



INSTITUT TECHNOLOGIQUE

ACOUBOIS

Equipements 2016

Siège social

10, rue Galilée
77420 Champs-sur-Marne
Tél +33 (0)1 72 84 97 84
www.fcba.fr

Siret 775 680 903 00132
APE 7219Z
Code TVA CEE : FR 14 775 680 903

Institut technologique FCBA :
Forêt, Cellulose, Bois – Construction,
Ameublement

Réalisation :



Avec l'appui de :



Avec le soutien de :



**OFFRE CSTB N° 26061755
BRUIT STRUCTURAL DES ÉQUIPEMENTS
SUR STRUCTURE LEGÈRE**

Rapport final

Simon BAILHACHE

Corentin COGUENANFF

Pascal DUCRUET

Catherine GUIGOU-CARTER

Nicolas PICARD

Demandeur de l'étude

FCBA

Frédéric STAAT

Pôle Industrie Bois Construction

10 Rue de Galilée

77240 Champs-Sur-Marne

N/Réf. DSC/2017-070/CG/BG

Auteur(s)	Approbation	Vérificatrice
S. BAILHACHE C. GUIGOU-CARTER	-	B. GAUTHIER

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 ainsi que des tiers concernés.

**OFFRE CSTB N° 26061755
BRUIT STRUCTURAL DES ÉQUIPEMENTS
SUR STRUCTURE LEGÈRE**

Rapport final

Simon BAILHACHE

Corentin COGUENANFF

Pascal DUCRUET

Catherine GUIGOU-CARTER

Nicolas PICARD

Demandeur de l'étude

FCBA

Frédéric STAAT

Pôle Industrie Bois Construction

10 Rue de Galilée

77240 Champs-Sur-Marne

N/Réf. DSC/2017-070/CG/BG

SOMMAIRE

1-	OBJET	4
2-	CARACTÉRISATIONS EN LABORATOIRE.....	5
2.1	DESCRIPTION DE LA MÉTHODE	5
2.2	CAS D'UNE CHAUDIÈRE MURALE ECS AU GAZ	6
2.3	CAS D'UNE MACHINE À LAVER	13
3-	PRÉVISION DU BRUIT GÉNÉRÉ SUR SITE	21
3.1	DESCRIPTION DE LA MÉTHODE	21
3.2	CAS D'UNE CHAUDIÈRE MURALE ECS AU GAZ	22
3.3	CAS D'UNE MACHINE À LAVER	27
4-	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	36
4.1	REMARQUES FINALES SUR LE TRAVAIL RÉALISÉ	36
4.2	RECOMMANDATIONS DE MISE EN OEUVRE	37
4.2.1	<i>Chaudière</i>	<i>37</i>
4.2.2	<i>Machine à laver.....</i>	<i>38</i>
5-	RÉFÉRENCES	40
	ANNEXE A – INFORMATION SUR LA CHAUDIÈRE ECS À GAZ	41
	ANNEXE B – INFORMATION SUR LA MACHINE À LAVER.....	49
	ANNEXE C – CALCULS COMPLÉMENTAIRES	54

1- OBJET

L'objet de cette étude est la détermination du bruit des équipements de bâtiment mis en œuvre sur des éléments supports de construction bois en paroi verticale (équipement de type chaudière à gaz suspendu) et horizontale (Machine à laver). Ces équipements ne sont pas considérés comme des équipements du bâtiment au sens de la réglementation mais les enquêtes de terrain dans des bâtiments à ossature bois issus d'ACOUBOIS ont fait remonter la problématique des vibrations et du bruit engendrés par ce type d'équipements.

Le bruit aérien de ces équipements est supposé indépendant des conditions d'installation et du type de support (lourd ou léger). Il est caractérisé en laboratoire par une puissance acoustique mesurée en salle réverbérante suivant les normes EN ISO 3740-47 et est usuellement connue du fabricant.

Le bruit structural généré par la structure sur laquelle l'équipement est installé dépend à la fois de l'équipement et de l'élément support (lourd ou léger). Sa caractérisation vibratoire en termes de puissance structurale injectée à l'élément support est l'objet de la norme prEN 15657 ; cette norme révisée pour inclure les supports légers vient d'être finalisée par le groupe de travail CEN/TC126/WG7 et va être publiée en 2017. Cette puissance (vibratoire) structurale est ensuite utilisée comme donnée d'entrée d'un calcul normalisé du bruit structural suivant la norme EN 12354-5 (prévision des bruits d'équipement), elle aussi en révision pour inclure les constructions légères, le travail étant effectué par le groupe CEN/TC126/WG2.

Afin de mener les travaux suivant l'ensemble des critères précités, La démarche proposée est la suivante :

- (i) Caractérisation structurale de l'équipement suivant la norme prEN 15657 (méthode directe ou indirecte)
- (ii) Caractérisation d'éléments supports de construction bois type suivant la norme prEN 15657 (méthode directe).
- (iii) Détermination à partir des résultats des phases (i) et (ii) des puissances structurales correspondant à l'équipement installé sur les éléments supports précédents suivant la norme prEN 15657
- (iv) Calcul du bruit structural de l'équipement installé dans les constructions bois types précédentes suivant la norme prEN 12354-5.

Dans le cadre de cette étude, deux équipements ont été testés : une chaudière ECS au gaz et une machine à laver. On notera que la machine à laver n'est pas considérée comme un équipement du bâtiment au sens de la réglementation acoustique ; cependant la problématique associée à cet équipement est souvent remontée lors des enquêtes de satisfaction des occupants de bâtiment en bois dans la cadre du projet Acoubois. C'est la raison pour laquelle cet équipement est considéré dans cette étude.

2- CARACTÉRISATIONS EN LABORATOIRE

Dans cette section, la méthode de caractérisation est dans un premier temps présentée ; puis elle est appliquée aux deux équipements considérés dans cette étude.

2.1 Description de la méthode

Le projet de norme prEN 15657 [1] dont la publication est attendue pour début 2017 définit trois caractéristiques structurales d'équipement : les niveaux de force bloquée équivalente $L_{Fb,eq}$ (en dB re. 10^{-6} N) et de vitesse libre équivalente $L_{vf,eq}$ (en dB re. 10^{-9} m/s), qui représentent l'activité de l'équipement pour un régime de fonctionnement donné, et sa mobilité équivalente $Y_{S,eq}$ (en m/(Ns)). Ces trois quantités sont reliées entre elles par la relation 1.

$$Y_{S,eq}^2 \approx 10^{\frac{(L_{vf,eq} - L_{Fb,eq})}{10}} \cdot 10^{-6} \text{ en m/(Ns)} \quad (1)$$

Ces caractéristiques de l'équipement peuvent ensuite être utilisées pour déterminer le niveau de puissance structurale installée $L_{Ws,inst}$ (en dB re. 10^{-12} W) en fonction de la mobilité équivalente de la paroi support $Y_{R,eq}$ dans une condition d'installation de l'équipement donnée :

$$L_{Ws,inst} \approx 10 \lg \left[\frac{Re(Y_{R,eq})}{|Y_{S,eq}|^2 + |Y_{R,eq}|^2} \right] + L_{vf,eq} + 60 \quad (2)$$

Si la mobilité équivalente de la source est grande devant celle du récepteur (cas d'une paroi support lourde), alors la relation simplifiée suivante peut être utilisée :

$$L_{Ws,inst} \approx L_{Fb,eq} + 10 \lg \left(Re(Y_{R,eq}) \right) \quad (3)$$

A l'inverse, si la mobilité équivalente de la source est négligeable devant celle du récepteur, alors la relation 2 devient :

$$L_{Ws,inst} \approx 10 \lg \left[\frac{Re(Y_{R,eq})}{|Y_{R,eq}|^2} \right] + L_{vf,eq} + 60 \quad (4)$$

La caractérisation a ainsi pour objectif de déterminer les trois caractéristiques de façon à pouvoir prévoir la puissance structurale sur site pour toutes conditions d'installation.

La méthode de caractérisation mise en œuvre dans cette étude est la méthode indirecte décrite dans le projet de norme prEN 15657 et se déroule en deux étapes. L'équipement est d'abord installé sur une plaque réceptrice lourde en béton plein de 10 cm d'épaisseur pour un élément vertical et de 18 cm d'épaisseur pour un élément horizontal. A partir de la mesure du niveau de vitesse vibratoire moyenne (au sens spatial) de plaque et connaissant son facteur de perte, il est possible d'estimer la puissance injectée par l'équipement. Le niveau de force bloquée équivalente $L_{Fb,eq}$ peut alors être déduit en utilisant la relation 3, connaissant la mobilité équivalente de la plaque réceptrice (moyenne des mobilités d'entrée aux points de contact avec l'équipement). La mobilité de l'équipement est supposée bien plus importante que celle de la plaque réceptrice lourde. L'équipement est ensuite installé sur une plaque réceptrice légère en acier perforé d'épaisseur 1 mm. La puissance injectée est déterminée à partir de la vitesse moyenne de la paroi et de son facteur de perte. Le niveau de vitesse libre

équivalente $L_{vf,eq}$ de l'équipement est ensuite déduite en utilisant la formule simplifiée 4 (la mobilité de l'équipement est supposée bien plus faible que celle de la plaque réceptrice légère). La mobilité équivalente de l'équipement est finalement calculée selon la relation 1.

Remarque : si plusieurs régimes de fonctionnement de l'équipement sont considérés, alors les niveaux de vitesse libre équivalente et de force bloquée équivalente doivent être déterminés pour chaque régime. Par conséquent, plusieurs estimations de la mobilité équivalente de l'équipement peuvent être réalisées.

2.2 Cas d'une chaudière murale ECS au gaz

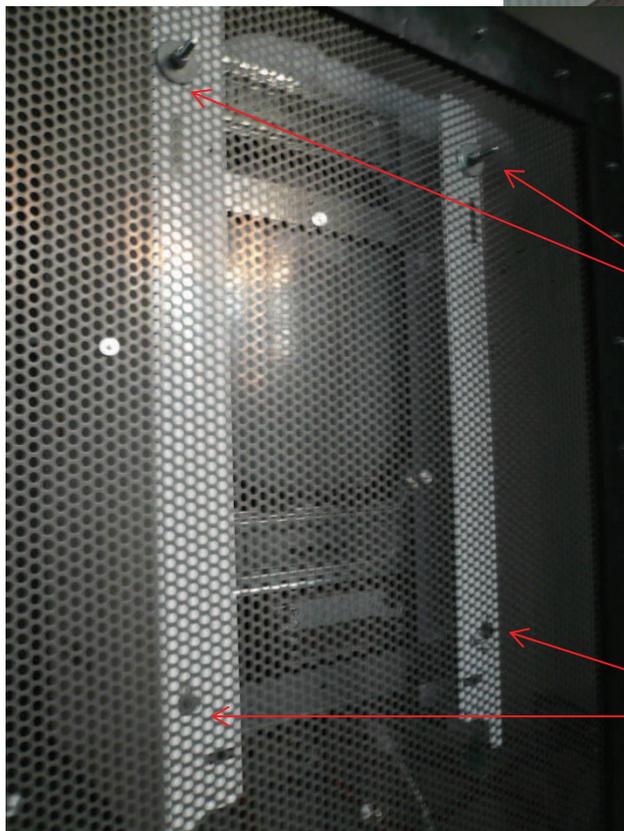
L'équipement testé est une chaudière murale ECS à gaz individuelle dont les caractéristiques sont données en Annexe A. Il s'agit d'un système à ventouse produisant du chauffage et de l'eau chaude sanitaire. L'équipement est rigidement fixé à une paroi verticale par le biais d'un support métallique fixé en deux points en partie haute et en partie basse. La Figure 1 montre l'équipement fixé sur la plaque réceptrice légère perforée et la Figure 2 le support métallique fixé sur la paroi bois légère (façade bois avec parement intérieur de type BA18). Ainsi la chaudière est supportée par la paroi support par quatre points de fixation.

Les détails de la façade bois sur laquelle la chaudière est aussi testée sont donnés en Annexe A.

Afin d'assurer un fonctionnement normal, l'installation comprend les systèmes d'adduction d'eau froide et de gaz, un émetteur (radiateur à eau) et le réseau de distribution associé incluant une évacuation de l'eau chaude fournie. Pour des raisons pratiques, ces différents éléments sont fixés à la paroi réceptrice lourde lors de la caractérisation en laboratoire (voir Figure 3). Par conséquent, le niveau de force bloquée équivalente déterminé expérimentalement ne correspond pas uniquement à l'activité de la chaudière mais à celle de l'ensemble des éléments connectés structurellement à la paroi. Cependant, l'hypothèse est faite que la chaudière est la principale source d'excitation structurale. Les dimensions de la paroi réceptrice légère perforée sont plus réduites et ne permettent de fixer que la chaudière. Le niveau de vitesse libre équivalente correspond donc à une installation différente.

Remarque : le projet de norme prEN 15657 ne précise pas de dispositions particulières concernant la mise en œuvre d'équipements de chauffage et/ou de production d'eau chaude sanitaire en laboratoire. Il en est de même dans la norme NF EN 15036-1 concernant les règles d'essais des émissions de bruit aérien des générateurs de chaleur ; il est indiqué que les conditions de fonctionnement de l'appareil de chauffage doivent être conformes aux instructions d'installation et d'utilisation du fabricant.

Finalement on notera que la chaudière est alimentée avec une bouteille de gaz propane (les brûleurs de la chaudière ont dû être changés pour cette configuration).



Fixations hautes

Fixations basses

Figure 1 : Chaudière murale installée sur la plaque réceptrice légère perforée.

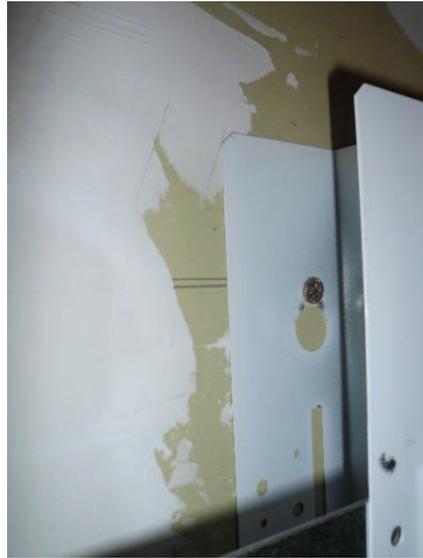


Figure 2 : Support de fixation de la chaudière murale.



Figure 3 : Chaudière murale et éléments rapportés fixés sur la paroi réceptrice lourde

Les caractéristiques structurales de l'équipement sont déterminées pour deux configurations : un fonctionnement en chauffage seul et un fonctionnement combinant à la fois le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

La Figure 4 représente les mobilités équivalentes des parois réceptrices (moyenne des mobilités d'entrée aux points de contacts avec la source, c'est-à-dire les points de fixation de la chaudière). La mobilité équivalente de la paroi réceptrice lourde est supérieure à la mobilité caractéristique pour 10 cm de béton. Le module de la mobilité équivalente n'est pas représenté pour cette paroi car seule la partie réelle intervient dans la relation (3). La mobilité équivalente de la paroi réceptrice légère perforée est inférieure à la valeur de 10^{-2} m/(Ns) préconisée dans la norme prEN 15657. Ceci est peut-être dû au fait que les points de fixation sont situés près des bords de la plaque. Pour la paroi légère perforée et la façade bois, certaines valeurs de partie réelle sont manquantes en hautes fréquences, dû à un déphasage entre les signaux de force et de vitesse perturbant la mesure.

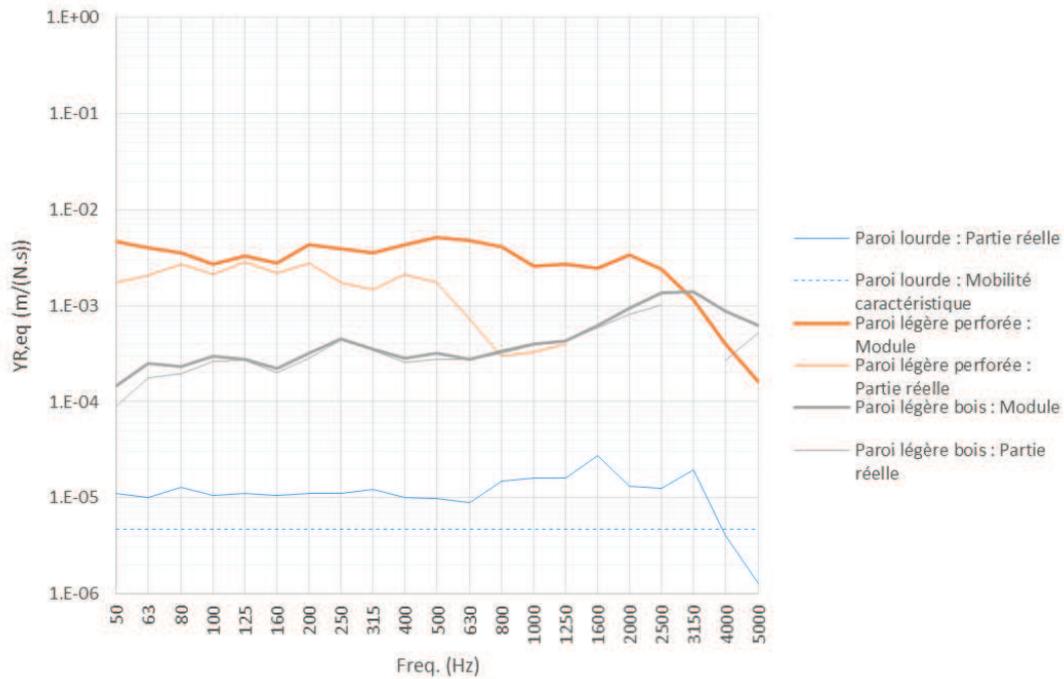


Figure 4 : Chaudière murale – Mobilité équivalente des parois réceptrices (lourde, légère perforée et légère bois)

Le facteur de perte des deux parois réceptrices (lourde et légère perforée) et de la paroi légère en bois est mesuré en présence de l'équipement et représenté en Figure 5. Certaines valeurs sont manquantes en hautes fréquences, dû à un rapport signal/bruit insuffisant. Pour la paroi réceptrice lourde, le facteur de perte mesuré est plus faible que celui estimé sur site pour les parois de ce type d'après la méthode d'estimation de l'EN 12354-1. Le facteur de perte de la paroi légère en bois est proche de celui de la paroi lourde jusqu'à 1000 Hz. La mesure n'ayant pas permis de déterminer la valeur à 3150 Hz, une interpolation linéaire a été effectuée.

