.1.2 - Cloison 98/48

La Figure 3-3 montre une description de la cloison 98/48 et la Figure 3-4 l'indice d'affaiblissement acoustique mesuré pour l'isolant biosourcé considéré. Les résultats sont en accord avec ceux attendus.

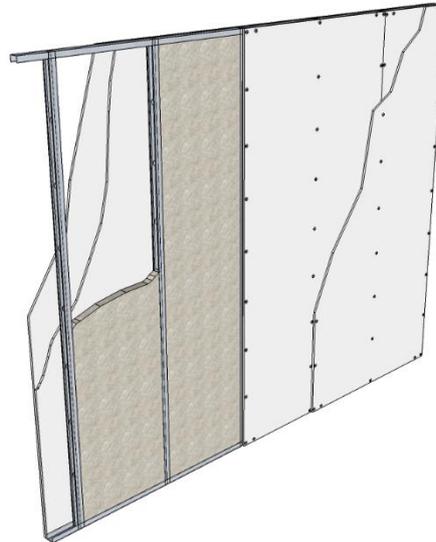


Figure 3-3 : Schéma descriptif de la cloison 98/48 avec isolant.

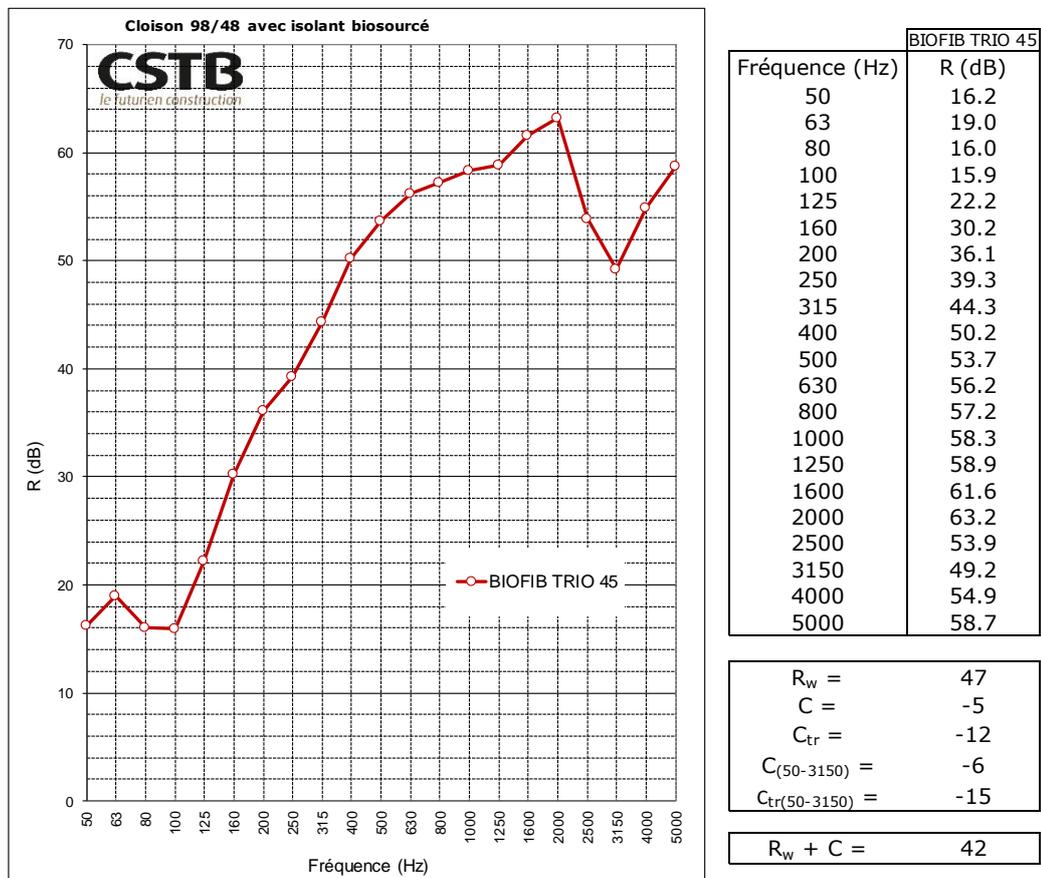


Figure 3-4 : Indice d'affaiblissement acoustique de la cloison 98/48 avec isolant biosourcé.

## 3.2 - Doublages intérieurs sur ossature métallique

Le deuxième type de systèmes considérés correspond à un doublage intérieur (ITI) sur ossature métallique M48/R48 ; le doublage est composé d'un isolant et d'une plaque de plâtre BA13 vissée sur l'ossature métallique. Les dimensions des systèmes testés dans ce cadre sont de 4,18 m x 2,47 m (largeur x hauteur).

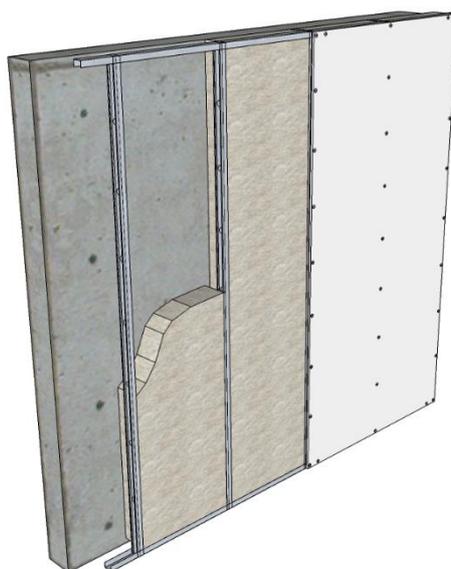
### 3.2.1 - Mur support en béton

Dans un premier temps, le doublage est monté sur un mur en béton de 160 mm d'épaisseur ; deux types d'isolant biosourcé semi-rigide en panneau ont été testés : un isolant en fibres de chanvre, lin et coton mélangées (BIOFIB TRIO 100+45) et un isolant en fibres de chanvre et ouate de cellulose (BIOFIB OUATE 100+45).

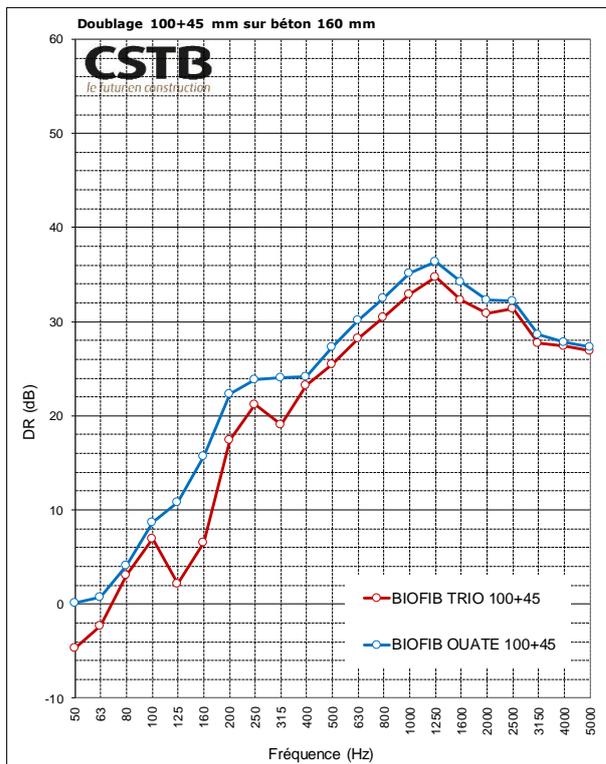
Les isolants sont composés de deux couches : une couche de 100 mm d'épaisseur et une couche de 45 mm d'épaisseur.

La Figure 3-5 montre une description du doublage sur un mur de béton et la Figure 3-6 l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique associée au doublage pour les deux isolants biosourcés considérés. La performance obtenue pour l'isolant de type BIOFIB OUATE est meilleure que celle pour l'isolant BIOFIB TRIO.

On notera que malgré les précautions prises, l'isolant était en contact avec le mur support en béton ; ainsi la partie solide de l'isolant (son squelette) intervient aussi dans la transmission. En fonction de la raideur dynamique de l'isolant, ce chemin de transmission peut limiter la performance du doublage.



**Figure 3-5 : Schéma descriptif du doublage sur ossature sur mur en béton de 160 mm.**



Fréquence (Hz)	BIOFIB TRIO 100+45	BIOFIB OUATE 100+45
	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)
50	-4.7	0.1
63	-2.3	0.7
80	3.1	4.1
100	6.9	8.7
125	2.2	10.8
160	6.5	15.7
200	17.4	22.3
250	21.2	23.8
315	19.1	24.1
400	23.2	24.2
500	25.5	27.3
630	28.2	30.2
800	30.5	32.5
1000	32.9	35.2
1250	34.7	36.4
1600	32.3	34.2
2000	30.9	32.3
2500	31.4	32.2
3150	27.7	28.6
4000	27.4	27.8
5000	26.9	27.3

$\Delta(R_w+C)_{\text{mur lourd}} =$	13	20
$\Delta(R_w+C_{tr})_{\text{mur lourd}} =$	11	17
$\Delta(R_w+C_{50-3150})_{\text{mur lourd}} =$	11	16
$\Delta(R_w+C_{tr50-3150})_{\text{mur lourd}} =$	4	8

**Figure 3-6 : Amélioration de l'Indice d'affaiblissement acoustique d'un doublage avec isolant biosourcé sur mur de béton de 160 mm.**

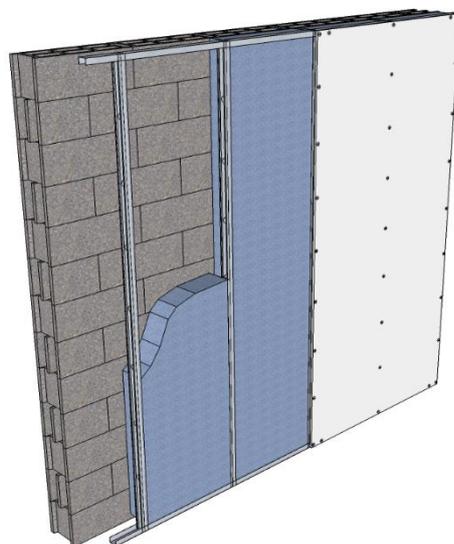
### 3.2.2 - Mur support en parpaings

Dans un second temps, le doublage est monté sur un mur maçonné en parpaings creux de 20 cm d'épaisseur (bloc de béton creux 200 mm x 200 mm x 500 mm à 6 alvéoles, de masse  $\approx 15.9$  kg) ; deux types d'isolant biosourcé semi-rigide en panneau ont été testés : un isolant en fibres de chanvre, lin et coton mélangées (BIOFIB CHANVRE 100+45) et un isolant en fibres de coton recyclé (METISSE PM 100+45).

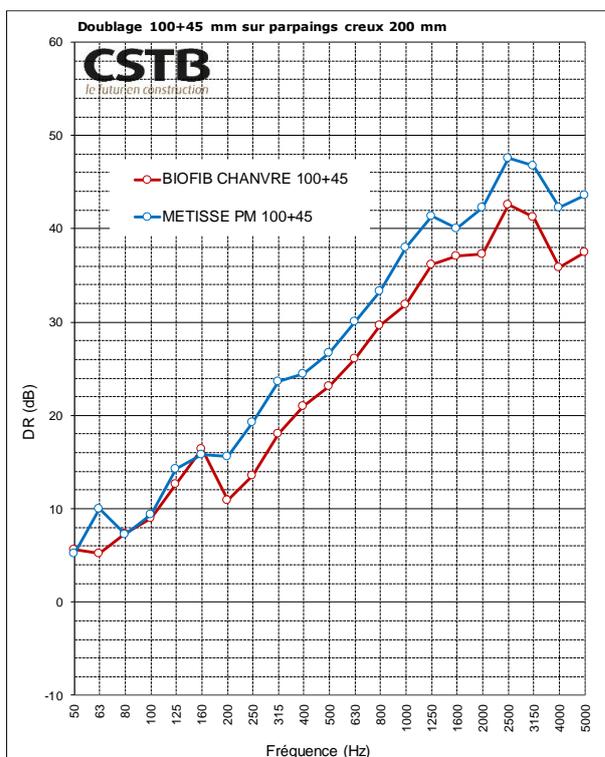
Les isolants sont composés de deux couches : une couche de 100 mm d'épaisseur et une couche de 45 mm d'épaisseur.

La Figure 3-7 montre une description du doublage sur un mur en parpaings creux de 20 cm d'épaisseur et la Figure 3-8 l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique associée au doublage pour les deux isolants biosourcés considérés. La performance obtenue pour l'isolant de type METISSE PM est légèrement meilleure en termes d'indice global et aussi au-dessus du tiers d'octave 200 Hz que celle pour l'isolant BIOFIB CHANVRE.

Comme précédemment noté, malgré les précautions prises, l'isolant était en contact avec le mur support en parpaings ; ainsi la partie solide de l'isolant (son squelette) intervient aussi dans la transmission. En fonction de la raideur dynamique de l'isolant, ce chemin de transmission peut limiter la performance du doublage.



**Figure 3-7 : Schéma descriptif du doublage sur ossature sur mur maçonné en parpaings creux de 200 mm.**



Fréquence (Hz)	BIOFIB CHANVRE 100+45	METISSE PM 100+45
	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)
50	5.6	5.2
63	5.2	10.0
80	7.4	7.3
100	9.0	9.4
125	12.6	14.3
160	16.4	15.8
200	10.9	15.6
250	13.6	19.3
315	18.0	23.6
400	21.0	24.5
500	23.1	26.7
630	26.1	30.1
800	29.7	33.3
1000	31.9	38.0
1250	36.2	41.4
1600	37.1	40.0
2000	37.3	42.3
2500	42.6	47.6
3150	41.3	46.8
4000	35.9	42.3
5000	37.5	43.6

$\Delta(R_w+C)_{direct} =$	18	19
$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct} =$	15	16
$\Delta(R_w+C_{50-3150})_{direct} =$	14	17
$\Delta(R_w+C_{tr50-3150})_{direct} =$	8	10

**Figure 3-8 : Amélioration de l'Indice d'affaiblissement acoustique d'un doublage avec isolant biosourcé sur mur maçonné en parpaings creux de 200 mm.**

### 3.3 - Doublage extérieur

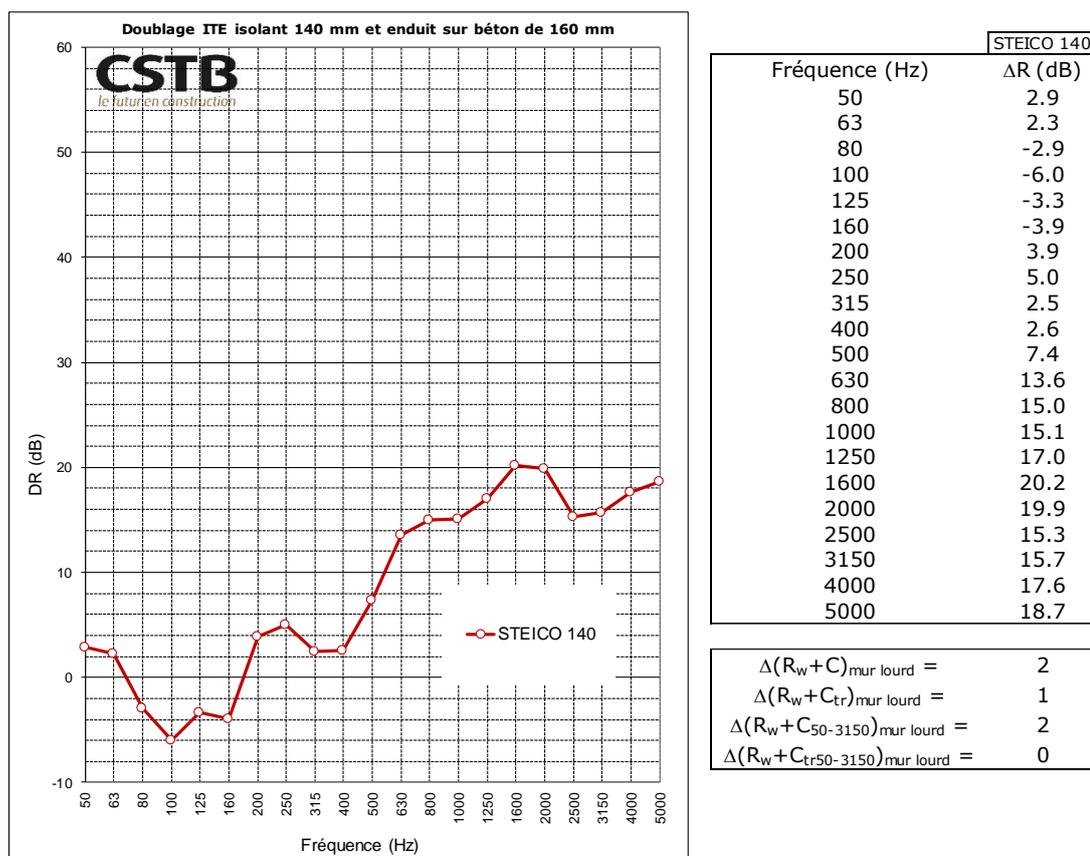
Le troisième type de systèmes considérés correspond à un doublage extérieur (ITE) ; le doublage est composé d'un isolant et d'un enduit. Ce doublage est monté sur un mur en béton de 160 mm d'épaisseur. Les dimensions du système testé dans ce cadre sont de 4,18 m x 2,47 m (largeur x hauteur).

La Figure 3-9 montre une description du doublage extérieur monté sur le mur en béton ; chaque panneau de fibre de bois de 140 mm d'épaisseur est fixé à l'aide de 5 attaches sur le mur support ; un enduit PRB est ensuite appliqué (une première couche de mortier fibré PRB FONDISOL F et une deuxième couche extérieure d'enduit hydraulique de finition PRB THERMOLOOK, pour une épaisseur totale de l'ordre de 10-15 mm).

La Figure 3-10 présente l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique associée à ce doublage extérieur. Cette performance faible est en accord avec celle attendue pour ce type de doublage avec enduit (performance du même ordre que pour un doublage extérieur à base de laine minérale, et meilleure que pour un doublage extérieur à base de mousse alvéolaire).



**Figure 3-9 : Schéma descriptif du doublage sur ossature sur mur en béton de 160 mm.**



**Figure 3-10 : Amélioration de l'Indice d'affaiblissement acoustique d'un doublage avec isolant biosourcé sur mur de béton de 160 mm.**

### 3.4 - Plafond suspendu

Le quatrième type de systèmes considérés correspond à un plafond suspendu. Ce plafond est composé d'un isolant de 100 mm et d'une plaque de plâtre BA13 ; il est monté sous un plancher en béton de 140 mm d'épaisseur. Les dimensions du système testé dans ce cadre sont de 4,2 m x 3,6 m (largeur x longueur). L'isolant BIOFIB OUATE a été utilisé pour cet essai.

La Figure 3-11 montre une description du plafond suspendu sous un plancher en béton. La Figure 3-12 montre l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique associée à ce plafond. Cette performance est en accord avec celle attendue pour ce type de plafond.

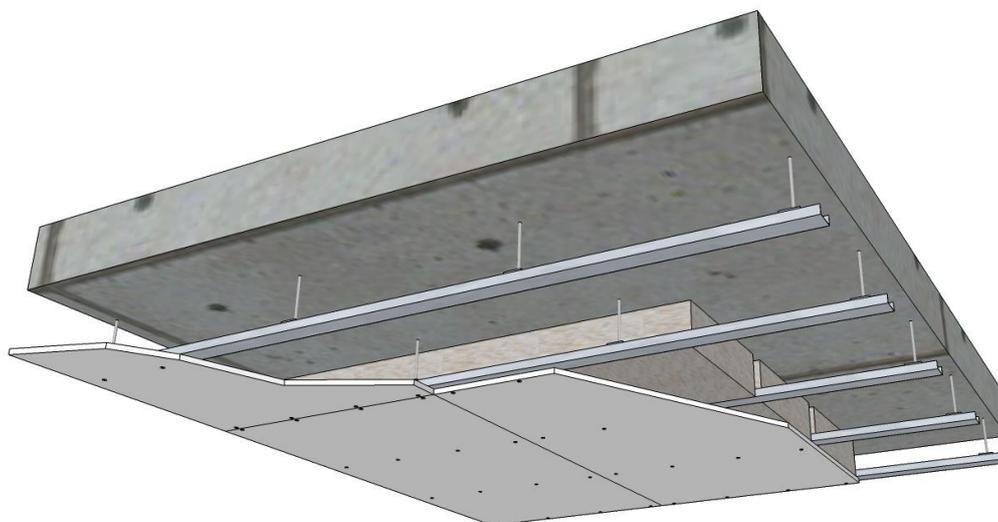


Figure 3-11 : Schéma descriptif du plafond suspendu sous un plancher en béton de 140 mm.

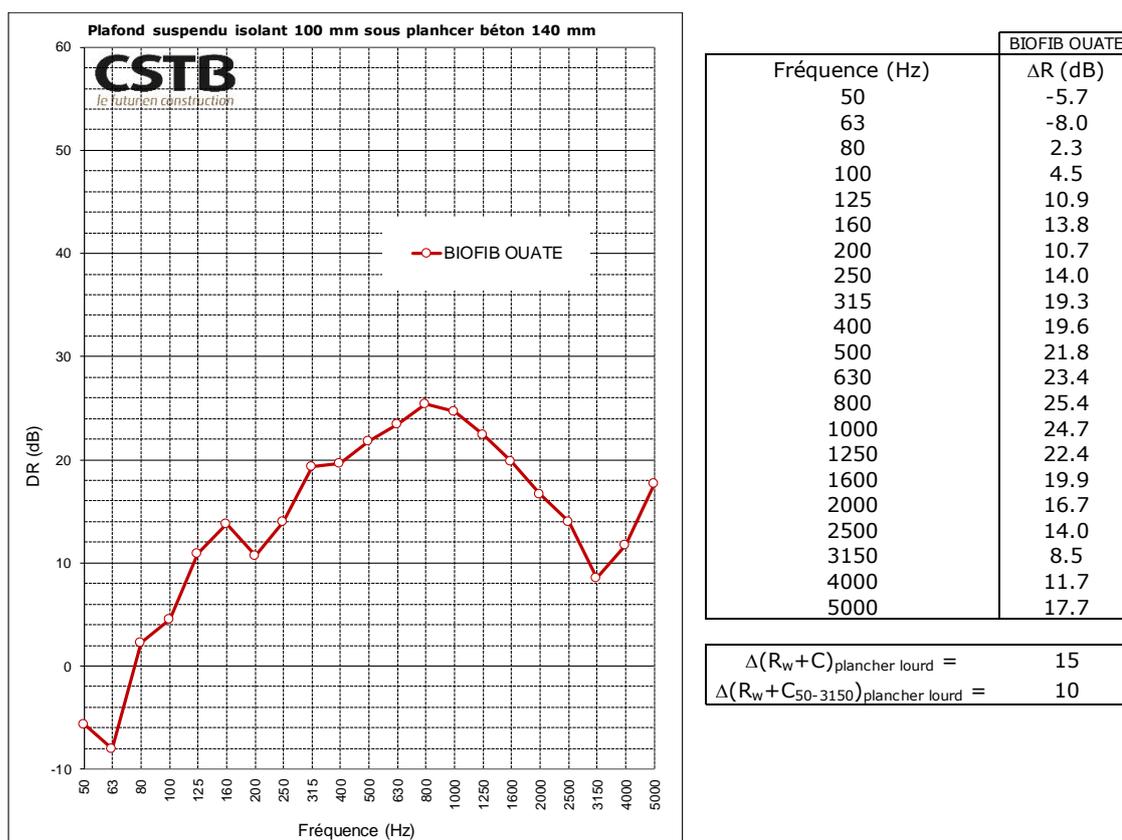
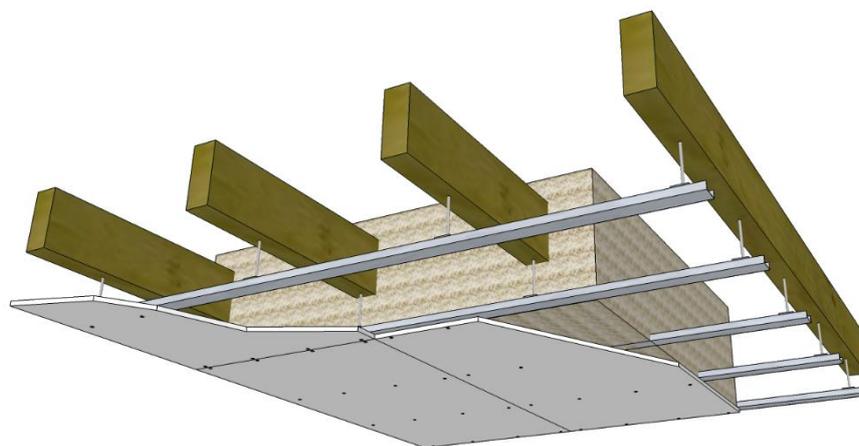


Figure 3-12 : Amélioration de l'Indice d'affaiblissement acoustique du plafond suspendu avec isolant biosourcé sous un plancher en béton de 140 mm.

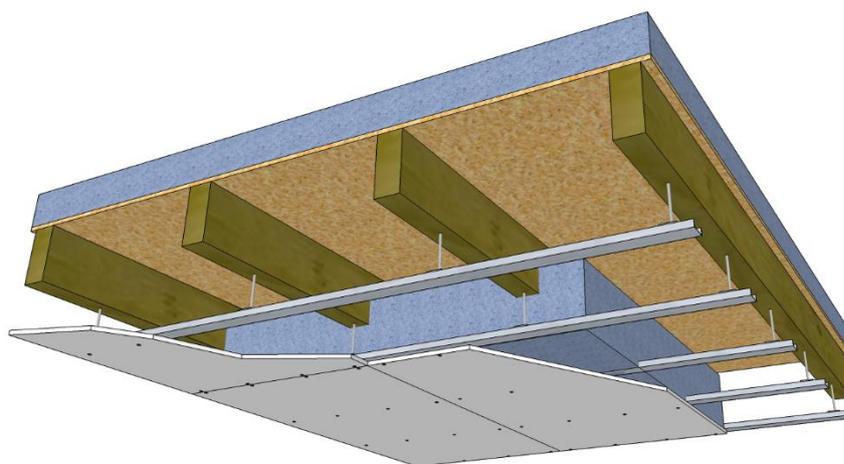
### 3.5 - Comble perdu

Le cinquième type de systèmes considérés correspond à un comble perdu. Deux cas sont pris en compte. Dans le premier cas, le système est constitué de solives de 160 mm x 60 mm avec un entraxe de 500 mm, l'isolant biosourcé de 350 mm d'épaisseur est placé entre les solives et une couche de plaques de plâtre BA13 montées sur suspentes courtes représente le plafond.

La Figure 3-13 montre une description de ce système. Dans un second temps, une plaque OSB12 est montée sur les solives et un isolant biosourcé de 200 mm d'épaisseur est placé entre les solives (dans la cavité entre la plaque de plâtre et la plaque d'OSB12) et un isolant biosourcé de 100 mm d'épaisseur est aussi placé au-dessus de la plaque d'OSB12. La Figure 3-14 montre une description de ce système de comble perdu avec plancher. Les dimensions du système testé dans ce cadre sont de 4.2 m x 3.6 m (largeur x longueur).



**Figure 3-13 : Schéma descriptif du comble perdu avec plafond en BA13.**

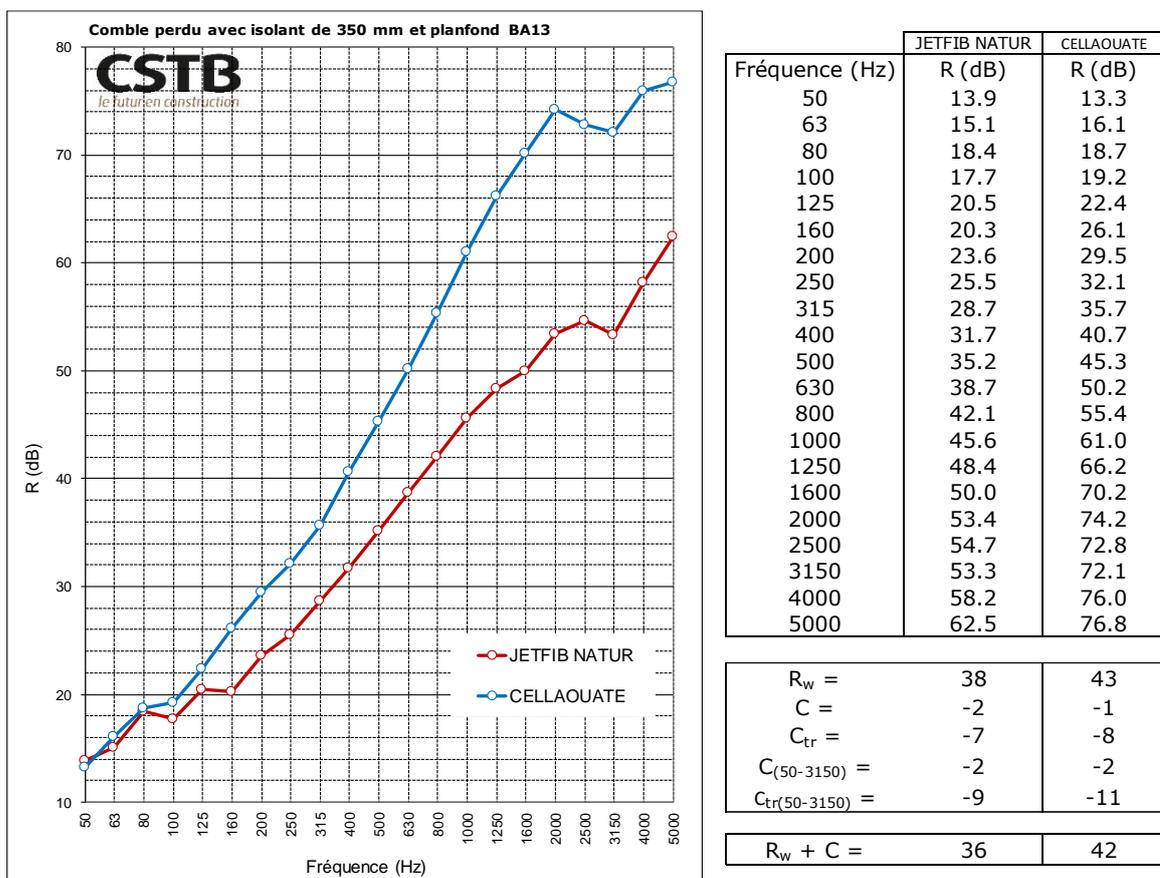


**Figure 3-14 : Schéma descriptif du comble perdu avec plancher en OSB12 et plafond en BA13.**

### 3.5.1 - Isolation entre solives

Deux types d'isolant biosourcé en vrac de 350 mm d'épaisseur ont été testés en comble perdu avec plafond en plaque de plâtre BA13 (système de la Figure 3-13) : l'isolant JETFIB'NATUR en fibres de chanvre et l'isolant CELLAOUATE en ouate de cellulose.

La Figure 3-15 montre l'indice d'affaiblissement acoustique associée à ce comble perdu avec plafond en BA13. La performance acoustique avec l'isolant biosourcé en fibres de chanvre est moindre que pour l'isolant en ouate de cellulose (du fait de la différence en termes d'absorption acoustique voir Section 3.5.3).