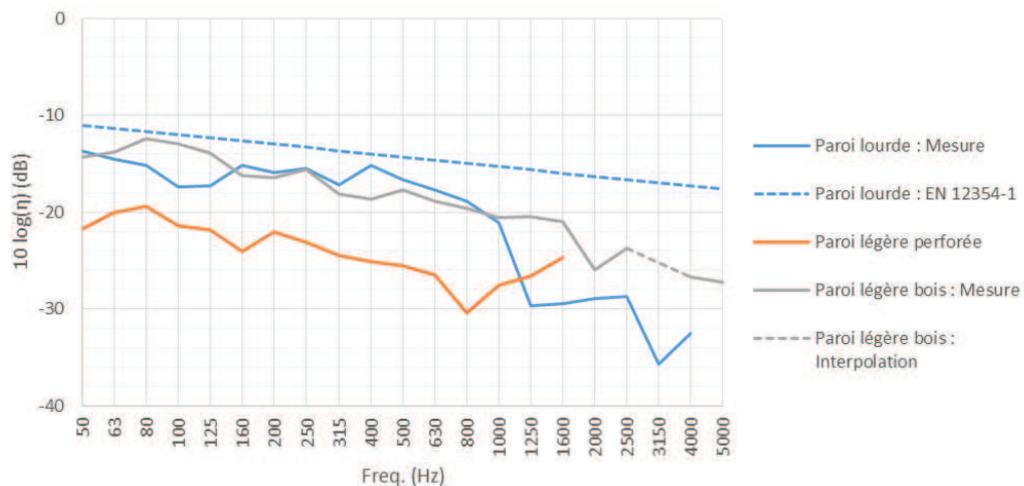


Figure 5 : Chaudière murale – Facteur de perte total des parois réceptrices

La Figure 6 représente le niveau de vitesse libre équivalente de l'équipement, obtenu à partir de la vitesse vibratoire de la paroi réceptrice légère perforée lorsque l'équipement est en fonctionnement (chauffage seul ou chauffage+ECS). L'activité de l'équipement présentant de légères fluctuations au cours du temps, plusieurs acquisitions (entre 4 et 7) ont été réalisées pour chaque mode de fonctionnement. Les résultats sont présentés sous forme de valeurs minimale, moyenne et maximale sur ces différentes acquisitions. Pour le mode chauffage + ECS, les résultats sont relativement similaires : les écarts entre valeurs minimales et maximales sont de l'ordre de 2-3 dB en moyenne. Pour le mode chauffage seul, en revanche, l'écart entre les valeurs minimales et maximales est important (entre 4 et 18 dB), reflétant un fonctionnement moins répétable. Néanmoins, il apparaît que la vitesse libre équivalente est plus importante en mode chauffage + ECS, avec un pic important au tiers d'octave 100 Hz et un niveau relativement constant jusqu'à 630 Hz. En mode chauffage seul, le niveau de vitesse libre semble rapidement décroître au-delà de 200 Hz.



Figure 6 : Chaudière murale – Niveau de vitesse libre équivalente

La Figure 7 représente le niveau de force bloquée équivalente de l'équipement, obtenu à partir de la vitesse vibratoire de la paroi réceptrice lourde avec l'équipement en fonctionnement (chauffage seul ou chauffage+ECS). Cinq acquisitions sont réalisées pour chaque mode de fonctionnement. Les résultats sont présentés sous forme de valeurs minimale, moyenne et maximale sur ces différentes acquisitions. L'écart entre valeurs minimales et maximales est de l'ordre de 2 dB pour le mode chauffage + ECS. Pour le mode chauffage seul, les résultats sont plus dispersés (écart atteignant 12 dB à 500 Hz) mais moins que pour la vitesse libre équivalente (Figure 6).

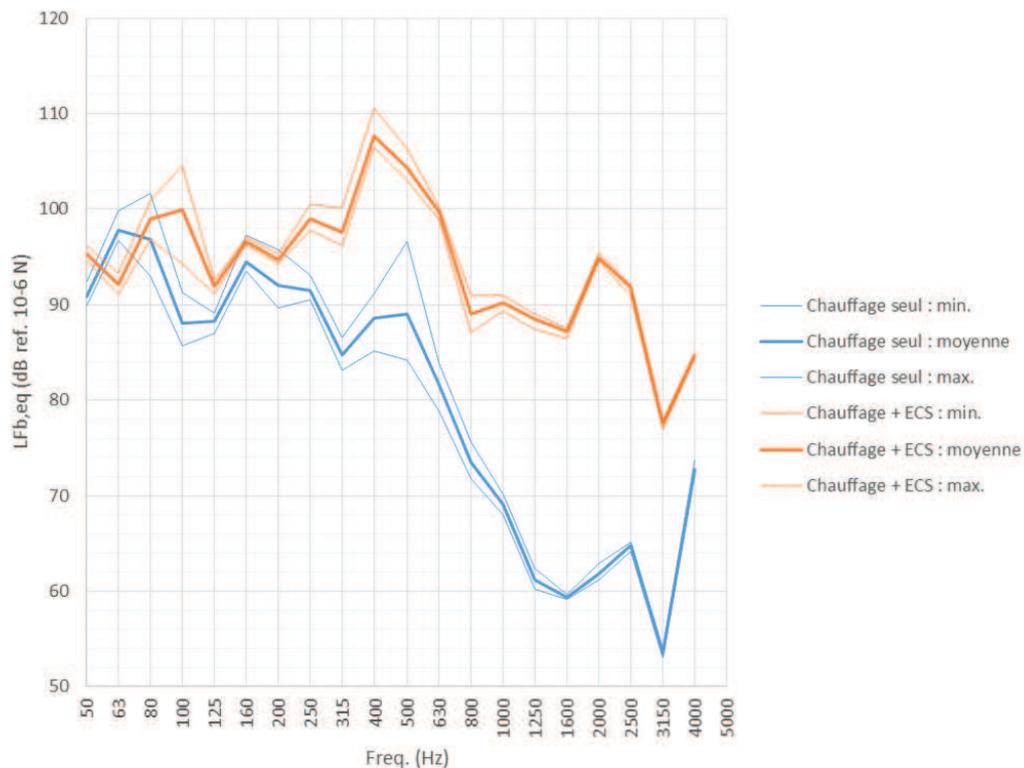


Figure 7 : Chaudière murale – Niveau de force bloquée équivalente

La Figure 8 représente la mobilité équivalente de l'équipement, estimée d'après la relation 1. Cette estimation est effectuée pour les deux modes de fonctionnement (chauffage seul ou chauffage+ECS) et en tenant compte de la dispersion des niveaux de force bloquée équivalente et de vitesse libre équivalente pour chaque mode. Ainsi 6 estimations différentes de la mobilité équivalente de la source sont obtenues. Les différentes estimations sont assez proches. A 100 Hz, on note que la mobilité équivalente de la chaudière estimée pour le fonctionnement en mode chauffage + ECS est très proche de la mobilité équivalente de la paroi légère perforée ($3 \cdot 10^{-3} \text{ m}/(\text{Ns})$ environ). De ce fait, la vitesse libre et la mobilité équivalentes de la chaudière à cette fréquence sont probablement quelque peu erronées. Sur le reste de la gamme de fréquence, la mobilité équivalente de la chaudière est au moins 3 fois inférieure à celle de la paroi légère perforée et environ 100 fois supérieure à celle de la paroi lourde. Ceci permet de valider la caractérisation à l'aide des parois réceptrices. Par ailleurs, on note que la mobilité équivalente de la chaudière est légèrement supérieure à celle de la paroi légère en bois en basses fréquences et du même ordre à partir de 400 Hz.

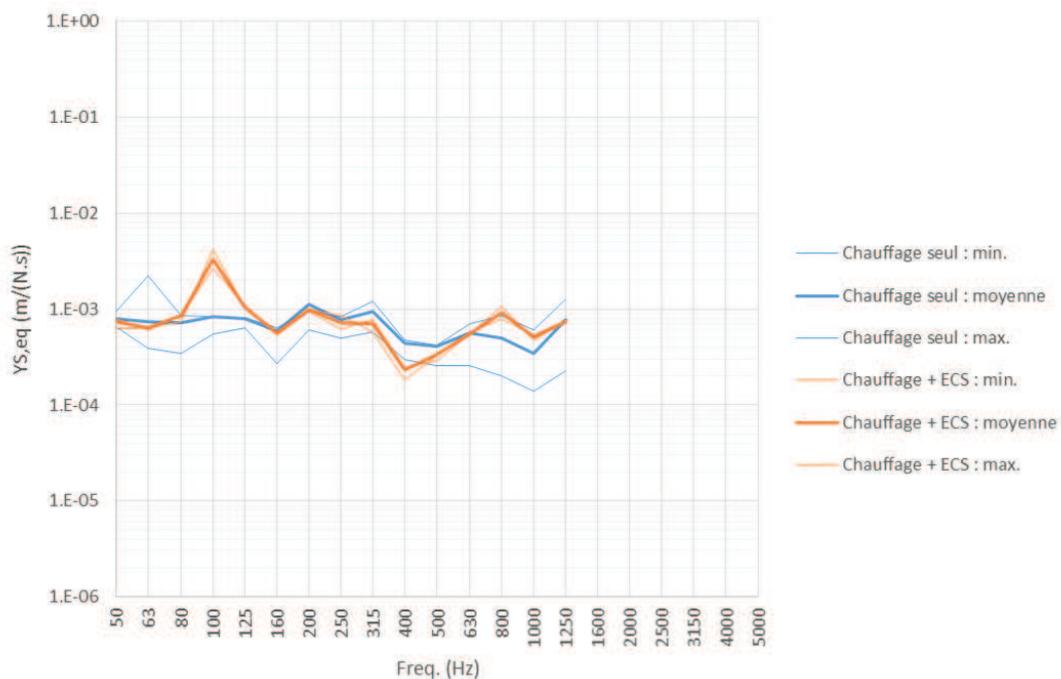


Figure 8 : Chaudière murale – Mobilité équivalente de l'équipement

2.3 Cas d'une machine à laver

L'équipement testé est une machine à laver dont les caractéristiques sont données en Annexe B.

L'équipement est utilisé en mode essorage. Deux conditions de fonctionnement sont évaluées : dans un premier temps la machine est chargée avec une distribution uniforme de masse sur toute la surface intérieure du tambour (3 x 875 g), et dans un second temps une masse supplémentaire de 875 g rajoutée sur une des sections du tambour pour créer un effet de balourd. La Figure 9 montre les éléments de masse rajoutés (de type masse lourde) dans le tambour de la machine à laver. Plusieurs vitesses d'essorage ont été évaluées ; la vitesse de rotation du tambour de la machine à laver a été mesurée avec un tachymètre laser (voir Figure 10). Dans le cas de la distribution uniforme de la masse dans le tambour de la machine à laver, les vitesses de rotation du programme d'essorage relevées sont de 400 et 1100 rpm (ou rotation par minute) ; en présence du balourd supplémentaire, ces vitesses sont de 400 et 643 rpm. Ces vitesses de rotation peuvent être atteintes plusieurs fois au cours d'un cycle, pendant des périodes allant d'une vingtaine de secondes à plusieurs minutes. Pour chaque régime de fonctionnement considéré, les caractéristiques présentées dans cette section sont déterminées en effectuant des moyennes sur ces périodes où la vitesse de rotation est stable.

La machine à laver repose sur 4 pieds dont la hauteur est réglée pour obtenir une position permettant d'avoir le dessus de la machine à laver dans un plan horizontal.

Les détails du plancher bois sur lequel la machine à laver est aussi testée sont donnés en Annexe B.



Figure 9 : Éléments de masse rajoutés dans le tambour de la machine à laver.



Figure 10 : Mesure de la vitesse de rotation du tambour par un tachymètre laser.

Remarque : le projet de norme prEN 15657 ne précise pas de dispositions particulières concernant la mise en œuvre des équipements tels qu'une machine à laver en laboratoire.

La paroi réceptrice lourde utilisée ici (dalle de béton de 18 cm d'épaisseur) est différente de celle considérée pour la caractérisation de la chaudière murale (voir section 2.2). La paroi réceptrice légère perforée est identique pour les deux équipements, cependant les points de fixation considérés sont différents. La Figure 11 montre la machine à laver sur la plaque légère perforée, la Figure 12 sur la dalle béton et la Figure 13 sur le plancher bois.



Figure 11 : Machine à laver installée sur la paroi réceptrice légère perforée



Figure 12 : Machine à laver installée sur le plancher béton de 18 cm d'épaisseur



Figure 13 : Machine à laver installée sur le plancher bois (à gauche position centrale et à droite position au bord)

La Figure 14 représente les mobilités équivalentes des parois réceptrices (moyenne des mobilités d'entrée aux 4 points de contacts avec la source). Pour le plancher léger en bois, la distinction est faite entre deux emplacements possibles, à savoir : au centre, ou sur un bord. La mobilité équivalente de la paroi réceptrice lourde est très proche de la mobilité caractéristique pour 18 cm de béton. La mobilité équivalente de la paroi réceptrice légère perforée est inférieure à la valeur de 10^{-2} m/(Ns) préconisée dans la norme prEN 15657. Comme pour la chaudière murale, ceci est peut-être dû au fait que les points de fixation sont situés près des bords de la plaque. Pour les différentes parois considérées, certaines valeurs de partie réelle sont manquantes en hautes fréquences, dû à un déphasage entre les

signaux de force et de vitesse perturbant la mesure. A partir du tiers d'octave 400 Hz la mobilité du plancher bois est similaire pour une position au centre du plancher et au bord du plancher.

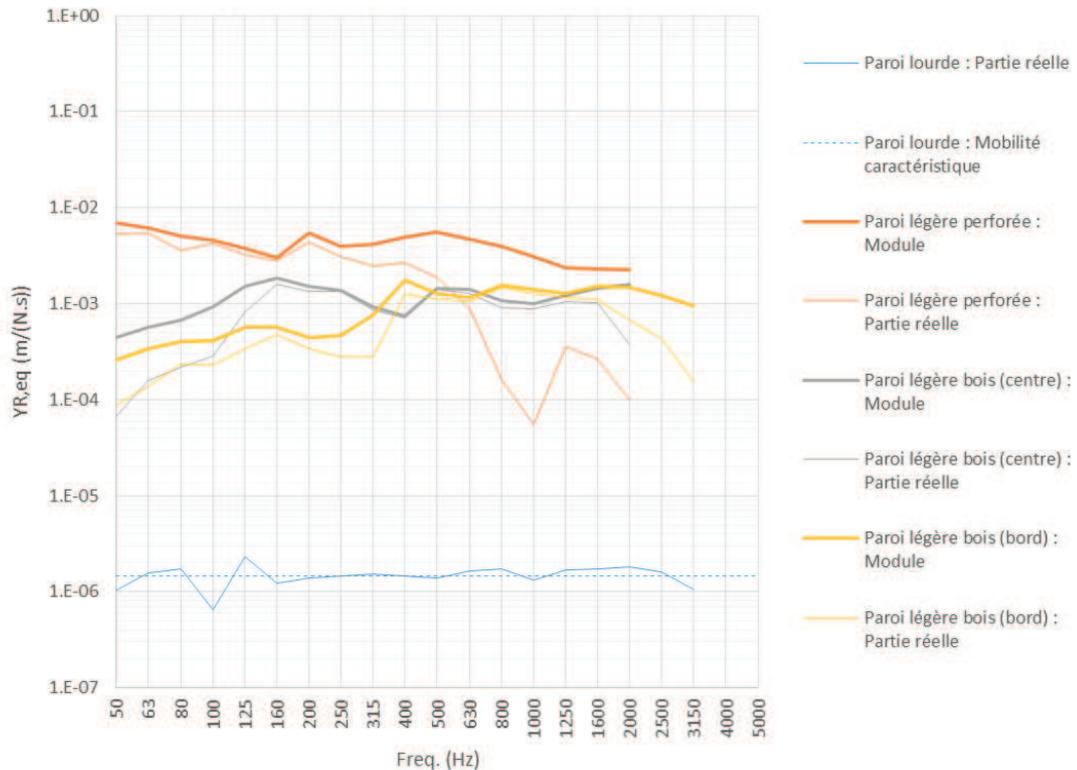


Figure 14 : Machine à laver – Mobilité équivalente des parois réceptrices (lourde, légère perforée et légère bois)

Le facteur de perte des deux parois (lourde et légère perforée) et du plancher léger en bois est mesuré en présence de l'équipement et représenté en Figure 15. Certaines valeurs sont manquantes en hautes fréquences, dû à un rapport signal/bruit insuffisant. La valeur à 1000 Hz semble faible et doit être considérée avec précaution. Pour la paroi réceptrice lourde, le facteur de perte mesuré est proche de celui estimé sur site pour les parois de ce type d'après la méthode d'estimation de l'EN 12354-1. Le facteur de perte de la paroi légère en bois est proche de celui de la paroi lourde et est peu affecté par la position de la machine à laver jusqu'à 1600 Hz.

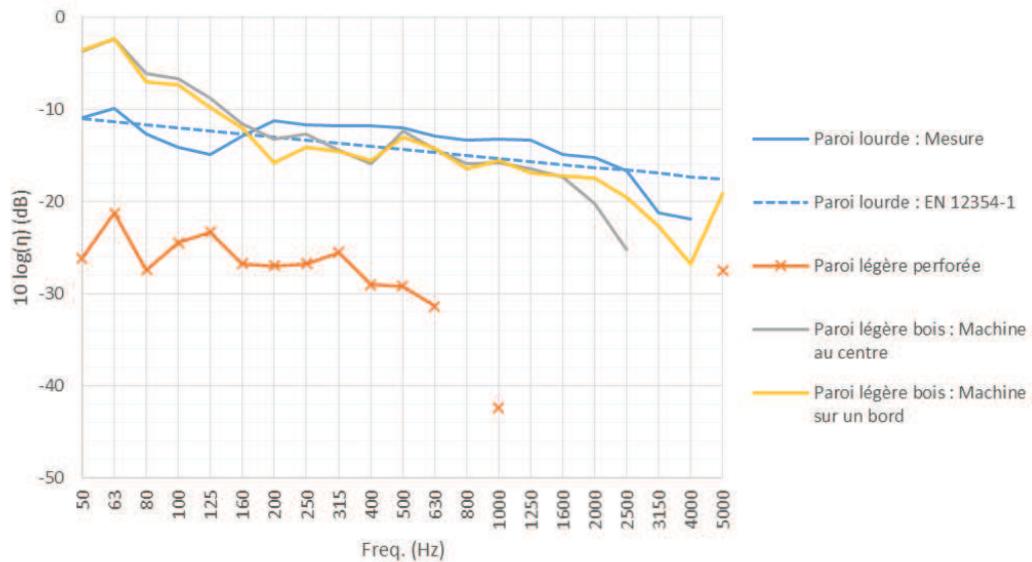


Figure 15 : Machine à laver – Facteur de perte total des parois réceptrices

La Figure 16 représente le niveau de vitesse libre équivalente de l'équipement, obtenu à partir de la vitesse vibratoire de la paroi réceptrice légère perforée lorsque l'équipement est en fonctionnement.