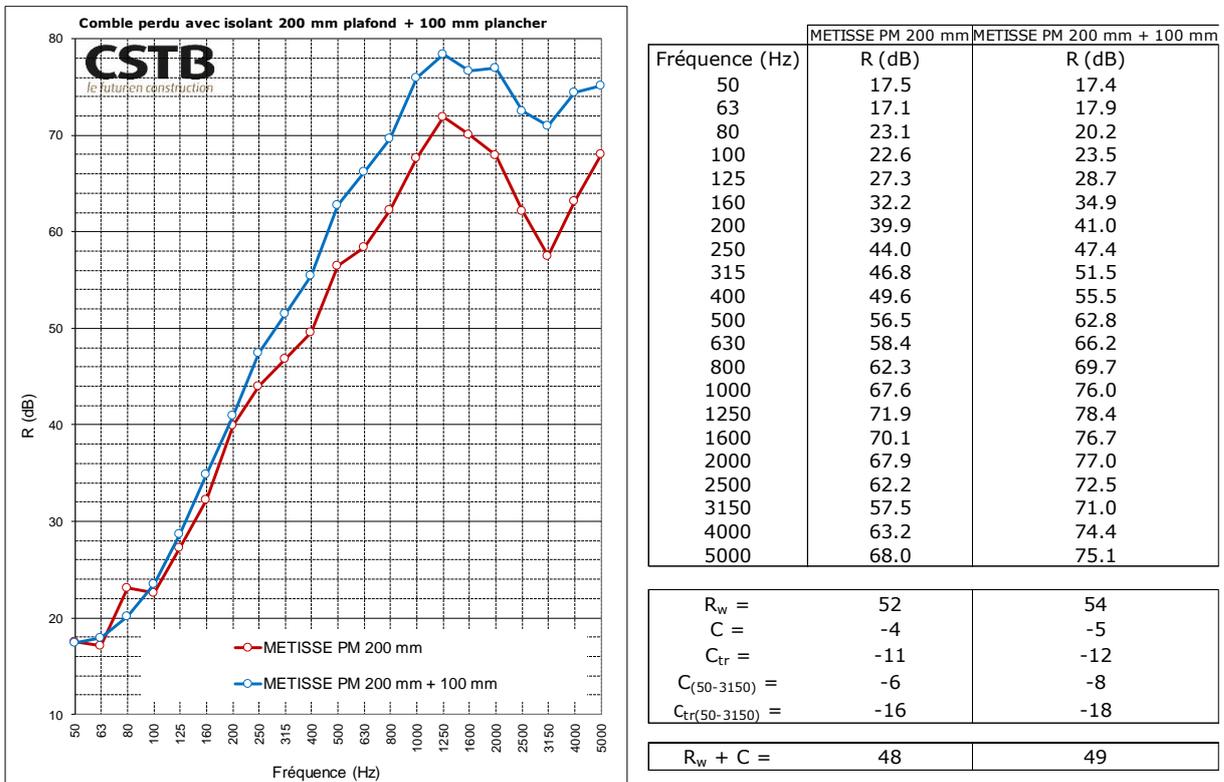


**Figure 3-15 : Indice d'affaiblissement acoustique du comble perdu avec isolant biosourcé et plafond en BA13.**

### 3.5.2 - Isolation entre et au-dessus des solives

Un isolant biosourcé en coton recyclé de 200 mm d'épaisseur est placé entre les solives dans la cavité entre la plaque de plâtre BA13 et la plaque d'OSB12. Une deuxième couche du même isolant en 100 mm d'épaisseur est ensuite ajoutée au-dessus de plaque d'OBS12 (système de la Figure 3-14). Les mesures acoustiques ont été effectuées avant et après l'ajout de l'isolant biosourcé de 100 mm au-dessus du plancher.

La Figure 3-16 montre l'indice d'affaiblissement acoustique associée à ce comble perdu avec plancher et plafond. La présence de la couche d'isolant biosourcé de 100 mm au-dessus du plancher permet d'améliorer l'indice d'affaiblissement acoustique dans les moyennes et hautes fréquences ; cependant en termes d'indice global, cette amélioration est limitée.



**Figure 3-16 : Indice d'affaiblissement acoustique du comble perdu avec isolant biosourcé, plancher en OSB12 et plafond en BA13.**

### 3.5.3 - Absorption acoustique

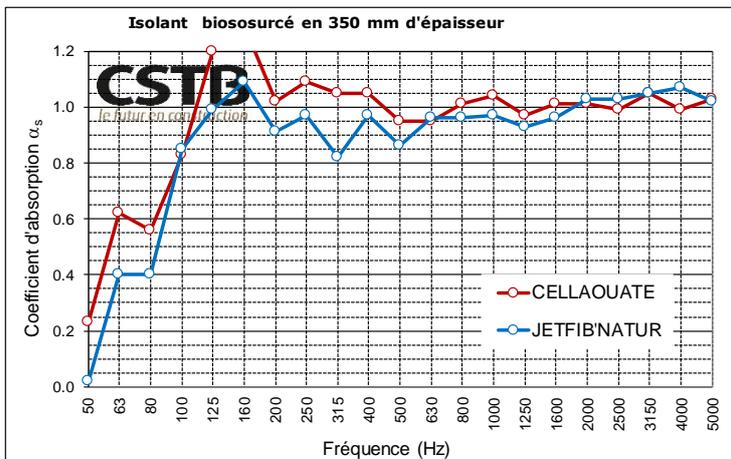
Des mesures du coefficient d'absorption sous incidence diffuse des isolants biosourcés ont aussi été effectuées dans le but de pouvoir évaluer la performance du comble perdu avec une toiture vis-à-vis des bruits extérieurs dans un bâtiment.

La Figure 3-17 montre le coefficient d'absorption acoustique associé aux deux isolants biosourcés en 350 mm qui ont été mis en œuvre dans le comble perdu avec plafond en BA13. L'isolant en ouate de cellulose est associé à une absorption acoustique meilleure que celle de l'isolant en fibres de chanvre ; cette différence est liée à la différence observée sur l'indice d'affaiblissement acoustique du comble perdu (voir Section 3.5.1). Cette différence est associée à une porosité et une résistance à l'écoulement de l'air plus faibles de l'isolant en fibres de chanvre par rapport à l'isolant en ouate de cellulose (voir Tableau 2-15). Cependant pour l'absorption acoustique, ces deux isolants biosourcés sont équivalents en termes d'indice global :  $\alpha_w=1$  et classement A.

La Figure 3-17 montre aussi le coefficient d'absorption acoustique associé à l'isolant biosourcé en fibres

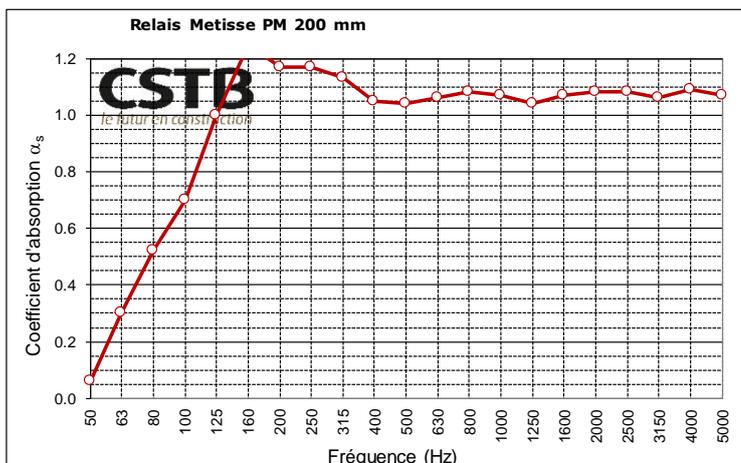
de coton recyclées en 200 mm. L'absorption acoustique est similaire en termes d'indice global :  $\alpha_w = 1$  et classement A.

Il faut rajouter que des variations de caractéristiques sont possibles en fonction de la mise en œuvre ; cependant leur densité dans le cadre des essais réalisés est proche de celle indiquée au Tableau 2-14.



Fréquence (Hz)	CELLAOUATE	JETFIB'NATUR
	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.23	0.02
63	0.62	0.40
80	0.56	0.40
100	0.83	0.85
125	1.20	0.99
160	1.29	1.09
200	1.02	0.91
250	1.09	0.97
315	1.05	0.82
400	1.05	0.97
500	0.95	0.86
630	0.95	0.96
800	1.01	0.96
1000	1.04	0.97
1250	0.97	0.93
1600	1.01	0.96
2000	1.01	1.03
2500	0.99	1.03
3150	1.05	1.05
4000	0.99	1.07
5000	1.03	1.02

$\alpha_w =$	1.00	1.00
Classement	A	A



Fréquence (Hz)	$\alpha_s$
50	0.06
63	0.30
80	0.52
100	0.70
125	1.00
160	1.25
200	1.17
250	1.17
315	1.13
400	1.05
500	1.04
630	1.06
800	1.08
1000	1.07
1250	1.04
1600	1.07
2000	1.08
2500	1.08
3150	1.06
4000	1.09
5000	1.07

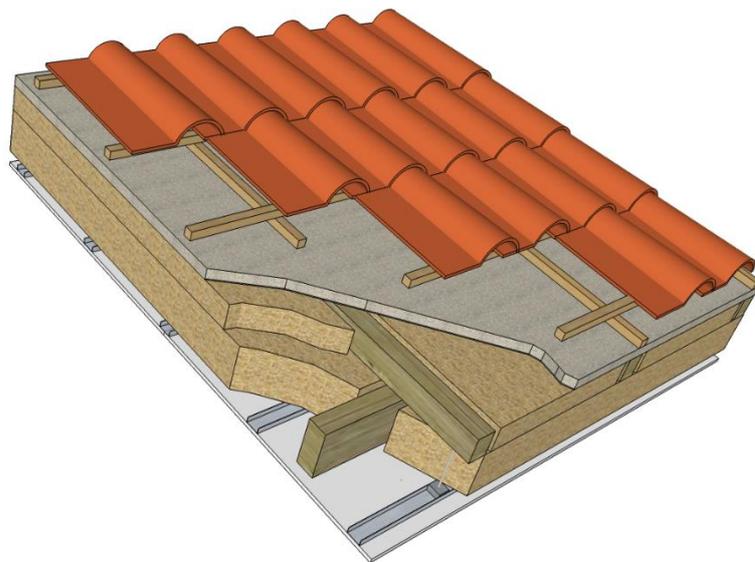
$\alpha_w =$	1.00
Classement	A

**Figure 3-17 : Coefficients d'absorption acoustique des isolants biosourcés utilisés en comble perdu.**

### 3.6 - Toiture

Le sixième type de systèmes considérés correspond à une toiture. La Figure 3-18 montre le montage réalisé, composé de tuiles en terre cuite sur liteaux et contre-liteaux de dimensions 27 mm x 27 mm, un écran de sous-toiture rigide en fibres de bois d'épaisseur 35 mm, de chevrons de 80 mm x 60 mm positionnés avec un entraxe de 625 mm entre lesquels un isolant semi-rigide en fibre de bois de 80 mm est placé, des pannes de 145 mm x 60 mm avec un entraxe de 1200 mm entre lesquelles un isolant semi-rigide d'épaisseur 145 mm est placé, et une couche de plaques de plâtre BA13 montées sur suspentes courtes pour le plafond.

La Figure 3-19 montre l'indice d'affaiblissement mesuré sur la toiture. La performance acoustique obtenue correspond à l'ordre de grandeur attendu (un système équivalent dans la base de données du logiciel AcouBAT avec 2 couches de laine de verre de 100 mm est associé à une performance  $R_w+C_{tr}$  de 42 dB). Suivant les Exemples de Solutions Acoustiques<sup>3</sup>, cette toiture rentre facilement dans la solution de façade et toiture en comble aménagé proposée avec un objectif d'isolement aux bruits extérieurs de 35 dB.



**Figure 3-18 : Schéma descriptif de la toiture testée.**

<sup>3</sup> [http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/dgain\\_exemples\\_de\\_solutions\\_acoustiques\\_janvier\\_2014.pdf](http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/IMG/pdf/dgain_exemples_de_solutions_acoustiques_janvier_2014.pdf)

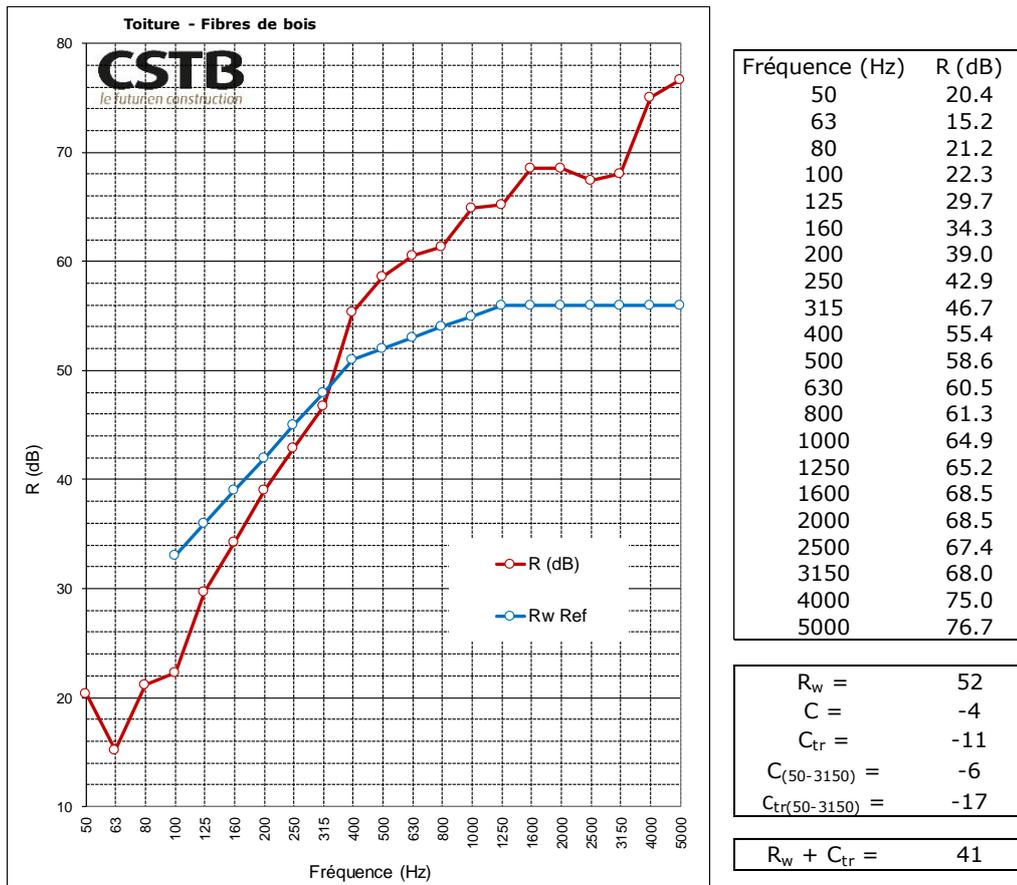


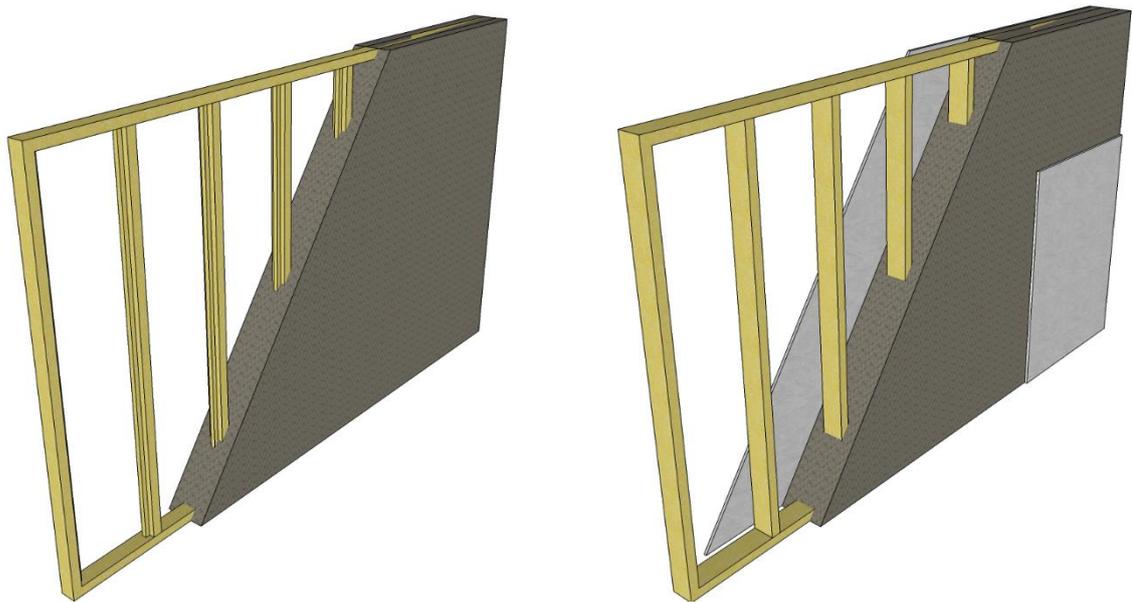
Figure 3-19 : Indice d'affaiblissement acoustique de la toiture avec des isolants biosourcés.

### 3.7 - Murs en béton de chanvre

Des murs en béton de chanvre, d'épaisseur 320 mm (mur de façade) et 270 mm (mur de refend) ont également été testés en laboratoire, sans puis avec finitions sur les deux faces (voir Figure 3-20). Les dimensions du système testé dans ce cadre sont de 4,18 m x 2,47 m (largeur x hauteur).

Le mur de façade (CHANVRIBAT) a été réalisé de manière « traditionnelle » (à la main) autour d'une ossature en bois. Cette ossature est constituée de montants de 115 mm x 35 mm espacés de 600 mm. Des enduits à la chaux d'épaisseurs 13 et 20 mm ont été utilisés respectivement pour la finition intérieure et extérieure.

Le mur de refend a été réalisé par projection (mélange ISOCANNA et BATICHANVRE) autour d'une ossature en bois. Cette ossature est constituée de montants de 100 mm x 60 mm espacés de 600 mm ; sur chaque montant, deux tasseaux de 30 mm x 30 mm sont fixés (un tasseau sur chaque face) pour un meilleur accrochage du béton de chanvre. La finition intérieure est réalisée en plaques de plâtre BA13 collées par plots (8 plots/m<sup>2</sup>) et la finition extérieure est un enduit à la chaux (COLORCHAUSABLE) de 15 à 20 mm d'épaisseur.



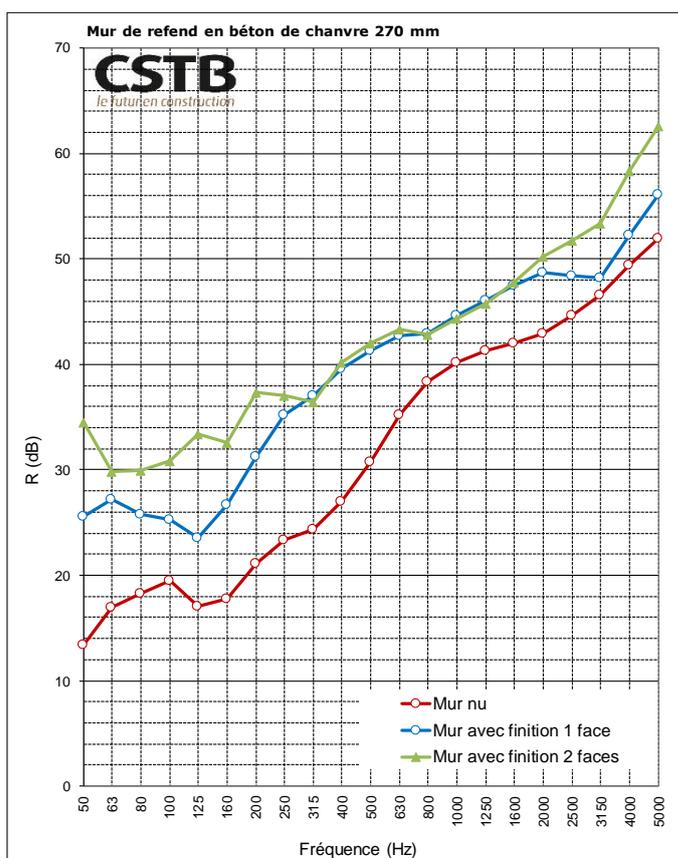
**Figure 3-20 : Schémas des murs testés en béton de chanvre, montés sur une ossature bois, sans et avec finitions.**

### **3.7.1 - Mur de refend en béton de chanvre d'épaisseur 270 mm**

Des mesures de l'indice d'affaiblissement du mur de refend en béton de chanvre ont donc été réalisées sur le mur sans finition (mur nu), sur le mur avec la finition intérieure en plaques de plâtre, et enfin sur le mur avec une finition sur les deux faces.

La Figure 3-21 montre l'indice d'affaiblissement mesuré pour les 3 configurations testées. Les finitions permettent de gagner en performance par rapport au mur nu.

La performance acoustique du mur de refend en béton de chanvre avec une finition sur les deux faces est du même ordre de grandeur que celle d'un mur en brique creuse de 300 mm enduit des deux faces.



Fréquence (Hz)	Mur nu R (dB)	Mur avec finition 1 face R (dB)	Mur avec finition 2 faces R (dB)
50	13.4	25.6	34.5
63	17.0	27.2	29.8
80	18.3	25.8	29.9
100	19.5	25.3	30.9
125	17.1	23.5	33.4
160	17.8	26.7	32.6
200	21.1	31.3	37.3
250	23.3	35.2	37.0
315	24.4	37.0	36.4
400	27.0	39.6	40.2
500	30.8	41.3	42.0
630	35.2	42.7	43.3
800	38.4	42.9	42.8
1000	40.2	44.6	44.3
1250	41.3	46.1	45.8
1600	42.0	47.5	47.8
2000	42.9	48.7	50.2
2500	44.6	48.4	51.8
3150	46.6	48.2	53.4
4000	49.4	52.3	58.3
5000	52.0	56.1	62.6

$R_w =$	34	43	45
$C =$	-1	-1	-1
$C_{tr} =$	-5	-5	-4
$C_{(50-3150)} =$	-1	-1	-1
$C_{tr(50-3150)} =$	-6	-6	-4

$R_w + C =$	33	42	44
-------------	----	----	----

**Figure 3-21 : Indice d'affaiblissement acoustique du mur de refend en béton de chanvre 270 mm.**

### 3.7.2 - Mur de façade en béton de chanvre d'épaisseur 320 mm

Des mesures de l'indice d'affaiblissement du mur de façade en béton de chanvre ont donc été réalisées sur le mur sans finition (mur nu), et avec une finition sur les deux faces.

La Figure 3-22 montre l'indice d'affaiblissement mesuré pour les 2 configurations testées. Comme précédemment, la finition sur les deux faces permet de gagner en performance par rapport au mur nu.

L'indice d'affaiblissement du mur de façade nu est relativement faible notamment vis-à-vis de celui du mur de refend nu (plus de 10 dB d'écart). Ce mur de façade réalisé traditionnellement « à la main » est en effet beaucoup plus poreux et aussi moins dense que le mur de refend réalisé par projection. Avec une finition sur les deux faces, le mur de façade est légèrement plus performant que le mur de refend.

Finalement, on peut ajouter que la performance obtenue permet d'envisager ce mur de façade pour un bâtiment soumis à un isolement aux bruits extérieurs (isolement de façade) réglementaire de 30 dB (niveau le plus bas de la réglementation).

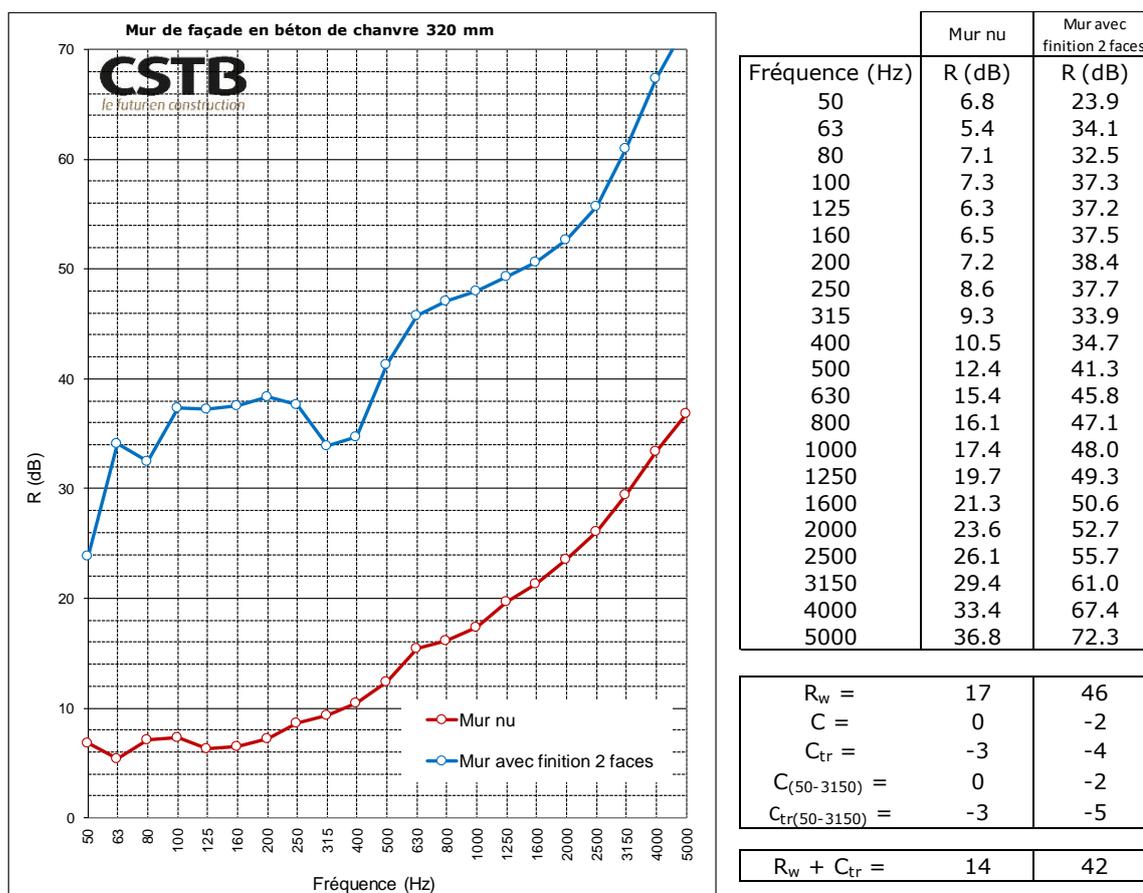


Figure 3-22 : Indice d'affaiblissement acoustique du mur de façade en béton de chanvre.

### 3.8 - Récapitulatif

Dans cette section, tous les résultats des mesures en laboratoire sur des systèmes intégrant des matériaux biosourcés ont été présentés.

Il reste donc à comparer les performances acoustiques mesurées avec des performances acoustiques évaluées par calcul en utilisant les caractéristiques acoustiques et mécaniques présentées à la Section 2. Ces comparaisons sont présentées à la Section 4 ci-après.

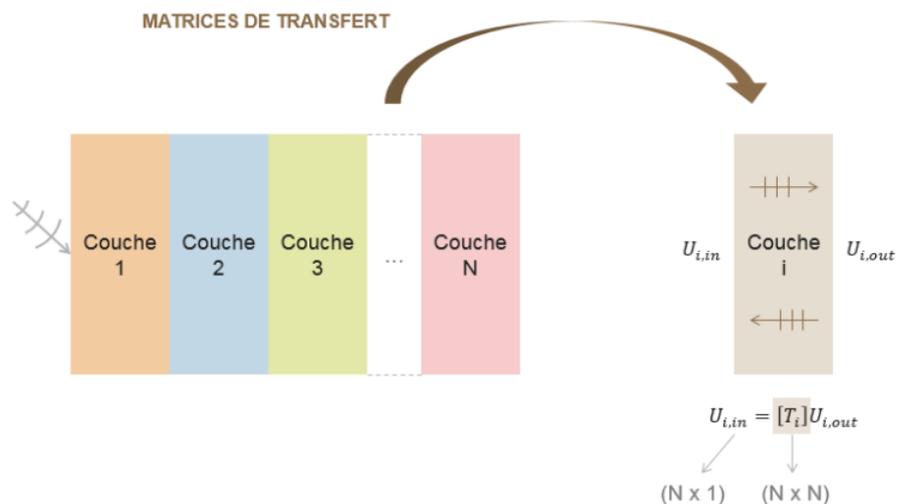
## 4 - EXTENSION DES PERFORMANCES ACOUSTIQUES DE SYSTEME

Dans cette section, la méthode de prédiction utilisée pour évaluer la performance des différents systèmes considérés est succinctement présentée, puis les comparaisons entre la performance acoustique mesurée et prédite pour les différents systèmes pris en compte sont présentées. Finalement, la performance acoustique prédite est extrapolée dans une dernière partie.

### 4.1 - Méthode de prédiction

#### 4.1.1 - Outil de simulation : AcouSYS

Les performances acoustiques de système de construction du bâtiment évaluées en laboratoire (indice d'affaiblissement acoustique R, coefficient d'absorption  $\alpha$ , niveau de bruit de choc  $L_n$ , niveau de bruit de pluie  $L_{iA}$ ...) sont prédites en utilisant une méthode par matrice de transfert (TMM Transfer Matrix Method, voir les références [Munjal, 1993] et [Allard et Attalla, 2009]) implémentée dans l'outil numérique AcouSYS, logiciel développé par le CSTB.



**Figure 4-1 : Principe de la méthode des matrices de transfert utilisée sous AcouSYS.**

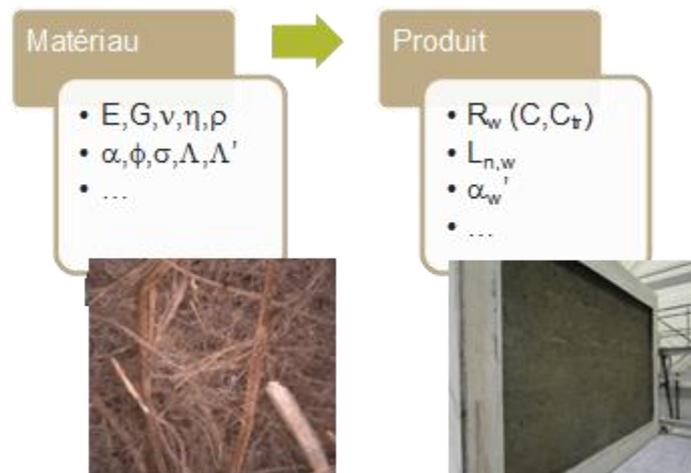
Les différentes couches (planes et d'épaisseur constante) constituant la structure peuvent être de différents types (solide isotrope ou orthotrope, fluide, poreux, fluide équivalent, viscoélastique ou élément perforé) et le logiciel permet de considérer les conditions de montage entre chaque couche, c'est-à-dire en contact (collé) ou non.

La prise en compte des dimensions (latérales) finies du système est effectuée par une technique de fenêtrage spatial lorsque l'excitation est aérienne de type champ diffus [Villot et al., 2001].

Dans le cas des cloisons, la prise en compte des courts-circuits dus à la présence d'éléments d'ossature (rails, montants, montants périphériques) est possible en se basant sur une approche mixte TMM + SEA (Statistical Energy Analysis) [Guigou et Villot, 2006], développée au CSTB. De plus, il est important de noter que les parements de type multi-peaux sont modélisés par une technique d'homogénéisation créant un parement mince équivalent en épaisseur et élasticité [Chene et al., 2016].

#### 4.1.2 - Données d'entrée

Afin de modéliser numériquement un système et d'estimer ses performances acoustiques à l'aide du logiciel AcouSYS, il est nécessaire de disposer des caractéristiques mécaniques et/ou acoustiques des matériaux constituant les systèmes étudiés qui vont servir de données d'entrée au logiciel. Le type des données d'entrée nécessaires aux simulations est présenté dans le schéma de la Figure 4-2.



**Figure 4-2 : Données d'entrée des calculs AcouSYS.**

Un livret de validation du logiciel AcouSYS<sup>4</sup> est disponible sur le site ftp du CSTB et présente des exemples de simulations avec les données d'entrée associées.

#### 4.2 - Validation de la méthode : Comparaisons calcul/mesure

À l'aide des paramètres mécaniques et acoustiques qui ont été mesurés sur les matériaux biosourcés (voir Section 2), faisant office de données d'entrée au logiciel de simulation, l'ensemble des systèmes caractérisés en laboratoire ont été modélisés afin de comparer les résultats des simulations aux résultats issus des essais en laboratoire. Cette première étape est nécessaire afin de valider la méthode utilisée par la suite pour extrapoler les résultats obtenus aux autres isolants biosourcés.

On notera que pour les matériaux ou composants, autres que les matériaux biosourcés considérés dans cette étude et dont les caractéristiques acoustiques et mécaniques sont présentées en Section 2, les caractéristiques standards de la base de données du logiciel AcouSYS ont été prise en compte (voir par exemple le livret de validation d'AcouSYS<sup>4</sup>). De plus on pourra retrouver dans ce livret de validation, les méthodes de modélisation pour différentes parois verticales et horizontales comme par exemple les cloisons sur ossature, les doublages, etc.. Une nouvelle version de ce livret de validation pourra d'ailleurs intégrer certains systèmes modélisés dans le cadre de cette étude pour élargir le champ des types de matériaux.

<sup>4</sup> <ftp://ftp.grenoble.cstb.fr/public/acousys/manuel/>

#### 4.2.1 - Cloisons sur ossature métallique

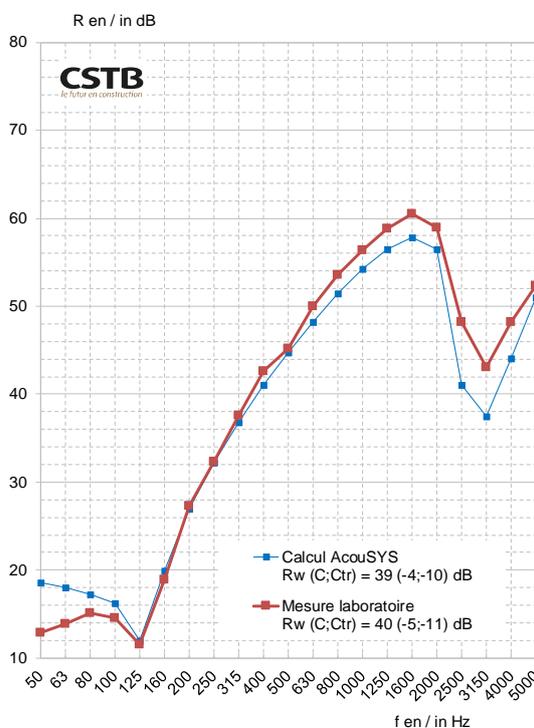
Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur les cloisons testées en laboratoire sont présentées de la Figure 4-3 à la Figure 4-5. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-1.