Pour le mode avec balourd, les niveaux de vitesse libre équivalente sont plus importants comme on pouvait s'y attendre que pour le mode sans balourd. Ces niveaux diminuent fortement avec la fréquence. De plus, la vitesse de rotation du tambour a une influence sur le niveau de vitesse libre équivalente ; plus la vitesse de rotation est élevée plus le niveau de vitesse libre équivalente est élevée. Pour le mode sans balourd, en revanche, les niveaux sont moins importants et diminuent du tiers d'octave 50 Hz à 250 Hz ; dans cette zone fréquentielle, il y a peu de différences entre les deux vitesses de rotation du tambour de la machine à laver. Au-dessus du tiers d'octave de 250 Hz une augmentation du niveau de vitesse libre équivalente est observée mais reste cependant en dessous de celui observé avec balourd.

La Figure 17 représente le niveau de force bloquée équivalente de l'équipement, obtenu à partir de la vitesse vibratoire de la paroi réceptrice lourde lorsque l'équipement est en fonctionnement. Comme précédemment, le niveau de force bloquée est plus important en présence du balourd et plus la vitesse de rotation du tambour est importante. Globalement, le niveau décroît avec la fréquence.

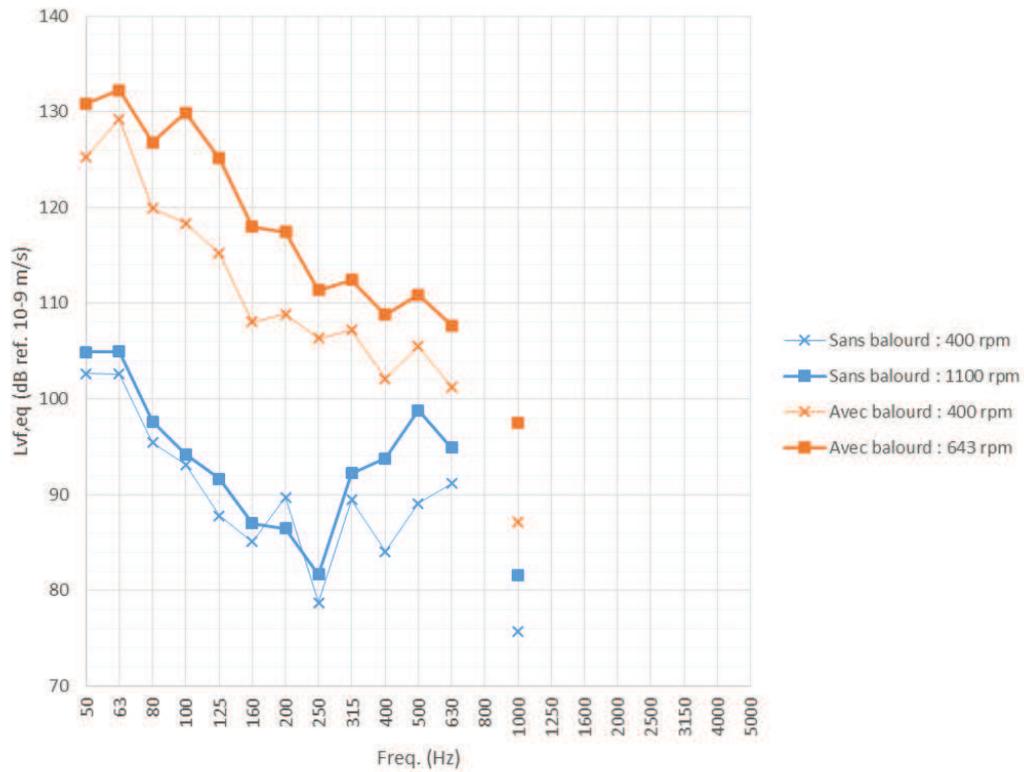


Figure 16 : Machine à laver – Niveau de vitesse libre équivalente sans et avec balourd.

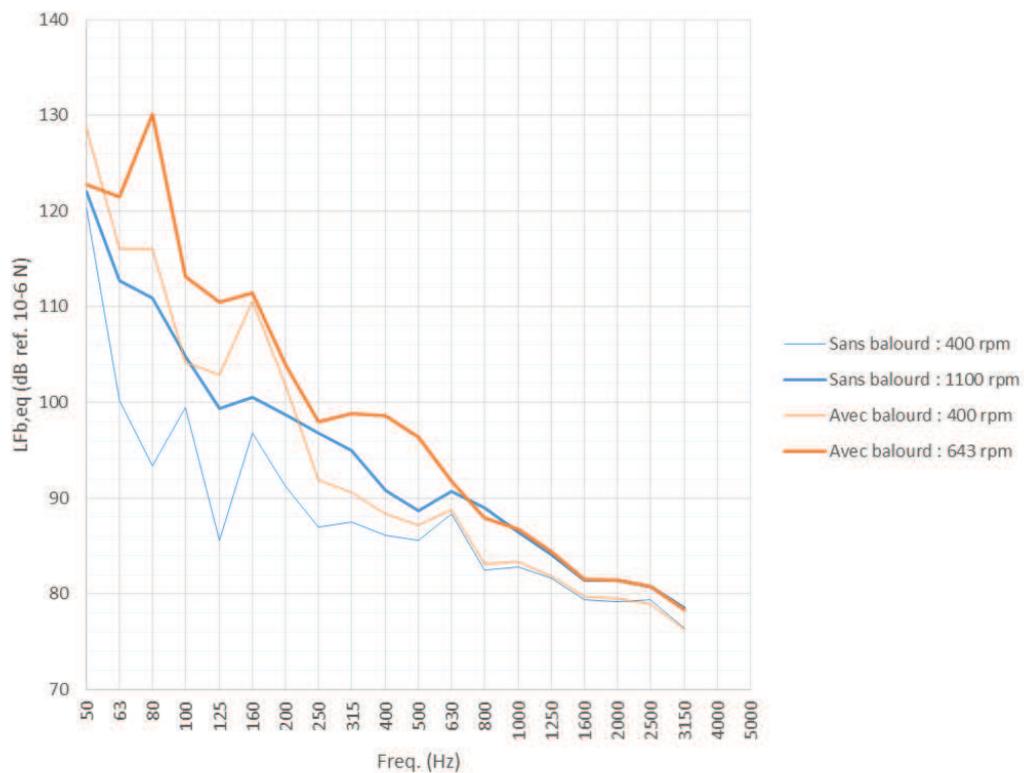


Figure 17 : Machine à laver – Niveau de force bloquée équivalente sans balourd

La Figure 18 représente la mobilité équivalente de l'équipement, estimée d'après la relation 1. Cette estimation est effectuée pour les différents modes de fonctionnement considérés. On note que la mobilité équivalente de la machine à laver estimée pour les deux vitesses de rotation du tambour est très proche de la mobilité équivalente de la paroi légère perforée ($5 \cdot 10^{-3} \text{ m}/(\text{Ns})$ environ). De ce fait, la vitesse libre et la mobilité équivalentes de la machine à laver dans cette configuration sont probablement quelque peu erronées. En effet, l'application de la relation 4 pour déterminer le niveau de vitesse libre équivalente se base sur l'hypothèse que la mobilité de la source est négligeable devant celle de la paroi réceptrice. La mobilité équivalente de la machine à laver dans le cas sans balourd est au moins 3 fois inférieure à celle de la paroi légère perforée et plus de 100 fois supérieure à celle de la paroi lourde. Ceci permet de valider la caractérisation à l'aide des parois réceptrices. Par ailleurs, on note que la mobilité équivalente de la machine à laver avec balourd est supérieure à celle du plancher bois (au centre ou au bord) dans les basses fréquences ; pour la machine à laver sans balourd c'est l'inverse.

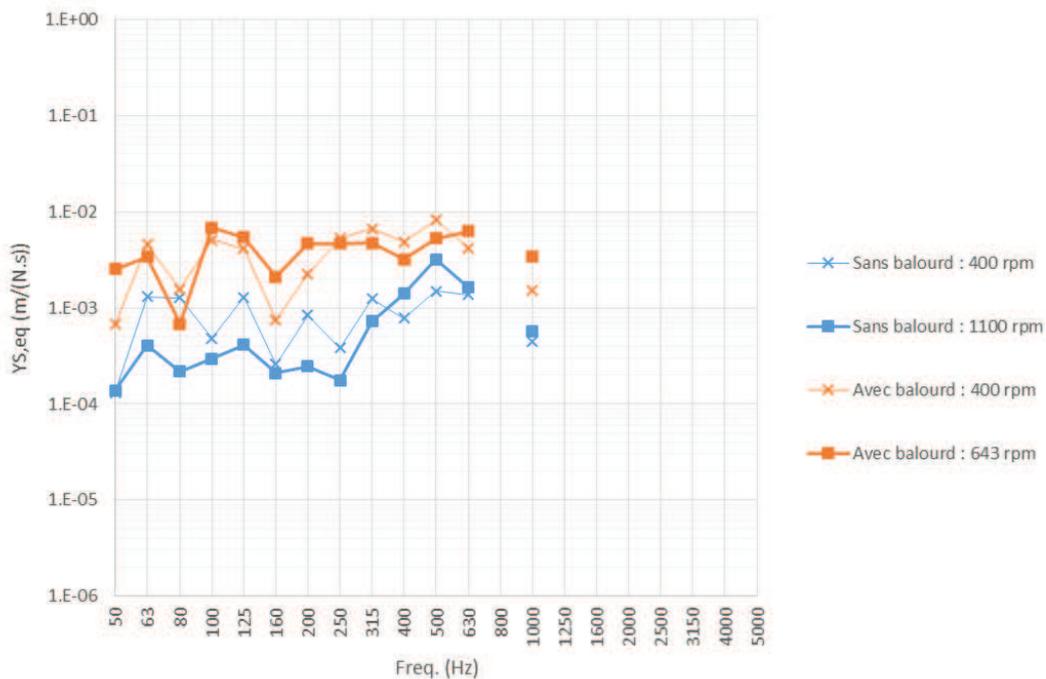


Figure 18 : Machine à laver – Mobilité équivalente de l'équipement

3- PRÉVISION DU BRUIT GÉNÉRÉ SUR SITE

3.1 Description de la méthode

Le niveau de pression acoustique correspondant au bruit structural généré sur site peut être calculé à partir du niveau de puissance structurale installée. Sauf mention contraire, seule la transmission directe (bruit rayonné par la paroi support) est considérée.

Pour une paroi séparative lourde, le niveau de pression acoustique standardisé dû au chemin direct peut-être calculé selon la relation suivante :

$$L_{nT} = L_{W_s,inst} + 10 \log \frac{2\rho_0^2 c_0^2 \sigma}{\pi f m \eta} + 10 \log \frac{W_0}{p_0^2} + 10 \log \frac{0.032V}{A_0} \quad (6)$$

où ρ_0 est la masse volumique de l'air (en kg/m³), c_0 est la célérité du son dans l'air (en m/s), σ est le facteur de rayonnement de la paroi support (sans dimension), f est la fréquence centrale de la bande de tiers d'octave considérée, m est la masse surfacique de la paroi support (en kg/m²), η est son facteur de perte (sans dimension), $W_0 = 10^{-12}$ W est la puissance de référence, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa est la pression acoustique de référence et V est le volume du local de réception (en m³). Lorsque des parois en béton sont considérées, les valeurs du facteur perte sur site η_{situ} et du facteur de rayonnement σ de la paroi séparative sont issues de la base de données du logiciel AcouBAT [3].

Dans le cas d'une transmission selon le chemin filant (par la façade pour le cas de la chaudière murale), la relation (6) est utilisée en retranchant la valeur de l'isolement vibratoire de jonction $D_{v,ij}$ déterminé selon la norme EN 12354-1 révisée [4].

Dans le cas général, le niveau de puissance structurale installée est estimé à partir des caractéristiques de l'équipement et de sa structure support selon la relation 2. En l'absence de données mesurées, la mobilité équivalente de la paroi support est considérée comme égale à sa mobilité caractéristique Y_∞ , calculée à partir de sa masse surfacique m et de son module de rigidité en flexion B selon la relation suivante :

$$Y_\infty = \frac{1}{8\sqrt{mB}} \quad (7)$$

Dans le cas d'une source de force (cas des parois lourdes), il est possible d'estimer le niveau de puissance installée en utilisant la relation simplifiée 3.

Remarque : la norme EN 12354-5 n'a pas encore été révisée pour prendre en compte les constructions légères en bois. La même méthode est donc appliquée ici en utilisant les données disponibles et récoltées dans le cadre de cette étude. Concernant la mobilité équivalente de ce type de paroi, si une valeur forfaitaire de 10^{-3} m/(Ns) est généralement considérée à toutes les fréquences, celle qui a été mesurée sur la paroi légère en bois (façade ou plancher) est en fait utilisée dans les calculs présentés dans cette section. Le facteur de perte mesuré pour chacune des deux parois légères en bois représenté en Figures 5 et 15 est utilisé dans les calculs présentés dans cette section. En effet, celui-ci est cohérent avec des résultats expérimentaux antérieurs obtenus pour des systèmes légers relativement peu amortis (absence de matériau absorbant par exemple) [5]. Le facteur de rayonnement

mesuré pour les deux parois légères en bois est présenté à la Figure 19 ; il est comparé à un spectre idéalisé issu de mesures en laboratoire et généralement utilisé comme facteur de rayonnement générique (voir Figure 19). Ce facteur de rayonnement générique est proche de celui mesuré sur la façade bois. Pour le plancher léger en bois, le spectre représenté est un facteur de rayonnement apparent incluant l'effet de transmissions latérales et surtout l'effet du plafond suspendu décrit en Annexe B.

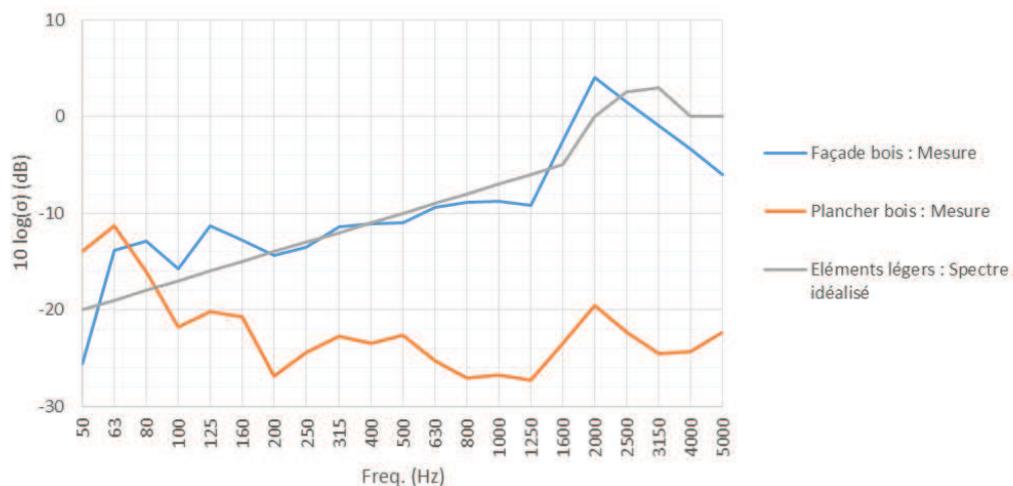


Figure 19 : Facteur de rayonnement mesuré pour les deux parois légères en bois (façade et plancher)

3.2 Cas d'une chaudière murale ECS au gaz

Les caractéristiques de l'équipement présentées en section 2.2 (spectres moyens) sont utilisées pour prévoir le niveau de pression acoustique sur site pour plusieurs parois supports :

- Une paroi lourde en béton plein de 20 cm d'épaisseur (transmission directe) ;
- Une paroi lourde en béton plein de 16 cm d'épaisseur (transmission latérale) ;
- La paroi légère de type façade dont les caractéristiques sont données à l'Annexe A (transmission directe ou latérale).

Pour rappel, les limites réglementaires pour un équipement individuel de chauffage sont :

- 35 dB(A) dans une pièce principale du logement où est situé l'équipement ;
- 50 dB(A) dans une cuisine du logement où est situé l'équipement
- 30 dB(A) dans une pièce principale d'un autre logement ;
- 35 dB(A) dans une cuisine d'un autre logement.

La Figure 20 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés pour l'équipement installé sur la paroi légère en bois. La puissance structurale installée est déterminée selon la relation 2. Le local de réception considéré ici est le local où est installée la chaudière et a un volume de 56 m³. On notera que cette configuration n'est pas réaliste d'une installation réelle, mais permet la

comparaison avec les résultats mesurés en laboratoire. A titre de comparaison, les résultats correspondant à une paroi support en béton de 20 cm d'épaisseur sont également représentés. Les calculs de puissance structurale installée sont alors effectués selon la relation 3.

Pour le mode chauffage seul sur la paroi bois, les résultats de prévision sont en relativement bon accord avec les niveaux mesurés jusqu'à 630 Hz. En plus hautes fréquences, la prévision sous-estime significativement le niveau de pression acoustique. L'absence de donnée pour le niveau de vitesse libre équivalente de l'équipement empêche le calcul à partir de 1600 Hz. L'écart de 3 dB(A) observé sur le niveau global pondéré peut provenir des écarts et valeurs manquantes en moyennes et hautes fréquences. On notera que, dans la pièce où est situé l'équipement, le bruit aérien associé à l'équipement doit être pris en compte ce qui n'est pas le cas dans les calculs effectués ici ; les différences entre prédiction et mesure au-dessus du tiers d'octave 630 Hz proviennent certainement du bruit aérien de la chaudière. Les surestimations observées en basses fréquences peuvent être dues à une contribution des éléments rapportés (radiateurs, conduits, etc..) lors de la caractérisation (voir section 2.2). Néanmoins, les écarts peuvent également être dus aux fluctuations d'activité de l'équipement. En effet, les caractéristiques structurales moyennes ont été considérées dans les calculs. Pour le mode chauffage + ECS, le niveau de pression acoustique issu des prévisions est plus élevé d'environ 15 dB en moyennes fréquences.

Pour la paroi support en béton de 20 cm, le calcul de puissance installé est basé sur le niveau de force bloquée équivalente, déterminée jusqu'à 4000 Hz. Les niveaux de pression acoustique calculés sont inférieurs d'environ 30 dB à ceux obtenus pour la paroi légère en bois.



Figure 20 : Chaudière murale – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (transmission directe)

La Figure 21 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés pour l'équipement installé sur la paroi légère en bois (en transmission horizontale). Seules les transmissions latérales façade-façade et façade-refend sont considérées ici (équipement installé sur la façade et bruit structural calculé dans le local adjacent). Les hypothèses suivantes sont effectuées :

- La paroi support et la paroi qui rayonne ont une surface identique ;
- L'isolement vibratoire de jonction $D_{v,ij}$ correspond au cas d'une jonction en T entre une façade et double séparatif vertical (la valeur générique de l'isolement vibratoire de jonction est tirée de la norme EN ISO 12354-1 en cours de finalisation ; un exemple de ce type de jonction est montré en Annexe A à la Figure A.6) ;
- Le volume du local de réception est de 25 m³.