Dans le cadre de la modélisation, l'isolant présent dans la cavité de la cloison n'est pas en contact avec les plaques de plâtre fixées sur l'ossature métallique. Cette situation correspond à l'hypothèse standard pour ce type de cloison distributive ; en effet, le court-circuit vibratoire associé à l'ossature métallique est prépondérant dans la transmission acoustique à partir des moyennes fréquences (250-315 Hz). Ainsi on peut considérer que pour les caractéristiques mécaniques de l'isolant ont peu d'influence sur la transmission acoustique.

On notera que les performances calculées sont globalement en ligne avec celles mesurées.

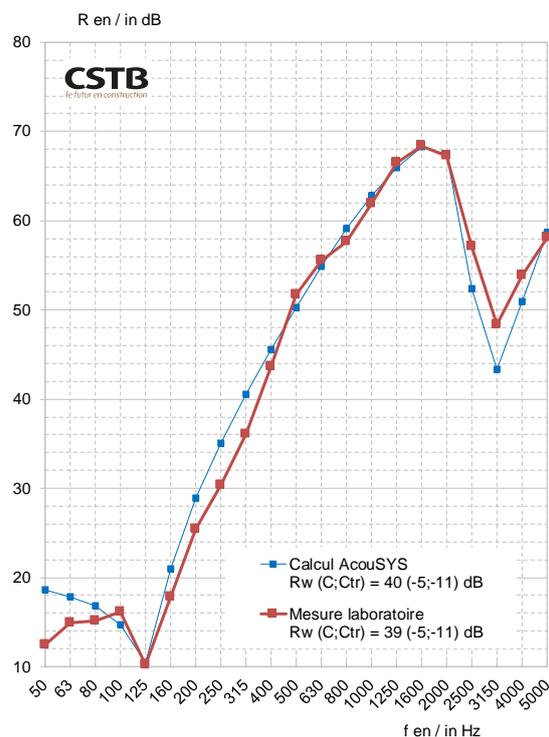
Les différences observées entre prédiction et mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique en particulier pour la cloison 98/48 mais aussi pour la cloison 72/48 sont globalement associées au comportement de l'ossature et non au matériau isolant de remplissage utilisé (voir Section 4.3).

En termes de performance globale, les deux isolants biosourcés sont globalement équivalents dans la cloison 72/38.



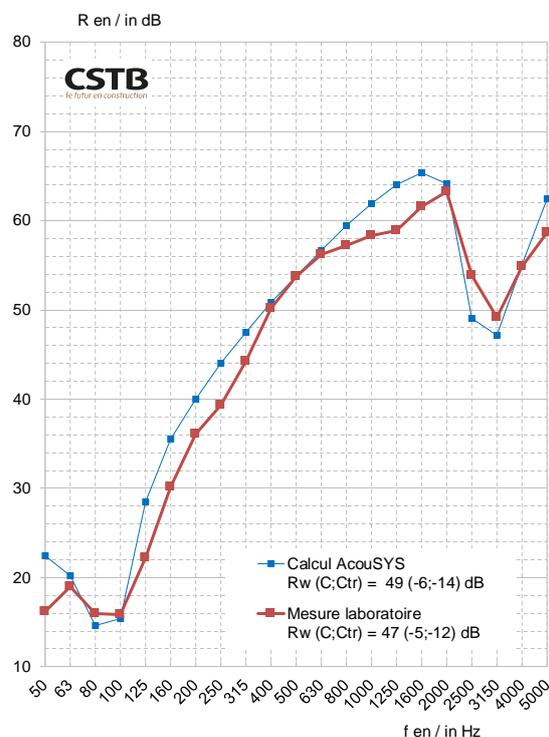
Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS Rw (C;Ctr) = 39 (-4;-10) dB	Mesure laboratoire Rw (C;Ctr) = 40 (-5;-11) dB
	R (dB)	R (dB)
50	18.6	12.9
63	18	13.9
80	17.2	15.1
100	16.2	14.6
125	12	11.5
160	19.9	18.9
200	27	27.3
250	32.2	32.3
315	36.8	37.6
400	41	42.6
500	44.7	45.2
630	48.2	50
800	51.5	53.6
1000	54.3	56.4
1250	56.5	58.8
1600	57.8	60.5
2000	56.5	58.9
2500	41	48.2
3150	37.5	43.1
4000	44.1	48.2
5000	51	52.4

**Figure 4-3 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur la cloison 72/48 avec l'isolant biosourcé BIOFIB CHANVRE 45.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	Rw (C;Ctr) = 39 (-5;-10) dB	Rw (C;Ctr) = 39 (-5;-11) dB
	R (dB)	R (dB)
50	18.7	12.5
63	18	14.9
80	17.3	15.1
100	16.4	16.1
125	10.4	10.2
160	20.6	17.8
200	27.8	25.4
250	33	30.4
315	37.4	36.1
400	41.4	43.6
500	45	47.4
630	48.5	51.2
800	51.7	53.3
1000	54.4	57.1
1250	56.6	59.2
1600	57.9	60.6
2000	56.5	59.1
2500	41.1	49.8
3150	38.8	44.1
4000	46.2	49.5
5000	53.5	53.8

**Figure 4-4 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur la cloison 72/48 avec l'isolant biosourcé BIOFIB TRIO 45.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	Rw (C;Ctr) = 49 (-6;-14) dB	Rw (C;Ctr) = 47 (-5;-12) dB
	R (dB)	R (dB)
50	22.5	16.2
63	20.2	19
80	14.6	16
100	15.4	15.9
125	28.5	22.2
160	35.5	30.2
200	40	36.1
250	44	39.3
315	47.5	44.3
400	50.8	50.2
500	53.8	53.7
630	56.6	56.2
800	59.5	57.2
1000	61.9	58.3
1250	64	58.9
1600	65.4	61.6
2000	64.1	63.2
2500	49	53.9
3150	47.2	49.2
4000	55.1	54.9
5000	62.5	58.7

**Figure 4-5 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur la cloison 98/48 avec l'isolant biosourcé BIOFIB TRIO 45.**

**Tableau 4-1 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur cloisons.**

Cloison		R <sub>w</sub> (C ; C <sub>tr</sub> ) (dB)	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)
72/48 BIOFIB CHANVRE 45	Calcul	40 (-5; -11)	40	35	29
	Mesure	40 (-5; -11)	40	35	29
72/48 BIOFIB TRIO 45	Calcul	40 (-5; -11)	40	35	29
	Mesure	39 (-5; -11)	39	34	28
98/48 BIOFIB TRIO 45	Calcul	49 (-6; -14)	49	43	35
	Mesure	47 (-5; -12)	47	42	35

#### 4.2.2 - Doublages intérieurs sur ossature métallique

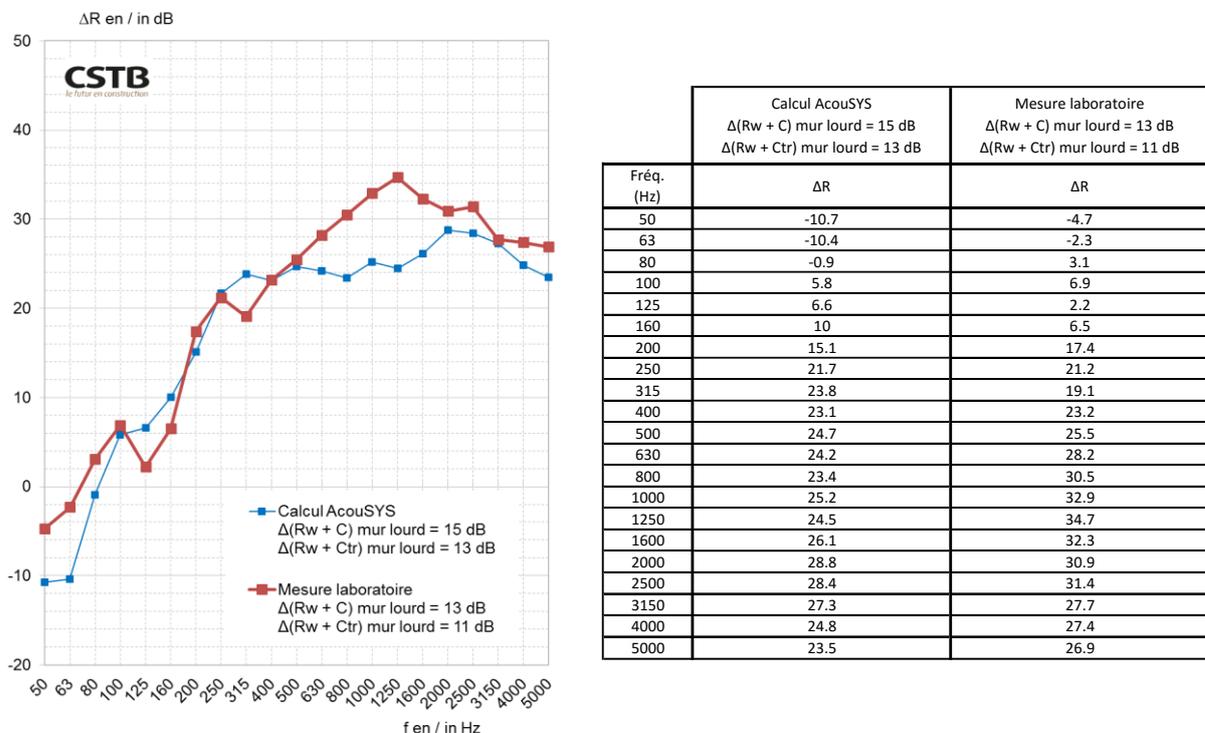
Dans le cadre de la modélisation d'un doublage intérieur sur ossature métallique, l'isolant présent dans la cavité entre le mur support et les plaques de plâtre n'est pas supposé être en contact avec le mur support ; dans ce cas, son contact avec les plaques de plâtre n'a globalement pas d'effet sur la performance acoustique. Cette situation correspond à l'hypothèse standard pour ce type de doublage sur ossature. On peut alors considérer que pour les caractéristiques mécaniques de l'isolant ont peu d'influence sur la transmission acoustique.

Cependant comme noté précédemment en Section 3.2, malgré les précautions prises lors du montage du doublage dans le laboratoire d'essai, l'isolant était en contact avec le mur support (béton ou parpaings); ainsi c'est cette hypothèse qui est retenue pour les comparaisons calcul-mesure présentées ci-dessous.

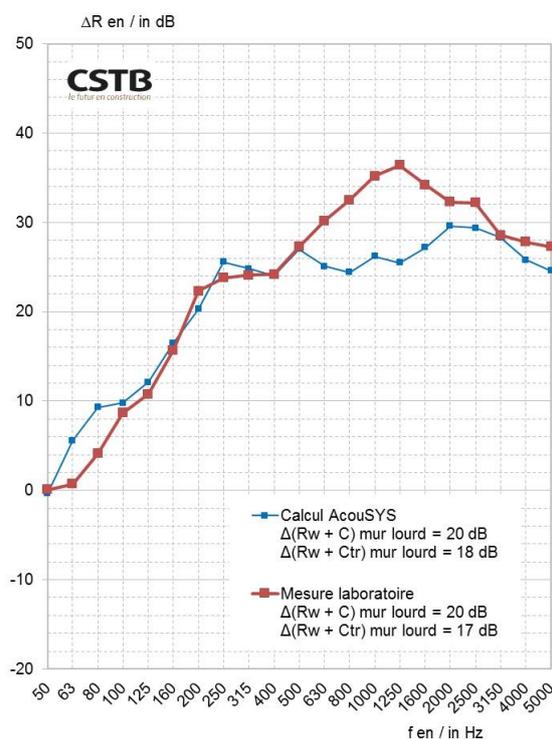
##### 4.2.2.1 - Mur support en béton

Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur les doublages intérieurs testés en laboratoire sur un mur support en béton sont présentées à la Figure 4-6 et Figure 4-7. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-2.

On notera que le comportement du doublage est globalement bien prédit.



**Figure 4-6 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par le doublage avec isolant biosourcé BIOFIB TRIO 145 sur mur de béton de 160 mm.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS Δ(Rw + C) mur lourd = 20 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 18 dB	Mesure laboratoire Δ(Rw + C) mur lourd = 20 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 17 dB
	ΔR	ΔR
50	-0.3	0.1
63	5.6	0.7
80	9.3	4.1
100	9.8	8.7
125	12.1	10.8
160	16.5	15.7
200	20.3	22.3
250	25.6	23.8
315	24.8	24.1
400	24	24.2
500	27	27.3
630	25.1	30.2
800	24.4	32.5
1000	26.2	35.2
1250	25.5	36.4
1600	27.2	34.2
2000	29.6	32.3
2500	29.4	32.2
3150	28.3	28.6
4000	25.8	27.8
5000	24.6	27.3

**Figure 4-7 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apporté par le doublage avec isolant biosourcé BIOFIB OUATE 100+45 sur mur de béton de 160 mm.**

**Tableau 4-2 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur doublages intérieurs mis en œuvre sur un mur support en béton.**

Doublage sur ossature		Δ(R <sub>w</sub> +C) <sub>lourd</sub> (dB)	Δ(R <sub>w</sub> +C <sub>tr</sub> ) <sub>lourd</sub> (dB)
BIOFIB TRIO 145	Calcul	15	13
	Mesure	13	11
BIOFIB OUATE 100+45	Calcul	20	18
	Mesure	20	17

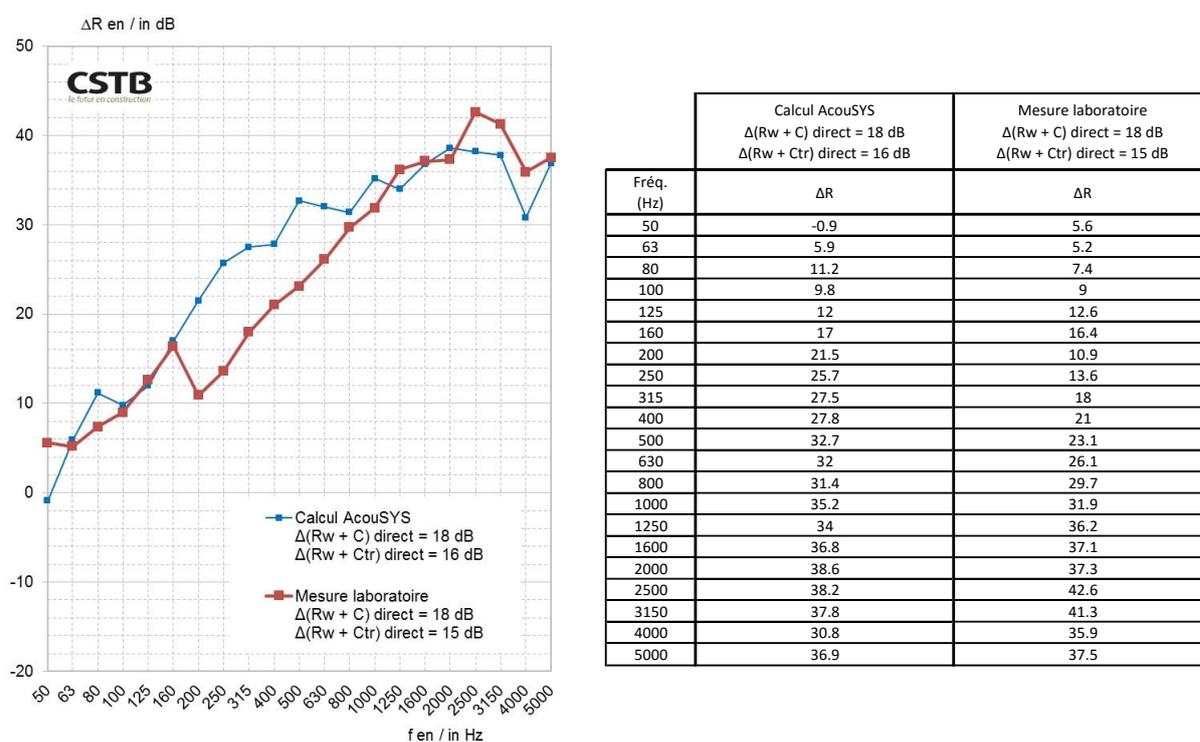
#### 4.2.2.2 - Mur support maçonné en parpaings

Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur les doublages intérieurs testés en laboratoire sur un mur support en parpaings creux sont présentées à la Figure 4-8 et Figure 4-9. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-3.

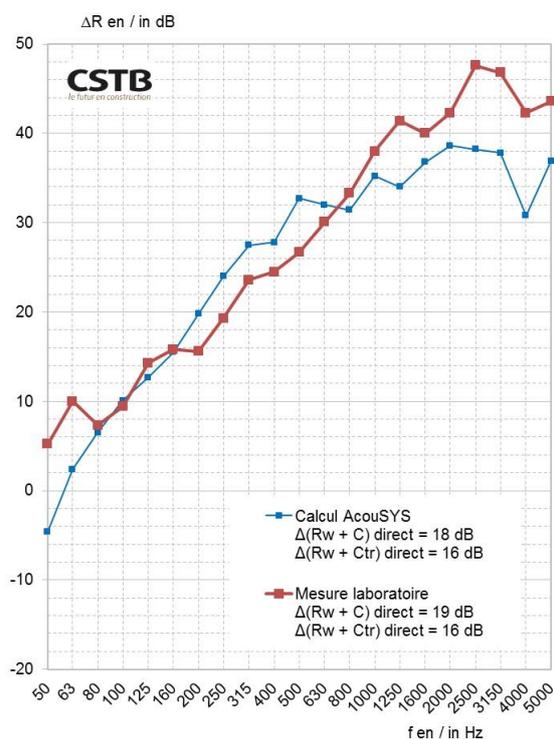
On notera que pour l'isolant biosourcé à base de chanvre (Figure 4-8) la chute de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique observée sur les valeurs mesurées au tiers d'octave 200 Hz est reliée à un contact fort entre les différentes couches constituant le système (mur support et doublage). Cependant en termes de performance globale, la prédiction est proche de la mesure.

Pour l'isolant biosourcé à base de coton (Figure 4-9), le comportement de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique en fonction de la fréquence et les indices globaux de performance sont globalement similaire pour la mesure et la prédiction.

En termes de performance globale, les deux doublages sont globalement équivalents.



**Figure 4-8 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par le doublage avec isolant biosourcé BIOFIB CHANVRE 100+45 sur mur en parpaings creux de 200 mm (enduit une face).**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	$\Delta(R_w + C)$ direct = 18 dB $\Delta(R_w + C_{tr})$ direct = 16 dB	$\Delta(R_w + C)$ direct = 19 dB $\Delta(R_w + C_{tr})$ direct = 16 dB
	$\Delta R$	$\Delta R$
50	-4.6	5.2
63	2.4	10
80	6.5	7.3
100	10.1	9.4
125	12.7	14.3
160	15.5	15.8
200	19.8	15.6
250	24	19.3
315	27.5	23.6
400	27.8	24.5
500	32.7	26.7
630	32	30.1
800	31.4	33.3
1000	35.2	38
1250	34	41.4
1600	36.8	40
2000	38.6	42.3
2500	38.2	47.6
3150	37.8	46.8
4000	30.8	42.3
5000	36.9	43.6

**Figure 4-9 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par le doublage avec isolant biosourcé METISSE PM 100+45 sur mur en parpaings creux de 200 mm (enduit une face).**

**Tableau 4-3 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur doublages intérieurs mis en œuvre sur un mur support en parpaings creux (enduit une face).**

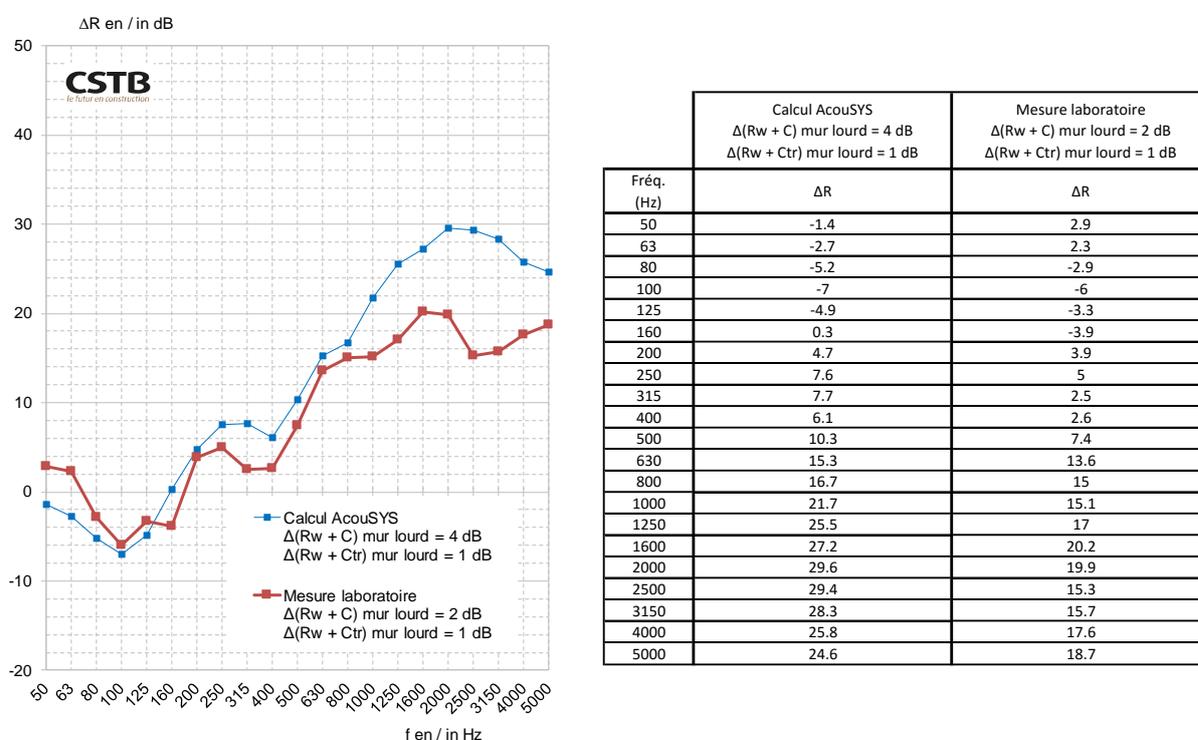
Doublage sur ossature		$\Delta(R_w+C)_{direct}$ (dB)	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ (dB)
BIOFIB CHANVRE 100+45	Calcul	18	16
	Mesure	18	15
METISSE PM 100+45	Calcul	18	16
	Mesure	19	16

### 4.2.3 - Doublage extérieur

La comparaison calcul/mesure obtenue sur le doublage extérieur testé en laboratoire sur un mur support en béton est présentée à la Figure 4-10. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-4.

Dans le cadre de la modélisation du doublage extérieur, l'isolant est en contact avec le mur support et avec l'enduit ; ainsi les paramètres mécaniques de l'isolant ont un effet important sur la performance acoustique. Cette situation correspond à l'hypothèse standard pour ce type de doublage extérieur.

On notera que le comportement fréquentiel de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique est similaire pour la mesure et la prédiction, et la performance globale en termes de  $\Delta(R_w+C_{tr})$  est la même.



**Figure 4-10 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par le doublage avec isolant biosourcé STEICO Protect L Dry 140 (avec enduit) sur mur de béton de 160 mm.**

**Tableau 4-4 : Comparaison des performances acoustiques simulées et mesurées sur doublage extérieur mis en œuvre sur un mur support en béton.**

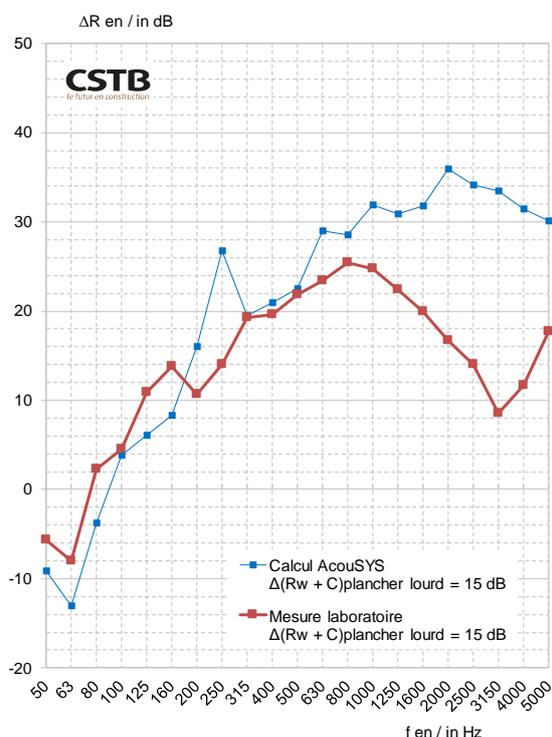
Doublage		$\Delta(R_w+C)_{lourd}$ (dB)	$\Delta(R_w+C_{tr})_{lourd}$ (dB)
STEICO Protect L Dry 140 (avec enduit)	Calcul	4	1
	Mesure	2	1

#### 4.2.4 - Plafond suspendu

La comparaison calcul/mesure obtenue sur le plafond suspendu testé en laboratoire est présentée à la Figure 4-11. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées Tableau 4-5.

Dans le cadre de la modélisation du plafond suspendu, l'isolant est considéré en contact avec le plancher support et les plaques de plâtre. Il faut rajouter que les suspentes et fourrures permettant de fixer le plafond suspendu ne sont pas prises en compte dans la modélisation. Le fait de considérer l'isolant sans contact avec le plancher support ne permet d'améliorer la comparaison entre calcul et mesure.

On notera qu'à partir du tiers d'octave 1 kHz l'amélioration prédit de l'indice d'affaiblissement acoustique du plafond s'écarte de celle mesurée ; en effet la simulation ne prend pas en compte les liaisons entre le plancher support et les plaques de plâtre (comme indiqué précédemment l'impact des suspentes et fourrures de fixation n'est pas considéré dans le modèle). Cependant la performance globale prédite et mesurée est la même.



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 15 dB		Mesure laboratoire $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 15 dB	
	$\Delta R$ (dB)		$\Delta R$ (dB)	
50	-9.1		-5.7	
63	-13		-8	
80	-3.7		2.3	
100	3.9		4.5	
125	6.1		10.9	
160	8.3		13.8	
200	16		10.7	
250	26.8		14	
315	19.5		19.3	
400	20.9		19.6	
500	22.5		21.8	
630	29		23.4	
800	28.6		25.4	
1000	31.9		24.7	
1250	30.9		22.4	
1600	31.8		19.9	
2000	35.9		16.7	
2500	34.1		14	
3150	33.5		8.5	
4000	31.5		11.7	
5000	30.1		17.7	

**Figure 4-11 : Comparaison calcul/mesure de l'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par le plafond suspendu avec isolant biosourcé BIOFIB OUATE 100 sous plancher en béton de 140 mm.**

**Tableau 4-5 : Comparaison des performances acoustiques simulées et mesurées sur doublage extérieur mis en œuvre sous plancher béton.**

Plafond suspendu		$\Delta(R_w+C)_{\text{plancher lourd}}$ (dB)
BIOFIB OUATE 100	Calcul	15
	Mesure	15

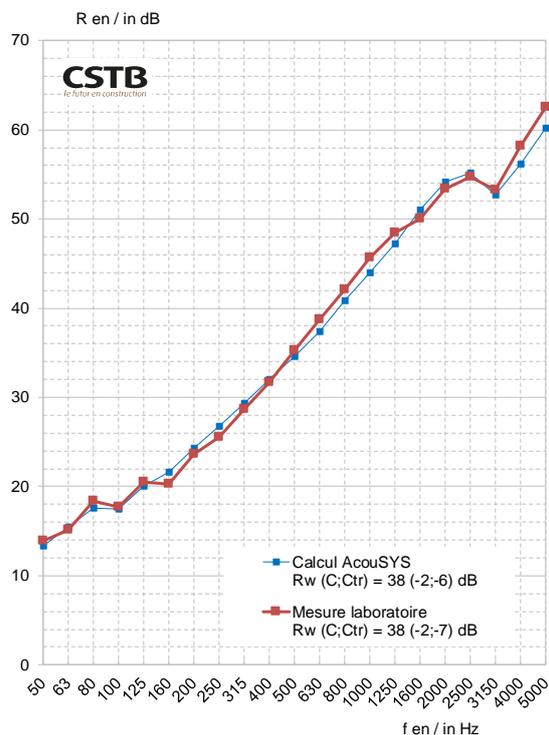
#### 4.2.5 - Combles perdus

##### 4.2.5.1 - Isolation entre solives

Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur les combles perdus testés en laboratoire avec isolant entre solives sont présentées à la Figure 4-12 et Figure 4-13. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-6.

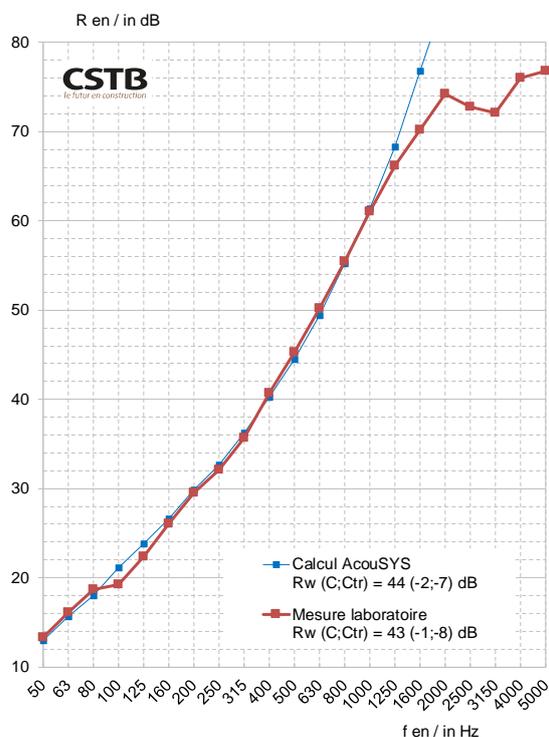
Dans le cadre de la modélisation, l'isolant repose sur les plaques de plâtre. Ainsi, les paramètres mécaniques de l'isolant peuvent avoir un impact sur la performance acoustique comme le squelette du matériau poreux est excité. Cette situation correspond à l'hypothèse standard pour ce type de système.

On notera que dans ce cas l'indice d'affaiblissement prédit est très proche de celui mesuré. La différence observée dans les hautes fréquences entre prédiction et mesure sur l'indice d'affaiblissement acoustique pour l'isolant en ouate n'a pas d'influence sur la performance globale du système. Cette différence est certainement dû au fait que les paramètres mécaniques *de* pour les isolants en vrac (module d'Young et amortissement) n'ont pas pu être déterminés (difficulté) et que des paramètres standards sont utilisés.



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS Rw (C;Ctr) = 38 (-2;-6) dB	Mesure laboratoire Rw (C;Ctr) = 38 (-2;-7) dB
	R (dB)	R (dB)
50	13.3	13.9
63	15.5	15.1
80	17.6	18.4
100	17.5	17.7
125	20.1	20.5
160	21.6	20.3
200	24.3	23.6
250	26.8	25.5
315	29.3	28.7
400	32	31.7
500	34.6	35.2
630	37.4	38.7
800	40.8	42.1
1000	44	45.6
1250	47.2	48.4
1600	51	50
2000	54.2	53.4
2500	55.1	54.7
3150	52.7	53.3
4000	56.2	58.2
5000	60.2	62.5

**Figure 4-12 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur un comble perdu avec isolant biosourcé JETFIB'NATUR 350 entre solives.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS Rw (C;Ctr) = 44 (-2;-7) dB	Mesure laboratoire Rw (C;Ctr) = 43 (-1;-8) dB
	R (dB)	R (dB)
50	13	13.3
63	15.7	16.1
80	18	18.7
100	21.1	19.2
125	23.8	22.4
160	26.6	26.1
200	29.8	29.5
250	32.7	32.1
315	36.2	35.7
400	40.2	40.7
500	44.5	45.3
630	49.4	50.2
800	55.2	55.4
1000	61.4	61
1250	68.3	66.2
1600	76.8	70.2
2000	85.1	74.2
2500	92.8	72.8
3150	97.1	72.1
4000	107.7	76
5000	108.5	76.8

**Figure 4-13 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur un comble perdu avec isolant biosourcé CELLAOUATE 350 entre solives.**

**Tableau 4-6 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur combles perdus entre solives.**

Comble perdu entre solives		R <sub>w</sub> (C ; C <sub>tr</sub> ) (dB)	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)
JETFIB'NATUR 350	Calcul	38 (-2; -6)	38	36	32
	Mesure	38 (-2; -7)	38	36	31
CELLAOUATE 350	Calcul	44 (-2; -7)	44	42	37
	Mesure	43 (-1; -8)	43	42	35

#### 4.2.5.2 - Isolation entre et au-dessus des solives

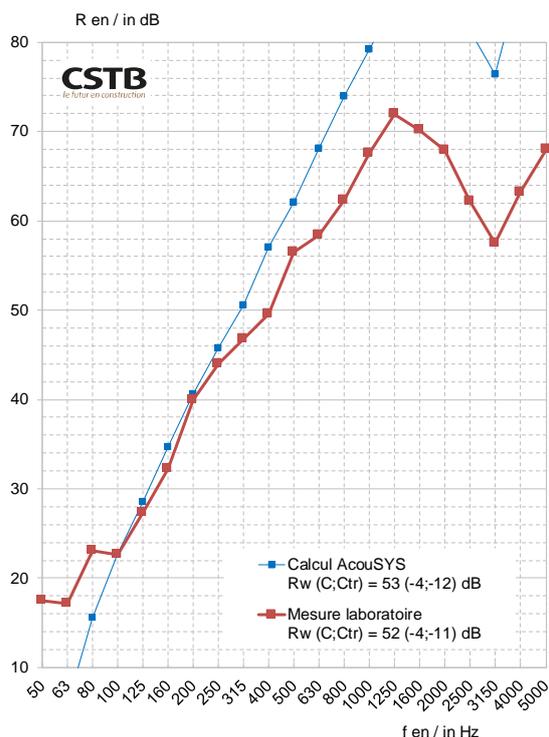
Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur les combles perdus testés en laboratoire avec isolant entre et au-dessus des solives sont présentées à la Figure 4-14 et Figure 4-15. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-7.

Dans le cadre de la modélisation, l'isolant entre solive repose sur les plaques de plâtre et celui au-dessus des solives repose sur les plaques d'OSB. Ainsi, les paramètres mécaniques de l'isolant peuvent avoir un impact sur la performance acoustique comme le squelette du matériau poreux est excité. Le court-circuit vibratoire entre les plaques d'OSB et les plaques de plâtre du fait de la présence des solives et des suspentes/fourrures n'est pas prise en compte par simplicité et par manque de caractéristiques pertinentes.

On notera que globalement le comportement fréquentiel de l'indice d'affaiblissement acoustique est similaire entre la mesure et la prédiction.

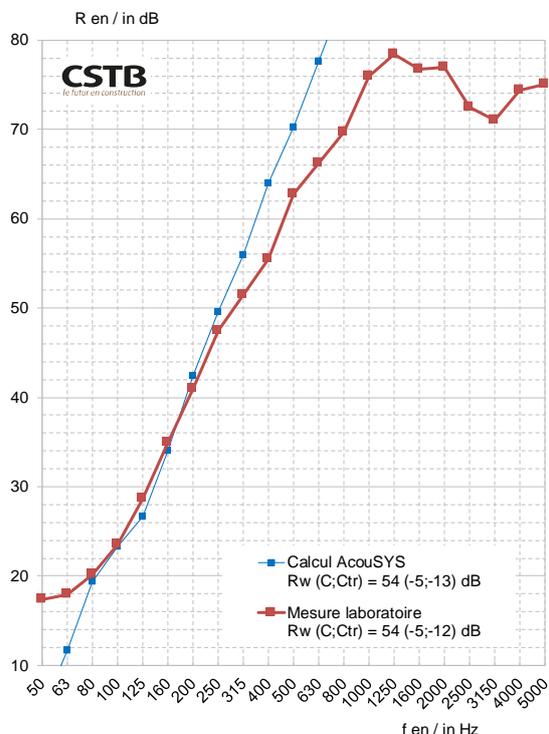
Lorsqu'aucune isolation complémentaire n'est posée au-dessus du plancher (Figure 4-14), la performance prédite surestime celle mesurée dans les hautes fréquences du fait que les solides de plancher et les suspentes/fourrures du plafond ne sont pas prise en compte dans la simulation : ces éléments créent un court-circuit vibratoire entre les plaques d'OSB et les plaques de plâtre ce qui diminue la performance acoustique dans les hautes fréquences. Ce phénomène est aussi à l'origine des différences observées dans les basses fréquences (en dessous du tiers d'octave 100 Hz), la présence de ce court-circuit limitant l'effet de résonance de cavité entre les plaques d'OSB et les plaques de plâtre. Ces différences ont cependant peu d'effet sur la performance globale du système.

Les mêmes commentaires peuvent s'appliquer lorsqu'une couche d'isolant biosourcés complémentaire est posé sur les plaques d'OSB (Figure 4-15).



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	R (dB)	R (dB)
50	5.9	17.5
63	5.9	17.1
80	15.6	23.1
100	22.7	22.6
125	28.5	27.3
160	34.7	32.2
200	40.6	39.9
250	45.8	44
315	50.6	46.8
400	57	49.6
500	62.1	56.5
630	68.1	58.4
800	73.9	62.3
1000	79.2	67.6
1250	84.3	71.9
1600	89.5	70.1
2000	92.4	67.9
2500	81.3	62.2
3150	76.4	57.5
4000	87.1	63.2
5000	95.6	68

**Figure 4-14 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur un comble perdu avec isolant biosourcé METISSE PM 200 mm dans la cavité entre une plaque de plâtre BA13 et une plaque d'OSB12.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	R (dB)	R (dB)
50	5	17.4
63	11.7	17.9
80	19.4	20.2
100	23.3	23.5
125	26.6	28.7
160	34	34.9
200	42.4	41
250	49.6	47.4
315	55.9	51.5
400	64	55.5
500	70.2	62.8
630	77.6	66.2
800	85	69.7
1000	91.4	76
1250	93.6	78.4
1600	98.3	76.7
2000	103.8	77
2500	106	72.5
3150	100.8	71
4000	107.8	74.4
5000	108.5	75.1

**Figure 4-15 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur un comble perdu avec isolant biosourcé METISSE PM 200 mm dans la cavité entre une plaque de plâtre BA13 et une plaque d'OSB12 surfacée d'un isolant biosourcé METISSE PM 100 mm.**

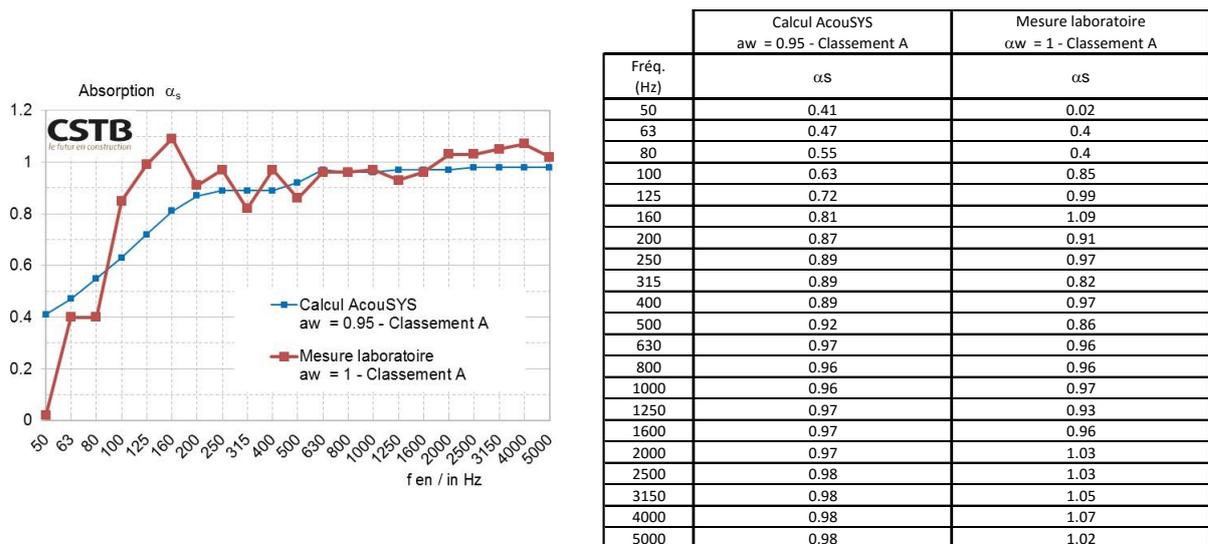
**Tableau 4-7 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur combles perdus entre et au-dessus de solives.**

Comble perdu entre et au-dessus de solives		R <sub>w</sub> (C ; C <sub>tr</sub> ) (dB)	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)
BA13 + METISSE PM 200 mm + OSB12	Calcul	53 (-4 ; -12)	53	49	41
	Mesure	52 (-4; -11)	52	48	41
BA13 + METISSE PM 200 mm + OSB12 + METISSE PM 100 mm	Calcul	54 (-5 ; -13)	54	49	41
	Mesure	54 (-5; -12)	54	49	42

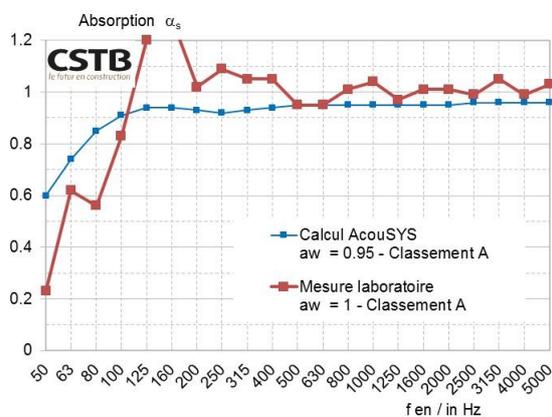
**4.2.5.3 - Absorption acoustique**

Les comparaisons calcul/mesure en termes d'absorption acoustique pour les isolants utilisés en combles perdus sont présentées à la Figure 4-16, Figure 4-17 et Figure 4-18. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-20.

Pour les types d'isolant biosourcés pris en compte, on notera que globalement le comportement fréquentiel du coefficient d'absorption acoustique est similaire entre la mesure et la prédiction. Le coefficient d'absorption acoustique mesuré montre des valeurs supérieures à 1 avec un maximum au tiers d'octave 160 Hz à cause de la taille finie du système testé en laboratoire et des effets de bord. Ces effets ne sont pas pris en compte dans la modélisation.

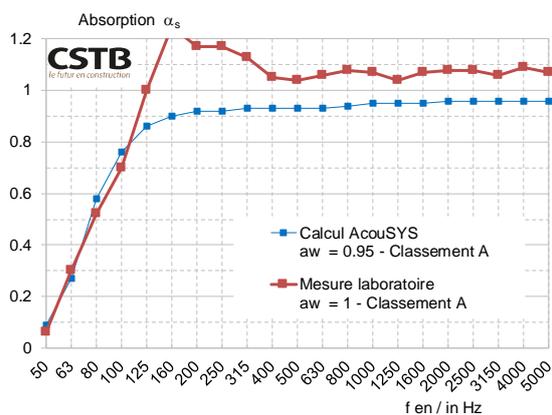


**Figure 4-16 : Comparaison calcul/mesure du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour l'isolant biosourcé JETFIB'NATUR 350 mm.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS $\alpha_w = 0.95$ - Classement A	Mesure laboratoire $\alpha_w = 1$ - Classement A
	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.6	0.23
63	0.74	0.62
80	0.85	0.56
100	0.91	0.83
125	0.94	1.2
160	0.94	1.29
200	0.93	1.02
250	0.92	1.09
315	0.93	1.05
400	0.94	1.05
500	0.95	0.95
630	0.95	0.95
800	0.95	1.01
1000	0.95	1.04
1250	0.95	0.97
1600	0.95	1.01
2000	0.95	1.01
2500	0.96	0.99
3150	0.96	1.05
4000	0.96	0.99
5000	0.96	1.03

**Figure 4-17 : Comparaison calcul/mesure du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour l'isolant biosourcé CELLAOUATE 350 mm.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS $\alpha_w = 0.95$ - Classement A	Mesure laboratoire $\alpha_w = 1$ - Classement A
	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.09	0.06
63	0.27	0.3
80	0.58	0.52
100	0.76	0.7
125	0.86	1
160	0.9	1.25
200	0.92	1.17
250	0.92	1.17
315	0.93	1.13
400	0.93	1.05
500	0.93	1.04
630	0.93	1.06
800	0.94	1.08
1000	0.95	1.07
1250	0.95	1.04
1600	0.95	1.07
2000	0.96	1.08
2500	0.96	1.08
3150	0.96	1.06
4000	0.96	1.09
5000	0.96	1.07

**Figure 4-18 : Comparaison calcul/mesure du coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour l'isolant biosourcé METISSE PM 200 mm.**

**Tableau 4-8 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées en termes d'absorption acoustique des isolants utilisés sur combles perdus entre solives.**

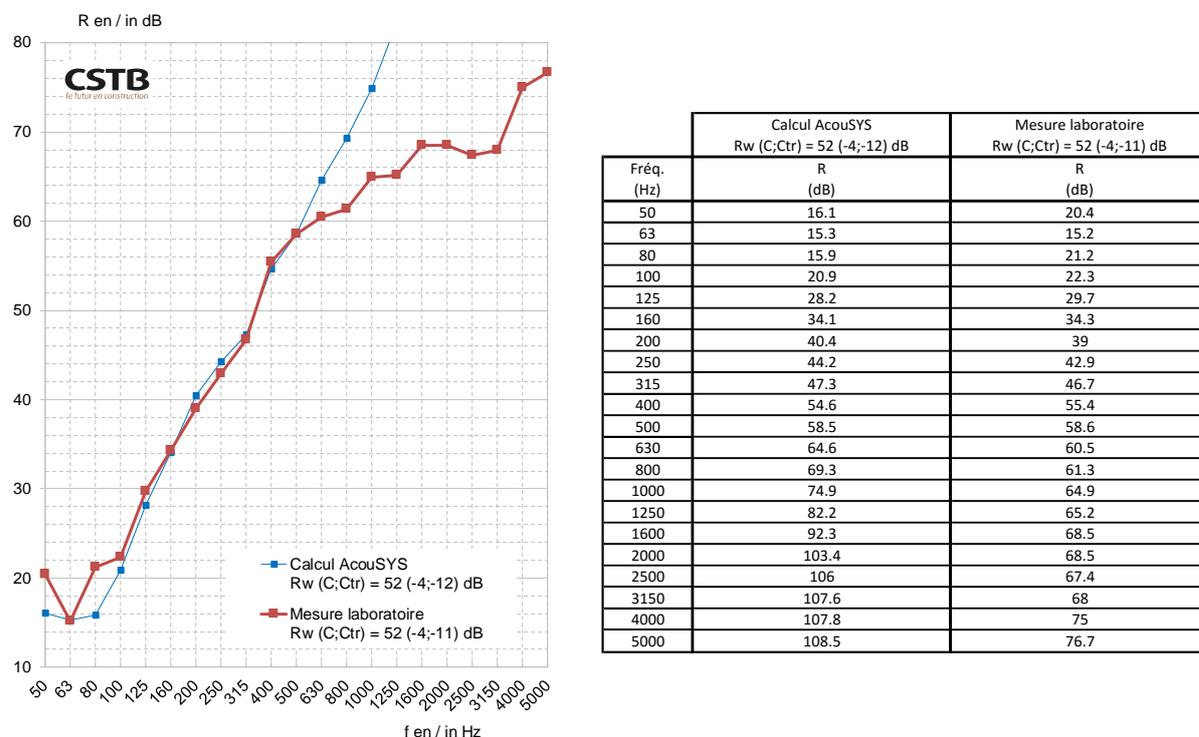
Comble perdu entre solives		$\alpha_w$ (-)	Classement (-)
JETFIB'NATUR 350	Calcul	0,95	A
	Mesure	1,00	A
CELLAOUATE 350	Calcul	0,95	A
	Mesure	1,00	A
METISSE PM 200	Calcul	0,95	A
	Mesure	1,00	A

#### 4.2.6 - Toitures

La comparaison calcul/mesure obtenue sur la toiture testée en laboratoire est présentée Figure 4-19. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées Tableau 4-9.

Dans le cadre de la modélisation de la toiture, les isolants sont considérés en contact entre eux mais pas avec les plaques de plâtre dont les suspentes permettant leur fixation sous les pannes ne sont pas prises en compte dans la modélisation. Il en est de même pour les courts-circuits vibratoires dus à la présence des liteaux/contre-liteaux et des chevrons/pannes.

On notera que globalement le comportement fréquentiel de l'indice d'affaiblissement acoustique est similaire entre la mesure et la prédiction. La différence observée dans les hautes fréquences entre prédiction et mesure est certainement dû au fait que les courts-circuits vibratoires ne sont pas pris en compte par le calcul, mais ça n'a aucune influence sur la performance globale du système.



**Figure 4-19 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur la toiture avec isolant biosourcé.**

**Tableau 4-9 : Comparaison des performances acoustiques simulées et mesurées sur la toiture.**

Toiture		R <sub>w</sub> (C ; C <sub>tr</sub> ) (dB)	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)
BA13 + Flex F038 145 mm (entre pannes) + Flex F038 80 mm (entre chevrons) + Universal 35 mm (écran sous toiture)	Calcul	52 (-4 ; -12)	52	48	40
	Mesure	52 (-4; -11)	52	48	41

#### 4.2.7 - Murs en béton de chanvre

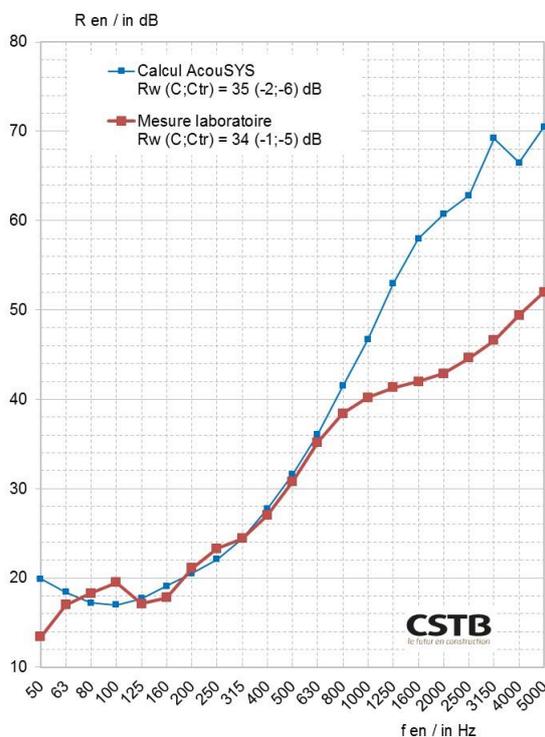
##### 4.2.7.1 - Mur de refend d'épaisseur 270 mm

Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur le mur de refend de 270 mm testé en laboratoire sans et avec finitions (1 face et 2 faces) sont présentées de la Figure 4-20 à la Figure 4-22. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-10.

On notera que les caractéristiques ont été estimées et/ou recalées pour obtenir les résultats de calcul présentés.

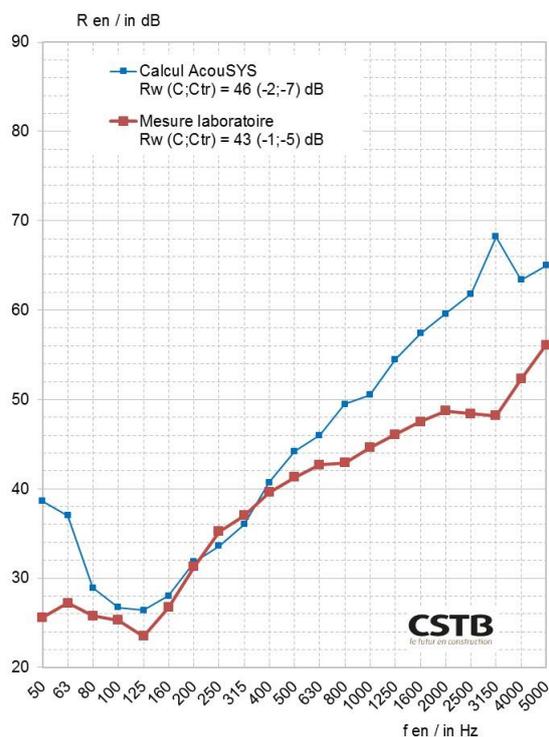
Pour le mur sans finition, la modélisation donne de bons résultats par rapport à la mesure jusqu'au tiers d'octave 800 Hz ; pour les tiers d'octave supérieurs, l'indice d'affaiblissement prédit est surestimé. Cette remarque s'applique globalement aussi pour les murs avec finition une face et deux faces. Il semble peu probable que cet effet soit relié à la non prise en compte de l'ossature dans le mur dans le modèle de prédiction car le module d'élasticité du composant « béton de chanvre » du mur de refend est relativement élevé.

Cependant la performance globale évaluée pour la prédiction est relativement proche de celle évaluée pour la mesure que le mur de refend soit sans ou avec finitions.



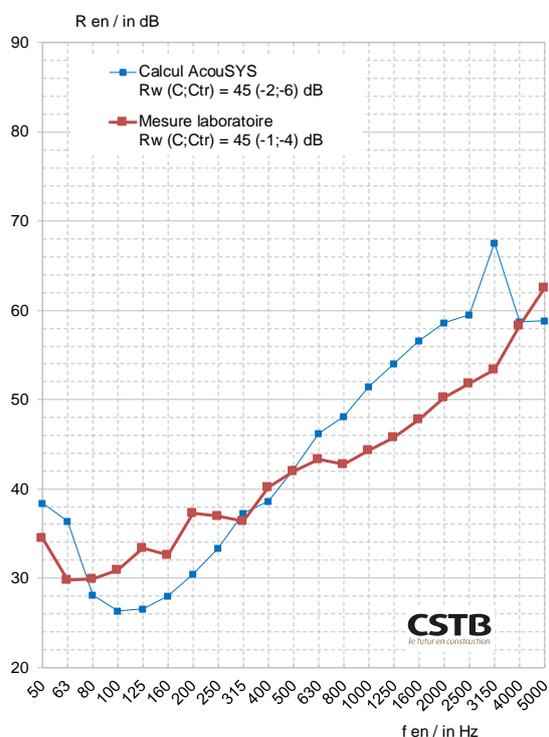
Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	R (dB)	R (dB)
50	19.9	13.4
63	18.4	17
80	17.2	18.3
100	17	19.5
125	17.7	17.1
160	19.1	17.8
200	20.5	21.1
250	22.1	23.3
315	24.4	24.4
400	27.7	27
500	31.6	30.8
630	36.1	35.2
800	41.5	38.4
1000	46.7	40.2
1250	53	41.3
1600	58	42
2000	60.7	42.9
2500	62.8	44.6
3150	69.2	46.6
4000	66.5	49.4
5000	70.5	52

**Figure 4-20 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur le mur de refend en béton de chanvre de 270 mm sans finition.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	Rw (C;Ctr) = 46 (-2;-7) dB	Rw (C;Ctr) = 43 (-1;-5) dB
	R (dB)	R (dB)
50	38.6	25.6
63	37	27.2
80	28.9	25.8
100	26.7	25.3
125	26.4	23.5
160	28	26.7
200	31.8	31.3
250	33.6	35.2
315	36	37
400	40.7	39.6
500	44.2	41.3
630	46	42.7
800	49.5	42.9
1000	50.5	44.6
1250	54.5	46.1
1600	57.4	47.5
2000	59.6	48.7
2500	61.8	48.4
3150	68.2	48.2
4000	63.4	52.3
5000	65	56.1

**Figure 4-21 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur le mur de refend en béton de chanvre de 270 mm avec finition (BA13 sur une face).**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	Rw (C;Ctr) = 45 (-2;-6) dB	Rw (C;Ctr) = 45 (-1;-4) dB
	R (dB)	R (dB)
50	38.4	34.5
63	36.4	29.8
80	28.1	29.9
100	26.3	30.9
125	26.6	33.4
160	28	32.6
200	30.5	37.3
250	33.4	37
315	37.3	36.4
400	38.6	40.2
500	42.2	42
630	46.2	43.3
800	48.1	42.8
1000	51.5	44.3
1250	54.1	45.8
1600	56.6	47.8
2000	58.6	50.2
2500	59.5	51.8
3150	67.6	53.4
4000	58.8	58.3
5000	58.9	62.6

**Figure 4-22 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur le mur de refend en béton de chanvre de 270 mm avec finitions (BA13 et enduit).**

**Tableau 4-10 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur le mur de refend en béton de chanvre de 270 mm sans et avec finitions.**

Mur de refend		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Mur en béton de chanvre 270 mm	Calcul	35 (-2 ; -6)	35	33	29
	Mesure	34 (-1 ; -5)	34	33	29
Mur en béton de chanvre 270 mm avec finition 1 face	Calcul	46 (-2 ; -7)	46	44	39
	Mesure	43 (-1 ; -5)	43	42	38
Mur en béton de chanvre 270 mm avec finitions	Calcul	45 (-2 ; -6)	45	43	39
	Mesure	45 (-1 ; -4)	45	44	41

#### 4.2.7.2 - Mur de façade d'épaisseur 320 mm

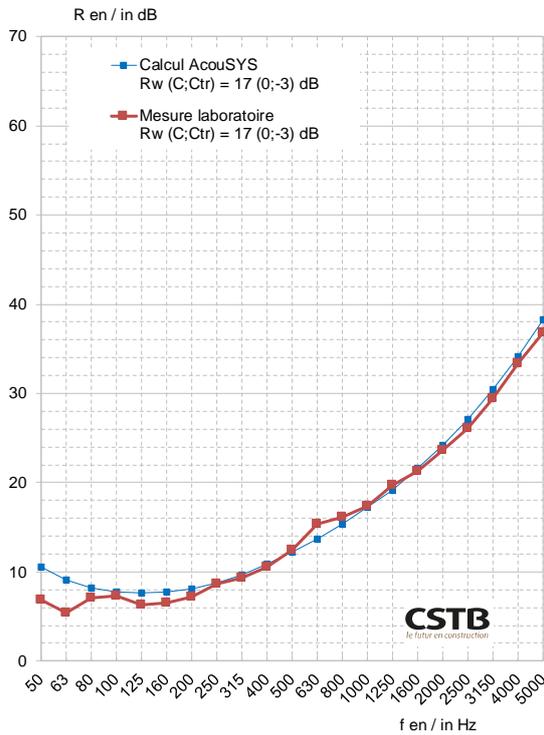
Les comparaisons calcul/mesure obtenues sur le mur de façade de 320 mm testé en laboratoire sans et avec finitions sont présentées à la Figure 4-23 et Figure 4-24. Les performances acoustiques calculées et mesurées sont synthétisées au Tableau 4-11.

On notera que pour ce cas aussi les caractéristiques ont été estimées et/ou recalées pour obtenir les résultats de calcul présentés.

Ce mur de façade sans finition bien que plus épais (320 mm) est beaucoup moins performant que le mur de refend d'une épaisseur 270 mm. Ce mur de façade est notamment moins lourd et moins raide que le mur de refend, ce qui explique leur différence de performance.

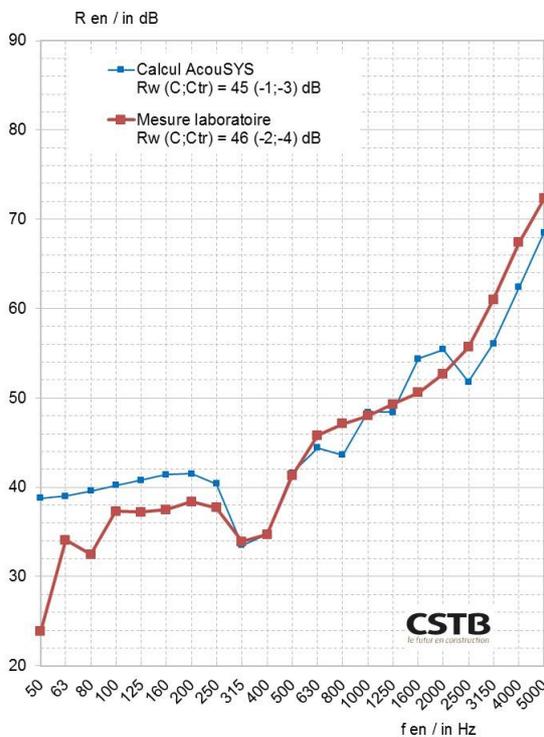
Pour le mur sans finition, la modélisation donne de très bons résultats par rapport à la mesure sur toute la bande fréquentielle considérée. Pour le mur de façade avec finitions (2 faces), le comportement fréquentiel prédit est assez proche de celui mesuré.

La performance globale évaluée pour la prédiction est relativement proche de celle évaluée pour la mesure que le mur de façade soit sans ou avec finitions.



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	R (dB)	R (dB)
50	10.5	6.8
63	9.1	5.4
80	8.2	7.1
100	7.8	7.3
125	7.6	6.3
160	7.7	6.5
200	8.1	7.2
250	8.7	8.6
315	9.7	9.3
400	10.9	10.5
500	12.2	12.4
630	13.7	15.4
800	15.4	16.1
1000	17.2	17.4
1250	19.1	19.7
1600	21.6	21.3
2000	24.2	23.6
2500	27.1	26.1
3150	30.4	29.4
4000	34.1	33.4
5000	38.3	36.8

**Figure 4-23 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur le mur de façade en béton de chanvre de 320 mm sans finition.**



Fréq. (Hz)	Calcul AcouSYS	Mesure laboratoire
	R (dB)	R (dB)
50	38.8	23.9
63	39	34.1
80	39.6	32.5
100	40.2	37.3
125	40.8	37.2
160	41.4	37.5
200	41.5	38.4
250	40.4	37.7
315	33.5	33.9
400	34.7	34.7
500	41.6	41.3
630	44.4	45.8
800	43.6	47.1
1000	48.4	48
1250	48.4	49.3
1600	54.4	50.6
2000	55.4	52.7
2500	51.8	55.7
3150	56.1	61
4000	62.4	67.4
5000	68.5	72.3

**Figure 4-24 : Comparaison calcul/mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique R simulé et mesuré sur le mur de façade en béton de chanvre de 320 mm avec finitions (enduits).**

**Tableau 4-11 : Comparaisons des performances acoustiques simulées et mesurées sur le mur de façade en béton de chanvre de 320 mm sans et avec finitions.**

Mur de façade		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Mur en béton de chanvre 320 mm	Calcul	17 (0 ; -3)	17	17	14
	Mesure	17 (0 ; -3)	17	17	14
Mur en béton de chanvre 320 mm avec finitions	Calcul	45 (-1 ; -3)	45	44	42
	Mesure	46 (-2; -4)	46	44	42

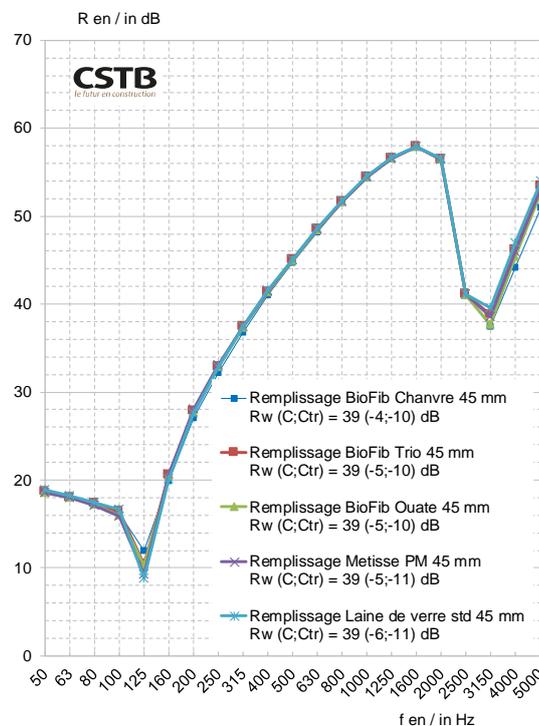
### 4.3 - Extrapolation des résultats

Le but de cette section est de comparer certains des résultats obtenus par simulations avec les matériaux biosourcés à ceux avec des matériaux en laine minérale. Ainsi, si la performance obtenue est du même ordre, il sera possible de considérer une extrapolation à des résultats obtenus dans le cadre de ce projet à des systèmes équivalents testés avec une laine minérale.

#### 4.3.1 - Cloisons sur ossature métallique

##### 4.3.1.1 - Cloisons 72/48

La Figure 4-25 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des cloisons de type 72/48 remplies avec différents matériaux biosourcés, comparés avec un remplissage de laine minérale standard.