A titre de comparaison, les résultats pour une installation dans une construction lourde typique (façade en béton de 16 cm et refend en béton de 20 cm) sont également présentés.

Comme précédemment, le niveau de pression acoustique calculé pour la façade légère en bois est plus important pour le mode chauffage + ECS. Néanmoins, les résultats sont bien en-deçà des limites réglementaires pour les deux modes de fonctionnement. Ceci est notamment dû à un important isolement vibratoire à la jonction entre la paroi support et la paroi rayonnante.

Les résultats pour la façade en béton sont plus élevés d'environ 5 dB que ceux obtenus pour la façade légère en bois. L'isolement vibratoire de jonction plus faible dans le cas de la structure en béton est compensé par une puissance structurale installée également plus faible.



Figure 21 : Chaudière murale – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (transmission latérale horizontale)

Dans le but d'étudier le cas de la chaudière installée sur la façade dans un cellier avec une chambre adjacente séparée du cellier par une cloison alvéolaire, des calculs complémentaires ont été menés pour évaluer la transmission vibratoire le long de la façade en faisant l'hypothèse que la cloison alvéolaire ne faisait que très légèrement s'appuyer sur le parement intérieur en plaques de plâtre elle n'intervient pas dans la transmission des vibrations. Les éléments de ce calcul sont donnés en Annexe C ; l'isolement vibratoire lissé montré à la Figure C.2 est utilisé pour les calculs. La Figure 22 représente le niveau de pression acoustique standardisé sur site calculés pour l'équipement installé sur la façade en bois pour cette configuration. Seule la transmission latérale façade-façade est considérée ici (équipement installé sur la façade et bruit structural calculé dans le local adjacent). Les hypothèses suivantes sont prises en compte :

- La paroi support et la paroi qui rayonne ont une surface identique ;
- L'atténuation vibratoire le long de la façade (sans influence de la cloison alvéolaire séparant les deux pièces) est utilisée pour évaluer un isolement vibratoire équivalent ; la distance entre la position de la chaudière et la cloison alvéolaire doit être d'au moins 1.20 m pour des montants espacés de 60 cm
- Le volume du local de réception est de 25 m³.

Comme précédemment, le niveau de pression acoustique calculé pour la façade légère en bois est plus important pour le mode chauffage + ECS. Néanmoins, les résultats sont en-deçà de la limite de 35 dB(A) pour les deux modes de fonctionnement.

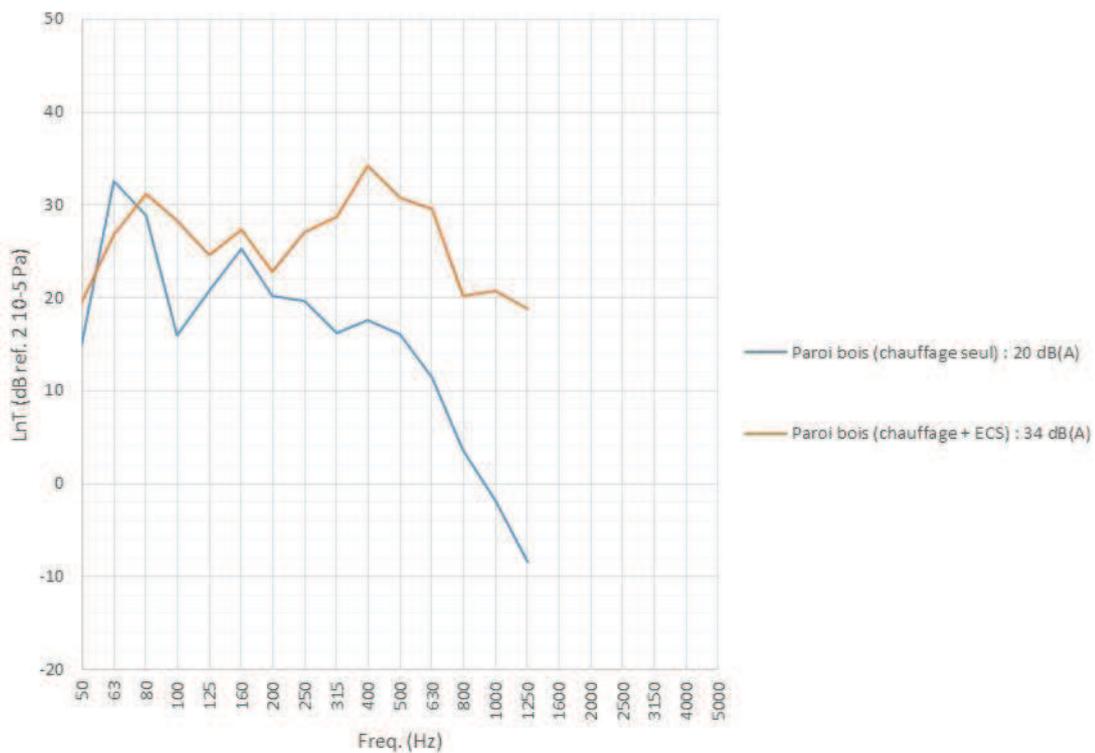


Figure 22 : Chaudière murale – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (transmission filante latérale horizontale)

3.3 Cas d'une machine à laver

Les caractéristiques de l'équipement présentées en section 2.3 sont utilisées pour prévoir le niveau de pression acoustique sur site pour plusieurs planchers supports :

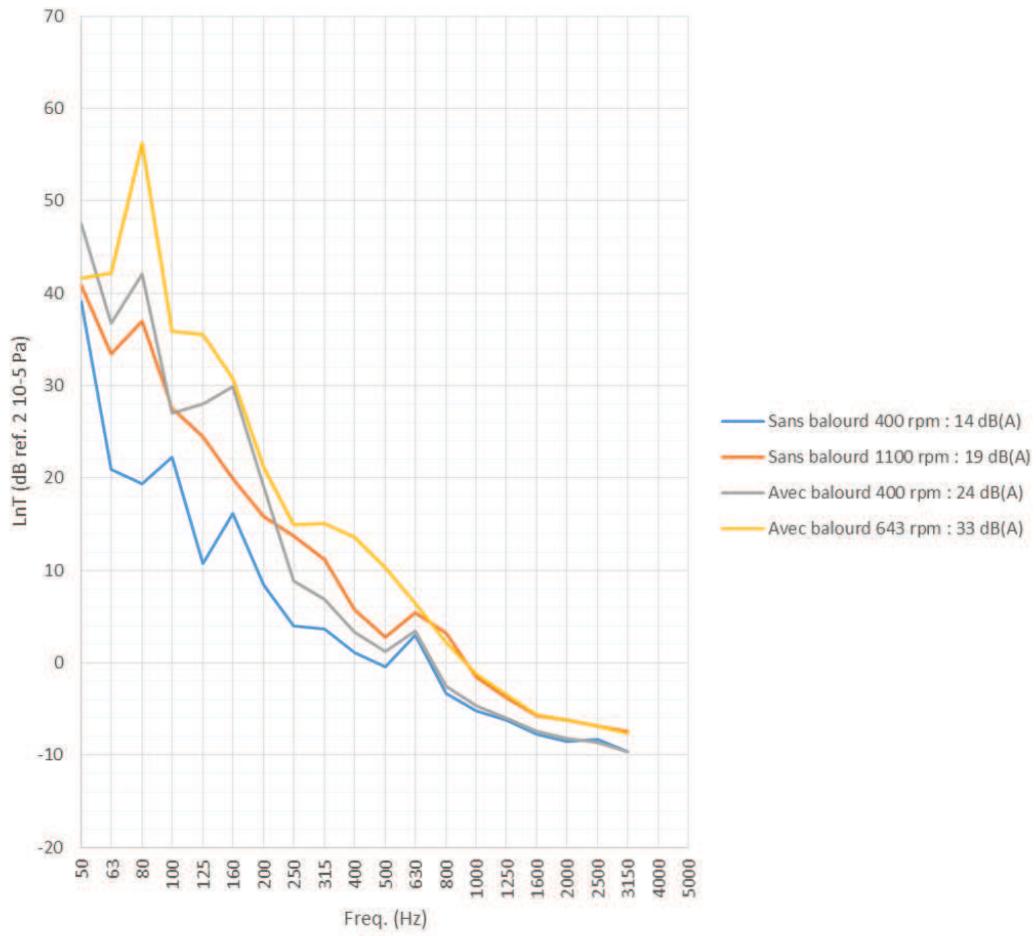
- Un plancher lourd en béton plein de 20 cm d'épaisseur ;
- Un plancher lourd en béton plein de 18 cm d'épaisseur ;
- Le plancher léger en bois dont les caractéristiques sont données à l'Annexe B.

Le volume considéré pour le local de réception est de 28 m³, correspondant au volume du local de réception dans le laboratoire où est installé le plancher léger en bois.

Pour rappel, la réglementation ne définit pas de valeur maximale de niveau de pression acoustique dans le local de réception pour ce type d'équipement.

La Figure 23 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés pour l'équipement installé sur le plancher lourd en béton de 18 cm d'épaisseur. La Figure 24 représente les niveaux de vitesse vibratoire du plancher calculés et mesurés en laboratoire. Le niveau de puissance structurale installée est calculé à partir du niveau de force bloquée équivalente de l'équipement selon la relation 3. Les valeurs mesurées de la mobilité équivalente du plancher et du facteur de perte sont utilisées (voir section 2.2).

On note un bon accord entre les niveaux de vitesse vibratoire calculés et mesurés, indiquant une estimation correcte de la puissance structurale installée. Les niveaux de pression acoustique correspondants sont caractérisés par des valeurs maximales en basses fréquences. L'augmentation de la vitesse de rotation se traduit par une augmentation du niveau de pression acoustique de 5 à 10 dB environ en basses et moyennes fréquences. En présence d'un balourd dans le tambour, les niveaux de pression acoustique sont plus importants d'environ 5 à 10 dB également. Le niveau global pondéré à la vitesse de rotation maximale atteint 19 dB(A) en l'absence de balourd et 33 dB(A) en présence d'un balourd.



**Figure 23 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site
(plancher en béton de 18 cm)**

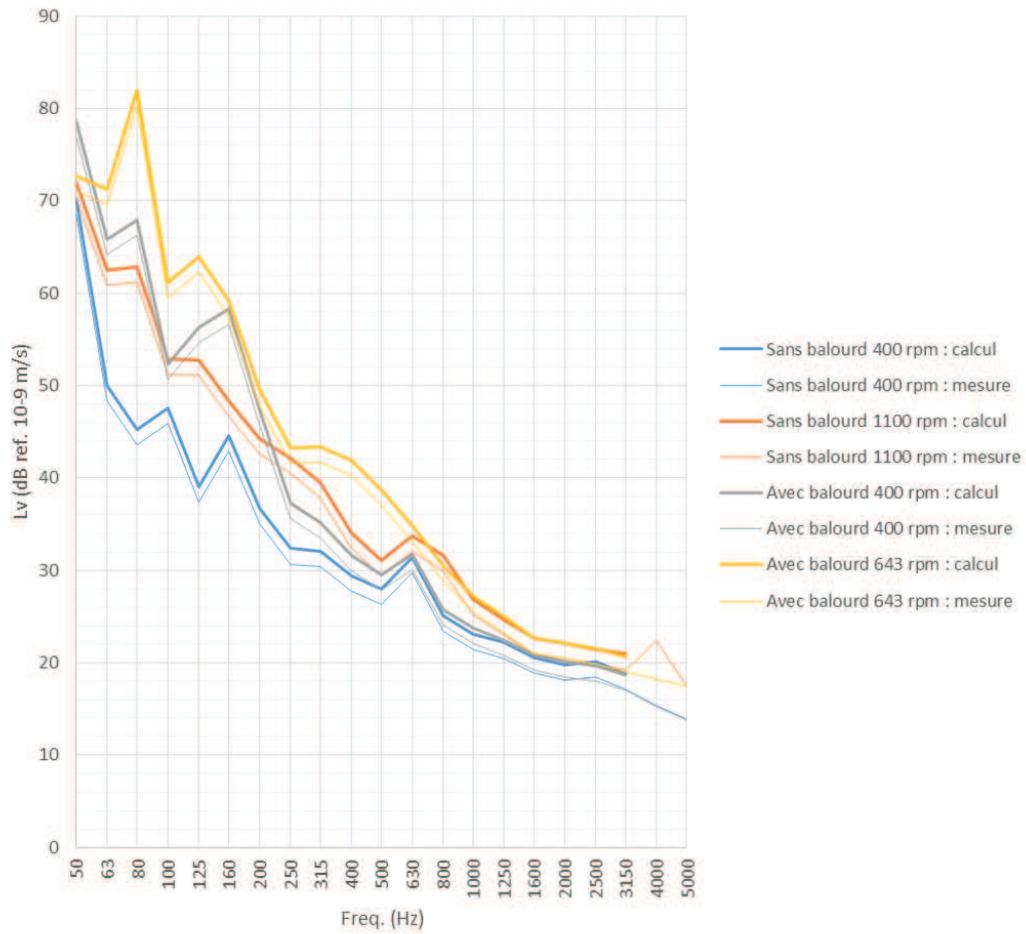


Figure 24 : Machine à laver – Niveaux de vitesse vibratoire estimés sur site (plancher en béton de 18 cm)

La Figure 25 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés pour l'équipement installé sur le plancher lourd en béton de 20 cm d'épaisseur. Ici, la mobilité équivalente du plancher est prise comme égale à la mobilité caractéristique selon la relation 7. Le facteur de perte sur site est tiré de la base de données d'AcouBAT. Les résultats sont inférieurs de 1 à 2 dB à ceux obtenus pour le plancher en béton de 18 cm.

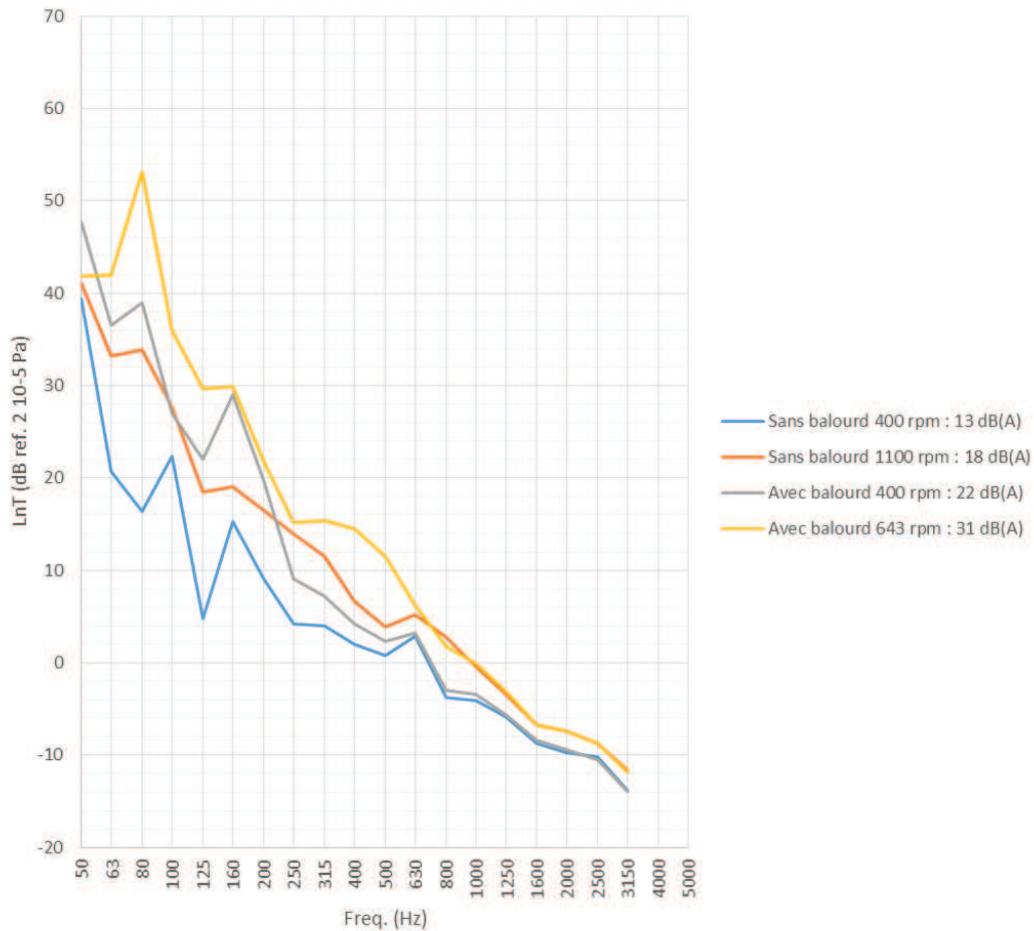


Figure 25 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (plancher en béton de 20 cm)

La Figure 26 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés et mesurés pour l'équipement installé dans la zone centrale du plancher léger en bois. Les prévisions font appel au niveau de vitesse libre équivalente de l'équipement pour le calcul du niveau de puissance structurale installée selon la relation 2. Ceci explique l'absence de résultat à 800 Hz et à partir de 1250 Hz.

On remarque que les niveaux de pression acoustique mesurés sont moins dépendants du régime de fonctionnement que les résultats issus des prévisions, en particulier en moyennes fréquences. Les prévisions tendent à surestimer le bruit sur site entre 50 et 80 Hz. On notera que la méthode de mesure utilisée (microphone sur bras tournant) n'inclut pas de précautions particulières à ces fréquences. En l'absence de balourd, les prévisions sous-estiment le niveau de pression acoustique entre 100 et 250 Hz. Un meilleur accord entre prévisions et mesures est observé en présence d'un balourd. Il n'est pas possible d'identifier de tendance à partir des résultats à 1000 Hz, qui peuvent être dus à un manque de précision dans la détermination de la vitesse libre équivalente de l'équipement (voir section 2.3). L'absence de résultats de calculs en hautes fréquences fausse les comparaisons entre prévisions et mesures en termes de niveau global pondéré. Néanmoins, les résultats des mesures indiquent des

niveaux supérieurs à 30 dB(A) même en l'absence de balourd. On rappelle que l'effet du plafond suspendu est inclus dans ces résultats.

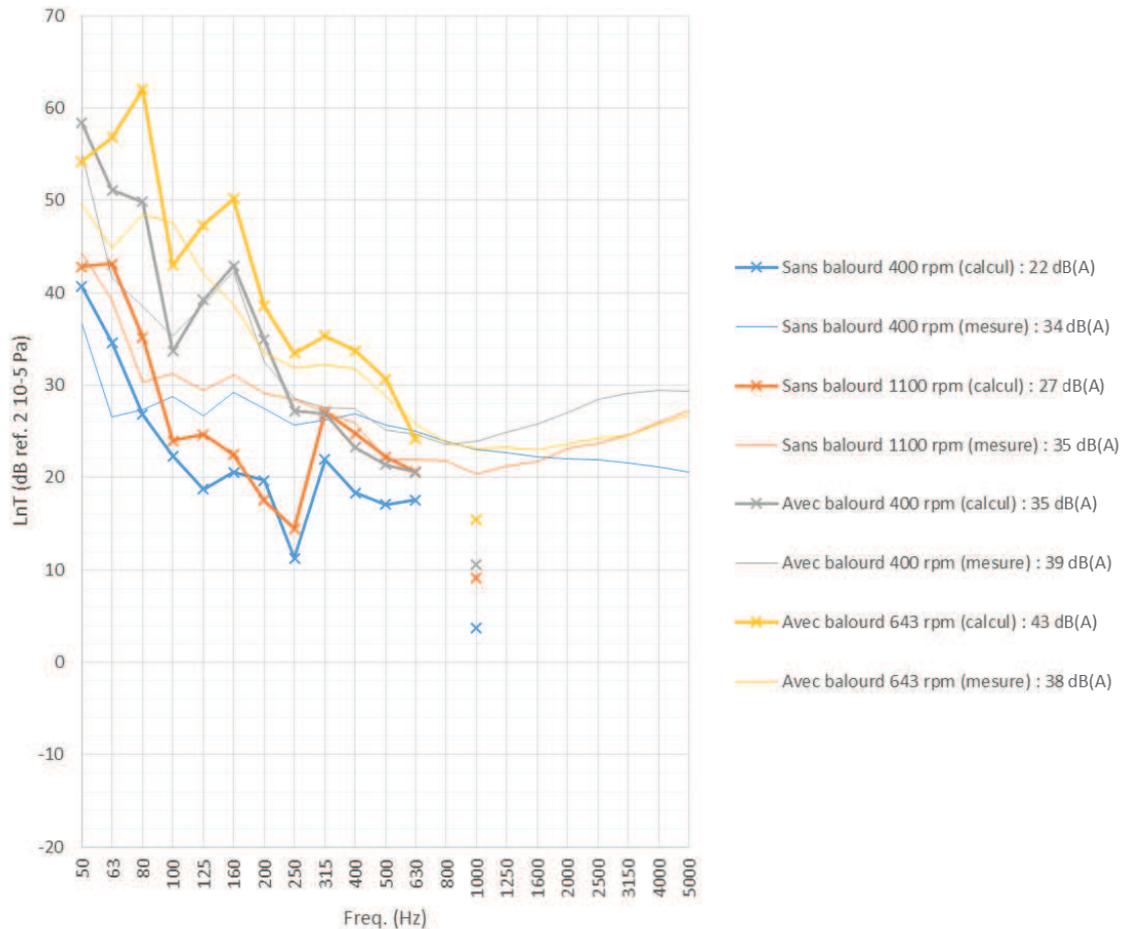


Figure 26 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (plancher bois, équipement placé au centre)

La Figure 27 représente les niveaux de pression acoustique standardisés sur site calculés et mesurés pour l'équipement installé sur un bord du plancher léger en bois. Cette configuration est jugée plus représentative d'une utilisation réelle. Néanmoins, les résultats sont proches de ceux obtenus lorsque la machine à laver est placée au centre du plancher. Les niveaux globaux pondérés issus des mesures sont supérieurs à 30 dB(A) avec ou sans balourd.

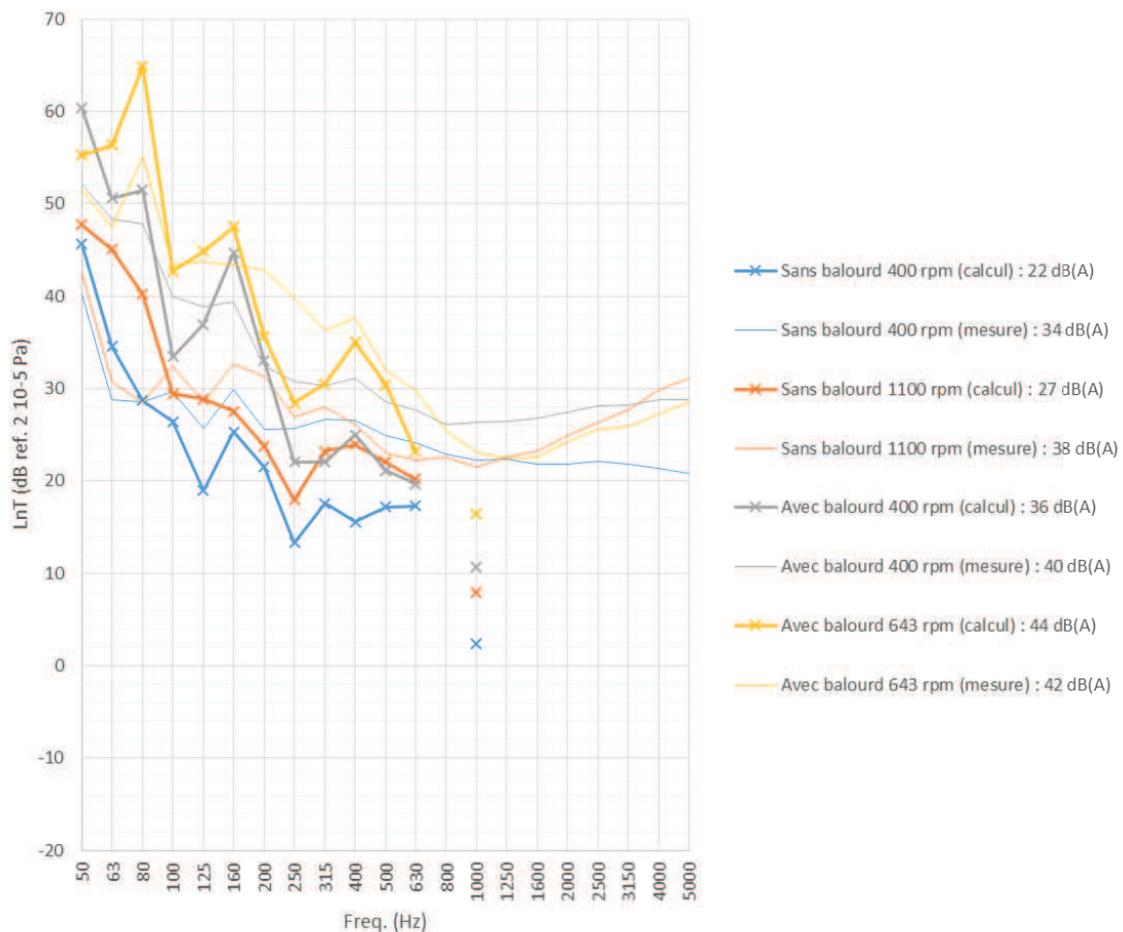


Figure 27 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site (plancher bois, équipement placé au bord)

Dans le but de diminuer les niveaux de bruit associé à la machine à laver sur un plancher bois, plusieurs modifications du plancher ont été évaluées par calcul :

- Mise en œuvre d'entretoises entre deux solives sur une longueur de 0.5 m (ainsi une surface de 0.5 x 0.5 m² composée d'entretoises et des solives est obtenue)
- Mise en œuvre d'un élément en béton de 20 cm de hauteur entre deux solives sur une longueur de 0.5 m
- Mise en œuvre d'un élément en béton de 10 cm de hauteur entre deux solives sur une longueur de 0.5 m

L'idée de ces configurations est de diminuer la mobilité d'entrée sur une surface où la machine à laver serait localisée. Le panneau d'OSB est supposé être en contact complet avec le traitement considéré (entretoises ou élément en béton). Les mobilités évaluées par calcul (FEM) sont donnés en Annexe C ; les valeurs moyennes sont prises en compte dans l'évaluation du niveau de bruit. Les éléments en béton pourraient être des éléments préfabriqués à positionner où la machine à laver sera localisée (soit à l'endroit prévu en alimentation et évacuation d'eau).

Le cas de la machine à laver avec le balourd tournant à la vitesse de 643 tours par minute est pris en compte pour illustrer l'effet du traitement localisé du plancher bois. La machine à laver est placée soit au centre (voir Figure 28), soit sur le bord 1 (voir Figure 29) et sur le bord 2 (voir Figure 30). On rappelle que la position dénotée bord1 correspond à la position en bord de plancher le long des solives (cas testé sur le plancher réel et résultats montrée en Figure 27) et la position dénotée bord2 à celle en bord du plancher en bout de solive (voir Annexe C pour une illustration de ces positions).

Sur chaque figure est montré les résultats de la prévision

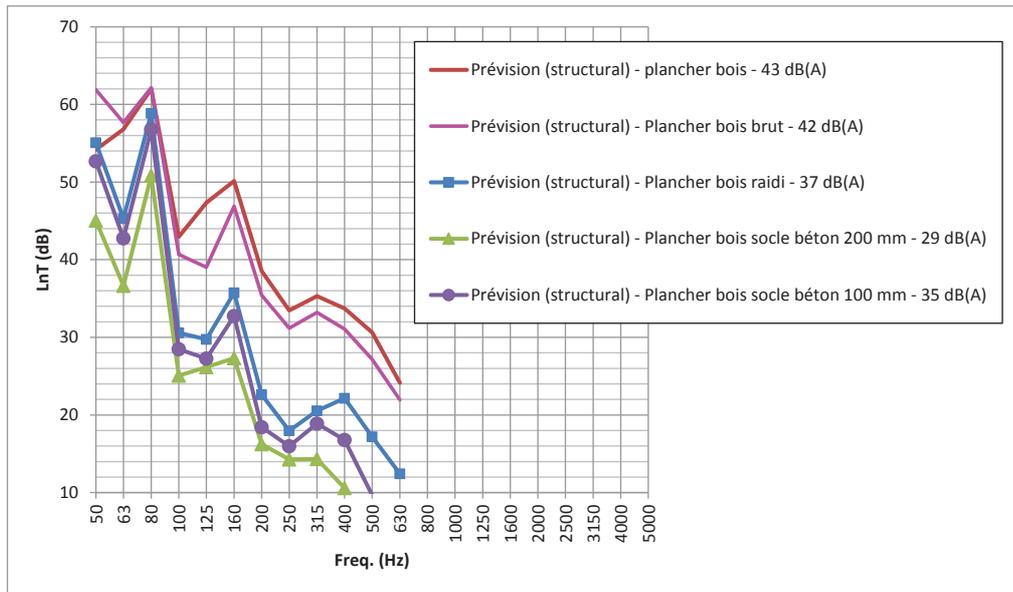
- pour le plancher testé en laboratoire (plancher bois) se basant les mobilités mesurées (sauf le cas de la machine à laver sur le bord2 non testé en laboratoire),
- pour le plancher bois sans modification (plancher bois brut) se basant les mobilités calculées
- pour le plancher bois intégrant des entretoises sur une zone (plancher bois raidi) se basant les mobilités calculées
- pour le plancher bois intégrant un élément en béton de 200 mm d'épaisseur sur une zone (plancher bois socle béton 200 mm) se basant les mobilités calculées
- pour le plancher bois intégrant un élément en béton de 100 mm d'épaisseur sur une zone (plancher bois socle béton 100 mm) se basant les mobilités calculées

Tout d'abord on notera que les résultats pour le plancher bois se basant les mobilités mesurées et le planche bois brut se basant les mobilités calculées sont similaires ; ceci conforte l'approche par calcul. La modification locale du plancher pour diminuer la mobilité du plancher permet effectivement de diminuer le bruit solidien rayonné par le plancher dans la pièce en dessous.

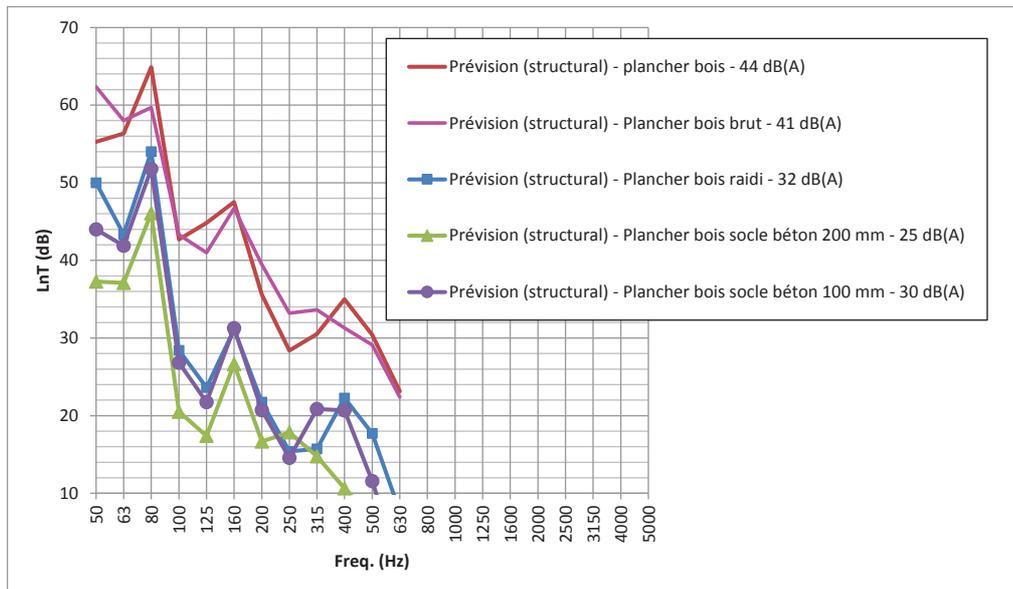
Globalement, il n'est pas recommandé de placer la machine à la laver au centre d'un plancher ; cependant, la mise en œuvre d'un socle en béton permet d'obtenir un résultat prédit de 35 dB(A) pour celui de 100 mm d'épaisseur et de 29 dB(A) pour celui de 200 mm d'épaisseur. De plus comme la comparaison entre prédiction et mesure (voir Figure 28) pour cette configuration de fonctionnement de machine à laver, montrait que la prédiction était au-dessus de la mesure de 5 dB(A), on peut présager que le plancher incluant des entretoises pourrait être aussi en dessous des 35 dB(A).

Placer la machine à laver sur un bord du plancher améliore nettement les choses en termes de bruit solidien ; la position dénotée bord2 (celle en bord du plancher en bout de solive) permet d'obtenir les meilleurs résultats. Les différentes modifications du plancher permettent d'obtenir une prédiction du bruit solidien en dessous de 35 dB(A) (même de l'ordre de 30 dB(A) dans le cas du bord2).

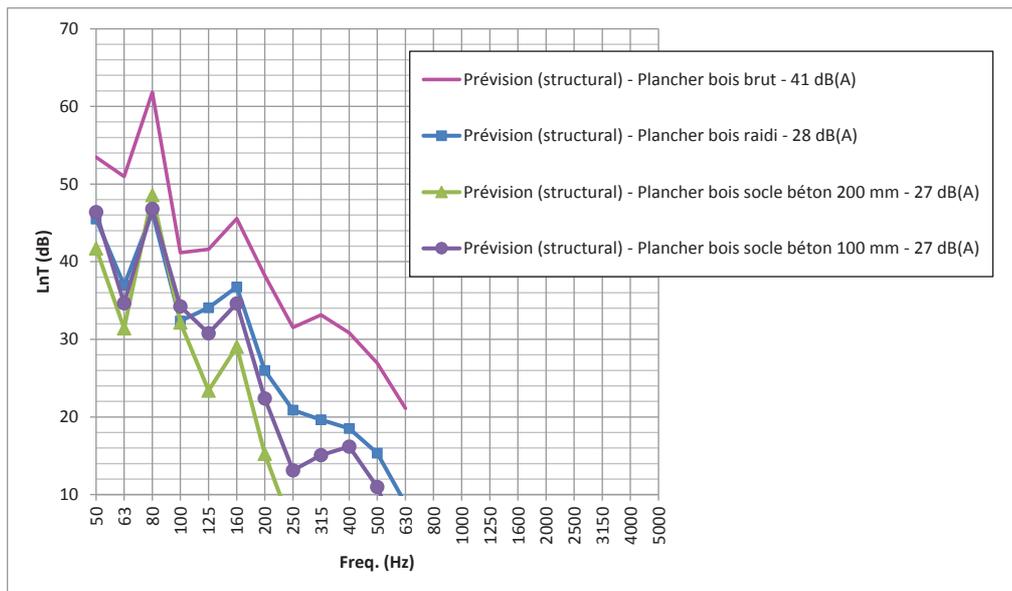
Le Tableau 1 récapitule ces résultats de modification de plancher pour les différentes configurations de fonctionnement de la machine à laver. La mise en œuvre d'une série d'entretoises entre les solives sur la zone où sera installée la machine à laver semble être une option intéressante ; cependant, il faudra bien vérifier que le panneau OSB au-dessus est bien contact avec ces entretoises : un collage et vissage ou un vissage très rapproché, sera plus approprié qu'un vissage.



**Figure 28 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site
Équipement placé au centre ; Effet de la modification localisée du plancher bois.**



**Figure 29 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site
Équipement placé sur le bord 1 ; Effet de la modification localisée du plancher bois.**



**Figure 30 : Machine à laver – Niveaux de pression acoustique estimés sur site
Équipement placé sur le bord 2 ; Effet de la modification localisée du plancher bois.**

**Tableau 1 : Niveau de bruit solidien – Effet de la position de la machine à laver et de la
modification localisée du plancher bois.**

Position de la machine à laver	Masse répartie et balourd – 400 rpm		
	Centre	Bord1	Bord2
Mesure	39 dB(A)	40 dB(A)	-
Prédiction (mobilités mesurées)	35 dB(A)	36 dB(A)	-
Prédiction (mobilités calculées)	37 dB(A)	38 dB(A)	34 dB(A)
Prédiction – Plancher raidi avec entretoises	32 dB(A)	27 dB(A)	26 dB(A)
Prédiction – Plancher avec élément béton 200 mm	22 dB(A)	17 dB(A)	20 dB(A)
Prédiction – Plancher avec élément béton 100 mm	29 dB(A)	23 dB(A)	25 dB(A)
Position de la machine à laver	Masse répartie et balourd – 643 rpm		
	Centre	Bord1	Bord2
Mesure	38 dB(A)	42 dB(A)	-
Prédiction (mobilités mesurées)	43 dB(A)	44 dB(A)	-
Prédiction (mobilités calculées)	42 dB(A)	41 dB(A)	41 dB(A)
Prédiction – Plancher raidi avec entretoises	37 dB(A)	32 dB(A)	28 dB(A)
Prédiction – Plancher avec élément béton 200 mm	29 dB(A)	25 dB(A)	27 dB(A)
Prédiction – Plancher avec élément béton 100 mm	35 dB(A)	30 dB(A)	27 dB(A)

4- CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

4.1 Remarques finales sur le travail réalisé

Dans cette étude, deux équipements, une chaudière ECS murale à gaz et une machine à laver, ont été caractérisés en laboratoire selon le projet de norme prEN 15657 afin de déterminer leurs caractéristiques structurales.