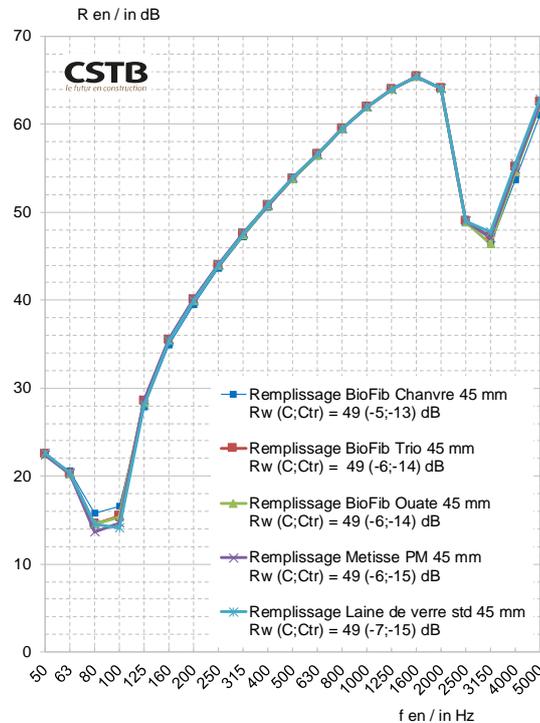


Fréq. (Hz)	Remplissage BioFib Chanvre 45 mm Rw (C;Ctr) = 39 (-4;-10) dB	Remplissage BioFib Trio 45 mm Rw (C;Ctr) = 39 (-5;-10) dB	Remplissage BioFib Ouate 45 mm Rw (C;Ctr) = 39 (-5;-10) dB	Remplissage Metisse PM 45 mm Rw (C;Ctr) = 39 (-5;-11) dB	Remplissage Laine de verre std 45 mm Rw (C;Ctr) = 39 (-6;-11) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	18.6	18.7	18.6	18.6	18.9
63	18	18	18	18	18.2
80	17.2	17.3	17.2	17.1	17.4
100	16.2	16.4	16	15.9	16.7
125	12	10.4	10.3	9.3	8.8
160	19.9	20.6	20.5	20.7	20.1
200	27	27.8	27.7	28	27.6
250	32.2	32.9	32.9	33.1	32.9
315	36.8	37.4	37.3	37.5	37.4
400	41	41.4	41.4	41.5	41.6
500	44.7	45	44.9	45.1	45.1
630	48.2	48.5	48.4	48.5	48.6
800	51.5	51.7	51.7	51.7	51.8
1000	54.3	54.4	54.4	54.4	54.5
1250	56.5	56.6	56.6	56.6	56.7
1600	57.8	57.9	57.9	57.9	57.9
2000	56.5	56.5	56.5	56.5	56.6
2500	41	41.1	41	41.1	41.1
3150	37.5	38.8	37.7	38.6	39.6
4000	44.1	46.2	45.4	45.9	46.9
5000	51	53.4	52.8	53.2	54

**Figure 4-25 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour des cloisons de type 72/48 remplies de différents isolants biosourcés et une laine de verre standard de 45 mm**

4.3.1.2 - **Cloisons 98/48**

La Figure 4-26 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des cloisons de type 98/48 remplies avec différents matériaux biosourcés, comparés avec un remplissage de laine minérale standard.



Fréq. (Hz)	Remplissage BioFib Chanvre 45 mm Rw (C,Ctr) = 49 (-5;-13) dB	Remplissage BioFib Trio 45 mm Rw (C,Ctr) = 49 (-6;-14) dB	Remplissage BioFib Ouate 45 mm Rw (C,Ctr) = 49 (-6;-14) dB	Remplissage Metisse PM 45 mm Rw (C,Ctr) = 49 (-6;-15) dB	Remplissage Laine de verre std 45 mm Rw (C,Ctr) = 49 (-7;-15) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	22.5	22.5	22.5	22.4	22.6
63	20.6	20.2	20.3	20.2	20.4
80	15.8	14.6	14.5	13.6	14.5
100	16.6	15.4	15.3	14.7	14.1
125	27.9	28.5	28.4	28.6	28.1
160	34.9	35.5	35.4	35.6	35.3
200	39.5	40	39.9	40.1	39.9
250	43.6	44	43.9	44.1	43.9
315	47.2	47.5	47.4	47.6	47.5
400	50.6	50.8	50.8	50.8	50.9
500	53.7	53.8	53.8	53.9	53.9
630	56.4	56.6	56.5	56.6	56.6
800	59.4	59.5	59.5	59.5	59.5
1000	61.9	61.9	61.9	61.9	62
1250	64	64	64	64	64
1600	65.4	65.4	65.4	65.4	65.4
2000	64.1	64.1	64.1	64.1	64.1
2500	48.9	49	48.9	49	49
3150	46.3	47.2	46.4	47.1	47.8
4000	53.7	55.1	54.6	54.9	55.5
5000	61	62.5	62.2	62.4	62.8

**Figure 4-26 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour des cloisons de type 98/48 remplies de différents isolants biosourcés et une laine de verre standard de 45 mm**

4.3.1.3 - **Synthèse**

Le Tableau 4-12 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour des cloisons sur ossature métallique.

Sur la base de ces résultats, il est donc possible de considérer que la performance d'une cloison sur ossature ou d'un séparatif léger sur ossature à base de plaques de plâtre est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé.

**Tableau 4-12 : Indices d'affaiblissement acoustique  $R$  estimés pour des cloisons sur ossature métallique remplies de matériaux biosourcés.**

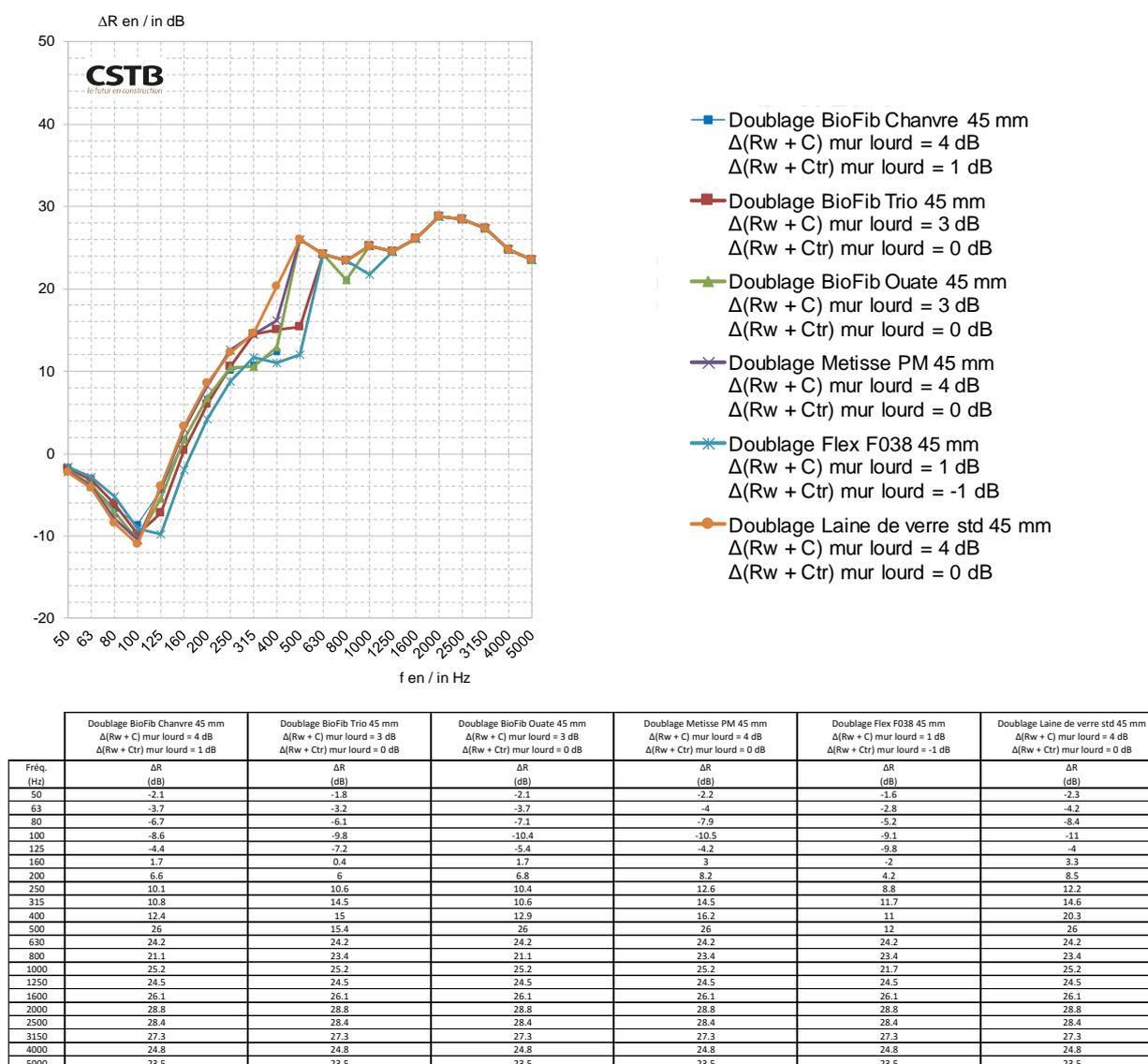
Cloison sur ossature		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)	
72/48	BIOFIB CHANVRE 45	Calcul	39 (-4; -10)	39	35	29
	BIOFIB TRIO 45		39 (-5; -10)	39	34	29
	BIOFIB OUATE 45		39 (-5; -10)	39	34	29
	Metisse PM 45		39 (-5; -11)	39	34	28
	Laine de verre standard 45		39 (-6; -11)	39	33	28
98/48	BIOFIB CHANVRE 45	Calcul	49 (-5 ; -13)	49	44	36
	BIOFIB TRIO 45		49 (-6 ; -14)	49	43	35
	BIOFIB OUATE 45		49 (-6 ; -14)	49	43	35
	Metisse PM 45		49 (-6 ; -15)	49	43	34
	Laine de verre standard 45		49 (-7 ; -15)	49	42	34

### 4.3.2 - Doublages intérieurs sur ossature métallique

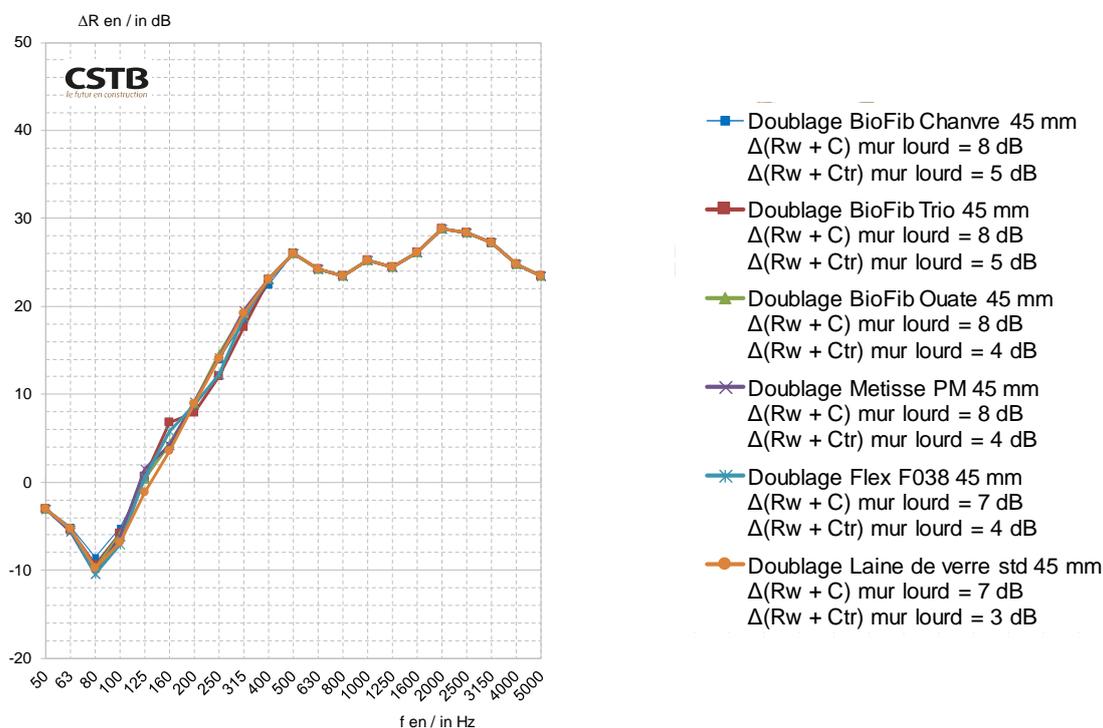
#### 4.3.2.1 - Sur mur support en béton

Les Figure 4-27 à Figure 4-30 présentent des extrapolations de résultats réalisées sur des doublages intérieurs de 45 et 145 mm d'épaisseur, réalisés en matériaux biosourcés et comparés à un doublage en laine minérale standard, mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm, avec et sans contact avec celui-ci.

On notera que seule la configuration sans contact est celle qui correspond au montage standard d'un doublage (dans le montage standard une lame d'air existe entre l'isolant placé dans l'ossature et le mur support). La configuration « avec contact » (l'isolant est en contact direct avec le mur support) est donnée à titre indicatif ; cette mise en œuvre est non souhaitable.

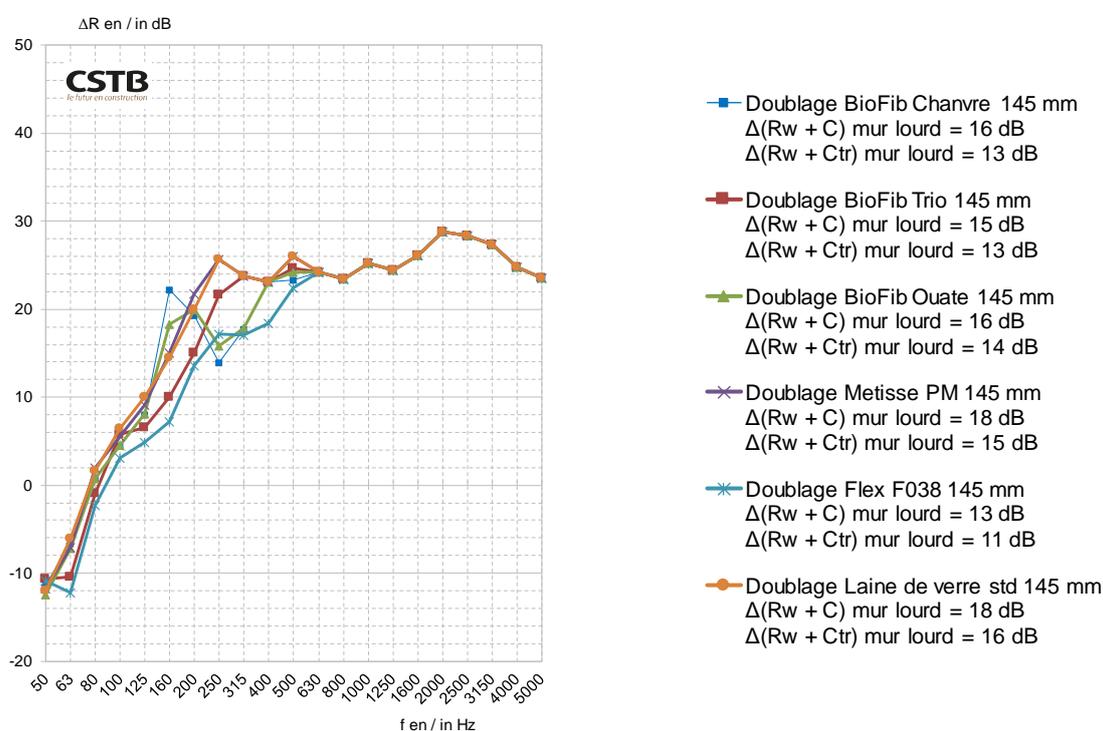


**Figure 4-27 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apportés par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm (AVEC contact)**



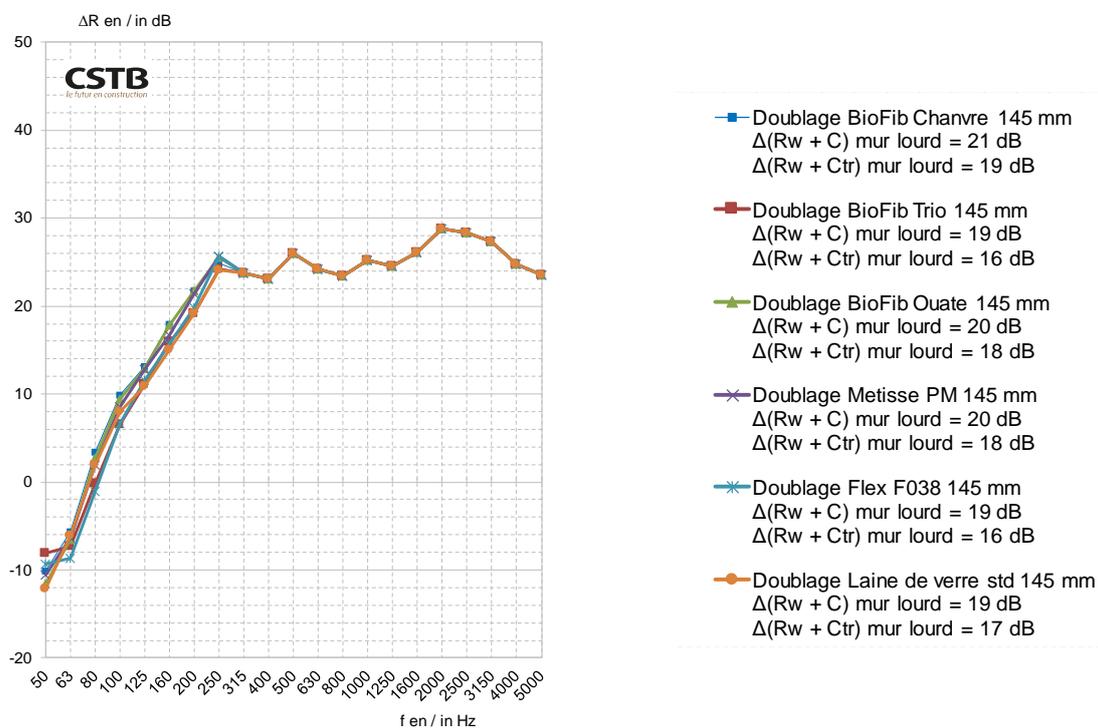
Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 8 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 5 dB		Doublage BioFib Trio 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 8 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 5 dB		Doublage BioFib Ouate 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 8 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 4 dB		Doublage Metisse PM 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 8 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 4 dB		Doublage Flex F038 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 7 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 4 dB		Doublage Laine de verre std 45 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 7 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 3 dB	
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-2.9	-3.1	-3	-3.1	-3	-3.1	-3	-3.1	-3	-3.1	-3	-3.1
63	-5.1	-5.4	-5.4	-5.4	-5.4	-5.6	-5.4	-5.4	-5.4	-5.4	-5.3	-5.3
80	-8.5	-9.4	-9.4	-9.4	-9.8	-10.4	-9.8	-10.4	-10.4	-10.4	-9.8	-9.8
100	-5.2	-5.8	-5.8	-5.9	-5.9	-6.2	-6.2	-7.1	-7.1	-7.1	-6.9	-6.9
125	0.3	0.7	0.7	0.7	0.4	1.5	1.5	0.5	0.5	0.5	-1.1	-1.1
160	4.2	6.8	6.8	6.8	4.5	4.2	4.2	5.8	5.8	5.8	3.6	3.6
200	8.9	7.9	7.9	7.9	9	9.1	9.1	8.8	8.8	8.8	8.9	8.9
250	14	12	12	12	14.6	14.2	14.2	12.3	12.3	12.3	14.1	14.1
315	18.4	17.6	17.6	17.6	19.2	19.5	19.5	18.8	18.8	18.8	19.2	19.2
400	22.4	23	23	23	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
500	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
630	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
800	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
1000	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
1250	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
1600	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
2000	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
2500	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
3150	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
4000	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
5000	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

**Figure 4-28 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apportés par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm (SANS contact)**



Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 16 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 13 dB	Doublage BioFib Trio 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 15 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 13 dB	Doublage BioFib Ouate 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 16 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 14 dB	Doublage Metisse PM 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 18 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 15 dB	Doublage Flex F038 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 13 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 11 dB	Doublage Laine de verre std 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 18 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 16 dB
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-11.3	-10.7	-12.5	-11.8	-10.9	-12
63	-6.6	-10.4	-7.2	-7.1	-12.2	-6.1
80	0.9	-0.9	0.7	2	-2.3	1.6
100	4.4	5.8	4.5	5.6	3.1	6.5
125	8	6.6	8.1	9.1	4.9	10
160	22.2	10	18.3	15.1	7.2	14.5
200	19.3	15.1	20	21.8	13.6	20
250	13.9	21.7	15.8	25.7	17.2	25.7
315	17.7	23.8	17.8	23.8	17.1	23.8
400	23.1	23.1	23.1	23.1	18.4	23.1
500	23.3	24.7	24.2	26	22.4	26
630	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
800	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
1000	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
1250	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
1600	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
2000	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
2500	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
3150	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
4000	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
5000	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

**Figure 4-29 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apporté par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 145 mm, mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm (AVEC contact)**

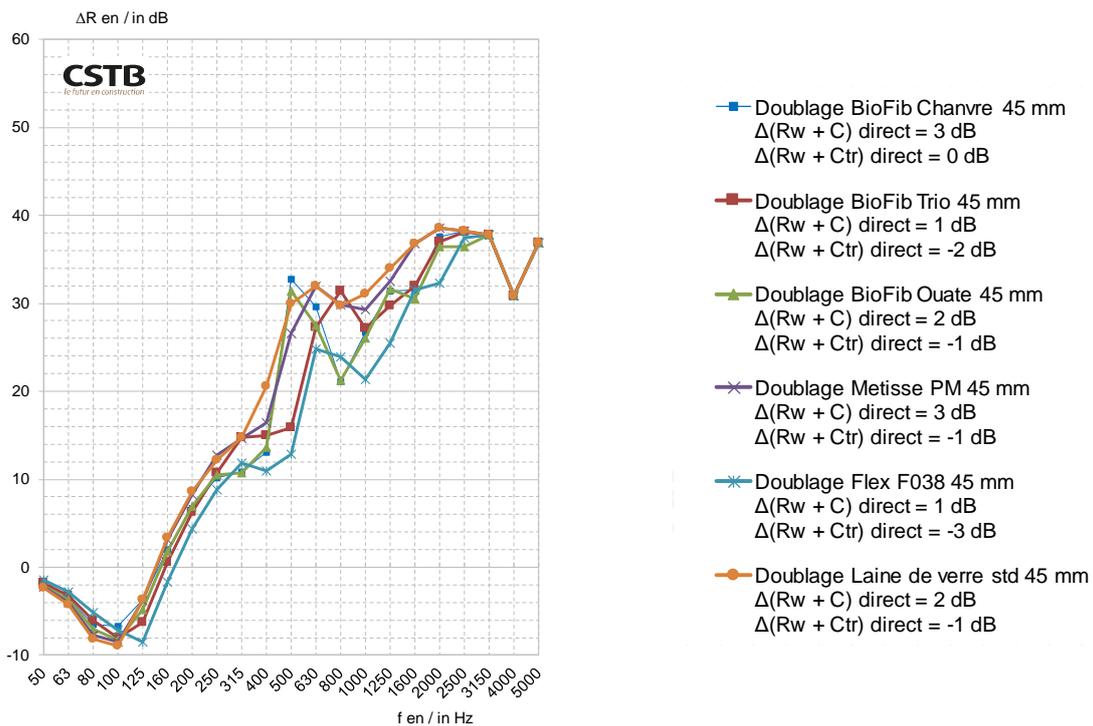


Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 21 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 19 dB	Doublage BioFib Trio 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 19 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 16 dB	Doublage BioFib Ouate 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 20 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 18 dB	Doublage Metisse PM 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 20 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 18 dB	Doublage Flex F038 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 19 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 16 dB	Doublage Laine de verre std 145 mm Δ(Rw + C) mur lourd = 19 dB Δ(Rw + Ctr) mur lourd = 17 dB
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-10.1	-8.1	-11.6	-10.6	-9.3	-12.1
63	-5.6	-7.3	-6.5	-6.3	-8.6	-6.1
80	3.4	-0.2	2.7	2	-1	2
100	9.9	6.5	9.5	8.6	6.7	8
125	13.2	11.1	12.9	12.8	11.6	10.9
160	17.9	15.9	17.8	16.7	15.7	15.1
200	21.8	19.2	21.8	21.4	19.9	19.2
250	24.9	24.2	25.6	25.7	25.7	24.1
315	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8	23.8
400	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1	23.1
500	26	26	26	26	26	26
630	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2	24.2
800	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
1000	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2	25.2
1250	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5
1600	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
2000	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8	28.8
2500	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4
3150	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3
4000	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
5000	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5

**Figure 4-30 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apporté par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm (SANS contact)**

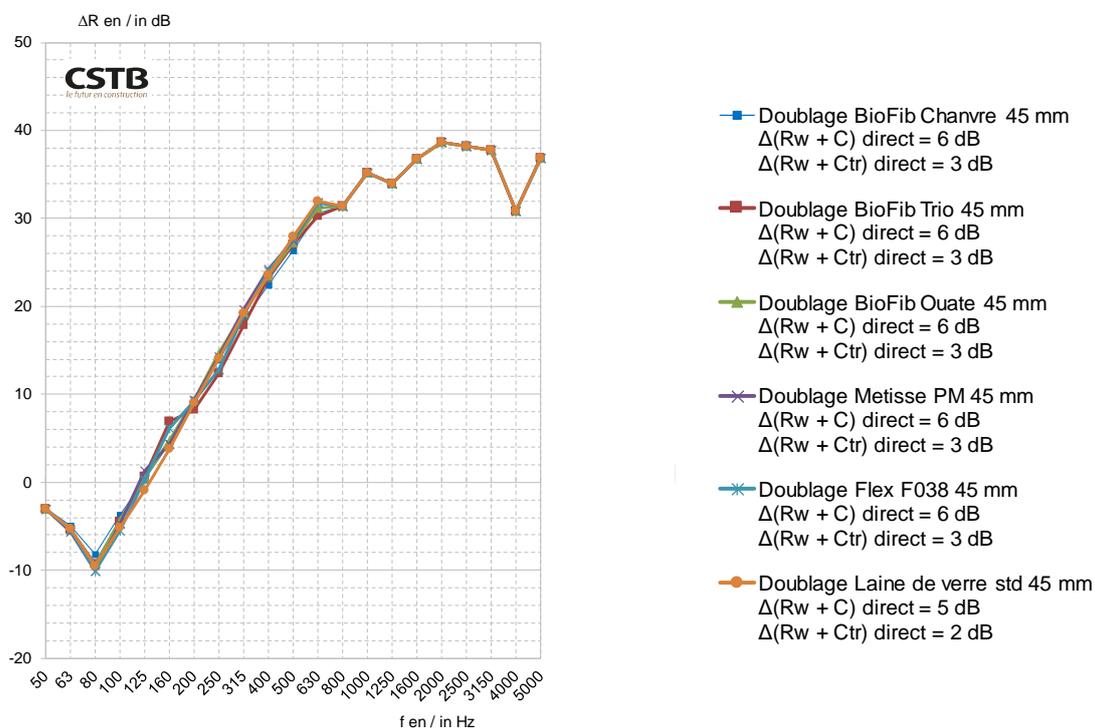
4.3.2.2 - **Sur mur support maçonné en parpaings**

Les Figure 4-31 à Figure 4-34 présentent des extrapolations de résultats réalisées sur des doublages intérieurs de 45 et 145 mm d'épaisseur, réalisés en matériaux biosourcés et comparés à un doublage en laine minérale standard, mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm (enduit une face), avec et sans contact avec celui-ci (voir la remarque sur le contact entre l'isolant et le mur support dans la section précédente).



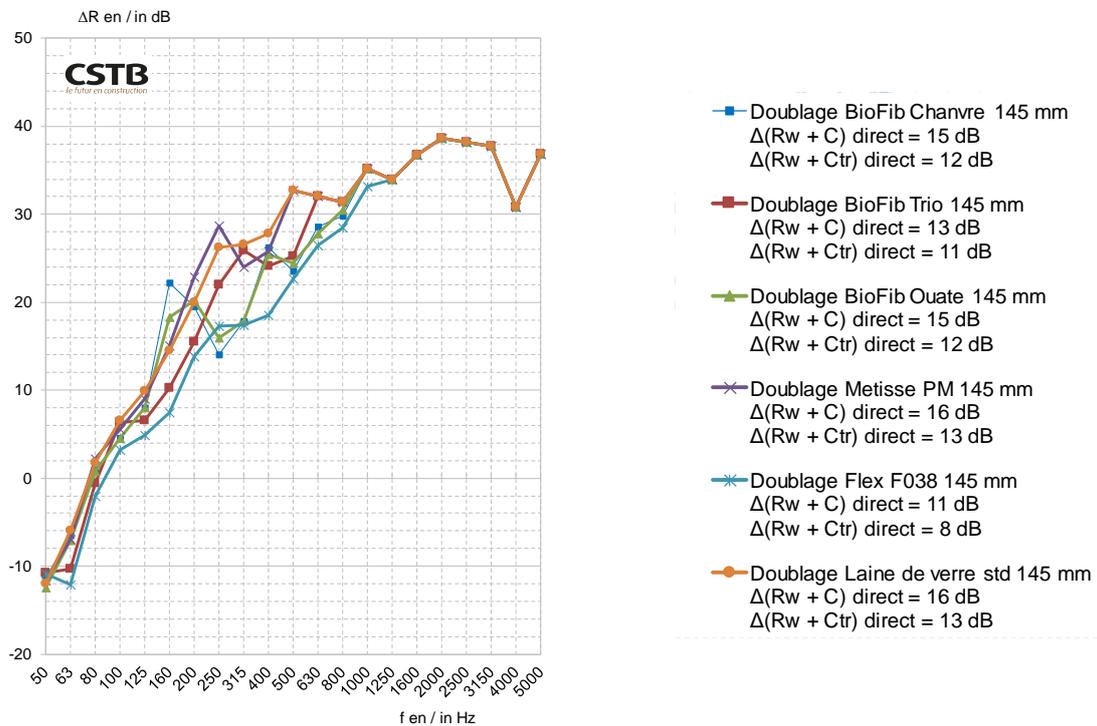
Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 45 mm Δ(Rw + C) direct = 3 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 0 dB	Doublage BioFib Trio 45 mm Δ(Rw + C) direct = 1 dB Δ(Rw + Ctr) direct = -2 dB	Doublage BioFib Ouate 45 mm Δ(Rw + C) direct = 2 dB Δ(Rw + Ctr) direct = -1 dB	Doublage Metisse PM 45 mm Δ(Rw + C) direct = 3 dB Δ(Rw + Ctr) direct = -1 dB	Doublage Flex F038 45 mm Δ(Rw + C) direct = 1 dB Δ(Rw + Ctr) direct = -3 dB	Doublage Laine de verre std 45 mm Δ(Rw + C) direct = 2 dB Δ(Rw + Ctr) direct = -1 dB
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-2	-1.8	-2.1	-2.2	-1.5	-2.3
63	-3.6	-3.2	-3.7	-4	-2.8	-4.2
80	-6.5	-6	-7	-7.7	-5.1	-8.2
100	-6.7	-8	-8.3	-8.5	-7.2	-9
125	-3.7	-6.3	-4.8	-3.8	-8.5	-3.7
160	2	0.6	1.8	3.1	-1.7	3.3
200	6.7	6.2	6.9	8.3	4.3	8.6
250	10.2	10.7	10.5	12.7	8.8	12.2
315	10.8	14.7	10.7	14.6	11.8	14.7
400	13.1	15	13.6	16.4	11	20.6
500	32.7	15.9	31.4	26.6	12.8	30
630	29.6	27.3	27.5	32	24.8	32
800	21.1	31.4	21.2	29.9	23.9	23.7
1000	26.7	27.2	26	29.3	21.4	31.1
1250	31.4	29.7	31.6	32.5	25.5	34
1600	31.5	32	30.5	36.8	31.5	36.8
2000	37.6	37	36.4	38.6	32.3	38.6
2500	38.2	38.1	36.4	38.2	37.5	38.2
3150	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
4000	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8
5000	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9

**Figure 4-31 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apportés par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm, enduit une face (AVEC contact)**