Ce travail a permis un retour d'expérience sur la méthode de caractérisation. Notamment, l'absence de spécifications dans le texte de la norme quant aux conditions particulières de mise en œuvre et de fonctionnement de certains équipements a été mise en évidence. Ceci concerne notamment les chaudières, les conduits d'alimentation ou de distribution et les radiateurs indispensables au fonctionnement de l'équipement pouvant provoquer une excitation parasite des parois réceptrices. Afin de réduire la marge d'interprétation, il semble important que de telles spécifications soient incluses, soit dans une future version de la norme, soit dans les normes produit.

Les caractéristiques structurales de la chaudière murale ont été déterminées pour deux modes de fonctionnement : chauffage seul ou chauffage + production d'eau chaude sanitaire. Les mesures ont mis en évidence une fluctuation de l'activité vibratoire de l'équipement (visible sur ses niveaux de vitesse libre et de force bloquée équivalentes) pour chaque mode de fonctionnement. Néanmoins, il apparaît nettement que l'activité est plus importante en moyennes et hautes fréquences pour le mode chauffage + ECS.

Dans le cas de la machine à laver, la caractérisation a été effectuée pour plusieurs vitesses de rotation du tambour, avec une charge répartie à l'intérieur afin de reproduire des conditions normales d'utilisation, ou bien en présence d'un balourd. Les résultats montrent une activité de l'équipement qui augmente avec la vitesse de rotation et plus importante en présence d'un balourd. Cependant, dans le cas avec balourd, le niveau de vitesse libre équivalente et la mobilité équivalente sont sujets à incertitudes du fait de la mobilité insuffisante de la paroi légère perforée utilisée lors de la caractérisation.

Pour les deux équipements, des difficultés expérimentales n'ont pas permis de déterminer le niveau de vitesse libre équivalente ni la mobilité équivalente en hautes fréquences.

Deux parois supports légers en bois pour ces équipements – une façade et un plancher – ont également été caractérisées en termes de mobilité équivalente.

Les caractéristiques des équipements et des parois supports ont ensuite été utilisées pour prévoir le niveau de bruit rayonné sur site selon la norme EN 12354-5 (actuellement valide pour les structures lourdes uniquement).

Pour la chaudière murale, plusieurs configurations ont été prises en compte : transmission directe ou latérale, par la paroi légère en bois ou bien dans le cas d'une construction lourde en béton. Un bon accord prévision/mesure est obtenu en basses et moyennes fréquences dans le cas d'une transmission directe à travers la paroi légère en bois (seule configuration mesurée). En hautes fréquences, les écarts

sont probablement dus à la contribution aérienne, non prise en compte dans les calculs. Les résultats des prévisions dans le cas plus réaliste d'une installation en façade, en transmission latérale avec un refend, indiquent des niveaux de pression acoustique dans le local de réception très inférieurs aux limites réglementaires, et ce, pour la façade lourde comme pour la façade légère en bois, même en mode chauffage + ECS. Le cas d'une installation en façade en transmission latérale avec une paroi alvéolaire a aussi été traité considérant que la cloison alvéolaire n'interagissait pas à la jonction façade-cloison. Dans ce cas, le niveau de pression acoustique obtenu dans le local de réception est de 34 dB en mode chauffage + ECS (mode le plus bruyant) si la cloison alvéolaire est placée au moins à 2 espaces complets entre montants par rapport à l'emplacement chaudière.

Pour la machine à laver, seule la transmission directe à travers le plancher est prise en compte. Les configurations considérées font intervenir un plancher en béton de 18 ou 20 cm d'épaisseur et le plancher léger en bois. Pour le plancher en béton de 18 cm, le niveau de vitesse vibratoire a été mesuré en laboratoire et est proche du niveau calculé, confirmant l'estimation de la puissance structurale installée. Le niveau de pression acoustique correspondant a été uniquement calculé. Il atteint 19 dB(A) lorsque le chargement est bien réparti à l'intérieur du tambour, 33 dB(A) en présence d'un balourd. Pour le plancher en béton de 20 cm, plus représentatif, ces niveaux sont plus faibles de 1 à 2 dB. Dans le cas du plancher léger en bois, les niveaux de pression acoustique calculés sont plus élevés d'une dizaine de dB environ, que la machine soit considérée installée au centre ou sur un bord. Des écarts sont constatés entre prévisions et mesures. Les niveaux mesurés confirment néanmoins cette tendance avec des niveaux globaux pondérés de l'ordre de 35 dB(A) en l'absence de balourd et 40 dB(A) en présence de balourd. Ces niveaux, bien que non soumis aux exigences de la réglementation acoustique française, sont relativement importants et peuvent provoquer une gêne chez les occupants. Des modifications locales du plancher dans la zone où la machine à laver serait installée ont été investiguées par une approche numérique. Il semble que l'ajout d'entretoises serrées collées dans la zone de la position de la machine à laver soit une solution qui permette d'obtenir des niveaux de bruit solidien en dessous de 35 dB(A) ; par contre la machine à laver sera placée en bord de plancher (pas au milieu) et préférentiellement au bord correspondant aux bouts des solives.

4.2 Recommandations de mise en oeuvre

4.2.1 Chaudière

La chaudière est montée sur un renfort de l'ossature tel que montré à la Figure A.3 de l'Annexe A.

La chaudière ne peut pas être posée à proximité directe de la cloison distributive entre buanderie et pièce à vivre. Elle doit être décalée à minima, au niveau du 3^{ème} montant après la naissance de la cloison perpendiculaire. Il faut en fait 2 plénums pleins entre montant pour diminuer suffisamment les vibrations générées. Donc cela nécessite un positionnement supérieur ou égal à 1.20 m pour les structures à entraxe 60 cm et 0.80 m pour les structures à entraxe 40 cm.

Il est rappelé que dans tous les cas de figure il n'est pas possible de poser une chaudière murale sur une cloison distributive intra logement. Cela concerne les cloisons de type Placopan, Stil, y compris les cloisons non porteuse avec montants bois (de faibles sections, type DTU 36.2).

Ces éléments seront soumis au deuxième semestre 2017 au GEA (groupe d'experts acoustique) de Qualitel – Cerqual pour avis avant introduction dans le référentiel Qualitel.

4.2.2 Machine à laver

Le principe est donc basé sur une masse rendue solidaire des solives (dalette), soit en bois (20 cm mini de connexion avec solives) soit en béton (10 cm mini de connexion avec les solives contiguës). Elle peut être positionnée sur deux plénums (donc deux remplissage à faire) ou dans un seul si les entraxes entre solives sont suffisants pour générer une assise complète au droit des machines, ou dans le cas d'un plancher chevêtré pour gérer cette spécificité technique.

Le remplissage bois peut se faire par collage et/ou vissage structural d'éléments en bois massifs par exemple.

Le remplissage béton nécessite de réaliser un coffrage ponctuel. Le béton pourra être maintenu mécaniquement soit par interpositions de vis métalliques noyées (connexions bois béton), soit par l'intermédiaire de l'assise du coffrage, soit par un mixte des deux.

Dans les deux cas de figure, il est souhaitable que les dalettes générées émergent jusqu'au nu supérieur du revêtement de sol. Exemple pour un complexe de plancher fait de 22 mm d'OSB + 5 mm de résilient + 50 mm de chape béton + 15 mm de colle et carrelage : épaisseur totale = 92 mm. Dans ce cas, les éléments en bois de remplissage feront 292 mm de hauteur, dont 200 mm dans le plan de solivage et 92 mm émergeant pour régner avec le nu supérieur du sol fini. Idem pour la solution béton ou le coffrage est à relever dans la même logique.

Au travers de ce type de solution, il est également important de désolidariser la partie émergente de la dalette, du reste du complexe supérieur du plancher (du panneau d'assise jusqu'au nu supérieur du revêtement de sol). Le jeu périphérique à prévoir sera au minimum de 5mm. A noter que la présence d'un joint de désolidarisation avec le complexe de parement supérieur du plancher pose un problème d'étanchéité. Il y a lieu de concevoir un système qui permet d'assurer la non infiltration d'eau dans le plancher dans la grande durée. A titre d'exemple, une conception envisageable à étudier de façon détaillée pourrait être basée sur les grands principes montrés à la Figure 31.

Dans le cas où on ne peut éviter le positionnement contre une cloison distributive positionnée au milieu d'un plan de solivage, la seule solution qui fonctionne repose sur un apport de masse supplémentaire avec 20 cm de béton dans la hauteur des solives (au lieu de 10).

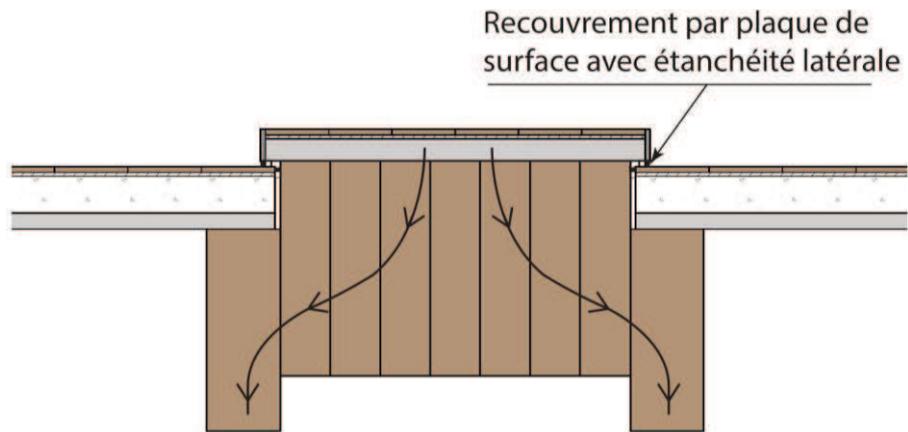


Figure 31: Exemple d'un principe de « solidarisation acoustique » dalette bois rapportée avec un plan de solivage.

La question est posée si les solutions de planchers bois avec chape béton de 5 ou 6 cm sur résilient + panneau d'assise, pouvait constituer une réponse satisfaisante. La réponse est non dans l'immédiat avec les moyens de modélisation dont on dispose. Il faudrait refaire une expérimentation sur ce type de configuration.

Il est à noter que Qualitel – Cerqual a relevé des insatisfactions clients (ciblés sur machine à laver) pour des complexes de planchers ossature bois + chape de 5-6 cm (sans résilient), conformes à la réglementation acoustique (aérien, choc).

5- RÉFÉRENCES

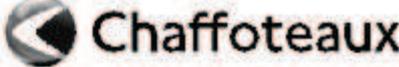
- [1] prEN 15657 : *Propriétés acoustiques des éléments de construction et des bâtiments – Mesurage en laboratoire des bruits structuraux générés par les équipements de bâtiment pour toute condition d'installation*, (en cours de finalisation après consultation européenne).
- [2] EN 12354-5 : *Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 5 : Niveaux sonores dus aux équipements du bâtiment*, 2009 (en révision pour inclure le montage sur parois légères).
- [3] CSTB, *Manuel Technique AcouBAT V8.0*, 2016.
- [4] prEN ISO 12354-1 : *Acoustique du bâtiment – Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments – Partie 1 : Isolement acoustique aux bruits aériens entre des locaux*, (en cours de finalisation après consultation européenne).
- [5] Stefan Schoenwald, Eddy Gerretsen and Heiko J. Martin, *Propagation of structure-borne sound in lightweight gypsum board walls*, Proc. Forum Acusticum, 2005.

ANNEXE A – INFORMATION SUR LA CHAUDIÈRE ECS À GAZ

La chaudière ECS à gaz testée dans le cadre de cette étude est un modèle Mira C Green 25 EU de marque Chaffoteaux.



Figure A.1 : Chaudière testée.

<p>IT - SCHEDA PRODOTTO EN - PRODUCT FICHE FR - FICHE DE PRODUIT NL - PRODUCTKAART DE - PRODUKTDATENBLATT ES - FICHA DE PRODUCTO</p>	<p>PT - SCHEDA PRODOTTO PL - KARTA PRODUKTU CZ - INFORMAČNÍ LIST VÝROBKU SK - INFORMAČNÝ LIST RO - FIȘĂ A PRODUSULUI HU - TERMÉKISMERTETŐ ADATLAP</p>	<p>SL - PODATKOVNI LIST IZDELKA HR - INFORMACIJSKI LIST PROIZVODA GR - ΔΕΛΤΙΟ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ BG - ПРОДУКТОВ ФИШ LT - GAMINIO VARDINIŲ PARAMETRŲ LENTELĖ ET - TOOTEKIRJELDUS</p>
<p>Marchio: Brand: Marque: Merk: Marchio: Marca: Marca: Marka: Značka:</p>	<p>Ochranná známka: Marca: Márka: Blagovna znamka: Marka: Márka: Търговска марка: Ženklas: Kaubamārk:</p>	
<p>Modello: Model: Modèle(s): Model(len): Modello: Modelos: Modelos: Model(-e): Model/y:</p>	<p>Model: Model: Modell: Modela: Modela: Modelo: Modela: Modela: Modelo: Modelitāhis:</p>	<p>MIRA C GREEN 25 EU</p> <p>3310418</p>
<p>Profilo di carico dichiarato ACS Declared load profile Profil de soutirage déclaré ECS Opgegeven capaciteitsprofiel TAPWATERKRING Angegebenes Lastprofil Perfil de carga declarado Perfil de carga declarado Deklarowany profil obciążenia CWU Deklarovaný zátěžový profil TUV</p>	<p>Deklarovaný profil zataženia Profilul de sarcină declarat Névteljes terhelési profil Določeni profil rabe Deklarirani profil opterečenja SANITARNE VODE Δηλωμένο προφίλ φορτίου Объявлен товарос профил Deklaruotasis apkrovos profilis Esitatud koormusprofiil</p>	<p>XL</p>
<p>Classe di Efficienza energetica stagionale di riscaldamento di ambiente Seasonal space heating energy efficiency class Classe d'efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux Seizoengebonden energie-efficiëntieklasse voor ruimteverwarming Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienzklasse Clase de Eficiencia energética estacional de calefacción Clase de Eficiencia energética do aquecimento ambiente sazonal Klasa sezonowej efektywności energetycznej ogrzewania pomieszczeń Třída sezonní energetické účinnosti vytápění Triedy sezónnej energetickej účinnosti vykurovania priestoru Clase de randamentul en ergetic sezonier aferent încălzirii incintelor Helységfűtési energiahatékonysági osztály Razred sezonske energijske učinkovitosti pri ogrevanju prostorov Razred sezonske energetska učinkovitosti zagrijavanju prostora Τάξη ενεργειακής απόδοσης εποχιακής θέρμανσης χώρου Класът на сезонна отоплителна енергийна ефективност Sezoninio energijos patalpoms šildyti vartojimo efektyvumo klasė Kūtmise sezonse energiatõhususe klass</p>	<p>Classe di Efficienza energetica di riscaldamento dell'acqua Water heating energy efficiency class Classe d'efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau Energie-efficiëntieklasse van waterverwarming Warmwasserbereitungs-Energieeffizienzklasse Clase de Eficiencia energética de caldeo de agua Clase de Eficiencia energética do aquecimento de água Klasa efektywności energetycznej podgrzewania wody Třída energetické účinnosti ohřevu vody Triedy energetickej účinnosti ohrevu vody Clase de randament energetic aferent încălzirii apei Vízmelegítési energiahatékonysági osztály Razred energijske učinkovitosti kompleta pri ogrevanju vode Razred energetska učinkovitosti kompleta pri zagrijavanju vode Τάξη ενεργειακής απόδοσης θέρμανσης νερού του υψροτήματος Клас на енергийна ефективност при подгряване на вода Energijos vandeniui šildyti vartojimo efektyvumo klasė Soojendamise sesoonse energiatõhususe klass vee</p>	 

<p>Potenza termica nominale Power output Puissance utile Nominiaal vermogen Wärmenennleistung Potencia útil Potencia útil Moc użytkowa Jmenovitý tepelný výkon</p>	<p>Úžitkový výkon Puterea termică nominală Mért hőteljesítmény Nazivna izhodna toplota Korisna snaga Ονομαστική θερμική ισχύς Номинална топлинна мощност Vardinis šilumos atidavimas Nimisoojusvõimsus</p>	P _n	kW	22
<p>Consumo annuo di energia in riscaldamento Annual energy consumption Consommation annuelle d'énergie Jaarlijks energieverbruik Jährlicher Energieverbrauch Consumo de energia anual Consumo anual de energia Roczne zużycie energii Roční spotřeba energie Ročná spotreba energie Consumul anual de energie Éves energiafogyasztás Letna poraba energije Godišnja potrošnja energije Ετήσια κατανάλωση ενέργειας Годишно потребление на енергия Metinis suvartojamos energijos kiekis Aastane energiatarbimine</p>		QHE	GJ	42
<p>Consumo annuo di energia elettrica Annual electricity consumption Consommation annuelle d'électricité Jaarlijks elektriciteitsverbruik Jahresstromverbrauch Consumo anual de electricidad Consumo anual de eletricidade Roczne zużycie energii elektrycznej Roční spotřeba elektrické energie Ročná spotreba elektrické energie Consumul anual de energie electrică Éves villamosenergia-fogyasztás Letna poraba električne energije Godišnja potrošnja električne energije Ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας Годишно потребление на електроенергия Metinis elektros energijos suvartojimas Aastane elektrienergia tarbimine</p>		AEC	kWh	32
<p>Consumo annuo di combustibile Annual fuel consumption Consommation annuelle de combustible Jaarlijks brandstofverbruik Jährlicher Brennstoffverbrauch Consumo anual de combustible Consumo anual de combustível Roczne zużycie paliwa Roční spotřeba paliva Ročná spotreba paliva Consumul anual de combustibil Éves tüzelőanyag-fogyasztás Letna poraba goriva Godišnja potrošnja goriva Ετήσια κατανάλωση καυσίμου Годишно потребление на гориво Metinis kuro sunaudojimas Aastane kütteenergia tarbimine</p>		AFC	GJ	18

<p>Efficienza energetica stagionale di riscaldamento di ambiente Seasonal space heating energy efficiency Efficacité énergétique saisonnière pour le chauffage des locaux Seizoensgebonden energie-efficiëntie voor ruimteverwarming Jahreszeitbedingte Raumheizungs-Energieeffizienz Eficiencia energética estacional de calefacción Eficiência energética do aquecimento ambiente sazonal Sezonowa efektywność energetyczna ogrzewania pomieszczeń Sezonni energetická účinnost vytápění Sezonna energetická účinnosť vykurovania Randamentul energetic sezonier aferent încălzirii incintelor Szezonális helyiségfűtési hatásfok Sezonska energijska učinkovitost pri ogrevanju prostorov Sezonska energetska učinkovitost pri zagrijavanju prostora Ενεργειακή απόδοση της εποχιακής θέρμανσης χώρου Сезонна енергійна ефективність при отопленні Sezoninis energijos patalpoms šildyti vartojimo efektyvumas Kūtmise sesoonne energiatõhusus</p>	ηs	%	93
<p>Efficienza energetica di riscaldamento dell'acqua Water heating energy efficiency Efficacité énergétique pour le chauffage de l'eau Energie-efficiëntie van waterverwarming Warmwasserbereitungs- Energieeffizienz Eficiencia energética de caldeo de agua Eficiência energética do aquecimento de água Efektywność energetyczna podgrzewania wody Energetická účinnosť ohřevu vody Energetická účinnosť prípravy teplej vody Randamentul energetic aferent încălzirii apei Vízmelegítési hatásfok Energijska učinkovitost pri ogrevanju vode Energetska učinkovitost pri zagrijavanju vode Ενεργειακή απόδοση θέρμανσης νερού Енергійна ефективність при підгріванні на вода Energijos vandeniui šildyti vartojimo efektyvumas Vee soojendamise kasutegur</p>	ηWH	%	85
<p>Livello di potenza sonora all'interno Sound power level, indoors Niveau de puissance acoustique, à l'intérieur Geluidsvermogensniveau, binnen Schallleistungspegel, innen/außen Nivel de potencia acústica en interiores Nivel de potência sonora, no interior Poziom mocy akustycznej w pomieszczeniu Hladina akustického výkonu ve vnútornom priestore Vnútorná hladina akustického výkonu Nivelul de putere acustică, în interior Hangteljesítményszint, beltéri Raven zvočne moči, notranja Razina zvučne snage, u zatvorenom Στάθμη ηχητικής ισχύος εσωτερικού χώρου Ниво на шума (вътре) Garso galios lygis patalpoje Mūravõimsustase siseruumis</p>	LWA	dB	52

Figure A.2 : Fiche produit de la chaudière testée.