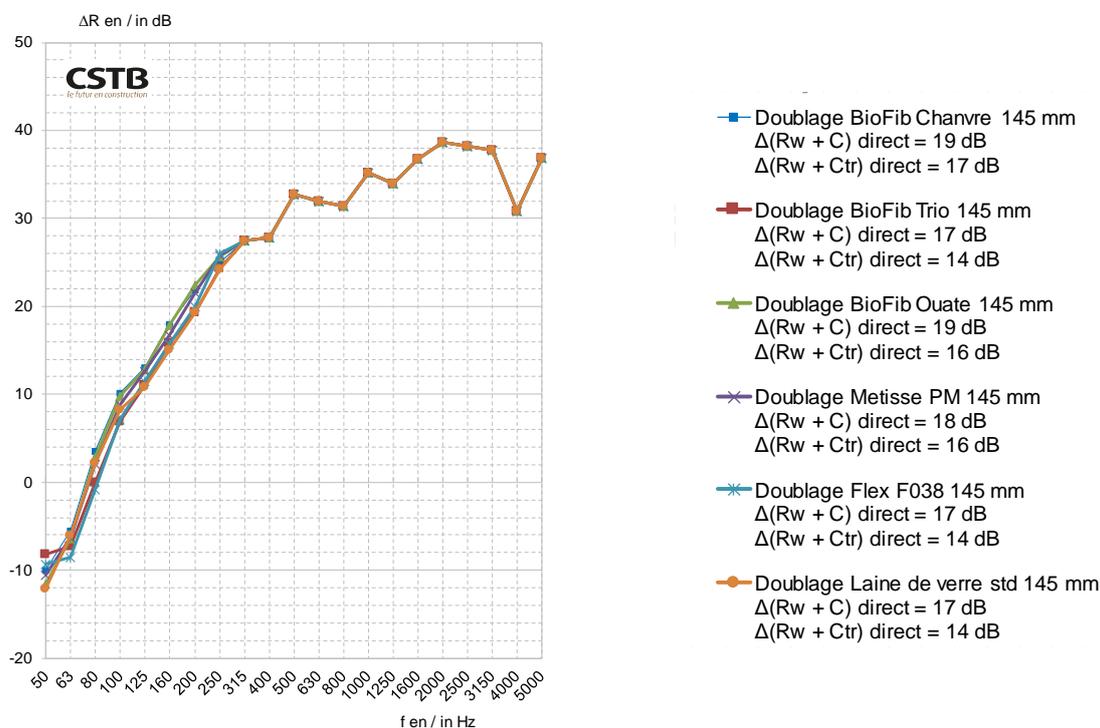
Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 45 mm Δ(Rw + C) direct = 6 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 3 dB		Doublage BioFib Trio 45 mm Δ(Rw + C) direct = 6 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 3 dB		Doublage BioFib Ouate 45 mm Δ(Rw + C) direct = 6 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 3 dB		Doublage Metisse PM 45 mm Δ(Rw + C) direct = 6 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 3 dB		Doublage Flex F038 45 mm Δ(Rw + C) direct = 6 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 3 dB		Doublage Laine de verre std 45 mm Δ(Rw + C) direct = 5 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 2 dB	
	ΔR (dB)		ΔR (dB)		ΔR (dB)		ΔR (dB)		ΔR (dB)		ΔR (dB)	
50	-2.9		-3.1		-3		-3.1		-3		-3	
63	-5		-5.4		-5.4		-5.6		-5.4		-5.3	
80	-8.2		-9.3		-9.4		-10.1		-10.1		-9.5	
100	-3.7		-4.5		-4.3		-4.7		-5.5		-5.2	
125	0.3		0.6		0.5		1.3		0.3		-0.9	
160	4.4		6.9		4.8		4.3		6.1		3.8	
200	9.4		8.2		9.4		9.4		9.2		9	
250	14		12.4		14.7		14.3		12.8		14.1	
315	18.4		17.9		19.3		19.6		19		19.2	
400	22.5		23.2		23.4		24.2		24		23.6	
500	26.4		27		27.2		27.5		27.7		27.9	
630	30.6		30.3		31.2		31.8		31.7		32	
800	31.4		31.4		31.4		31.4		31.4		31.4	
1000	35.2		35.2		35.2		35.2		35.2		35.2	
1250	34		34		34		34		34		34	
1600	36.8		36.8		36.8		36.8		36.8		36.8	
2000	38.6		38.6		38.6		38.6		38.6		38.6	
2500	38.2		38.2		38.2		38.2		38.2		38.2	
3150	37.8		37.8		37.8		37.8		37.8		37.8	
4000	30.8		30.8		30.8		30.8		30.8		30.8	
5000	36.9		36.9		36.9		36.9		36.9		36.9	

**Figure 4-32 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apportés par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm, enduit une face (SANS contact)**



Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 145 mm Δ(Rw + C) direct = 15 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 12 dB		Doublage BioFib Trio 145 mm Δ(Rw + C) direct = 13 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 11 dB		Doublage BioFib Ouate 145 mm Δ(Rw + C) direct = 15 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 12 dB		Doublage Metisse PM 145 mm Δ(Rw + C) direct = 16 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 13 dB		Doublage Flex F038 145 mm Δ(Rw + C) direct = 11 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 8 dB		Doublage Laine de verre std 145 mm Δ(Rw + C) direct = 16 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 13 dB	
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-11.3	-10.8	-12.4	-11.7	-12.1	-12	-6					
63	-6.5	-10.3	-7.1	-7	-12.1	-6	-6					
80	1	-0.6	0.8	2.2	-2.1	1.7	1.7					
100	4.5	6.3	4.6	5.6	3.2	6.6	6.6					
125	8	6.6	8	9	4.9	9.9	9.9					
160	22.2	10.2	18.3	15.1	7.4	14.5	14.5					
200	19.5	15.5	20.2	22.9	13.8	20	20					
250	14.1	22	15.9	28.7	17.3	26.2	26.2					
315	17.8	25.9	17.9	24	17.4	26.6	26.6					
400	26.2	24.1	25.4	25.8	18.5	27.8	27.8					
500	23.6	25.2	24.4	32.7	22.7	32.7	32.7					
630	28.6	32	27.8	32	26.5	32	32					
800	29.8	31.4	30.5	31.4	28.5	31.4	31.4					
1000	35.2	35.2	35.2	35.2	33.2	35.2	35.2					
1250	34	34	34	34	34	34	34					
1600	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8					
2000	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6					
2500	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2					
3150	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8					
4000	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8					
5000	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9					

**Figure 4-33 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique ΔR apporté par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 145 mm, mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm, enduit une face (AVEC contact)**



Fréq. (Hz)	Doublage BioFib Chanvre 145 mm Δ(Rw + C) direct = 19 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 17 dB	Doublage BioFib Trio 145 mm Δ(Rw + C) direct = 17 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 14 dB	Doublage BioFib Ouate 145 mm Δ(Rw + C) direct = 19 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 16 dB	Doublage Metisse PM 145 mm Δ(Rw + C) direct = 18 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 16 dB	Doublage Flex F038 145 mm Δ(Rw + C) direct = 17 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 14 dB	Doublage Laine de verre std 145 mm Δ(Rw + C) direct = 17 dB Δ(Rw + Ctr) direct = 14 dB
	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)	ΔR (dB)
50	-10	-8.2	-11.5	-10.5	-9.3	-12.1
63	-5.5	-7.3	-6.4	-6.3	-8.5	-6.1
80	3.6	0	2.9	2.9	-0.8	2.2
100	10.2	6.9	9.8	8.8	7.1	8.3
125	13.1	11	12.8	12.6	11.5	10.8
160	18	15.9	17.9	16.7	15.7	15.1
200	21.9	19.3	22.5	21.5	20	19.3
250	25	24.3	25.7	25.8	26	24.2
315	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
400	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8	27.8
500	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7
630	32	32	32	32	32	32
800	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4	31.4
1000	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2	35.2
1250	34	34	34	34	34	34
1600	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8
2000	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6
2500	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2	38.2
3150	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8
4000	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8	30.8
5000	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9

**Figure 4-34 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apporté par des doublages intérieurs en isolants biosourcés et en laine de verre standard de 45 mm, mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm, enduit une face (SANS contact)**

#### 4.3.2.3 - Synthèse

Les Tableau 4-13 et Tableau 4-14 synthétisent l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour des doublages intérieurs sur ossature mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm et en parpaing de 200 mm, enduit une face (avec et sans contact avec le support).

Sur la base des résultats obtenus pour la configuration de doublage sans contact, qui correspond au montage standard d'un doublage (lame d'air entre l'isolant placé dans l'ossature et le mur support), il est donc possible de considérer que la performance d'un doublage sur ossature à base de plaques de plâtre est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé.

**Tableau 4-13 : Amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  estimées apportées par des doublages intérieurs sur ossature en matériaux biosourcés mis en œuvre sur un mur support en béton de 160 mm**

Doublage intérieur sur ossature		Avec contact		Sans contact		
		$\Delta(R_w+C)_{\text{lourd}}$ (dB)	$\Delta(R_w+C_{tr})_{\text{lourd}}$ (dB)	$\Delta(R_w+C)_{\text{lourd}}$ (dB)	$\Delta(R_w+C_{tr})_{\text{lourd}}$ (dB)	
Mur support en béton de 160 mm	BIOFIB CHANVRE 45	Calcul	4	1	8	5
	BIOFIB TRIO 45		3	0	8	5
	BIOFIB OUATE 45		3	0	8	4
	Metisse PM 45		4	0	8	4
	Flex F038 45		1	-1	7	4
	Laine de verre standard 45		4	0	7	3
	BIOFIB CHANVRE 145		16	13	21	19
	BIOFIB TRIO 145		15	13	19	16
	BIOFIB OUATE 145		16	14	20	18
	Metisse PM 145		18	15	20	18
	Flex F038 145		13	11	19	16
	Laine de verre standard 145		18	16	19	17

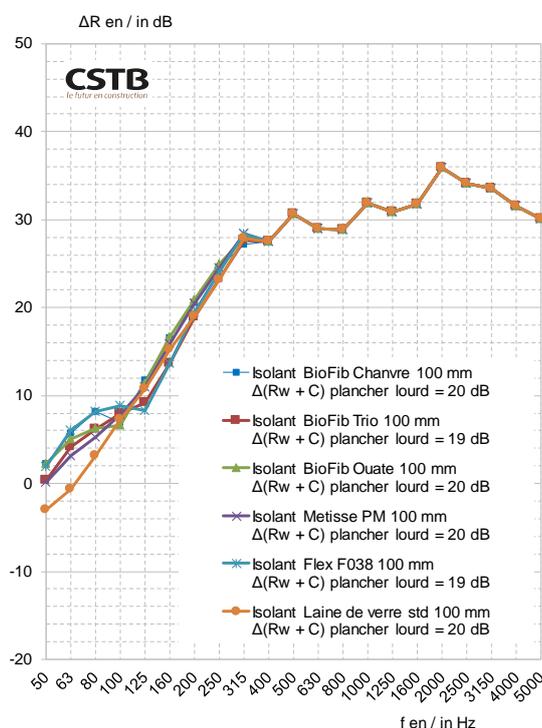
**Tableau 4-14 : Amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  estimées apportées par des doublages intérieurs sur ossature en matériaux biosourcés mis en œuvre sur un mur support maçonné en parpaings de 200 mm, enduit une face**

Doublage intérieur sur ossature		Avec contact		Sans contact		
		$\Delta(R_w+C)_{\text{direct}}$ (dB)	$\Delta(R_w+C_{tr})_{\text{direct}}$ (dB)	Avec contact	Sans contact	
Mur support maçonné en parpaing de 200 mm (enduit une face)	BIOFIB CHANVRE 45	Calcul	3	0	6	3
	BIOFIB TRIO 45		1	-2	6	3
	BIOFIB OUATE 45		2	-1	6	3
	Metisse PM 45		3	-1	6	3
	Flex F038 45		1	-3	6	3
	Laine de verre standard 45		2	-1	5	2
	BIOFIB CHANVRE 145		15	12	19	17
	BIOFIB TRIO 145		13	11	17	14
	BIOFIB OUATE 145		15	12	19	16
	Metisse PM 145		16	13	18	16
	Flex F038 145		11	8	17	14
	Laine de verre standard 145		16	13	17	14

### 4.3.3 - Plafonds suspendus

La Figure 4-35 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des plafonds suspendus mis en œuvre sous une dalle support en béton de 140 mm, isolés de matériaux biosourcés de 100 mm et comparés par rapport à une laine minérale standard. On notera que l'isolant est mis en œuvre sans contact avec le plancher support (lame d'air d'environ 1 cm entre l'isolant et le plancher support).

Le Tableau 4-15 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour des plafonds suspendus mis en œuvre sous un plancher support en béton de 140 mm.



Fréq. (Hz)	Isolant BioFib Chanvre 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 20 dB	Isolant BioFib Trio 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 19 dB	Isolant BioFib Ouate 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 20 dB	Isolant Metisse PM 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 20 dB	Isolant Flex F038 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 19 dB	Isolant Laine de verre std 100 mm $\Delta(Rw + C)$ plancher lourd = 20 dB
	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)	$\Delta R$ (dB)
50	2.2	0.4	2.3	0.1	1.9	-3
63	5.7	4.1	5.1	3.2	6.1	-0.7
80	8.2	6.2	6.3	5.3	8.2	3.2
100	6.9	8	6.6	7.8	8.8	7.3
125	11.7	9.2	11.4	11	8.3	10.7
160	16.6	13.6	16.7	15.9	13.6	15.2
200	20.6	18.9	20.9	20.5	19.5	19
250	24.6	23.3	25	24.5	24	23.2
315	27.2	27.6	28	28.4	28.4	27.9
400	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5
500	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6	30.6
630	29	29	29	29	29	29
800	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9	28.9
1000	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9	31.9
1250	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9	30.9
1600	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8	31.8
2000	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9
2500	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1	34.1
3150	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5
4000	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5
5000	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1

**Figure 4-35 : Indices d'amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  apportés par des plafonds suspendus isolés de matériaux biosourcés ou d'une laine de verre standard de 100 mm, mis en œuvre sous un plancher support en béton de 140 mm.**

Sur la base des résultats obtenus, il est donc possible de considérer que la performance d'un plafond suspendu sur ossature à base de plaques de plâtre, placé sous un plancher béton de 140 mm d'épaisseur, est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé (isolant mis en œuvre sans contact avec le plancher support).

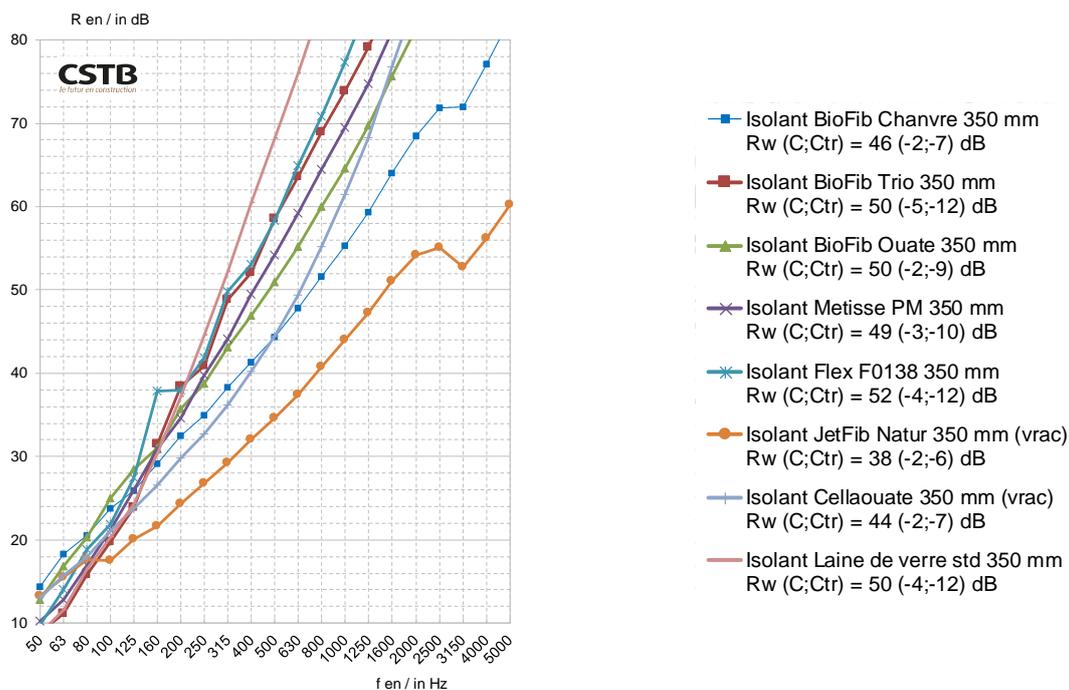
**Tableau 4-15 : Amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique  $\Delta R$  estimées apportées par des plafonds suspendus avec matériau absorbant mis en œuvre sous un plancher support en béton de 140 mm**

Plafond suspendu			$\Delta(R_w+C)_{\text{plancher lourd}}$ (dB)
Dalle support en béton de 140 mm	BIOFIB CHANVRE 100	Calcul	20
	BIOFIB TRIO 100		19
	BIOFIB OUATE 100		20
	Metisse PM 100		20
	Flex F038 100		19
	Laine de verre standard 100		20

### 4.3.4 - Combles perdus

#### 4.3.4.1 - Isolation entre solives

La Figure 4-36 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des combles perdus, isolés de matériaux biosourcés de 350 mm, mis en œuvre entre solives et comparés à une isolation avec une laine minérale standard.



Fréq. (Hz)	Isolant BioFib Chanvre 350 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-2;-7) dB	Isolant BioFib Trio 350 mm Rw (C;Ctr) = 50 (-5;-12) dB	Isolant BioFib Ouate 350 mm Rw (C;Ctr) = 50 (-2;-9) dB	Isolant Metisse PM 350 mm Rw (C;Ctr) = 49 (-3;-10) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	14.4	14.9	12.8	10.2
63	18.3	11.1	16.8	12.8
80	20.5	15.8	20.3	17
100	23.8	19.8	25	21.2
125	25.9	23.9	28.5	26
160	29.1	31.5	31	30.9
200	32.5	38.4	35.7	34.6
250	35	40.9	38.8	39.8
315	38.3	48.8	43.1	44.1
400	41.3	52.1	46.9	49.5
500	44.4	58.6	50.9	54.2
630	47.8	63.6	55.2	59.2
800	51.6	68.9	60	64.5
1000	55.3	73.9	64.6	69.5
1250	59.3	79.1	69.7	74.8
1600	64	85.6	75.7	81
2000	68.5	91.8	81.5	86.8
2500	71.8	97.5	85.8	92.1
3150	72	100.6	87.2	94.5
4000	77.1	107.8	95.9	102.4
5000	82.6	108.5	104.6	108.5

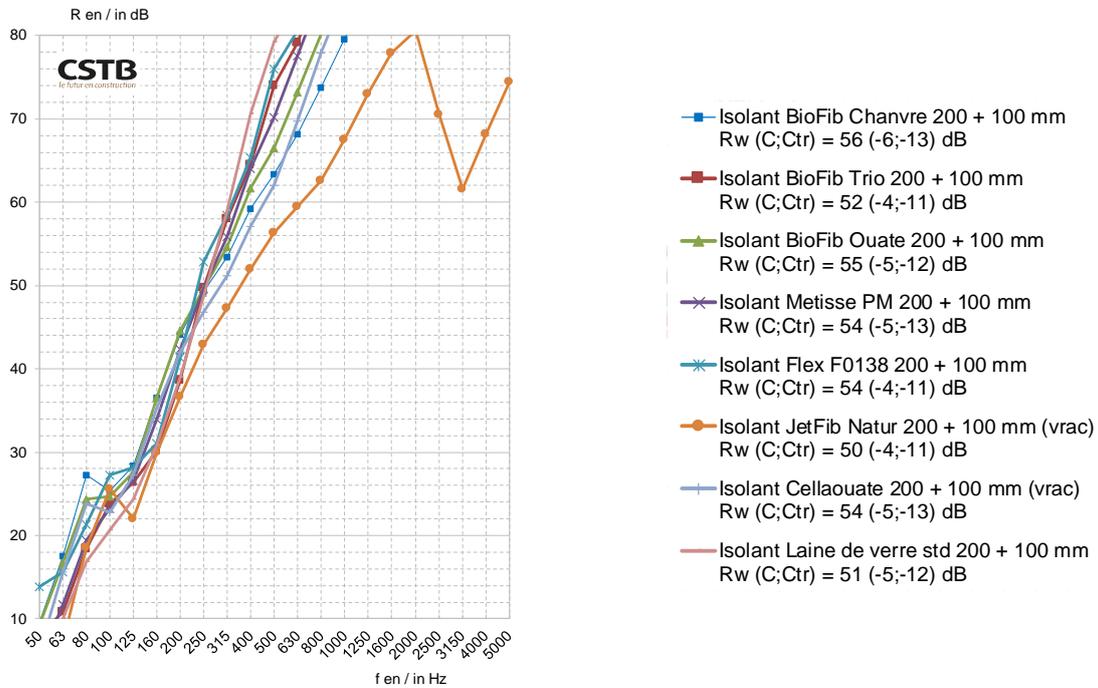
  

Fréq. (Hz)	Isolant Flex F0138 350 mm Rw (C;Ctr) = 52 (-4;-12) dB	Isolant JetFib Natur 350 mm (vrac) Rw (C;Ctr) = 38 (-2;-6) dB	Isolant Cellaouate 350 mm (vrac) Rw (C;Ctr) = 44 (-2;-7) dB	Isolant Laine de verre std 350 mm Rw (C;Ctr) = 50 (-4;-12) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	9.8	13.3	13	8.8
63	14	15.5	15.7	11.6
80	18.9	17.6	18	16.5
100	21.9	17.5	21.1	20.3
125	27.5	20.1	23.8	24.3
160	37.9	21.6	26.6	30.4
200	38	24.3	29.8	37.2
250	41.9	26.8	32.7	44.6
315	49.8	29.3	36.2	52.2
400	55.1	32	40.2	60.4
500	58.3	34.6	44.5	68.2
630	64.9	37.4	49.4	76
800	70.8	40.8	55.2	84.4
1000	77.3	44	61.4	91.4
1250	84.4	47.2	68.3	93.6
1600	93	51	76.8	98.3
2000	101.3	54.2	85.1	103.8
2500	106	55.1	92.8	106
3150	107.6	52.7	97.1	107.6
4000	107.8	56.2	107.7	107.8
5000	108.5	60.2	108.5	108.5

**Figure 4-36 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour des combles perdus isolés entre solives de matériaux biosourcés ou d'une laine de verre standard de 350 mm**

4.3.4.2 - **Isolation entre et au-dessus des solives**

La Figure 4-37 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des combles perdus, isolés de matériaux biosourcés de 200 mm, mis en œuvre entre solives, et 100 mm au-dessus des solives et comparés à une isolation avec une laine minérale standard.



Fréq. (Hz)	Isolant BioFib Chanvre 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 56 (-6;-13) dB	Isolant BioFib Trio 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 52 (-4;-11) dB	Isolant BioFib Ouate 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 55 (-5;-12) dB	Isolant Metisse PM 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 54 (-5;-13) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	9,6	8	9,3	5
63	17,5	10,8	16,8	11,7
80	27,3	18,4	24,4	19,4
100	25,4	23,8	24,7	23,3
125	28,4	26,4	27,6	26,6
160	36,6	30,2	35,5	34
200	44,2	38,7	44,6	42,4
250	49,3	49,7	49,6	49,6
315	53,4	58	54,7	55,9
400	59,3	64,5	61,7	64
500	63,4	74	66,5	70,2
630	68,2	79,2	73,2	77,6
800	73,8	86,7	80,2	85
1000	79,6	91,4	86,2	91,4
1250	85,1	93,6	92,3	93,6
1600	90,6	98,3	98,3	98,3
2000	94,9	103,8	103,8	103,8
2500	88,9	106	106	106
3150	81	106,2	93,5	100,8
4000	88,1	107,8	103,7	107,8
5000	95,4	108,5	108,5	108,5

Fréq. (Hz)	Isolant Flex F0138 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 54 (-4;-11) dB	Isolant JetFib Natur 200 + 100 mm (vrac) Rw (C;Ctr) = 50 (-4;-11) dB	Isolant Cellaouate 200 + 100 mm (vrac) Rw (C;Ctr) = 54 (-5;-13) dB	Isolant Laine de verre std 200 + 100 mm Rw (C;Ctr) = 51 (-5;-12) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	13,9	9,4	6,1	4,7
63	15,6	7,3	15,6	10,1
80	21,4	18,6	23,8	16,9
100	27,3	25,6	22,8	20,7
125	28,2	22	27,3	24,4
160	31,1	30	35,3	30,8
200	41,4	36,7	42	39
250	52,9	42,9	46,8	48,7
315	58,5	47,3	51,2	59
400	65,4	52	57,1	70,6
500	76	56,3	62	79,3
630	80,6	59,5	69,7	84,2
800	86,7	62,6	77,9	86,7
1000	91,4	67,5	84,9	91,4
1250	93,6	73	92,6	93,6
1600	98,3	77,9	98,3	98,3
2000	103,8	80,6	103,8	103,8
2500	106	70,5	106	106
3150	107,6	61,6	102,2	107,6
4000	107,8	68,2	107,8	107,8
5000	108,5	74,5	108,5	108,5

**Figure 4-37 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour des combles perdus isolés entre solives de matériaux biosourcés ou d'une laine de verre standard de 200 mm + 100 mm au-dessus des solives**

4.3.4.3 - **Synthèse**

Le Tableau 4-16 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour des combles perdus avec isolation entre solives et entre et au-dessus des solives.

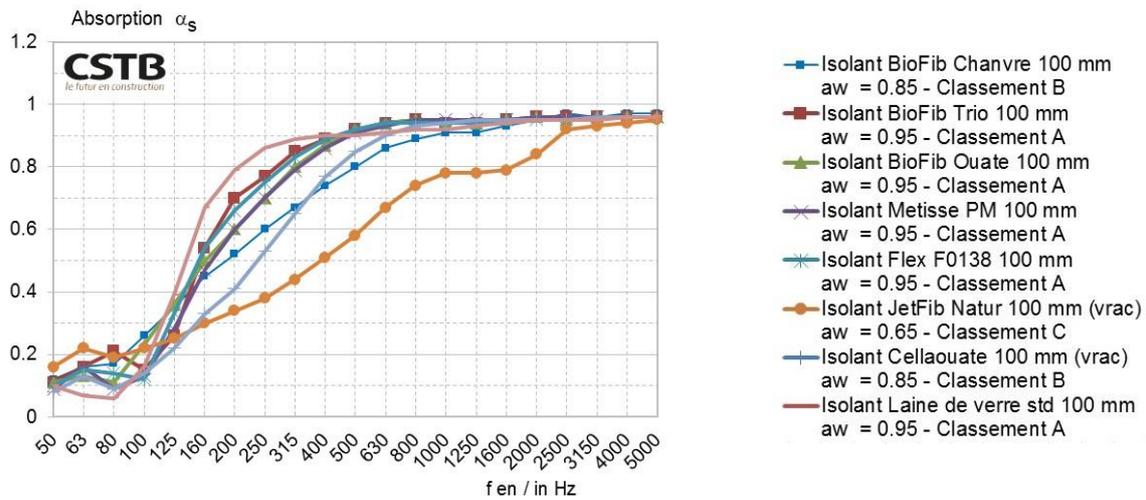
On note dans ce cas des disparités de performance en fonction des isolants pris en compte ; en effet dans cette configuration, les paramètres acoustiques et mécaniques des isolants ont une influence sur la performance acoustique évaluée pour le système. Pour les matériaux biosourcés qui ne sont pas mis en œuvre en vrac, les performances évaluées sont similaires à celles calculées pour un isolant standard en laine minérale. La performance acoustique moindre associée à l'isolant JETFIB'NATUR est relié à la faible porosité et résistance à l'écoulement de l'air de cet isolant en comparaison des autres.

**Tableau 4-16 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour les combles perdus.**

Comble perdu			R <sub>w</sub> (C ; C <sub>tr</sub> ) (dB)	R <sub>w</sub> (dB)	R <sub>w</sub> + C (dB)	R <sub>w</sub> + C <sub>tr</sub> (dB)
Entre solives	BIOFIB CHANVRE 350	Calcul	46 (-2; -7)	46	44	39
	BIOFIB TRIO 350		50 (-5; -12)	50	45	38
	BIOFIB OUATE 350		50 (-2; -9)	50	48	41
	Metisse PM 350		49 (-3; -10)	49	46	39
	Flex F038 350		52 (-4; -12)	52	48	40
	JETFIB'NATUR (vrac) 350		38 (-2; -6)	38	36	32
	CELLAOUATE (vrac) 350		44 (-2; -7)	44	42	37
	Laine de verre standard 350		50 (-4; -12)	50	46	38
Entre solives et au-dessus des solives	BIOFIB CHANVRE 200 + 100	Calcul	56 (-6 ; -13)	56	50	43
	BIOFIB TRIO 200 + 100		52 (-4 ; -11)	52	48	41
	BIOFIB OUATE 200 + 100		55 (-5 ; -12)	55	50	43
	Metisse PM 200 + 100		54 (-5 ; -13)	54	49	41
	Flex F038 200 + 100		54 (-4 ; -11)	54	50	43
	JETFIB'NATUR (vrac) 350		50 (-4 ; -11)	50	44	39
	CELLAOUATE (vrac) 200 + 100		54 (-5 ; -13)	54	49	41
	Laine de verre standard 200 + 100		51 (-5 ; -12)	51	48	39

**4.3.5 - Absorption en combles perdus**

Les Figure 4-38 à Figure 4-40 présente des extrapolations de résultats réalisées sur le coefficient d'absorption de différents isolants biosourcés pouvant être mis en œuvre en combles perdus et comparées à une isolation avec une laine minérale standard. Les isolants ont des épaisseurs de 100, 200 et 350 mm. La différence nette du comportement fréquentiel de l'absorption acoustique associé à l'isolant JETFIB'NATUR est reliée à la faible porosité et résistance à l'écoulement de l'air de cet isolant en comparaison des autres isolants considérés.

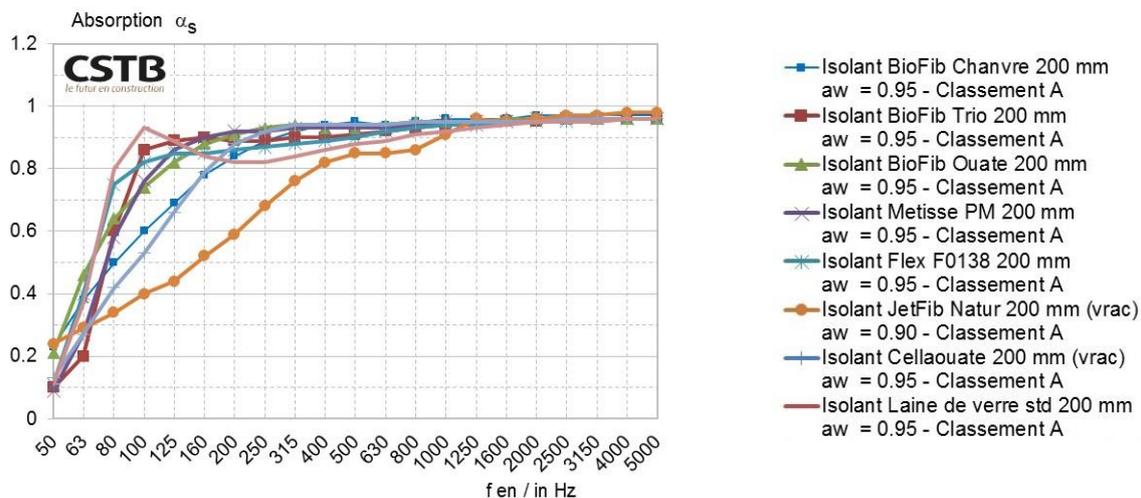


	Isolant BioFib Chanvre 100 mm aw = 0.85 - Classement B	Isolant BioFib Trio 100 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant BioFib Ouate 100 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant Metisse PM 100 mm aw = 0.95 - Classement A
Fréq. (Hz)	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.12	0.11	0.11	0.09
63	0.16	0.16	0.13	0.16
80	0.17	0.21	0.11	0.09
100	0.26	0.15	0.23	0.13
125	0.35	0.26	0.28	0.28
160	0.45	0.54	0.5	0.47
200	0.52	0.7	0.6	0.6
250	0.6	0.77	0.7	0.7
315	0.67	0.85	0.8	0.79
400	0.74	0.89	0.87	0.86
500	0.8	0.92	0.92	0.91
630	0.86	0.94	0.94	0.93
800	0.89	0.95	0.95	0.95
1000	0.91	0.94	0.94	0.95
1250	0.91	0.94	0.94	0.95
1600	0.93	0.95	0.95	0.95
2000	0.95	0.96	0.96	0.96
2500	0.97	0.96	0.95	0.96
3150	0.96	0.96	0.96	0.96
4000	0.97	0.96	0.96	0.96
5000	0.97	0.96	0.96	0.96

	Isolant Flex F0138 100 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant JetFib Natur 100 mm (vrac) aw = 0.65 - Classement C	Isolant Cellaouate 100 mm (vrac) aw = 0.85 - Classement B	Isolant Laine de verre std 100 mm aw = 0.95 - Classement A
Fréq. (Hz)	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.1	0.16	0.08	0.1
63	0.15	0.22	0.13	0.07
80	0.14	0.19	0.09	0.06
100	0.12	0.22	0.14	0.16
125	0.33	0.25	0.22	0.39
160	0.54	0.3	0.33	0.67
200	0.66	0.34	0.41	0.79
250	0.75	0.38	0.53	0.86
315	0.83	0.44	0.65	0.89
400	0.89	0.51	0.77	0.9
500	0.92	0.58	0.85	0.9
630	0.94	0.67	0.9	0.91
800	0.94	0.74	0.93	0.92
1000	0.94	0.78	0.94	0.92
1250	0.94	0.78	0.95	0.93
1600	0.95	0.79	0.95	0.94
2000	0.95	0.84	0.95	0.95
2500	0.95	0.92	0.95	0.95
3150	0.96	0.93	0.96	0.95
4000	0.96	0.94	0.96	0.96
5000	0.96	0.95	0.96	0.96

**Figure 4-38 : Coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour des matériaux biosourcés ou une laine de verre standard de 100 mm**