La paroi support en bois est de type façade composée de l'extérieur vers l'intérieur de :

- OSB 12
- Ossature 45 x 95 mm² à 60 cm d'entraxe
- Isolant semi rigide LDV
- Pare-vapeur + tasseaux bois horizontaux + 1 couche de plaques de plâtre BA18

Au niveau du support de la chaudière l'ossature est renforcée sur la base de la Figure A.3. Une photo de la façade réalisée (avant la mise en œuvre du pare-vapeur) montrant le renfort d'ossature est présentée à la Figure A.4. La figure A.5 montre la façade montée dans le laboratoire avec la mise en œuvre du parement intérieur en plaques de plâtre BA18 sur des tasseaux bois horizontaux.

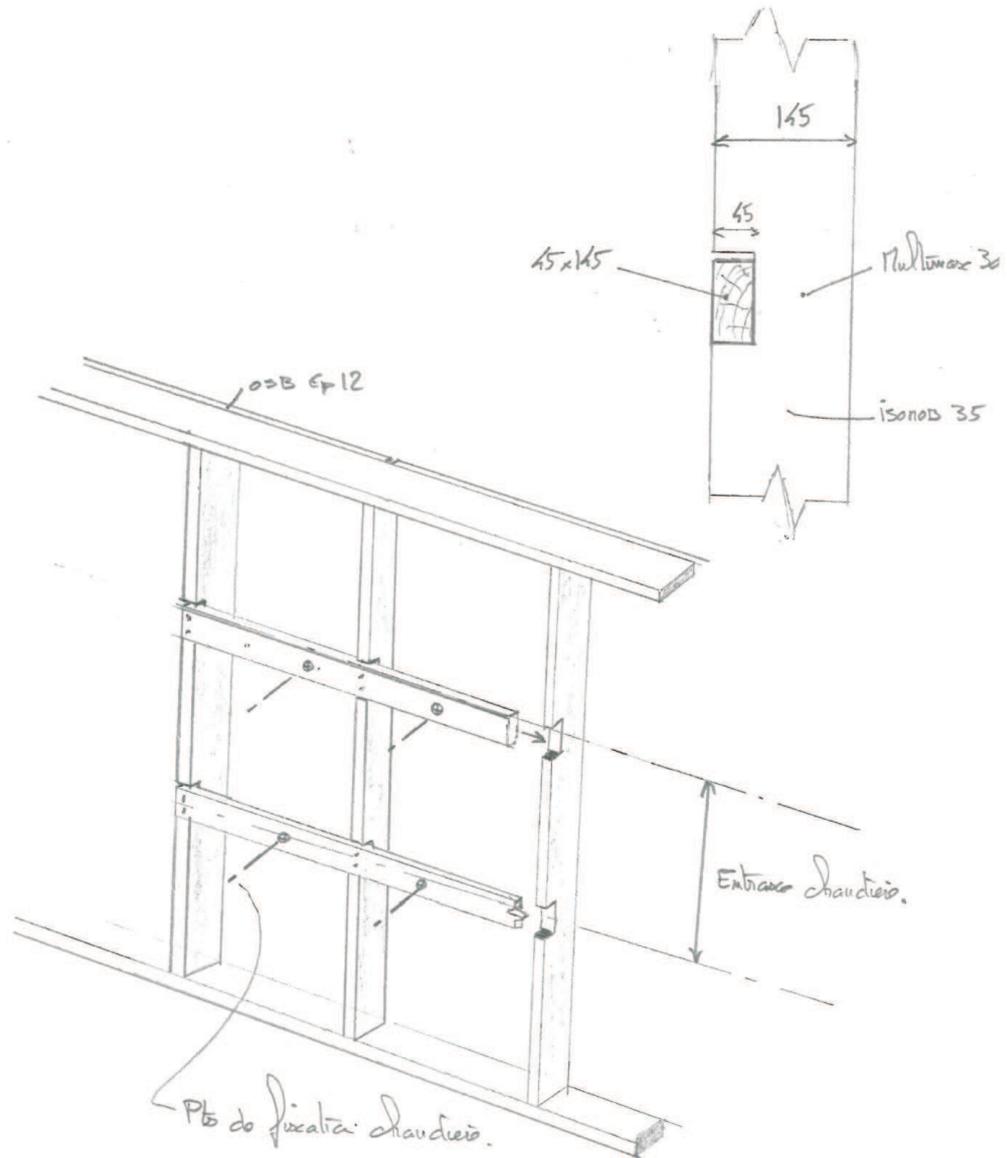


Figure A.3 : Principe de modification et de renfort de l'ossature de la paroi support en bois (façade) pour la fixation de la chaudière murale.



Figure A.4 : Réalisation de la façade avec les renforts d'ossature pour le montage de la chaudière murale.



Figure A.5 : Montage de la façade dans le laboratoire et mise en œuvre du parement en plaques de plâtre BA18 sur tasseaux bois.

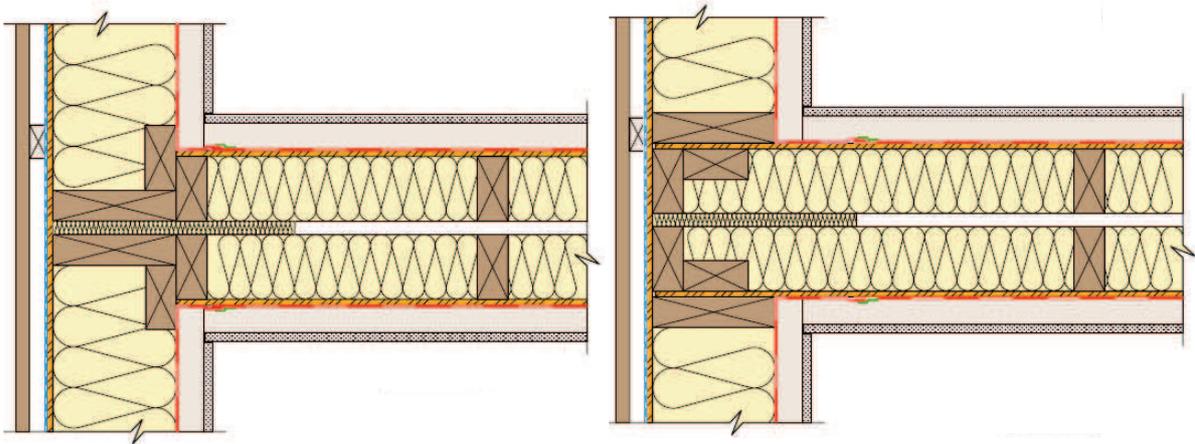


Figure A.6 : Exemples de jonctions entre façade et double séparatif en bois prises en compte pour le calcul du niveau de bruit dans un local adjacent (voir Section 3.2).

ANNEXE B – INFORMATION SUR LA MACHINE À LAVER

La machine à laver utilisée dans le cadre de cette étude est un lave-linge à hublot Proline FP 612 W d'une capacité de 6 kg (voir figure B.1). Pour les essais menés, seul le programme essorage a été utilisé. La fiche produit de la machine à laver est fournie à la Figure A.2.



Figure B.1 : Machine à laver testée.

Fiche produit

La fiche produit de ce lave-linge a été élaborée en conformité avec le Règlement délégué (UE) N°1061/2010.

Marque		Proline
Référence		FP 612 W
Capacité nominale en kg de coton		6 kg
Classe d'efficacité énergétique <i>A*** (le plus efficace) à D (le moins efficace)</i>		A**
Consommation d'énergie annuelle pondérée (AEC) ①		173 kWh/an
Consommation d'énergie du programme coton standard	à 60°C à pleine charge (E_{1,60})	0.90 kWh/cycle
	à 60°C à demi-charge (E_{1,60%})	0.65 kWh/cycle
	à 40°C à demi-charge (E_{1,40%})	0.62 kWh/cycle
Consommation d'énergie pondérée	mode arrêt	0.5 W
	mode laissé sur marche	1 W
Consommation d'eau annuelle pondérée (AWc) ②		9240 litres par an
Classe d'efficacité d'essorage <i>A (le plus efficace) à G (le moins efficace)</i>		B
Vitesse d'essorage maximale		1200 tr/min
Taux d'humidité résiduelle atteint		55%
Programme de lavage standard ③		Coton ECO 60°C et 40°C
Durée du programme coton standard	à 60°C à pleine charge	239 minutes
	à 60°C à demi-charge	210 minutes
	à 40°C à demi-charge	204 minutes
Durée du mode laissé sur marche (T_i)		N/A
Émissions acoustiques dans l'air	Lavage	59 dB(A) re 1 pW
	Essorage	76 dB(A) re 1 pW
Appareil intégrable		Non

① Consommation d'énergie de 173 kWh par an, sur la base de 220 cycles de lavage standard par an pour les programmes coton à 60°C et à 40°C à pleine charge et à demi-charge, et de la consommation des modes à faible puissance. La consommation réelle d'énergie dépend des conditions d'utilisation de l'appareil.

② Consommation d'eau de 9240 litres par an, sur la base de 220 cycles de lavage standard par an pour les programmes coton à 60°C et à 40°C à pleine charge et à demi-charge. La consommation réelle d'eau dépend des conditions d'utilisation de l'appareil.

③ Les programmes « Coton ECO 60°C » et « Coton ECO 40°C » sont les programmes de lavage standard auxquels se rapportent les informations qui figurent sur l'étiquette et sur la fiche. Ces programmes conviennent pour nettoyer du linge en coton normalement sale et il s'agit des programmes les plus efficaces en termes de consommation combinée d'eau et d'énergie.

Figure B.2 : Fiche produit de la machine à laver testée.

Le plancher support en bois est composé du haut vers le bas :

- OSB 18 vissé
- Solive C18 45 x 220 mm² à 50 cm d'entraxe et de 3.5 m de portée (avec hypothèse de classe de service 1 et charges d'exploitation du résidentiel) ; ce solivage comporte une rangée d'entretoises de même section à mi portée
- Isolant LDV de 100 mm d'épaisseur
- 1 couche de plaques de plâtre BA18 sur suspente métallique

La cellule bois disponible au CSTB (dont la description générale est montrée à la Figure B.3) a été modifiée pour accueillir ce plancher (notamment pour limiter la portée des solives à 3.5 m).

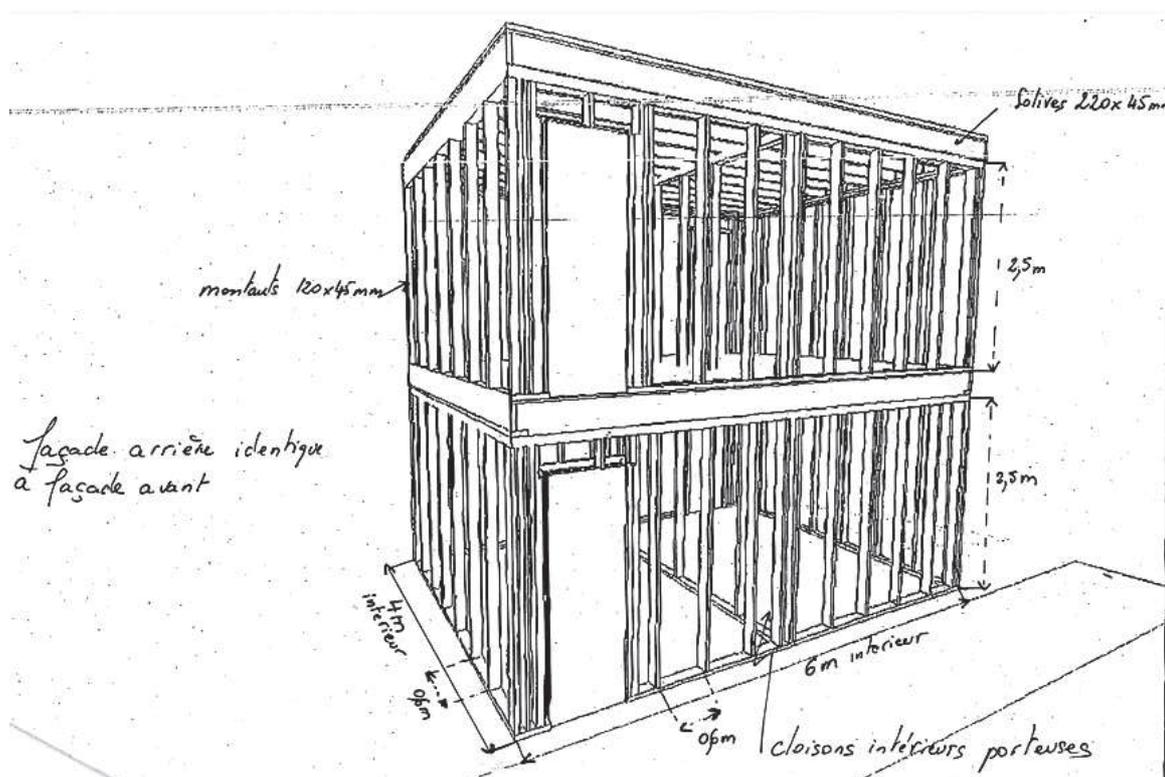


Figure B.3 : Cellule bois du CSTB modifiée pour accueillir le plancher bois.



Figure B.4 : Photo du solivage du plancher en cours de pose.



Figure B.5 : Photo des suspensions et rails pour le montage du plafond en cours de pose.



Figure B.6 : Photo des plaques d'OSB de 18 mm en cours de pose.



Figure B.7 : Photo de la mise en œuvre du plafond suspendu en plaques de plâtre BA18.

ANNEXE C – CALCULS COMPLEMENTAIRES

Des calculs complémentaires ont été menés pour essayer d'évaluer certaines configurations de bâtiment (chaudière) et de montage (machine à laver) dans le but d'identifier des solutions acoustiques.

C.1 Atténuation des vibrations le long de la façade

Dans le but d'étudier le cas de la chaudière installée sur la façade dans un cellier avec une chambre adjacente séparée du cellier par une cloison alvéolaire, des calculs complémentaires ont été menés pour évaluer la transmission vibratoire le long de la façade en faisant l'hypothèse que la cloison alvéolaire ne faisait que très légèrement s'appuyer sur le parement intérieur en plaques de plâtre elle n'intervient pas dans la transmission des vibrations. Les éléments de ce calcul sont donnés ci-dessous. La façade correspond à la même constitution que celle décrite en Annexe A.

La différence de niveau vibratoire entre 2 baies de la façade (soit 1.2 m) comme montré à la Figure C.1 est évaluée. Les points rouges montrent les points côté excitation et les points bleus les points côté réception sur le parement en plaques de plâtre ; plusieurs positions d'excitation (forces ponctuelles perpendiculaires au parement en plaques de plâtre). La méthode des éléments finis a été utilisée pour la modélisation ; ainsi les résultats sont limités au tiers d'octave 800 Hz. Les valeurs pour les tiers d'octave 1000 et 1250 Hz sont identiques à celle pour le tiers d'octave 800 Hz.

La Figure C.2 monte l'isolement vibratoire équivalent obtenu par le calcul ainsi que celui lissé sur la base de calcul.

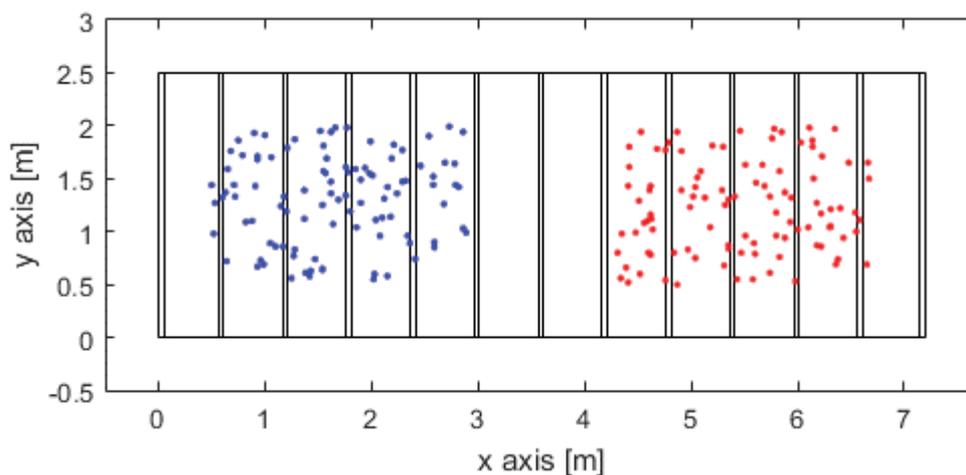


Figure C.1 : Système considéré pour l'évaluation d'un isolement vibratoire équivalent.