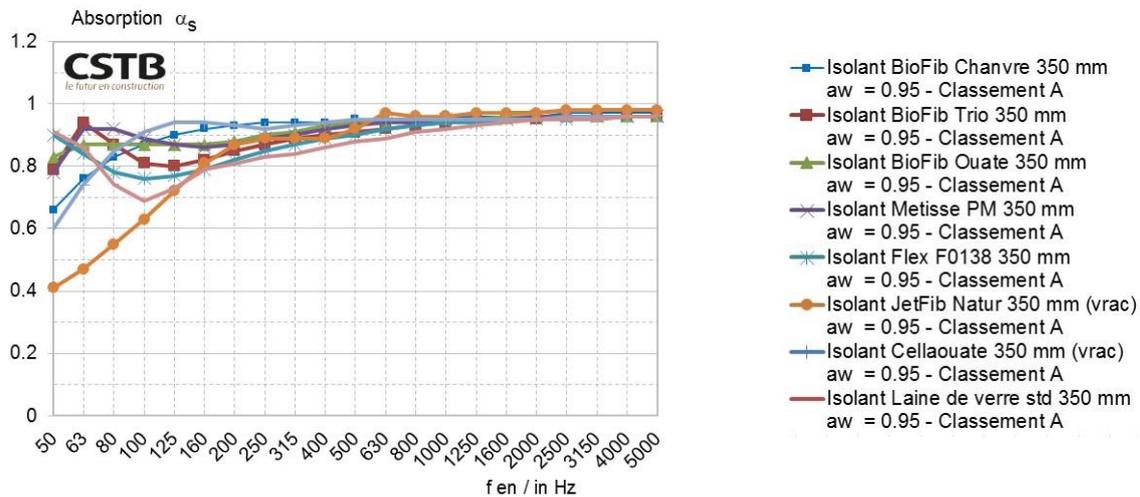


	Isolant BioFib Chanvre 200 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant BioFib Trio 200 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant BioFib Ouate 200 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant Metisse PM 200 mm aw = 0.95 - Classement A
Fréq. (Hz)	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.23	0.1	0.21	0.09
63	0.38	0.2	0.46	0.27
80	0.5	0.6	0.64	0.58
100	0.6	0.86	0.74	0.76
125	0.69	0.89	0.82	0.86
160	0.78	0.9	0.88	0.9
200	0.84	0.89	0.91	0.92
250	0.89	0.89	0.93	0.92
315	0.92	0.9	0.94	0.93
400	0.94	0.9	0.93	0.93
500	0.95	0.91	0.93	0.93
630	0.94	0.92	0.94	0.93
800	0.95	0.93	0.95	0.94
1000	0.96	0.94	0.95	0.95
1250	0.96	0.95	0.95	0.95
1600	0.96	0.95	0.96	0.95
2000	0.97	0.95	0.96	0.96
2500	0.97	0.96	0.96	0.96
3150	0.97	0.96	0.96	0.96
4000	0.97	0.96	0.96	0.96
5000	0.97	0.96	0.96	0.96

	Isolant Flex F0138 200 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant JetFib Natur 200 mm (vrac) aw = 0.90 - Classement A	Isolant Cellaouate 200 mm (vrac) aw = 0.95 - Classement A	Isolant Laine de verre std 200 mm aw = 0.95 - Classement A
Fréq. (Hz)	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.11	0.24	0.13	0.11
63	0.4	0.29	0.27	0.37
80	0.75	0.34	0.42	0.8
100	0.82	0.4	0.53	0.93
125	0.85	0.44	0.66	0.89
160	0.85	0.52	0.79	0.84
200	0.86	0.59	0.88	0.82
250	0.87	0.68	0.92	0.82
315	0.88	0.76	0.94	0.84
400	0.89	0.82	0.94	0.86
500	0.9	0.85	0.94	0.88
630	0.92	0.85	0.94	0.89
800	0.93	0.86	0.95	0.91
1000	0.94	0.91	0.95	0.92
1250	0.94	0.96	0.95	0.93
1600	0.95	0.95	0.95	0.94
2000	0.95	0.96	0.95	0.95
2500	0.95	0.97	0.96	0.95
3150	0.96	0.97	0.96	0.95
4000	0.96	0.98	0.96	0.96
5000	0.96	0.98	0.96	0.96

**Figure 4-39 : Coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour des matériaux biosourcés ou une laine de verre standard de 200 mm**



Fréq. (Hz)	Isolant BioFib Chanvre 350 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant BioFib Trio 350 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant BioFib Ouate 350 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant Metisse PM 350 mm aw = 0.95 - Classement A
	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.66	0.79	0.83	0.78
63	0.76	0.94	0.87	0.92
80	0.83	0.87	0.87	0.92
100	0.87	0.81	0.87	0.89
125	0.9	0.8	0.87	0.87
160	0.92	0.82	0.87	0.86
200	0.93	0.85	0.88	0.87
250	0.94	0.87	0.9	0.89
315	0.94	0.89	0.91	0.9
400	0.94	0.9	0.93	0.92
500	0.95	0.91	0.94	0.93
630	0.95	0.92	0.94	0.94
800	0.95	0.93	0.95	0.94
1000	0.96	0.94	0.95	0.95
1250	0.96	0.95	0.95	0.95
1600	0.96	0.95	0.96	0.95
2000	0.96	0.95	0.96	0.96
2500	0.97	0.96	0.96	0.96
3150	0.97	0.96	0.96	0.96
4000	0.97	0.96	0.96	0.96
5000	0.97	0.96	0.96	0.96

Fréq. (Hz)	Isolant Flex F0138 350 mm aw = 0.95 - Classement A	Isolant JetFib Natur 350 mm (vrac) aw = 0.95 - Classement A	Isolant Cellaouate 350 mm (vrac) aw = 0.95 - Classement A	Isolant Laine de verre std 350 mm aw = 0.95 - Classement A
	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$	$\alpha_s$
50	0.9	0.41	0.6	0.91
63	0.84	0.47	0.74	0.86
80	0.78	0.55	0.85	0.74
100	0.76	0.63	0.91	0.69
125	0.77	0.72	0.94	0.73
160	0.79	0.81	0.94	0.79
200	0.82	0.87	0.93	0.81
250	0.85	0.89	0.92	0.83
315	0.87	0.89	0.93	0.84
400	0.89	0.89	0.94	0.86
500	0.9	0.92	0.95	0.88
630	0.92	0.97	0.95	0.89
800	0.93	0.96	0.95	0.91
1000	0.94	0.96	0.96	0.92
1250	0.94	0.97	0.95	0.93
1600	0.95	0.97	0.95	0.94
2000	0.95	0.97	0.95	0.95
2500	0.95	0.98	0.96	0.95
3150	0.96	0.98	0.96	0.95
4000	0.96	0.98	0.96	0.96
5000	0.96	0.98	0.96	0.96

**Figure 4-40 : Coefficient d'absorption acoustique en champ diffus  $\alpha_s$  pour des matériaux biosourcés ou une laine de verre standard de 350 mm**

Le Tableau 4-17 synthétise l'ensemble des résultats sur le coefficient d'absorption de différents isolants biosourcés pouvant être mis en œuvre en combles perdus et comparés à une isolation avec une laine minérale standard. Les isolants ont des épaisseurs de 100, 200 et 350 mm.

On notera qu'à partir de 200 mm d'épaisseur, la performance en termes d'absorption acoustique de tous les matériaux biosourcés pris en compte est très bonne ( $\alpha_w = 0,95$  et Classement A) tout comme celle de la laine minérale considérée. Il existe cependant des différences de performance dans les basses fréquences. Pour une épaisseur de 100 mm, des différences de performance globale existent en fonction des matériaux.

**Tableau 4-17 : Coefficients d'absorption estimés pour les combles perdus.**

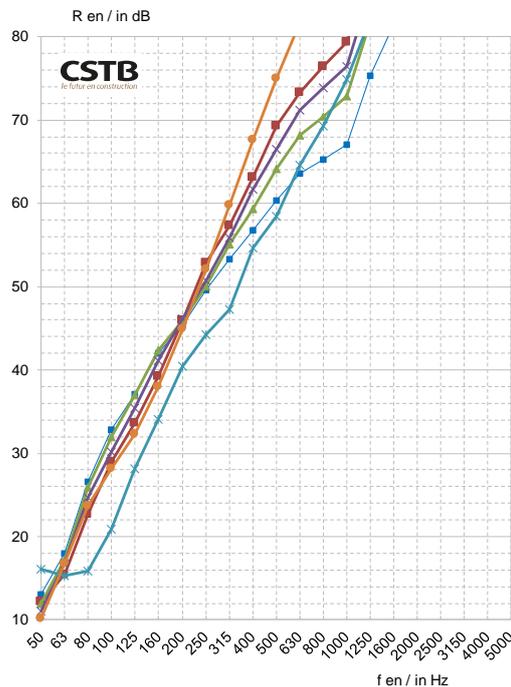
Comble perdu		$\alpha_w$ (-)	Classement (-)
350 mm	BIOFIB CHANVRE	0,95	A
	BIOFIB TRIO	0,95	A
	BIOFIB OUATE	0,95	A
	Metisse PM	0,95	A
	Flex F038	0,95	A
	JETFIB'NATUR (vrac)	0,95	A
	CELLAOUATE (vrac)	0,95	A
	Laine de verre standard	0,95	A
200 mm	BIOFIB CHANVRE	0,95	A
	BIOFIB TRIO	0,95	A
	BIOFIB OUATE	0,95	A
	Metisse PM	0,95	A
	Flex F038	0,90	A
	JETFIB'NATUR (vrac)	0,95	A
	CELLAOUATE (vrac)	0,95	A
	Laine de verre standard	0,95	A
100 mm	BIOFIB CHANVRE	0,85	B
	BIOFIB TRIO	0,95	A
	BIOFIB OUATE	0,95	A
	Metisse PM	0,95	A
	Flex F038	0,95	A
	JETFIB'NATUR (vrac)	0,65	C
	CELLAOUATE (vrac)	0,85	B
	Laine de verre standard	0,95	A

Calcul

**4.3.6 - Toitures**

La Figure 4-41 présente des extrapolations de résultats réalisées sur des toitures dont l'isolation est réalisée avec des matériaux biosourcés de 145 mm entre pannes et 80 mm entre chevrons, tout en gardant un écran sous toiture rigide en fibres de bois de 35 mm, comparées par rapport à une isolation en laine minérale standard.

Le Tableau 4-18 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour des plafonds suspendus mis en œuvre sous un plancher support en béton de 140 mm.



- Isolant BioFib Chanvre 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 59 (-2;-9) dB
- Isolant BioFib Trio 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 59 (-5;-12) dB
- ▲ Isolant BioFib Ouate 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 60 (-3;-10) dB
- ✕ Isolant Metisse PM 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 60 (-4;-12) dB
- ✧ Isolant Flex F0138 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 52 (-4;-12) dB
- Isolant Laine de verre std 145 + 80 mm  
Rw (C;Ctr) = 58 (-5;-12) dB

Fréq. (Hz)	Isolant BioFib Chanvre 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 59 (-2;-9) dB		Isolant BioFib Trio 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 59 (-5;-12) dB		Isolant BioFib Ouate 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 60 (-3;-10) dB		Isolant Metisse PM 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 60 (-4;-12) dB		Isolant Flex F0138 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 52 (-4;-12) dB		Isolant Laine de verre std 145 + 80 mm Rw (C;Ctr) = 58 (-5;-12) dB	
	R (dB)	Rw (dB)	R (dB)	Rw (dB)	R (dB)	Rw (dB)	R (dB)	Rw (dB)	R (dB)	Rw (dB)	R (dB)	Rw (dB)
50	13.3	12.2	12.2	12.2	12.2	12.2	11.1	11.1	16.1	16.1	16.2	16.2
63	18	15.4	15.4	15.4	17.2	17.2	16.8	16.8	15.3	15.3	16.8	16.8
80	26.6	22.7	22.7	22.7	25.9	25.9	24.7	24.7	15.9	15.9	23.7	23.7
100	32.9	28.9	28.9	28.9	32	32	30.2	30.2	20.9	20.9	28.2	28.2
125	37.1	33.6	33.6	33.6	37	37	35.4	35.4	28.2	28.2	32.3	32.3
160	42	39.2	39.2	39.2	42.3	42.3	41.1	41.1	34.1	34.1	38	38
200	45.4	45.9	45.9	45.9	45.9	45.9	46.2	46.2	40.4	40.4	44.9	44.9
250	49.6	52.9	52.9	52.9	50.1	50.1	50.7	50.7	44.2	44.2	52.1	52.1
315	53.3	57.3	57.3	57.3	55.1	55.1	55.9	55.9	47.3	47.3	59.8	59.8
400	56.8	63.2	63.2	63.2	59.4	59.4	61.7	61.7	54.6	54.6	67.6	67.6
500	60.3	69.3	69.3	69.3	64.2	64.2	66.9	66.9	58.9	58.9	75	75
630	63.6	73.3	73.3	73.3	68.2	68.2	71.2	71.2	64.6	64.6	81.7	81.7
800	65.3	76.4	76.4	76.4	70.4	70.4	73.9	73.9	69.3	69.3	86.7	86.7
1000	67.1	79.4	79.4	79.4	72.9	72.9	76.4	76.4	74.9	74.9	91	91
1250	75.3	88.7	88.7	88.7	81.8	81.8	85.6	85.6	82.2	82.2	93.6	93.6
1600	81.5	96.1	96.1	96.1	89	89	93	93	92.3	92.3	98.3	98.3
2000	86.8	102.6	102.6	102.6	95.1	95.1	99	99	103.4	103.4	103.8	103.8
2500	96.3	106	106	106	105.5	105.5	106	106	106	106	106	106
3150	104.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6	107.6
4000	105.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8	107.8
5000	108.9	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5	108.5

**Figure 4-41 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour des toitures avec une isolation en matériaux biosourcés ou d'une laine de verre standard (145 mm entre pannes et 80 mm entre chevrons) et un écran sous toiture rigide en fibres de bois de 35 mm.**

Sur la base des résultats obtenus, on note de légères disparités de performance en fonction des isolants pris en compte ; en effet, les paramètres acoustiques et mécaniques des isolants ont une influence sur la performance acoustique évaluée. Cependant, on notera que pour les matériaux biosourcés de type panneaux de laine, les performances évaluées sont relativement similaires à celles calculées pour un isolant standard en laine minérale.

**Tableau 4-18 : Indices d'affaiblissement acoustique  $R$  estimés pour les toitures.**

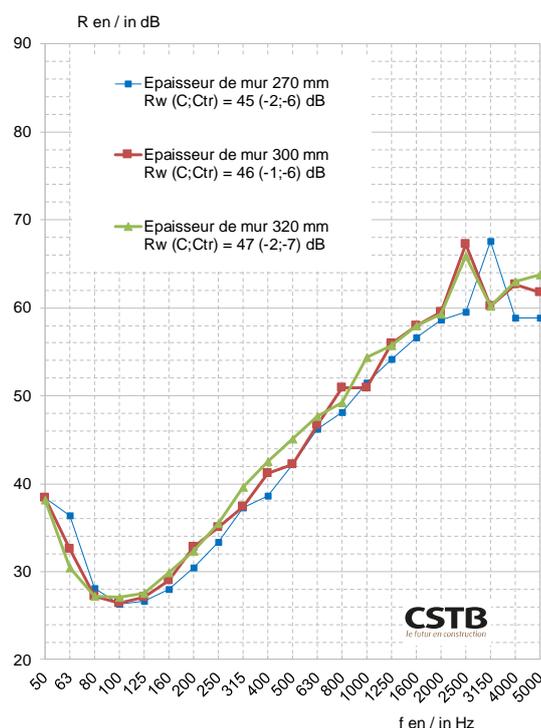
Toiture		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)	
Avec écran sous toiture rigide en fibres de bois de 35 mm + BA13	BIOFIB CHANVRE 145 + 80	Calcul	59 (-2; -9)	59	57	50
	BIOFIB TRIO 145 + 80		59 (-5; -12)	59	54	47
	BIOFIB OUATE 145 + 80		60 (-3; -10)	60	57	50
	Metisse PM 145 + 80		60 (-4; -12)	60	56	48
	Flex F038 145 + 80		52 (-4; -12)	52	48	40
	Laine de verre standard 145 + 80		58 (-5; -12)	58	53	46

### 4.3.7 - Murs en béton de chanvre

#### 4.3.7.1 - Mur de refend

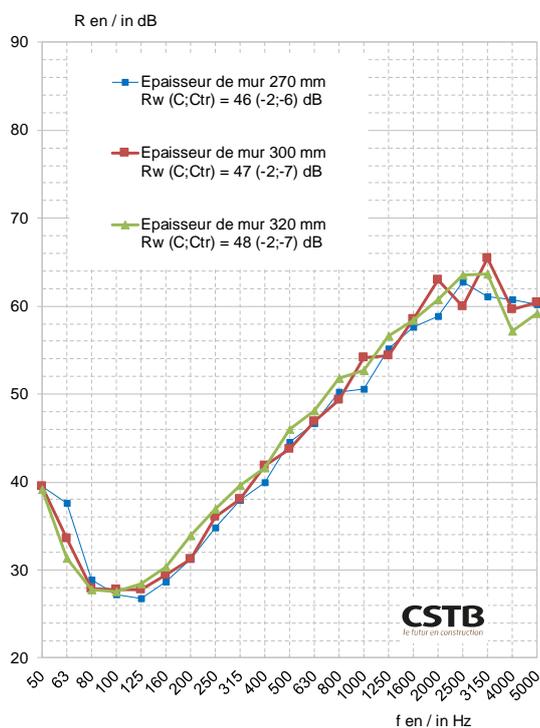
Les Figure 4-42 à Figure 4-44 présentent des extrapolations de résultats réalisées sur le mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs et types de finitions.

On notera que les caractéristiques du béton de chanvre constituant le mur de refend restent les mêmes pour les différentes épaisseurs considérées (270, 300 et 320 mm) ce qui est certainement une hypothèse forte au vu de la réalisation de ce type de mur.



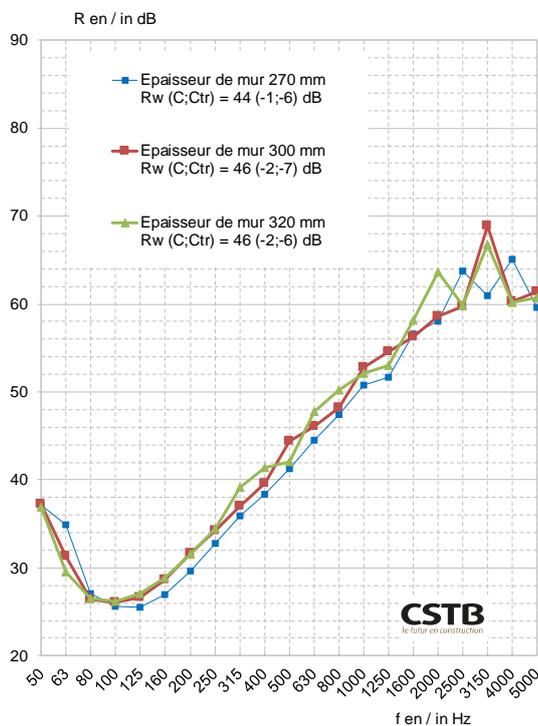
Fréq. (Hz)	Finition plaque de plâtre / Enduit		
	Epaisseur de mur 270 mm Rw (C;Ctr) = 45 (-2;-6) dB	Epaisseur de mur 300 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-1;-6) dB	Epaisseur de mur 320 mm Rw (C;Ctr) = 47 (-2;-7) dB
50	38.4	38.4	38.2
63	36.4	32.6	30.5
80	28.1	27.2	27.2
100	26.3	26.4	27.1
125	26.6	27.1	27.6
160	28	29	29.9
200	30.5	32.8	32.3
250	33.4	35	35.5
315	37.3	37.4	39.6
400	38.6	41.2	42.5
500	42.2	42.2	45.1
630	46.2	46.7	47.7
800	48.1	50.9	49.2
1000	51.5	50.9	54.4
1250	54.1	55.9	55.7
1600	56.6	57.9	57.9
2000	58.6	59.5	59.3
2500	59.5	67.2	65.9
3150	67.6	60.2	60.2
4000	58.8	62.6	63
5000	58.9	61.8	63.8

**Figure 4-42 : Indices d'affaiblissement acoustique  $R$  estimés pour un mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs (finitions plaque de plâtre / enduit)**



Fréq. (Hz)	Finition Enduit / Enduit		
	Epaisseur de mur 270 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-2;-6) dB	Epaisseur de mur 300 mm Rw (C;Ctr) = 47 (-2;-7) dB	Epaisseur de mur 320 mm Rw (C;Ctr) = 48 (-2;-7) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	39.5	39.5	39.2
63	37.6	33.6	31.4
80	28.9	27.9	27.8
100	27.2	27.8	27.5
125	26.8	27.8	28.4
160	28.7	29.5	30.3
200	31.2	31.2	33.9
250	34.8	36	36.9
315	37.9	38.1	39.6
400	40	41.9	41.6
500	44.5	43.8	46
630	46.7	46.9	48.1
800	50.2	49.3	51.8
1000	50.6	54.2	52.7
1250	55.2	54.4	56.6
1600	57.6	58.5	58.4
2000	58.8	63	60.7
2500	62.8	60	63.5
3150	61.1	65.4	63.6
4000	60.8	59.6	57.2
5000	60.2	60.4	59.2

**Figure 4-43 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour un mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs (finitions enduit / enduit)**



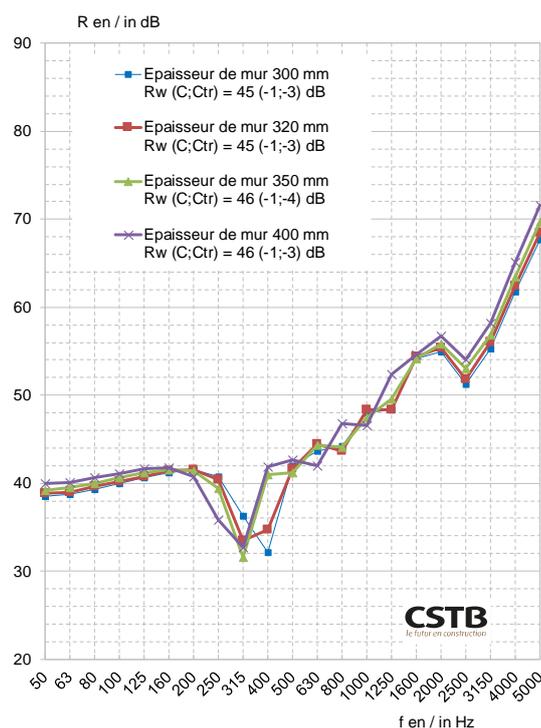
Fréq. (Hz)	Finition plaque de plâtre / plaque de plâtre		
	Epaisseur de mur 270 mm Rw (C;Ctr) = 44 (-1;-6) dB	Epaisseur de mur 300 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-2;-7) dB	Epaisseur de mur 320 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-2;-6) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	37.1	37.2	36.9
63	34.9	31.3	29.5
80	27.1	26.4	26.5
100	25.6	26.1	26.2
125	25.5	26.6	27.1
160	27	28.6	28.9
200	29.6	31.7	31.6
250	32.8	34.2	34.4
315	35.9	37	39.1
400	38.4	39.6	41.4
500	41.3	44.4	42.1
630	44.5	46.1	47.8
800	47.4	48.2	50.2
1000	50.8	52.8	52.1
1250	51.7	54.6	53
1600	56.6	56.2	58.2
2000	58	58.6	63.6
2500	63.7	59.7	59.8
3150	60.9	68.9	66.8
4000	65.1	60.3	60.2
5000	59.6	61.4	60.7

**Figure 4-44 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour un mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs (finitions plaques de plâtre / plaques de plâtre)**

#### 4.3.7.2 - Mur de façade

La Figure 4-45 présente des extrapolations de résultats réalisées sur le mur de façade en béton de chanvre pour différentes épaisseurs.

On notera que les caractéristiques du béton de chanvre constituant le mur de façade restent les mêmes pour les différentes épaisseurs considérées (300, 320, 350 et 400 mm) ce qui est certainement une hypothèse forte au vu de la réalisation de ce type de mur.



Fréq. (Hz)	Epaisseur de mur 300 mm Rw (C;Ctr) = 45 (-1;-3) dB	Epaisseur de mur 320 mm Rw (C;Ctr) = 45 (-1;-3) dB	Epaisseur de mur 350 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-1;-4) dB	Epaisseur de mur 400 mm Rw (C;Ctr) = 46 (-1;-3) dB
	R (dB)	R (dB)	R (dB)	R (dB)
50	38.5	38.8	39.2	40
63	38.7	39	39.5	40.1
80	39.3	39.6	40	40.6
100	40	40.2	40.6	41.1
125	40.6	40.8	41.2	41.6
160	41.2	41.4	41.5	41.7
200	41.5	41.5	41.4	40.8
250	40.8	40.4	39.4	35.8
315	36.3	33.5	31.6	32.7
400	32.1	34.7	41	41.9
500	42	41.6	41.2	42.7
630	43.6	44.4	44.3	42
800	44.2	43.6	44.1	46.8
1000	48	48.4	47.4	46.6
1250	48.4	48.4	49.6	52.4
1600	54.2	54.4	54.2	54.6
2000	54.9	55.4	55.8	56.7
2500	51.3	51.8	53	54.1
3150	55.3	56.1	56.8	58.2
4000	61.8	62.4	63.4	65.1
5000	67.7	68.5	69.7	71.6

**Figure 4-45 : Indices d'affaiblissement acoustique R estimés pour un mur de façade en béton de chanvre pour différentes épaisseurs (finitions enduit / enduit)**

#### 4.3.7.3 - Synthèse

Le Tableau 4-19 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée, obtenus pour un mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs et différentes finitions. La finition correspondant à un enduit sur les deux faces est associée à la meilleure performance quelle que soit l'épaisseur du mur de refend prise en compte. Une finition avec plaques de plâtre de part et d'autre du refend en béton de chanvre est associée à la moins bonne performance ; cependant la baisse de performance reste faible : 1 ou 2 dB. La performance acoustique  $R_w+C$  du refend en béton de chanvre augmente globalement avec son épaisseur.

**Tableau 4-19 : Indices d'affaiblissement acoustique  $R$  estimés pour un mur de refend en béton de chanvre pour différentes épaisseurs et finitions.**

Mur de refend		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Épaisseur 270 mm	Finition plaque de plâtre / enduit	45 (-2 ; -6)	45	43	39
	Finition enduit / enduit	46 (-2; -6)	46	44	40
	Finition plaque de plâtre / plaque de plâtre	44 (-1; -6)	44	43	38
Épaisseur 300 mm	Finition plaque de plâtre / enduit	46 (-1; -6)	46	45	40
	Finition enduit / enduit	47 (-2; -7)	47	45	40
	Finition plaque de plâtre / plaque de plâtre	46 (-2 ; -7)	46	44	39
Épaisseur 320 mm	Finition plaque de plâtre / enduit	47 (-2 ; -7)	47	45	40
	Finition enduit / enduit	48 (-2; -7)	48	46	41
	Finition plaque de plâtre / plaque de plâtre	46 (-2 ; -6)	46	44	40

Le Tableau 4-20 synthétise l'ensemble des résultats de performance acoustique estimée obtenus pour un mur de façade en béton de chanvre pour différentes épaisseurs. La performance acoustique  $R_w+C_{tr}$  de la façade en béton de chanvre ne varie que très peu en fonction de l'épaisseur. Seule la position du minimum de l'indice d'affaiblissement (autours des tiers d'octave 315 et 400 Hz, voir Figure 4-45) évolue vers les basses fréquences lorsque l'épaisseur du mur augmente, ce qui permet de gagner 1 dB sur la performance globale du mur pour une épaisseur de 400 mm.

**Tableau 4-20 : Indices d'affaiblissement acoustique  $R$  estimés pour un mur de façade en béton de chanvre avec finitions pour différentes épaisseurs.**

Mur de façade finitions enduit / enduit		$R_w (C ; C_{tr})$ (dB)	$R_w$ (dB)	$R_w + C$ (dB)	$R_w + C_{tr}$ (dB)
Ep. 300 mm	Calcul	45 (-1; -3)	45	44	42
Ep. 320 mm		45 (-1 ; -3)	45	44	42
Ep. 350 mm		46 (-1 ; 4)	46	45	42
Ep. 400 mm		46 (-1; -3)	46	45	43

---

## 5 - CONCLUSIONS

---

Concernant la caractérisation acoustique au niveau matériau, on pourra noter que le panel de matériaux caractérisés est très large et représentatif des principaux matériaux biosourcés disponibles. De fortes dispersions ont été mises en évidence, notamment dans le cas des matériaux en vrac fibreux ou granulaires avec une dépendance vis-à-vis de la densité.

La caractérisation mécanique au niveau matériau a été conduite sur l'ensemble des matériaux mis en œuvre dans les systèmes de construction caractérisés à l'échelle du système. Comme pour la caractérisation acoustique, la caractérisation mécanique des matériaux en vrac s'est avérée délicate. En effet, les caractéristiques mécaniques de ce type de produit en vrac étant fortement dépendant de son agencement (épaisseur, densité), les résultats obtenus ont présenté de fortes dispersions et n'ont donc pu être exploités en l'état. Quant aux laines biosourcées en panneaux, elles présentent des modules d'élasticité et des facteurs d'amortissement relativement proches. On note aussi, pour les bétons de chanvre, des difficultés au niveau des échantillons dont l'exploitation des caractéristiques a été impossible.

Les caractéristiques acoustiques et mécaniques ainsi identifiées ont ensuite été prises en compte dans les simulations menées sur les différents systèmes considérés.

Des essais en laboratoire sur les systèmes suivants ont été menés et leurs performances acoustiques ont été présentés :

- Cloisons sur ossature métallique 72/48 et 98/48
- Doublages intérieur et extérieur sur mur support en béton
- Doublages intérieurs sur mur maçonné en parpaings
- Plafond suspendu à base de plaques de plâtre BA13
- Combles perdus
- Toiture
- Mur de refend et mur de façade en béton de chanvre.

Des simulations avec le logiciel AcouSYS ont permis de valider l'approche pour prédire la performance de ces différents systèmes. Sur cette base, une extension des résultats d'essais a pu être réalisée en intégrant certains matériaux biosourcés. Ces extensions montrent que :

- il est donc possible de considérer que la performance d'une cloison sur ossature ou d'une paroi séparative légère sur ossature à base de plaques de plâtre est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé ;
- il est donc possible de considérer que la performance d'un doublage sur ossature à base de plaques de plâtre est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé (configuration de doublage sans contact avec le mur support ce qui correspond au montage standard d'un doublage avec une lame d'air entre l'isolant placé dans l'ossature et le mur support) ;

- il est donc possible de considérer que la performance d'un plafond suspendu sur ossature à base de plaques de plâtre, placé sous un plancher béton de 140 mm d'épaisseur, est similaire pour un isolant en laine minérale et un isolant de type biosourcé (isolant mis en œuvre sans contact avec le plancher support).
- les systèmes de combles perdus et de toiture considérés ont montré des disparités de performance en fonction des isolants pris en compte ; en effet, pour ce type de configuration, les paramètres acoustiques et mécaniques des isolants ont une influence sur la performance acoustique évaluée. Cependant pour les matériaux biosourcés qui ne sont pas mis en œuvre en vrac, les performances acoustiques évaluées sont similaires à celles calculées pour un isolant standard en laine minérale.

Il est difficile de généraliser les résultats obtenus dans le cadre de cette étude vis-à-vis des murs en béton de chanvre. Concernant le mur de refend en béton de chanvre, les simulations montrent que la finition correspondant à un enduit sur les deux faces est associée à la meilleure performance quelle que soit l'épaisseur du mur de refend prise en compte. Une augmentation de l'épaisseur du refend en béton de chanvre est globalement associée à une augmentation de la performance acoustique, ce qui est cependant moins marqué pour le mur de façade. Il faut toutefois prendre avec précautions ces résultats car les caractéristiques physiques du béton de chanvre peuvent être très variables et difficiles à évaluer, comme indiqué précédemment.

Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de franchir un pas important dans l'utilisation des matériaux biosourcés inclus dans les systèmes constructifs du bâtiment. Les caractéristiques des matériaux seront introduites dans la base de données du logiciel AcouSYS mais pourront aussi être reprises dans d'autres logiciels de prédiction de la performance des composants du bâtiment permettant ainsi d'élargir leur utilisation potentielle dans d'autres systèmes non testés dans le cadre de cette étude. De plus, les résultats des mesures en laboratoire seront intégrés dans les logiciels AcouBAT et AcouBATBIM mais possiblement dans d'autres logiciels de prédiction de la performance acoustique du bâtiment permettant ainsi d'élargir plus largement leur utilisation dans le bâtiment.

Il reste cependant des travaux à mener au niveau matériau, comme par exemple d'analyser de manière plus approfondie, le comportement observé sur les balles et cosses, mais aussi sur les pailles en incidence longitudinale. Au niveau des caractérisations mécaniques, le cas des matériaux en vrac pose des problèmes et une méthodologie spécifique serait certainement à développer. D'autres simulations de performance acoustique pourraient certainement être menées pour des matériaux ou systèmes non pris en compte ici.

Il serait, de plus, intéressant d'étendre cette étude menée sur les matériaux biosourcés aux matériaux géosourcés.

Une synthèse avec les autres travaux menés en parallèle sur les matériaux biosourcés concernant plus spécifiquement les aspects environnementaux, thermo-hygrométriques et incendie avec le soutien de la DHUP, serait aussi à faire.

Une diffusion la plus large de ces résultats doit faire l'objet d'une attention particulière ; ce rapport sera certainement mis à disposition sur le site du ministère. Des publications scientifiques vont suivre pour partager ces informations (ICBBM 2019 pour sûr, et d'autres comme ICA 2019, Acoustique et Technique en réflexion). Une communication de ces résultats dans le cadre du Groupe d'Experts Acoustiques de Qualitel-Cerqual sera programmée en 2019 ; une information au GIAC, groupement des ingénieurs acoustiques, sera aussi considérée. Mais il revient en priorité aux acteurs de la filière de partager ces données.

---

## 6 - REFERENCES

---

[Allard et Attalla, 2009] J.F. Allard, N. Attala, "Propagation of Sound in Porous Media: Modelling Sound Absorbing Materials", John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom, 2009.

[Blinet et al., 2017] T. Blinet, P. Glé, C. Guigou-Carter, "Convention CSTB-DHUP 2017 – Fiche Action 28 Propriétés acoustiques des matériaux biosourcés – Phase 1", Référence DSC/2017-119/CG/BG, Novembre 2017.

[Blinet et al., 2018] T. Blinet, P. Glé, C. Guigou-Carter, "Prédiction de la performance acoustique de parois incluant des matériaux biosourcés", CFA 2018, Le Havre, France, 2018.

[Chene et al., 2016] J.B. Chene, C. Guigou-Carter, P. Jean, T. Blinet, G. Jacques, "De l'usage des techniques d'homogénéisation afin d'étendre la portée des méthodes de matrices de transfert pour la modélisation de systèmes du bâtiment : trois techniques, trois études de cas", CFA 2016, Le Mans, France, 2016.

[EN 14146, 2004] NF EN 14146, Méthodes d'essai pour pierres naturelles - Détermination du module d'élasticité dynamique (par la mesure de la fréquence de résonance fondamentale), 2004.

[EN 29052-1, 1992] NF EN 29052-1, Acoustique - Détermination de la raideur dynamique - Partie 1 : matériaux utilisés sous les dalles flottantes dans les bâtiments d'habitation, 1992.

[Glé, 2013] P. Glé, "Acoustique des Matériaux du Bâtiment à base de Fibres et Particules Végétales - Outils de Caractérisation, Modélisation et Optimisation", Thèse ENTPE - Université de Lyon, (2013).

[Glé et al., 2018] P. Glé, T. Blinet, C. Guigou-Carter, "Acoustic performance prediction for building elements including biobased fibrous materials", Euronoise 2018, Heraklion, Crete, 2018.

[Guigou et Villot, 2006] C. Guigou-Carter, M. Villot, "Analytical and experimental study of single frame double wall", Euronoise 2006, Finland, 2006.

[ISO 354, 2004] NF EN ISO 354, Acoustique - Mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante, 2004.

[ISO 717-1, 2013] NF EN ISO 717-1, Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 1 : Isolement aux bruits aériens, 2013.

[ISO 717-2, 2013] NF EN ISO 717-2, Acoustique – Évaluation de l'isolement acoustique des immeubles et des éléments de construction – Partie 2 : Protection contre le bruit de choc, 2013.

[ISO 9053-1, 2018] NF EN ISO 9053, Acoustique - Détermination de la résistance statique à l'écoulement de l'air, 2018.

[ISO 9613-1, 1993] ISO 9613-1, Acoustique. Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre. Partie 1 : calcul de l'absorption atmosphérique, 1993

[ISO 11654, 1997] NF EN ISO 11654, Acoustique - Absorbants pour l'utilisation dans les bâtiments - Évaluation de l'absorption acoustique, 1997.

[ISO 10140-1, 2016] NF EN ISO 10140-1, Acoustique - Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction - Partie 1 : règles d'application pour produits particuliers, 2016.

[ISO 10140-2, 2013] NF EN ISO 10140-2, Acoustique - Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction - Partie 2 : mesurage de l'isolation au bruit aérien, 2013.

[ISO 10140-3, 2013] NF EN ISO 10140-3, Acoustique - Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction - Partie 3 : mesurage de l'isolation au bruit de choc, 2013

[ISO 10140-5, 2013] NF EN ISO 10140-5, Acoustique - Mesurage en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de construction - Partie 5 : exigences relatives aux installations et appareillage d'essai, 2013.

[ISO 10534-2, 2003] NF EN ISO 10534-2, Acoustique - Détermination du facteur d'absorption acoustique et de l'impédance des tubes d'impédance - Partie 2 : méthode de la fonction de transfert, 2003

[Iwase et al., 1998] T. Iwase, Y. Izumi et R. Kawabata, "A new measuring method for sound propagation constant by using sound tube without any air spaces back of a test material", *Internoise 98*, Christchurch, New Zealand, 4 p., 1998.

[Lafarge, 1993], D. Lafarge, "Propagation du son dans les matériaux poreux à structure rigide saturés par un fluide viscothermique", Thèse de doctorat, Université du Maine, 1993.

[Leclaire et al., 2003] P. Leclaire, O. Umnova, K-V. Horoshenkov et L. Maillat, "Porosity measurement by comparison of air volumes", *Review of scientific instruments*, vol. 74 (3), p. 1366–1370, 2003.

[Miki, 1990] Y. Miki, "Acoustical properties of porous materials. Modifications of Delany-Bazley models", *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, vol. 11 (1), p. 19–24, 1990.

[Munjal, 1993] M. L. Munjal, "Response of a multi-layered infinite plate to an oblique plane wave by means of transfer matrices", *Journal of Sound and Vibration*, 162, p. 333-343, 1993.

[Olny et Panneton, 2008] X. Olny, R. Panneton, "Acoustical determination of the parameters governing thermal dissipation in porous media", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123, no. 2, p. 814–824, 2008.

[Panneton et Olny, 2006] R. Panneton, X. Olny, "Acoustical determination of the parameters governing viscous dissipation in porous media", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 119, no. 4, p. 2027–2040, 2006.

[Villot et al., 2001] M. Villot, C. Guigou-Carter, L. Gagliardini, "Predicting the acoustical radiation of finite size multi-layered structures by applying spatial windowing on infinite structures", *Journal of Sound and Vibration*, 245(3), p. 433-455, 2001.

[Zwikker et Kosten, 1949] C. Zwikker et C-W. Kosten, "Sound Absorbing Materials", Elsevier, New-York, 174 p., 1949.

## 7 - ANNEXE A – METHODES DE CARACTERISATION

Dans cette Annexe A, les méthodes de caractérisation tant au niveau matériau qu'au niveau système sont brièvement présentées.

### 7.1 - Paramètres acoustiques au niveau matériau

On se propose, dans cette section, de présenter le type de caractérisations acoustiques réalisées sur les différents matériaux biosourcés étudiés. La connaissance des propriétés acoustiques d'un matériau est effectivement nécessaire à la compréhension des comportements acoustiques d'un système.

#### 7.1.1 - Méthodes de caractérisation acoustiques utilisées

##### 7.1.1.1 - Caractérisation des performances acoustiques

Afin de caractériser un matériau d'un point de vue acoustique, on s'intéresse généralement à la fois à son coefficient d'absorption acoustique  $\alpha$  et son indice d'affaiblissement TL, grandeurs qui permettent respectivement d'apprécier les performances de ce dernier à des fins de correction ou d'isolation acoustiques.

Dans le cadre de cette étude, on a caractérisé dans le même temps les grandeurs intrinsèques au matériau (reliées à la microstructure de celui-ci, et indépendantes de son épaisseur). Il s'agit des masses volumiques dynamiques  $\rho$  et modules d'incompressibilité dynamique K, qui permettent par ailleurs d'analyser respectivement les effets visco-inertiels et thermiques responsables de la dissipation dans le matériau poreux [Allard et Attalla, 2009].

Un tube de Kundt AcoustiTube (Akustikforschung AFD1000/AFD1200), présenté Figure 7-1, a été utilisé. Le choix d'un diamètre intérieur de 10 cm a été fait afin de minimiser l'effet de bord (arrangement imparfait dû à une taille importante des particules par rapport au tube) sur les granulaires en vrac et bétons de chanvre. Du fait de ses dimensions, ce tube permet donc des caractérisations en incidence normale dans la gamme de fréquence [50 ; 2000 Hz]. Certaines mesures ont également été réalisées avec un tube de 3 cm de diamètre (cas de la paille en incidence parallèle), dans ce cas, la gamme de fréquence utile est [150 ; 6600 Hz].



**Figure 7-1 : Photographie du tube de Kundt utilisé (a) et schéma de la méthode à trois microphones utilisée (b).**

La méthode de mesure utilisée repose sur l'utilisation de trois microphones (deux en amont de l'échantillon, et un troisième en aval), et a été initialement décrite dans [Iwase et al., 1998]. Cette méthode constitue une extension de la méthode de caractérisation traditionnelle en tube de Kundt définie dans la

norme NF EN ISO 10534-2 [ISO 10534, 2003] (une révision de cette norme est actuellement en cours pour l'élargir à cette méthode).

Afin d'assurer l'étanchéité en périphérie des échantillons dans le cas des bétons de chanvre, les éprouvettes ont été entourées de ruban téflon (PTFE 0,2 mm) ainsi que d'une fine couche de vaseline. Pour les granulaires en vrac, on fait l'hypothèse que les conditions aux limites sont représentatives du matériau (ce qui est acceptable dès que le ratio entre la taille du tube et celle du granulat est supérieur à 10). Pour les laines végétales, les découpes sont faites légèrement plus larges (marge de l'ordre de 1mm) que la taille du tube afin que le matériau épouse parfaitement la forme de ce dernier.

#### 7.1.1.2 - Caractérisation des paramètres acoustiques

Les paramètres acoustiques fondamentaux que sont la porosité  $\phi$ , la résistance au passage à l'air  $\sigma$ , la tortuosité  $\alpha_\infty$ , les longueurs caractéristiques visqueuse  $\Lambda$  et thermique  $\Lambda'$ , et la perméabilité thermique  $k_0'$ , s'avèrent plus pertinents lorsqu'il s'agit de discuter des différences entre matériaux d'un point de vue microstructural, et ont également été évalués au cours de cette étude.



**Figure 7-2 : Dispositifs de mesure de la porosité (a) et de la résistivité (b).**

#### - Porosité :

Pour déterminer la porosité ouverte des matériaux, un porosimètre à air basé sur la méthode décrite dans [Leclaire et al., 2003] a été utilisé. Cette technique originale repose sur la comparaison d'un volume de référence et d'un volume de test que l'on peut voir sur la photographie du dispositif Figure 7-2. Cette comparaison permet d'annuler l'effet joué par la température lors de la variation de pression imposée à l'air. Le volume du squelette  $V_s$  du matériau poreux est alors déterminé grâce à la loi de Boyle-Mariotte. Connaissant la masse  $m$  de l'échantillon testé, la masse volumique de squelette  $\rho_s$  peut être calculée, ainsi que la porosité totale  $\phi$  d'après les équations suivantes, où  $\rho_v$  est la masse volumique apparente.

$$\phi = 1 - \frac{\rho_v}{\rho_s}$$

#### - Résistance au passage à l'air :

La résistance au passage à l'air (généralement réduite à résistivité) est évaluée conformément à la norme ISO 9053-1 [ISO 9053-1, 2018]. La mesure se fait par application d'un débit d'air  $Q$  d'un côté du matériau

à caractériser de surface  $S$  et d'épaisseur  $e$ , et par mesure de la différence de pression  $\Delta P$  existant entre les deux côtés de l'échantillon. La résistivité  $\sigma$  vaut alors :

$$\sigma = \frac{S\Delta P}{Qe}$$

Le dispositif utilisé est présenté à la Figure 7-2.

**- Autres paramètres :**

Pour les autres paramètres, il s'avère très compliqué de réaliser des caractérisations expérimentales directes, mais des alternatives très robustes ont été proposées dans la littérature. Nous nous sommes ainsi appuyés de la méthode de caractérisation indirecte développée par Olny et Panneton (voir [Panneton et Olny, 2006] et [Olny et Panneton, 2008]).

Cette méthode consiste à exploiter les performances intrinsèques des matériaux ( $\rho$  et  $K$ ) sous leur forme complexe pour remonter de façon analytique aux paramètres recherchés ( $\alpha_\infty$ ,  $\Lambda$ ,  $\Lambda'$ , et  $k'_0$ ) en se basant sur les modèles semi-phénoménologiques de [Johnson et al., 1987] et de [Lafarge, 1993], formant l'approche notée ici JCAL pour Johnson-Champoux-Allard-Lafarge. Pour cela, une connaissance préalable des autres paramètres de ces modèles ( $\phi$  et  $\sigma$ ) est nécessaire, et on a :

$$\alpha_\infty = \frac{\phi}{\rho_0} \left[ Re(\rho) - \sqrt{Im(\rho)^2 - \frac{\sigma^2}{\omega^2}} \right]$$

$$\Lambda = \frac{\alpha_\infty}{\phi} \sqrt{\frac{2\rho_0\mu}{\omega Im(\rho) \left( \rho_0 \frac{\alpha_\infty}{\phi} - Re(\rho) \right)}}$$

$$\Lambda' = \delta_t \sqrt{2 \left[ -Im \left( \left( \frac{1 - \phi K / (\gamma P_0)}{1 - \phi K / P_0} \right)^2 \right) \right]^{-1}}$$

$$k'_0 = \phi \frac{\delta_t^2}{2} \left[ -Re \left( \left( \frac{1 - \phi K / (\gamma P_0)}{1 - \phi K / P_0} \right)^2 \right) \right]^{-1/2}$$

Dans le cas où la porosité effective ne peut être directement connue (cas des granulats végétaux en vrac ou des bétons végétaux), une alternative est de calculer le paramètre  $\alpha_\infty/\phi$  dans cette procédure et d'estimer la porosité en se basant sur la partie réelle de  $K$  uniquement, avec un modèle simplifié type [Zwikker et Kosten, 1949]. Dans ce cas, l'approche utilisée est notée JZK pour Johnson-Zwikker-Kosten.

Enfin, dans le cas spécifique de matériaux fibreux très résistifs, le modèle de [Miki, 1990] peut être utilisée. L'approche est dans ce cas notée MIKI.

**7.2 - Paramètres mécaniques au niveau matériau**

On se propose, dans cette section, de présenter le type de caractérisations mécaniques réalisées sur les différents matériaux biosourcés étudiés.

La connaissance des propriétés mécaniques d'un matériau est nécessaire à la compréhension des comportements acoustiques d'un système. En effet, dans beaucoup de cas, ce dernier peut être considéré comme un système mécanique de type masse/ressort/masse possédant des fréquences de résonance spécifiques qui vont impacter ses performances acoustiques. Les masses correspondent par exemple aux parements ou produits « lourds » mis en œuvre de part et d'autre d'un matériau isolant jouant le rôle du ressort. Ce ressort présente alors des propriétés mécaniques et notamment, comme son nom l'indique, des caractéristiques d'élasticité ou de raideur (module de Young E), paramètre qui sera donc caractérisé.

### 7.2.1 - Méthodes de caractérisation mécanique utilisées

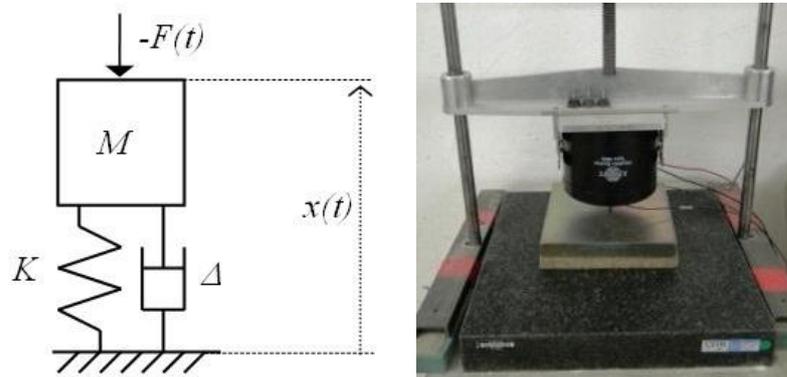
#### 7.2.1.1 - Mesures de la raideur dynamique

Les mesures de raideur dynamique sont réalisées conformément à la norme NF EN 29052-1 [EN 29052- 1, 1992] sur des matériaux relativement « souples », type matériaux isolants (laines, mousses, polystyrène, etc.).

La détermination de la fréquence de résonance  $f_r$  du système masse / ressort / masse, basée sur le principe de la Figure 7-3, permet d'obtenir la raideur dynamique apparente par unité de surface  $s'_t$  de l'éprouvette suivant l'équation :

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'_t}{m'_t}}$$

avec  $m'_t$ , la masse totale par unité de surface utilisée pendant l'essai ( $\text{kg/m}^2$ ).



**Figure 7-3 : Schéma de principe de la mesure de la raideur dynamique d'un matériau « souple »**

Une force d'excitation est imposée sur une plaque de charge, de masse M, préalablement scellée à l'élément testé, à l'aide d'un pot vibrant, alimenté par un bruit blanc. Cette force est contrôlée et mesurée à l'aide d'un capteur de force (tête d'impédance) placé entre le pot et la plaque M, qui permet également de mesurer la vitesse de déplacement qui en résulte.

Grâce à la valeur de la raideur dynamique apparente par unité de surface de l'échantillon  $s'_t$ , il est possible de calculer le module de Young ou d'élasticité E du matériau comme suit :

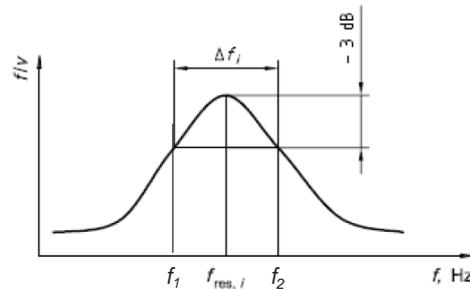
$$E = s'_t \times e$$

Avec  $e$ , l'épaisseur de l'échantillon soumis à l'essai.

Le module de Young est utilisé comme paramètres d'entrée dans le modèle de simulation.

De même, la mesure de la fréquence de résonance permet d'obtenir le facteur de perte ou d'amortissement  $\eta$  du matériau, qui est par définition, le rapport entre la fréquence centrale de résonance  $f_r$  et la largeur à la résonance à -3 dB, soit :

$$\eta = \frac{f_0}{\Delta f} \quad \text{avec } \Delta f = f_2 - f_1$$



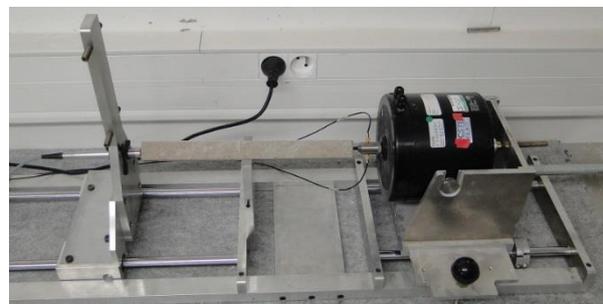
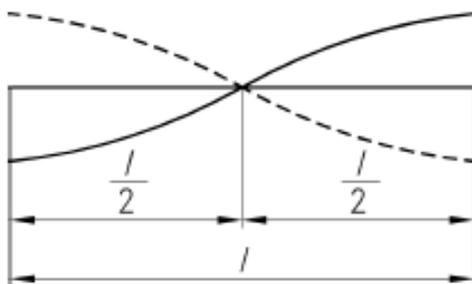
**Figure 7-4 : Détermination du facteur d'amortissement  $\eta$  d'un matériau à partir de sa fréquence de résonance**

Les essais de raideur dynamique sont réalisés sous des plaques de charges de 2 et 4 kg et de dimensions de 20 cm x 20 cm.

#### 7.2.1.2 - Mesure du module d'élasticité dynamique longitudinal

Le module d'élasticité dynamique longitudinal est déterminé selon la norme NF EN 14146 [EN 14146, 2004]. Cette mesure est surtout utilisée pour caractériser les propriétés élastiques de matériaux « solides » de type bétons (standard, allégé, polymère...), terre cuite, enduits divers, etc.

Le module d'élasticité dynamique longitudinale  $Ed_L$  est déterminé à partir de la mesure de la fréquence de résonance fondamentale  $f_L$  d'une éprouvette de type « barre » soumise à une vibration longitudinale (mode de compression). L'éprouvette est excitée vibratoirement à l'une de ses extrémités et la réponse qui en résulte à l'autre extrémité est mesurée à l'aide d'un capteur de type microphone (voir Figure 7-5).



**Figure 7-5 : Mode fondamental pour une vibration longitudinale et banc de mesure du module d'élasticité longitudinal d'un matériau « solide »**

La mesure de cette fréquence de résonance fondamentale  $f_L$  permet alors de remonter au module d'élasticité dynamique longitudinal  $Ed_L$  par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$Ed_L = 4 \times 10^{-6} \cdot l^2 \cdot f_L^2 \cdot \rho$$

Avec  $l$ , la longueur de l'éprouvette (mm) et  $\rho$ , la masse volumique de l'éprouvette ( $\text{kg/m}^3$ ).

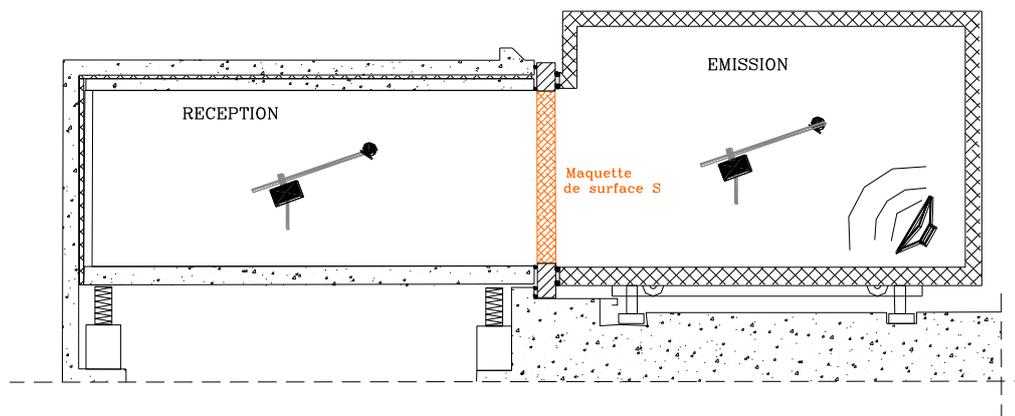
### 7.3 - Performance acoustique au niveau système

Plusieurs types de performance acoustique peuvent être évalués ; ils sont rappelés brièvement dans cette section.

#### 7.3.1 - Indice d'affaiblissement acoustique $R$ et indice d'efficacité aux bruits aériens $\Delta R$

Le comportement acoustique d'un système (paroi, plancher, etc.) se caractérise d'un point de vue de l'isolation acoustique par une mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  qui est évalué en laboratoire selon la norme NF EN ISO 10140-2 [ISO 10140-2, 2013].

Le poste d'essai utilisé est composé par un couple de salles d'émission et de réception, conçues sur le principe de la « boîte dans la boîte », entre lesquelles est mis en œuvre le système à caractériser, conformément à la norme NF EN ISO 10140-5 [ISO 10140-5, 2013] (voir Figure 7-6).



**Figure 7-6 – Principe des postes d'essais utilisés pour les mesures de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R$  d'un système**

L'indice d'affaiblissement acoustique  $R$ , mesuré par tiers d'octave entre 50 et 5000 Hz, est donné par la relation suivante :

$$R = L_E - L_R + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

Avec  $L_E$ , le niveau sonore dans le local d'émission en dB,  $L_R$ , le niveau sonore dans le local de réception, corrigé du bruit de fond en dB,  $S$ , la surface de la maquette à tester en  $\text{m}^2$ ,  $A$ , l'aire équivalente d'absorption dans le local de réception en  $\text{m}^2$  tel que  $A = (0,16 \times V)/T$ , où  $V$  est le volume du local de réception en  $\text{m}^3$  et  $T$  est la durée de réverbération du même local en s.

Plus  $R$  est grand, plus l'élément testé est performant.

La norme NF EN ISO 717-1 [ISO 717-2, 2013] explique la méthode de calcul permettant d'obtenir des indices globaux de performance  $R_w(C;C_{tr};C_{50-3150};C_{tr,50-3150})$  évalués entre les tiers d'octave 100 et 3150 Hz ou 50 et 3150 Hz.

En France, sont utilisés

- l'isolement vis-à-vis de bruits aériens intérieurs :  $R_A = R_w + C$  en dB
- l'isolement vis-à-vis du bruit d'infrastructure de transport terrestre :  $R_{A,tr} = R_w + C_{tr}$  en dB

L'amélioration de l'isolation au bruit aérien  $\Delta R$  en dB pour chaque tiers d'octave se calcule alors comme :

$$\Delta R = R - R_0$$

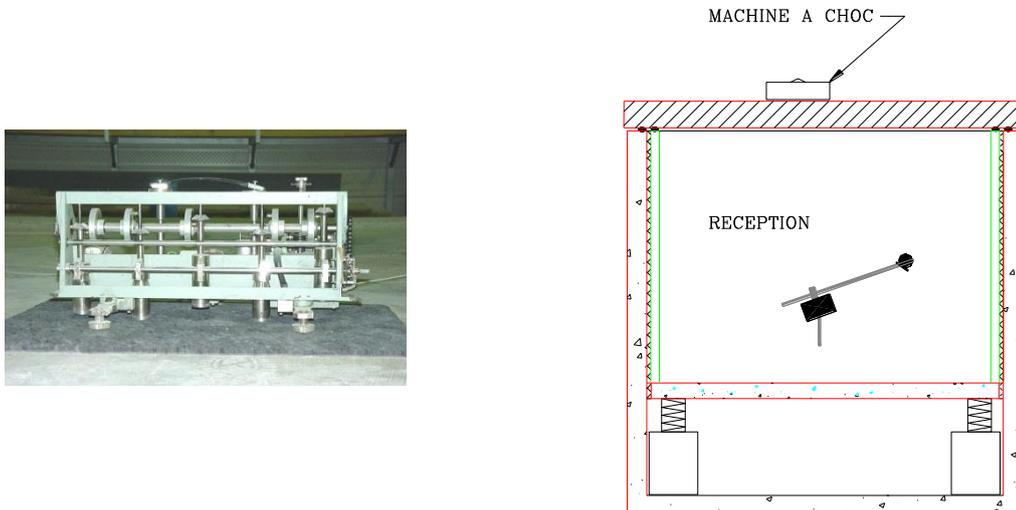
avec R l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi support lourd avec l'élément rajouté (doublage, plafond, etc..) et  $R_0$ , l'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi support lourd sans l'élément rajouté.

Les indices globaux associé sont décrits dans la norme NF EN ISO 10140-1 [ISO 10140-1, 2016].

### 7.3.2 - Indice d'efficacité aux bruits de choc $\Delta L$

La réduction de la transmission des bruits de choc par un système sur un plancher lourd normalisé excités par une machine à choc normalisée est déterminée par la norme NF EN ISO 10140-3 [ISO 10140- 3, 2013].

Le mesurage doit être exécuté dans un laboratoire d'essai (voir Figure 7-7).



**Figure 7-7 – Principe d'un poste d'essai utilisé pour les mesures du niveau de bruit de chocs  $L_n$**

Les mesures suivantes sont réalisées par bande de tiers d'octave entre 50 et 5000 Hz :

- Niveau de bruit de choc  $L_i$  dans la salle de réception,
- Niveau de bruit de fond,
- Durée de réverbération du local de réception T.

Le niveau de bruit de choc  $L_n$ , en dB, est alors obtenu, pour chaque tiers d'octave comme :

$$L_n = L_i + 10 \log(A/A_0)$$

Avec  $L_i$ , le niveau de bruit de choc mesuré dans la salle de réception et éventuellement corrigé du bruit de fond,  $A_0$ , l'aire de référence égale à  $10 \text{ m}^2$  en laboratoire et  $A$ , l'aire équivalente d'absorption dans le local de réception en  $\text{m}^2$  calculé comme suit :

$$A = (0,16 \times V)/T$$

où  $V$  est le volume du local de réception en  $\text{m}^3$  et  $T$  est la durée de réverbération du même local en s.

L'amélioration de l'isolation au bruit de choc  $\Delta L$  en dB pour chaque tiers d'octave se calcule alors comme :

$$\Delta L = L_{n0} - L_n$$

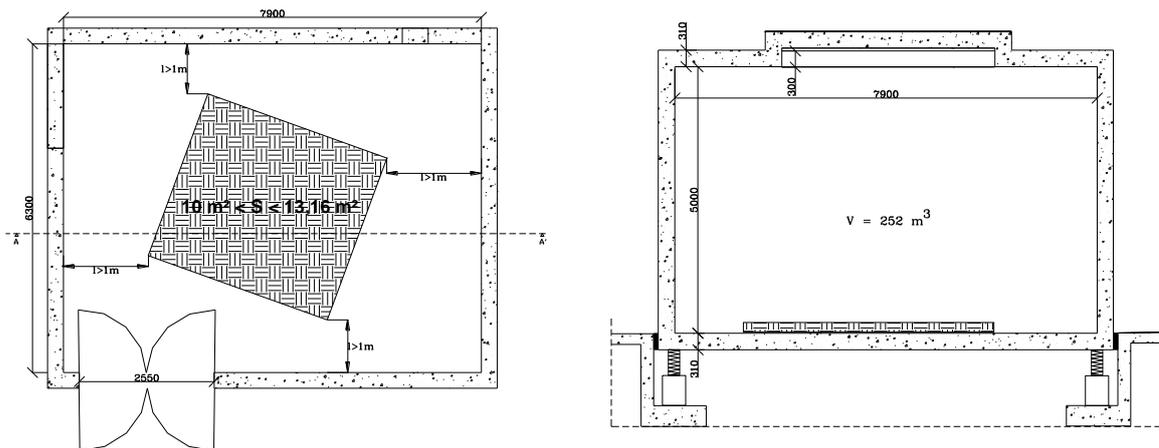
avec  $L_{n0}$ , le niveau de bruit de choc normalisé du plancher lourd normalisé sans le revêtement de sol et  $L_n$ , le niveau de bruit de choc normalisé du plancher lourd normalisé avec le revêtement de sol.

La norme NF EN ISO 717-2 [ISO 717-2, 2013] explique la méthode de calcul permettant d'obtenir des indices globaux de performance  $L_{n,w}(C_i; C_{1,50-2500})$  ainsi que  $\Delta L_w$ ,  $\Delta L_{lin}$ ,  $\Delta L_{lin,50-2500}$ .

### 7.3.3 - Coefficient d'absorption acoustique $\alpha$

La norme NF EN ISO 354 [ISO 354, 2004] est la méthode de mesurage de l'absorption acoustique en salle réverbérante de matériaux utilisés pour le traitement des murs, des sols, des plafonds ou d'objets distincts. Un schéma de principe de la salle réverbérante utilisée est montré à la Figure 7-8.

La méthode du bruit interrompu est adoptée pour déterminer les courbes de décroissance du bruit dans une salle réverbérante ( $\geq 250 \text{ m}^3$ ), équipée de diffuseurs.



**Figure 7-8 – Schéma d'une salle réverbérante pour les essais d'absorption acoustique**

Les coefficients d'absorption acoustique  $\alpha_s$  sont mesurés par tiers d'octave entre 50 et 5000 Hz de la manière suivante :

- Mesure de la durée de réverbération de la salle vide  $T_1$  et de la température  $t_1$  au moment de la mesure,

- Mesure de la durée de réverbération de la salle avec l'échantillon  $T_2$  et de la température  $t_2$  au moment de la mesure.

Une aire d'absorption équivalente  $A_T$  en  $m^2$  est alors calculer pour chaque tiers d'octave comme :

$$A_T = 55,3V \left( \frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1} \right) - 4V(m_2 - m_1)$$

avec  $V$ , le volume de la salle en  $m^3$ ,  $c_i$ , la célérité du son dans l'air en  $m/s$  ( $c_i = 331 + 0,6 t_i$ ) avec  $t_i$  la température en degré Celsius et  $15 \text{ °C} < t < 30 \text{ °C}$ ),  $m_i$ , le coefficient d'atténuation de puissance en  $m^{-1}$  calculé selon la norme ISO 9613-1 [ISO 9613-1, 1993] tel que  $m_i = \frac{\alpha}{10 \log(e)}$ .

Le coefficient d'absorption (adimensionnel) dans le cas de produits plans pour chaque tiers d'octave est alors déterminer comme :

$$\alpha_s = A_T / S$$

avec  $S$ , la surface de l'échantillon en  $m^2$ .

Afin d'obtenir l'indice unique  $\alpha_w$ , selon la norme NF EN ISO 11654 [ISO 11654, 1997], les valeurs de  $\alpha_s$  sont prises en compte par octave entre 250 et 4000 Hz avec une précision au 0,05. Une courbe de référence est déplacée verticalement par saut de 0,05 jusqu'à ce que la somme des écarts défavorables soit la plus grande tout en restant inférieure ou égale à 0,1.

$\alpha_w$  est la valeur donnée alors par la courbe de référence à 500 Hz.

Il n'y a pas d'indice global pour l'aire d'absorption équivalente, au sens de la norme NF EN ISO 11654 [ISO 11654, 1997], celle-ci est donnée en tiers d'octave. Cependant la réglementation française est basée sur une valeur globale qui est calculée comme suit :  $A = S \times \alpha_w$ .



**Centre Scientifique et Technique du Bâtiment**

24 Rue Joseph Fourier - 38400 SAINT-MARTIN-D'HERES

Tél. : +33 (0)4 76 76 25 25 – [www.cstb.fr](http://www.cstb.fr)

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS



**CEREMA / DTerEst/ Laboratoire de Strasbourg**

11, rue Jean Mentelin, 67035 STRASBOURG

Tél. : +33 (0)3 88 77 46 00 – [www.est.cerema.fr](http://www.est.cerema.fr)