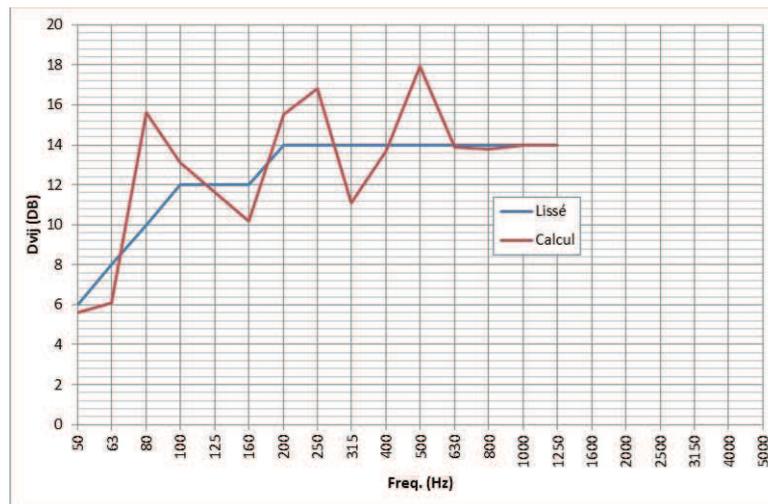


Figure C.2 : Evaluation d'un isolement vibratoire équivalent.

C.2 Mobilité du plancher

Dans le but d'étudier une configuration de plancher bois pour laquelle une diminution du bruit généré dans une pièce située en dessous pourrait être obtenue, la mobilité d'entrée d'un plancher modifié a été évaluée par calcul. Le modèle de calcul utilise les éléments finis ; le plancher de base a les mêmes caractéristiques que le plancher décrit à l'Annexe B. Les modifications suivantes sont évaluées :

- Entretoise entre deux solives sur une longueur de 0.5 m (ainsi une surface de 0.5 x 0.5 m² composée d'entretoise et des solives est obtenue)
- Élément en béton de 20 cm de hauteur entre deux solives sur une longueur de 0.5 m
- Élément en béton de 10 cm de hauteur entre deux solives sur une longueur de 0.5 m

L'idée de ces configurations est de diminuer la mobilité d'entrée sur une surface où la machine à laver serait localisée. Le panneau d'OSB est supposé être en contact complet avec le traitement considéré (entretoise ou élément en béton).

La position de ces traitements au centre du plancher, en bord du plancher en bout de solive (dénomé bord 2) et en bord de plancher le long des solives (bord 1) est considérée ; la mobilité d'entrée ainsi obtenue est moyennée sur un ensemble de points. La position de ces traitements et les points d'évaluation de la mobilité d'entrée sont présentés à la Figure C.3.

La mobilité est montrée à la Figure C.4 pour le cas au centre du plancher, la Figure C.5 pour le cas du bord 1 et la Figure C.6 pour le cas du bord 2.

La dénomination « plancher bois brut » correspond à la modélisation du plancher avant modification. On notera que le niveau max associé à la simulation du plancher « plancher bois brut » correspond globalement à la mobilité du panneau OSB et est en ligne avec les mesures réalisées sur le plancher utilisé pour les essais.

Les résultats des mesures effectuées sur le plancher en laboratoire dans le cas du bord 1 sont reportées dans la figure concernant le bord 2 ; on notera qu'il n'y pas de grandes différences entre ces deux localisations pour le « plancher bois brut » même si l'allure des courbes est un peu différente.

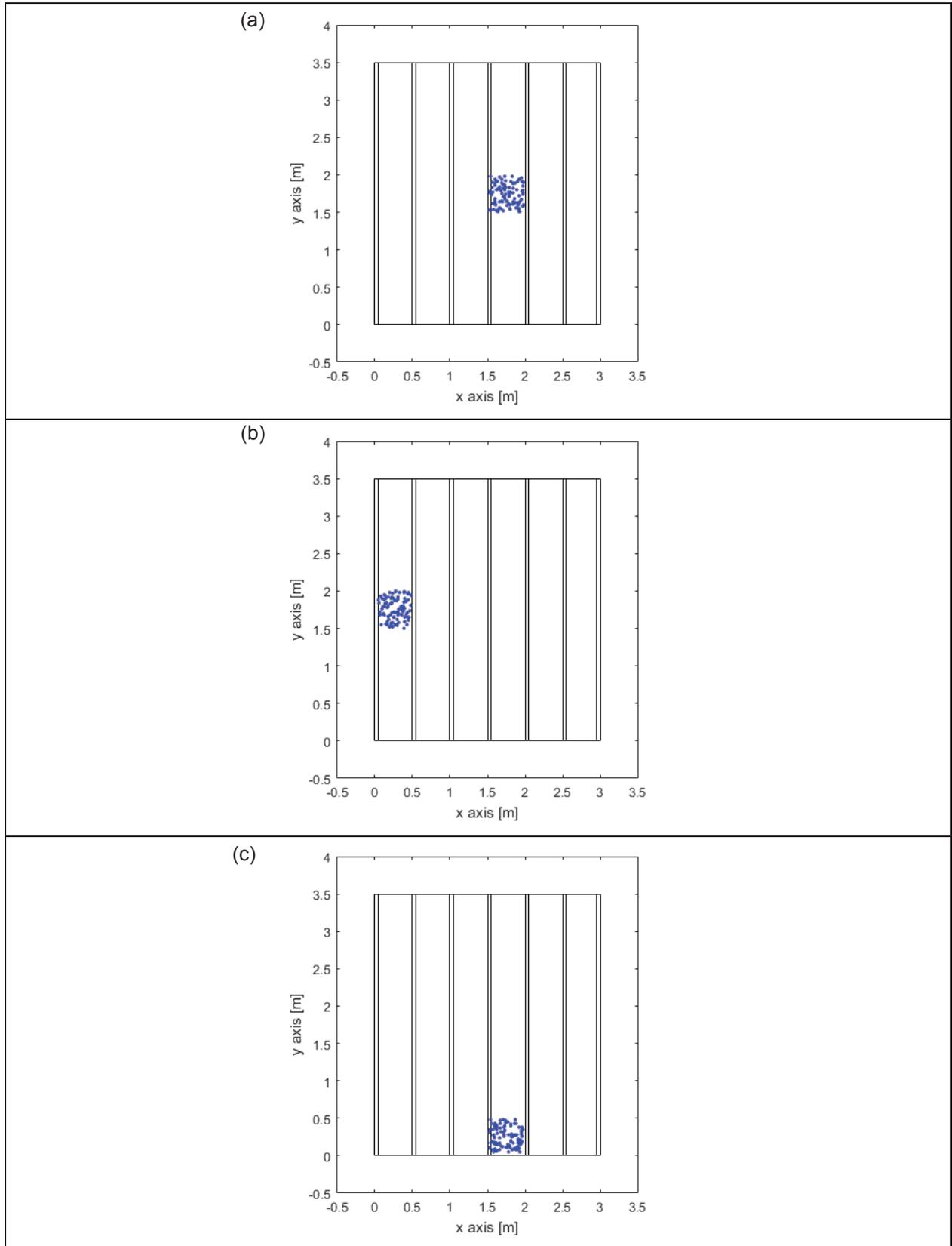


Figure C.3 : Systèmes considéré pour l'évaluation de la mobilité d'entrée ; (a) au centre du plancher, (b) sur le bord 1 et (c) sur le bord 2.

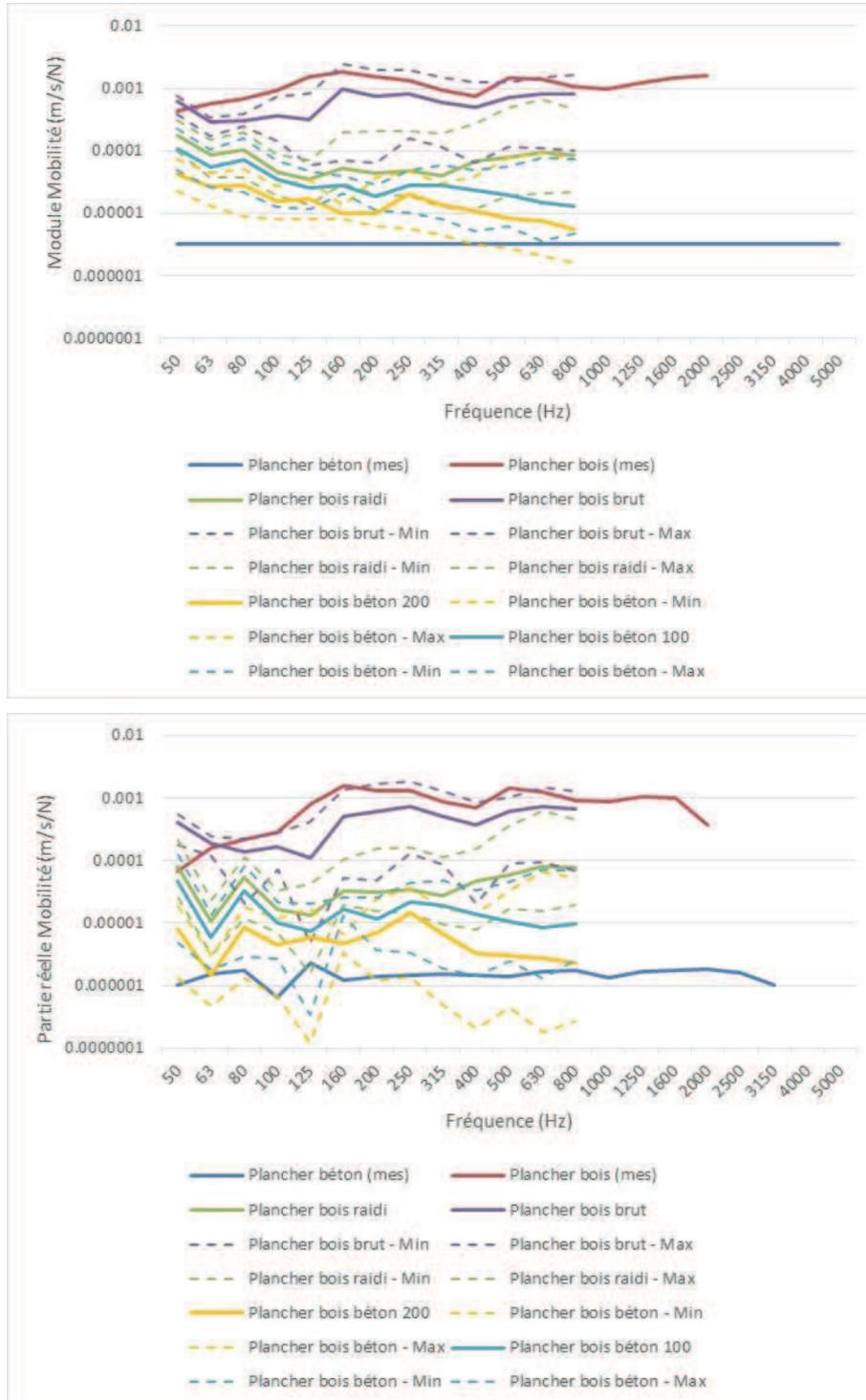


Figure C.4 : Mobilité d'entrée pour un traitement au centre du plancher.

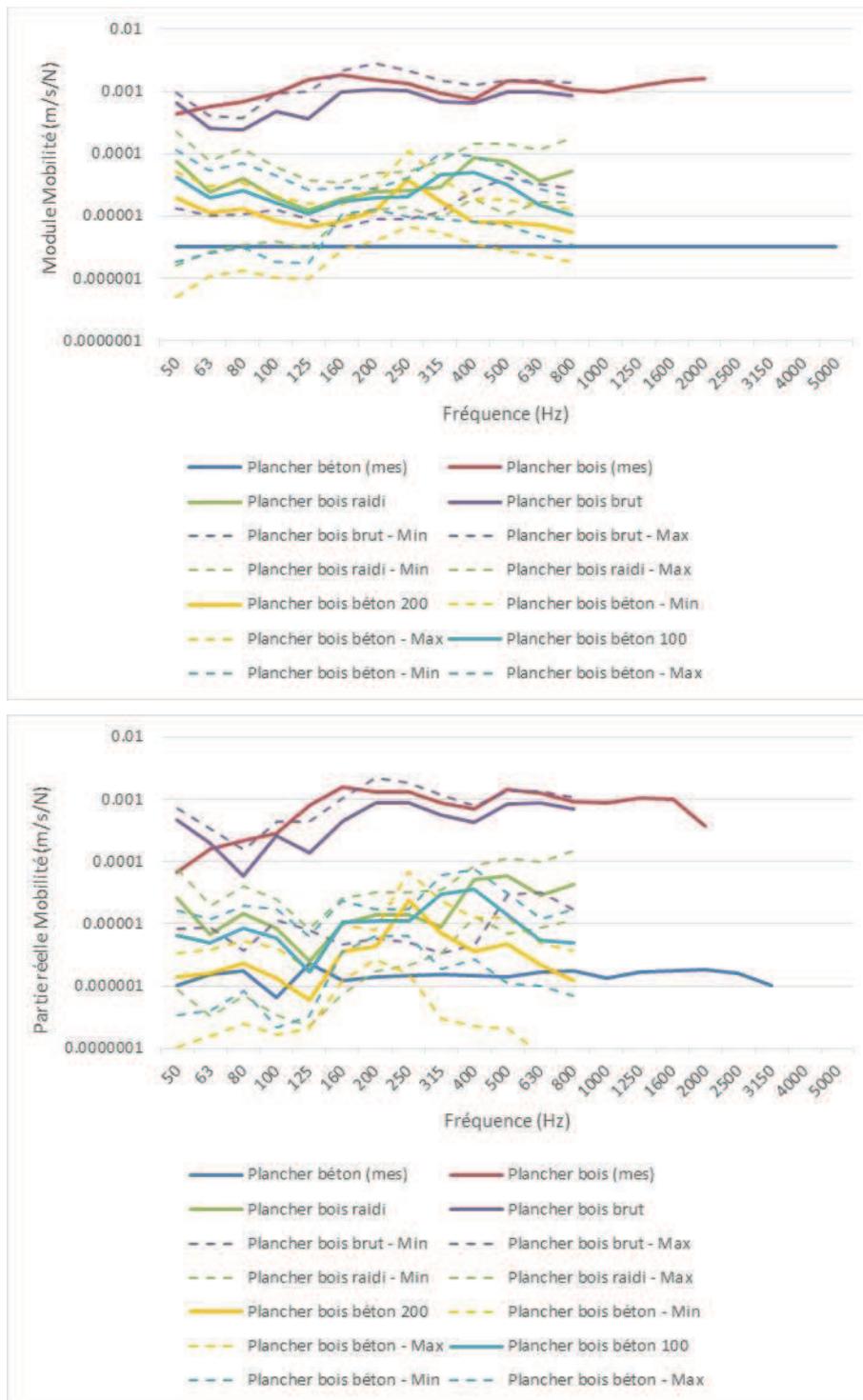


Figure C.5 : Mobilité d'entrée pour un traitement sur le bord 1.

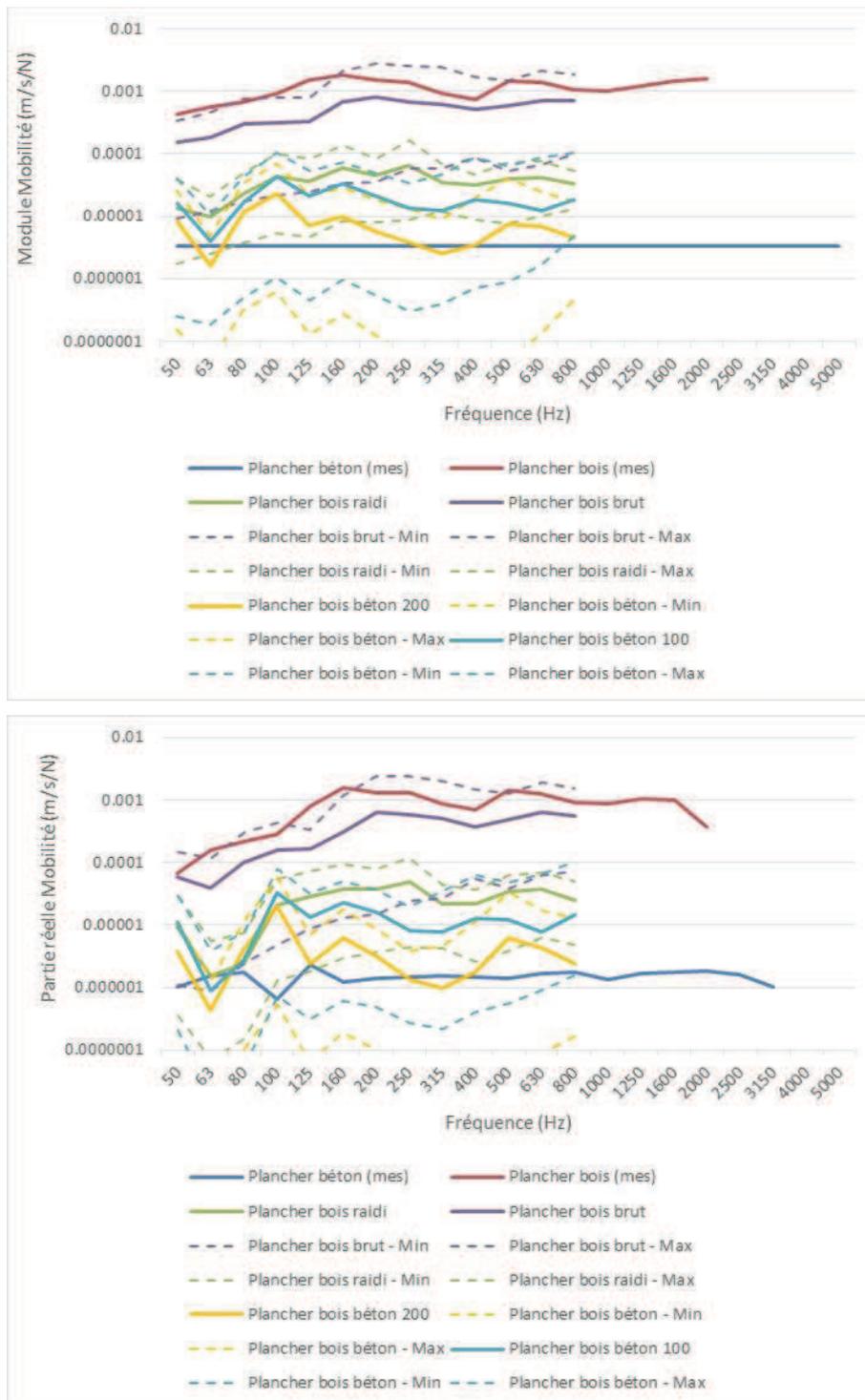


Figure C.6 : Mobilité d'entrée pour un traitement sur le bord 2.



Le futur en construction

Établissement public au service de l'innovation dans le bâtiment, le CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, exerce quatre activités clés : la recherche et expertise, l'évaluation, la certification et la diffusion des connaissances, organisées pour répondre aux enjeux de la transition énergétique dans le monde de la construction. Son champ de compétence couvre les produits de construction, les bâtiments et leur intégration dans les quartiers et les villes.

Avec plus de 900 collaborateurs, ses filiales et ses réseaux de partenaires nationaux, européens et internationaux, le groupe CSTB est au service de l'ensemble des parties prenantes de la construction pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments.