



ACOUBOIS

ETAPES 2&3

Rapport V2.0

Synthèse

Juin 2014

ACOUBOIS

Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments d'habitation à ossature bois

Etapes 2&3 – Rapport V2.0

Synthèse

AUTEURS

Nicolas BALANANT	QUALITEL	n.balanant@cerqual.fr
Catherine GUIGOU	CSTB	catherine.guigou@cstb.fr
Madeleine VILLENAVE	FCBA	madeleine.villenave@fcba.fr

FINANCEURS

DHUP – Convention 2100790174 Responsable suivi de dossier : Nicolas BARASZ
CODIFAB – Subvention Générale FCBA Responsable suivi de dossier : Dominique MILLEUREUX
ADEME – Contrat N° 1217C0045 Responsable suivi de dossier : Patrice ANDRE
QUALITEL – Autofinancement Responsable suivi de dossier : Nicolas BALANANT
Syndicat de fabricants : ASIV, AFSCAM, FILMM, SFEC, SNIP Industriels du panneau bois massifs : METSÄWOOD, LIGNATEC

Fiche de Synthèse

1- Identification

TITRE : ACOUBOIS - Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments à ossature bois, à vocation de logements.

THEME : Acoustique - Construction Bois

CONVENTIONS DHUP :

N°Contrat : Y09.35 0000 608 Date de début du contrat : 16/12/09

N°Contrat : Y10.33 0000 680 notifiée le 15 décembre 2010

N°Contrat : Y12.18 2100790174 notifiée le 28 Juin 2012

SUBVENTIONS CODIFAB ACOUBOIS : votées en 2010 et 2011.

CONTRAT ADEME : n° 1217C0045 du 29 Juin 2012

2- Objectif global

Cette étude a été segmentée en plusieurs phases dont les différents objectifs sont décrits ci après :

1. Faire le recensement des dispositions constructives existantes, les confondre avec celles rencontrées dans les projets en demande de certification (BBC Effinergie principalement) et déterminer ainsi les manquements au niveau de la caractérisation en laboratoire des solutions constructives utilisées actuellement dans la construction bois.
2. Faire l'évaluation en laboratoire d'éléments de structure (murs et planchers avec différents systèmes flottants, de revêtement de sol, de plafond suspendu) non caractérisés à ce jour et utilisés dans les constructions actuelles (notamment BBC Effinergie), Ces éléments ont été identifiés avec les professionnels du secteur et croisés par rapport à différentes exigences (feu, thermiques, etc.).
3. Evaluer les performances acoustiques, in situ, de différents bâtiments bien identifiés tant vis-à-vis du bruit aérien (intérieur et extérieur) que du bruit d'impact, sur une quarantaine d'opérations identifiées comme représentatives des constructions bois actuelles. Des mesures d'isolement vibratoire de jonction, essentielles pour l'évaluation des transmissions latérales, ont aussi été menées sur 8 opérations durant la phase de construction du bâtiment.
4. Intégrer les basses fréquences dans ce champ d'exploration expérimental. La bande d'analyse devra couvrir, tant pour les mesures sur site que celles en

laboratoire, les tiers d'octave de 50 à 5000 Hz, et intégrer la mesure du $L_{n,max}$ avec une balle japonaise pour les planchers.

5. Etablir une première version de la méthode de prédiction et comparaison prédiction/mesure sur les opérations évaluées in situ.
6. Développer une méthode simplifiée nécessaire à QUALITEL pour juger de la performance acoustique d'un projet soumis à la certification avant sa construction, sur la base de la méthode de prédiction proposée.
7. Donner des exemples de solutions acoustiques pour les constructions bois, intégrant les exigences en thermique, feu, structure.
8. Vérifier l'acceptabilité des occupants des logements de construction bois notamment par rapport aux objectifs réglementaires actuels en acoustique, sur la base d'une enquête perceptive.

3- Restitution finale :

Pour une plus grande facilité de lecture, un nombre de 6 rapports sont fournis :

- Un rapport de synthèse (présent document)
- Un rapport sur les évaluations en laboratoire des parois du système constructif bois
- Un rapport sur les mesures in situ
- Un rapport sur le modèle de prédiction, incluant des comparaisons prédiction/mesure
- Un rapport sur la méthode simplifiée (paroi et bâtiment) et d'exemples de solutions
- Un rapport sur les enquêtes perceptives menées auprès d'occupants d'un logement dans un bâtiment en bois.

4- Valorisation des résultats

La méthode de prédiction et les classes de jonctions développées dans le cadre du projet Acoubois sont des éléments proposés à discussion dans le groupe de travail européen CEN TC126/WG2 travaillant à la mise à jour des normes 12354 permettant l'évaluation des performances de l'ouvrage, qui devraient intégrer les constructions légères.

Des fiches d'interprétation et/ou complément aux référentiels Qualitel et Habitat & Environnement (FIC) seront proposées par CERQUAL.

Les résultats intermédiaires ont été présentés lors du séminaire « Acoustique des constructions bois » organisé par le FCBA en Octobre 2013.

Deux articles communs FCBA/CSTB/QUALITEL ont été présentés pour le Congrès Français d'Acoustique (Avril 2014) : un sur les méthodes de prédiction (experte et simplifiée) et un sur les enquêtes perceptives.

Un article commun FCBA/CSTB/QUALITEL devrait faire l'objet d'une publication dans les cahiers de FCBA.

Les résultats des travaux ont permis d'alimenter le Catalogue Bois Construction www.catalogue-construction-bois.fr

SOMMAIRE

1 - INTRODUCTION	7
2 - MESURES EN LABORATOIRE	9
3 - MESURES IN SITU	11
4 - METHODE SIMPLIFIEE ET EXEMPLES DE SOLUTION	13
5 - METHODE DE PREDICTION	15
6 - EVALUATION DU CONFORT ACOUSTIQUE	17
7 - CONCLUSIONS	20

1 - INTRODUCTION

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, l'Etat a souhaité identifier les freins au développement du bois en France, en partenariat avec la filière bois. L'Etat a décidé de mettre en place des politiques de soutien au développement de la filière bois, notamment dans le domaine de la construction.

QUALITEL s'inscrit dans cette démarche de soutien de l'Etat envers la filière bois, par la mise en place d'un programme de recherche sur le « Respect des exigences acoustiques dans les bâtiments neufs à ossature bois ». L'objectif de ce programme est d'établir, d'une part, la liste des procédés et produits participant à la qualité acoustique des bâtiments collectifs d'habitation à ossature bois et, d'autre part, d'élaborer à terme des méthodes simplifiées d'évaluation de la qualité acoustique intérieure de ces bâtiments au regard de la réglementation en vigueur et des exigences de qualité. Ces méthodes ont vocation à être utilisées dans le cadre des certifications du logement délivrées par QUALITEL et ses filiales. Le CSTB travaille depuis plusieurs années sur la problématique des bâtiments à structure légère et notamment ceux à ossature bois. Une partie de ses travaux concerne plus précisément la mise en œuvre d'outils de prévision et d'évaluation de la performance acoustique des systèmes du bâtiment pour les constructions à ossature légère. Ces travaux s'intègrent plus largement dans les champs plus larges européens du COST FP0702 (coordination des recherches nationales en Europe sous la direction du CSTB et co-direction du FCBA) et de la normalisation européenne où le CSTB est présent (CEN/TC126/WG2) avec la mise en place d'un modèle de prédiction européen de performances d'ouvrage (CEN/TC126/WG2) pour les bâtiments à structure légère.

Le travail en commun dans le cadre de ce projet ACOUBOIS permet en mettant en commun les connaissances sur cette thématique d'aider la filière bois à mettre au point des systèmes constructifs respectant la réglementation acoustique française (exemples de solution acoustique bois) et prenant en compte l'acceptabilité (confort) des occupants vis-à-vis de l'acoustique.

En 2009, la première étape réalisée en partenariat entre FCBA, CSTB et QUALITEL a permis de recenser les dispositions constructives existantes, de les confondre avec celles rencontrées dans les projets en demande de certification (BBC Effinergie principalement) et de déterminer ainsi les manquements au niveau de la caractérisation en laboratoire des solutions constructives utilisées actuellement dans la construction bois.

Depuis 2010, les travaux ont couvert

- des évaluations en laboratoire d'éléments de structure : façades, planchers avec différents systèmes flottants, de revêtement de sol, de plafond suspendu, parois séparatives et toitures, utilisés dans les constructions actuelles (notamment BBC

Effinergie). Ces différents éléments ont été identifiés avec les professionnels du secteur et croisés par rapport à différentes exigences (feu, thermiques, etc.).

- des mesures sur site pour évaluer les performances acoustiques des différents bâtiments bien identifiés. Ces mesures comprennent des mesures d'isolement acoustique tant vis-à-vis du bruit aérien (intérieur et extérieur) que du bruit d'impact, ainsi que des mesures de bruit d'équipements.
- des mesures d'isolement vibratoire de jonction, essentielles pour l'évaluation des transmissions latérales,
- le développement de méthodes de prédiction : experte et simplifiée. La méthode simplifiée se décline à l'échelle paroi et à l'échelle bâtiment.
- des exemples de solutions acoustiques pour les constructions bois seront également fournis, intégrant les exigences en thermique, feu, structure
- une enquête perceptive sur la base d'un questionnaire est conduite pour évaluer les risques d'inconfort vis-à-vis de l'acoustique dans les bâtiments d'habitation en bois.

Pour les mesures sur site et celles en laboratoire, la bande d'analyse couvre les basses fréquences, en prenant en compte tous les tiers d'octave entre 50 et 5000 Hz. L'utilisation d'un ballon japonais comme source d'impact (choc mou a priori plus représentatif d'un enfant en train de sauter, courir) a été mise en œuvre en laboratoire et sur site pour l'évaluation des planchers.

Ce rapport de synthèse couvre les différents rapports traitant les différentes actions menées dans le cadre du projet Acoubois.

2 - MESURES EN LABORATOIRE

Les évaluations en laboratoire ont porté sur des éléments de structure de type parois séparatives verticales, façades et planchers avec différents systèmes flottants, de revêtement de sol, de plafond suspendu, et toitures. On notera que les mesures effectuées étendues aux basses fréquences (tiers d'octave 50 à 80 Hz) montrent que généralement l'intégration de ces basses fréquences ne modifie pas la hiérarchie des solutions mais resserre globalement l'échelle en diminuant la dynamique de performance. Notamment les systèmes combinant des double voire triple parois peuvent être fortement impactés à cause de leurs faibles niveaux de performance dans les basses fréquences (50 à 80 Hz) dus à des phénomènes de résonance. Ainsi, la règle qui jusqu'alors consistait à promouvoir des systèmes double ou triple avec des fréquences de résonance rejetées en dessous 100 Hz ne sont plus forcément des voies d'amélioration si les tiers d'octave 50 à 80 Hz sont pris en compte.

Pour les murs séparatifs toutes les familles étudiées peuvent être une solution réglementaire avec des configurations bien définies. On retiendra cependant que le système double ossature avec panneaux de contreventement à l'extérieur constitue la solution idéale qui peut trouver une variante en modifiant l'emplacement des panneaux de contreventement mais à condition que l'ossature soit au pas de 600 mm.

Les façades ont été divisées en de nombreuses familles suivant la position du renfort d'isolation et les évaluations montrent que quel que soit le schéma constructif, les résultats sont autour de $R_{A,tr}=34\pm 2\text{dB}$ à l'exception des configurations qui dissocient les parements de l'ossature primaire et assurent ainsi un gain supérieur à 15 dB ou en utilisant des systèmes d'isolant qui autorise de fixer l'ossature secondaire au travers de celui-ci.

Les planchers constituent un maillon critique dans la construction à ossature bois parce que devant répondre conjointement à des exigences vis-à-vis du bruit aérien et au bruit de choc ; en fait la solution idéale est la même que pour les cloisons : double ossature mais elle est contraignante et il est souvent préférable de construire à partir d'une simple ossature avec plafond suspendu et chape flottante. On retiendra que l'efficacité au bruit de choc des revêtements de sol souple n'est pas conservée, elle est très faible sur des planchers bois.

Les familles de toitures étudiées ne présentent pas de difficultés pour répondre à des exigences visant une protection à 30 voire 35 dB. En fait, l'évolution de la réglementation thermique a profité à cet élément d'enveloppe.

Les façades filantes rideaux (avec une structure lourde en béton) seront montées préférablement avec une contre-cloison indépendante sur ossature métallique ; une contre-cloison sur tasseaux bois horizontaux (pas de 500 mm) avec laine minérale (45 mm) et 2 couches de plaques de plâtre BA13 peut aussi être une solution vis-à-vis de la réglementation. Seule la configuration de façade semi-rideau avec contreventement OSB à l'extérieur et un ITE permet d'utiliser une contre-cloison avec 1 ou 2 BA13 sur ossature métallique ou sur tasseaux bois horizontaux.

L'enseignement tiré de ces évaluations en combinaison avec la méthode simplifiée a permis d'alimenter le catalogue Bois Construction.

3 - MESURES IN SITU

Les mesures acoustiques in situ ont porté sur 37 opérations situées en France métropolitaine, réparties sur tout le territoire. Les opérations ont été choisies parmi celles qui étaient en demande de certification Qualitel ou Habitat & Environnement, en privilégiant les logements collectifs. Les opérations étudiées sont pour moitié des individuels accolés ou petits collectifs en R+1, et pour moitié des bâtiments collectifs. Une surélévation a également été étudiée.

Le mur séparatif à double ossature et contreventement entre les ossatures a été le plus fréquemment rencontré. Dans une moindre mesure, les séparatifs en panneaux massifs contrecollés, puis les murs à double ossature avec contreventement côté logement et enfin les murs à simple ossature. Quelques cas de mixité bois/béton ont aussi été pris en compte. Les compositions des murs séparatifs pouvant beaucoup varier au sein d'une même famille, aucune composition de paroi trouvée in situ ne correspond à celles testées en laboratoire. De plus les informations qui ont été fournies peuvent différer de ce qui a été réellement mis en œuvre.

La famille des planchers à simple ossature est la plus représentée, avec pour moitié des planchers avec chape sèche et pour moitié avec chape humide. Les planchers en panneaux de bois massifs comprennent 4 planchers massifs contrecollés à lames horizontales et 2 planchers massifs contrecollés à lames verticales, dont un était tourillonné. Ils sont munis de chapes humides ou chapes sèches. D'autres planchers mis en œuvre sur 2 opérations comprennent un plancher double ossature et un plancher plus complexe, issu de la superposition de modules préfabriqués.

Les mesures acoustiques réalisées sur la sélection de 37 opérations montrent que, dans l'ensemble, les opérations à ossatures bois ne présentent pas plus de non-conformités que les bâtiments courants à structures lourdes.

Les origines des non-conformités sont souvent les mêmes que celles rencontrées dans les bâtiments à structure béton : désolidarisation de chapes, de coursives extérieures, menuiseries extérieures.

On observe toutefois un taux particulièrement élevé de non-conformité sur les chutes d'eau, dont l'analyse précise fait défaut dans cette étude, par manque d'information sur la mise en œuvre et les compositions de gaines et de conduits. On sait que les chutes d'eau ne doivent pas être fixées sur des éléments légers, ce qui est un problème dans des bâtiments qui ne possèdent pas d'éléments lourds.

Enfin, bien qu'il ait été relevé à deux reprises une composition des séparatifs potentiellement un peu trop légère par rapport aux objectifs réglementaires, on observe plutôt un surdimensionnement des séparatifs, que l'on pourrait expliquer par la prudence

des concepteurs, qui, par manque de retours d'expériences en acoustique ont cherché à assurer la conformité de l'ouvrage.

4 - METHODE SIMPLIFIEE ET EXEMPLES DE SOLUTION

Compte-tenu de l'ensemble de variantes possibles pour la composition d'une paroi à ossatures bois, il n'était pas réaliste de tester l'ensemble des combinaisons possibles. La possibilité d'utiliser une approche simplifiée pour estimer la performance d'une paroi et aussi celle d'un bâtiment, en termes d'isolement au bruit aérien et de niveau de bruit d'impact à l'intérieur des logements. Ce projet a mis en évidence le fait que la prédiction de performances acoustiques des séparatifs à ossatures reste encore particulièrement délicate.

La méthode simplifiée comporte donc deux étapes :

- l'évaluation des performances acoustiques des séparatifs : valeurs globales de l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré $R_w(C;C_{tr})$ et du niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé $L_{n,w}$
- l'évaluation des performances acoustiques in situ d'un bâtiment : valeurs globales de l'isolement acoustique standardisé $D_{nT,w}(C;C_{tr})$ et du niveau de pression pondéré du bruit de choc normalisé $L'_{nT,w}$.

Pour l'estimation de l'isolement vis-à-vis de l'extérieur, le calcul réalisé selon le référentiel Qualitel H&E, issu lui-même du cahier 1855 de juin 1983 du CSTB, reste valable.

Pour les isolements au bruit aérien et les niveaux de bruit de choc, les exemples de solutions sont issus de l'application de la méthode simplifiée présentée précédemment, avec comme hypothèse des chambres d'au moins 2.50 m de profondeur ou de hauteur sous plafond et une surface de 9 m² minimum. Il en découle entre logements pour un objectif d'isolement au bruit aérien $D_{nT,A}$ de 53 dB lorsque le local de réception est une pièce principale, les exigences sur les séparatifs suivantes :

- **Murs:**

Ossatures bois : $R_w+C \geq 57$ dB

Panneaux massifs : $R_w+C \geq 59$ dB

- **Planchers :**

Ossatures bois : $R_w+C \geq 61$ dB

Panneaux massifs : $R_w+C \geq 59$ dB

et

si objectif $L'_{nT,w} = 58$ dB (réglementaire) : $L_{n,w} \leq 53$ dB

si objectif $L'_{nT,w} = 55$ dB (Qualitel H&E) : $L_{n,w} \leq 50$ dB

Pour le dimensionnement des façades, le local pris en compte est une chambre de 9 m², en angle et sous toiture en combles perdus, avec un châssis vitré de 1,4 m² et une entrée d'air, sans coffre de volets roulants. La toiture considérée est composée de tuiles plein ciel, 300 mm de laine minérale et plafond suspendu 1BA13 ($R_w + C_{tr} = 48$ dB). Pour les façades, il est présenté une solution.

Trois combinaisons, deux permettant de respecter le minimum requis par l'arrêté du 30 juin 1999, à savoir $D_{nTA,tr} = 30$ dB, et une respectant un objectif $D_{nTA,tr} = 35$ dB, sont proposées dans le tableau suivant :

Objectif d'isolement	Façade $R_w + C_{tr}$	Châssis vitré $R_w + C_{tr}$	Entrée d'air $D_{n,e,w} + C_{tr}$	Toiture $R_w + C_{tr}$
$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	Façade 1 (36 dB)	≥ 30 dB	≥ 39 dB	≥ 48 dB
$D_{nT,A,tr} \geq 30$ dB	Façade 2 (43 dB)	≥ 30 dB	≥ 39 dB	≥ 48 dB
$D_{nT,A,tr} \geq 35$ dB	Façade 3 (46 dB)	≥ 35 dB	≥ 41 dB	≥ 48 dB

Des configurations constructives permettant d'obtenir les niveaux de performance des parois indiqués pour atteindre les niveaux réglementaires ont été proposées. Certaines mériteraient cependant d'être validées par des mesures ou des simulations acoustiques fines. Finalement, les exemples sont loin d'être exhaustifs, tant les variantes constructives sont possibles dans la construction bois.

Il n'y a pas de recommandations particulières sur les jonctions, si ce n'est que les planchers à ossatures bois ne doivent pas être filants entre logements. De plus les solivages ne doivent pas être continus entre circulation et logements.

5 - METHODE DE PREDICTION

Une méthode experte de prédiction de la performance du bâtiment à partir de la performance des composants, adaptée aux bâtiments en bois a été proposée. Le modèle de prédiction EN 12354 indique comment calculer ces transmissions latérales d'un élément i dans le local d'émission à un élément j dans le local de réception. Comme les transmissions directes, ces transmissions sont exprimées à partir d'un indice d'affaiblissement latéral R_{ij} pour l'isolement aérien et d'un niveau de bruit d'impact latéral $L_{n,ij}$ pour l'isolement au bruit d'impact. Ces deux grandeurs sont calculées suivant les relations suivantes :

$$R_{ij} = \frac{R_i^* + R_j^*}{2} + \frac{D_{vs,ij} + D_{vs,ji}}{2} + 10 \log \left[\frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \right] = \frac{R_i^* + R_j^*}{2} + \bar{D}_{vs,ij,n} - 10 \log \left[\frac{I_{ij}}{S_s} \right]$$

$$L_{n,ij} = L_{n,i} - \frac{R_j^* - R_i^*}{2} - \frac{D_{vs,ij} + D_{vs,ji}}{2} - 10 \log \left[\frac{S_i}{\sqrt{S_j}} \right] = L_{n,i} - \frac{R_j^* - R_i^*}{2} - \bar{D}_{vs,ij,n} + 10 \log \left[\frac{I_{ij}}{S_i} \right]$$

Dans ces relations, R_i^* et R_j^* sont les indices d'affaiblissement des éléments i et j , l'exposant * indiquant que seules les transmissions résonantes doivent être prises en compte, $D_{vs,ij}$ est l'isolement vibratoire de jonction entre les éléments i et j , lorsque l'élément i est sollicité mécaniquement, et $\bar{D}_{vs,ij,n}$ l'isolement vibratoire normalisé moyenné dans les deux directions, S les surfaces des éléments (S_s pour l'élément séparatif entre les deux locaux) et $L_{n,i}$ le niveau de bruit d'impact normalisé de l'élément i .

Les valeurs mesurées en laboratoire de l'indice d'affaiblissement R incluent à la fois les transmissions résonantes et les transmissions forcées. Ces dernières (transmissions forcées) sont importantes aux fréquences très inférieures à la fréquence critique de l'élément considéré. Pour les parois lourdes ou semi lourdes de fréquence critique assez basse, l'hypothèse de transmissions forcées négligeables est valide et aucune correction n'est nécessaire pour évaluer R^* : $R^* \approx R$. Cependant, les parois légères à ossature couramment utilisées dans les constructions légères à ossature, ont une fréquence critique à des fréquences élevées (au-dessus de 1 kHz). Ainsi pour obtenir R^* , une correction doit être appliquée en particulier aux basses fréquences. La correction proposée s'exprime à partir des facteurs de rayonnement des parois :

$$R^* = R + 10 \log \left[\frac{\sigma_a 1 - \sigma_s}{\sigma_s 1 - \sigma_a} \right] \approx R + 10 \log \left[\frac{\sigma_a}{\sigma_s} \right]$$

où R est l'indice d'affaiblissement de l'élément mesuré, σ_a est le facteur de rayonnement de l'élément obtenu avec excitation aérienne et σ_s le facteur de rayonnement de l'élément obtenu avec excitation mécanique. La mesure des facteurs de rayonnement n'est pas normalisée et relativement fastidieuse (donc coûteuse). Ainsi, des

approximations pour évaluer le terme correctif à appliquer à l'indice d'affaiblissement ont été recherchées.

Les mesures sur site de caractérisation de jonctions ont permis de proposer des classes de jonction avec leur isolement vibratoire pour les éléments à ossature bois et des indices d'affaiblissement vibratoire pour les éléments en bois massif. Ces données seront discutées dans le cadre du groupe de travail CEN TC126/WG2 qui travaille actuellement sur la mise à jour de la série de normes EN 12354.

Les comparaisons entre la performance du bâtiment prédite et mesurée montrent que les différences sont globalement de l'ordre de 3 à 5 dB. Une des principales difficultés rencontrées reste que les parois séparatives effectivement trouvées sur les différentes opérations considérées sont différentes de celles évaluées en laboratoire. Les modèles de prédiction de la performance acoustique des parois à ossature bois ou panneau bois massifs ne sont pas à ce jour assez fiables vu la complexité des structures rencontrées et un travail important sur cet aspect de modélisation reste à mener à l'avenir. Ce travail sur les modèles à l'échelle des composants devrait permettre d'améliorer le niveau de précision de la prédiction de la performance de l'ouvrage.

Cependant, les calculs effectués sur la prédiction de la performance du bâtiment semblent indiquer que le chemin direct par la paroi séparative (verticale pour la transmission horizontale et horizontale pour la transmission verticale) est généralement prépondérant (s'il existe) dans la transmission du bruit. Les transmissions latérales interviennent plutôt en moyennes et hautes fréquences. On notera que dans les opérations sélectionnées les planchers ne sont pas continus entre logements.

Pour les systèmes à ossature bois, les niveaux obtenus (notamment pour les bruits aériens) sur les premiers tiers d'octave (à partir de 100 Hz) sont généralement prépondérants dans la détermination de l'indice global de performance (n'intégrant pas les basses fréquences).

Les indices globaux incluant les basses fréquences doivent être pris avec prudence car certaines mesures ne sont pas toujours très significatives dans cette gamme de fréquence (puissance sonore limitée de la source de bruit, méthodologie de mesure selon le projet de norme ISO/WD 16283-1).

6 - EVALUATION DU CONFORT ACOUSTIQUE

Dans le but de déterminer l'acceptabilité des occupants des logements de construction bois notamment par rapport aux objectifs réglementaires actuels en acoustique, une enquête perceptive a été menée au moyen d'entretiens à domicile, sur la base d'un questionnaire permettant d'évaluer les risques d'inconfort notamment par rapport aux basses fréquences dans les constructions bois et aussi aux bruits d'équipements. Le questionnaire se compose de 6 parties : (1) sur les bruits et les vibrations des voisins chez eux, (2) sur les bruits des voisins dans les parties communes, (3) sur les bruits d'équipements techniques, (4) sur les bruits provenant des locaux collectifs, (5) sur les bruits de l'extérieur, et (6) sur les bruits entre les pièces du logement. L'enquête intègre aussi des questions d'ordre général portant sur la sensibilité par rapport au bruit ainsi que l'importance du critère isolation acoustique. Une deuxième série d'enquêtes intègre aussi des questions sur la présence ou non de systèmes de reproduction du son (home-cinéma, système Hi-Fi de qualité,...) et d'un caisson de basses, et aussi sur la préoccupation des occupants de déranger leurs voisins et du comportement adopté pour limiter ce dérangement ; finalement, pour une dernière série d'enquêtes une question est posée en début d'entretien sur la satisfaction de l'occupant vis-à-vis de l'acoustique du logement. Une échelle sur 5 niveaux (1 pas du tout gênant et 5 extrêmement gênant) est utilisée pour apprécier la gêne ressentie. Pour recueillir les réponses des occupants des logements au questionnaire des entretiens en face à face sont majoritairement réalisés ; chaque occupant est questionné sur sa perception des différents bruits en fonction de sa localisation dans son logement : séjour, chambre 1 ou chambre 2.

Les résultats d'enquêtes perceptives menées en vue d'évaluer l'acceptabilité des occupants des logements de construction bois ont été présentés. Il faut noter que le nombre limité d'opérations considérées (10) et le nombre de logements pour lesquels les réponses au questionnaire ont été recueillies implique qu'il faille prendre avec précaution l'aspect statistique des résultats. Les problématiques les plus relevées sont : les bruits en provenance des voisins et notamment les bruits d'impact (plus que les bruits aériens) ; les bruits des parties communes, les vibrations des équipements (machine à laver) en provenance des autres logements, les bruits en provenance de l'extérieur associés à des personnes (personnes en train de parler, enfants en train de jouer, ...) et au trafic routier, et les bruits dans son propre logement.

Les résultats récoltés semblent montrer que les occupants sont assez satisfaits par rapport aux bruits aériens ; l'effet des basses fréquences dans la gêne relevée n'est pas mis en évidence.

Les bruits d'impact sont nettement plus problématiques pour les occupants. On rappelle qu'aujourd'hui la réglementation demande un niveau de bruit d'impact $L'_{nT,w}$ de 58 dB

entre pièces principales (55 dB pour la certification Qualitel). Sur la base des cas étudiés il semble qu'un niveau de performance acoustique $L'_{nT,w}$ de l'ordre de 50 dB puisse permettre d'obtenir moins de 20 % de personnes gênées. L'utilisation des indices de performance acoustique $L'_{nT,w}+C_{I50-2500}$ ou L_{AFmax} permettrait d'améliorer la corrélation des indicateurs acoustiques avec la gêne ressentie. De plus, il semble que $L'_{nT,w} + C_{I50-2500}$ de l'ordre de 52 dB ou encore L_{AFmax} de l'ordre de 54 dB(A) puisse être un objectif pertinent en termes de niveau de bruit de choc pour limiter la gêne ressentie. Sur la base des résultats obtenus, les indicateurs $L'_{nT,w}+C_{50-2500}$ et L_{AFmax} sont les mieux corrélés à la gêne ressentie vis-à-vis de la problématique des impacts.

De plus, il faut ajouter que l'utilisation des chapes sèches flottantes présente un risque relativement important d'inconfort vis-à-vis des chocs (bruits de pas, dénotés souvent comme sourds). L'implémentation d'une chape flottante humide sur une sous-couche résiliente est plus favorable du point de vue du confort.

Le bruit en provenance des circulations communes a été identifié comme pouvant être une problématique pour les occupants des opérations considérées ; le manque de mesures sur site par rapport à cette problématique n'a pas permis d'analyse poussée. Pour les circulations intérieures, des problèmes de mise en œuvre des portes d'entrée des logements et le traitement acoustique (absorption) des parties communes pourraient en être la cause. Pour les circulations extérieures, peu de contraintes existent (isolement vis-à-vis de l'extérieur).

Les bruits d'équipements peuvent être problématiques mais la gêne reste généralement limitée à un logement pour un équipement spécifique indiquant un mauvais fonctionnement ou réglage.

La problématique vis-à-vis des vibrations engendrées par les machines à laver peut être assez importante mais n'est pas du tout réglementée puisque cet équipement n'est pas un équipement du bâtiment. Des études complémentaires pourraient être menées sur la résilience du plancher (mobilité du plancher source), et l'aptitude des jonctions planchers-cloisons à transmettre les vibrations aux planchers voisins dans les très basses fréquences. Des éléments concernant cette problématique existent dans l'Eurocode 5, cependant ils nécessiteraient d'être adaptés et validés.

Le bruit des enfants en train de jouer à l'extérieur a aussi été relevé comme une nuisance pour certaines opérations même si les niveaux d'isolement de façade étaient respectés.

Les bruits de chutes d'eau vannes et pluviales ont parfois été cités. Pour les bruits d'eau pluviale, il n'existe pas aujourd'hui de norme de mesures in situ.

Certains occupants ont aussi soulevé le manque de confort dans leur logement avec des isolements trop faibles entre les chambres ou entre chambres et séjour ; si ces points ne

sont pas à ce jour pris en compte dans la réglementation acoustique, ils pourraient éventuellement l'être à l'avenir comme c'est le cas dans d'autres pays européens.

Cependant, toutes ces indications restent à confirmer en menant des enquêtes en plus grand nombre. Elles doivent aussi être recoupées pour des types de bâtiments différents (structure lourde par exemple). On rajoutera qu'il est prévu dans un autre projet de mener des enquêtes dans des bâtiments à structure lourde qui permettront de compléter en partie l'analyse notamment par rapport aux bruits d'impact.

7 - CONCLUSIONS

L'étude Acoubois a amené un certain nombre d'enseignements.

Les essais en laboratoire ont permis de comprendre l'influence de différentes dispositions constructives, et de définir quelques exemples de solutions acoustiques.

Les essais in situ ont montré que les bâtiments à ossatures bois engagés dans une démarche de certification répondent aux exigences réglementaires, avec des résultats qui sont souvent bien au-dessus des exigences réglementaires, ce que l'on peut expliquer par la prudence des concepteurs. Toutefois, un nombre important de non-conformités a été constaté sur les chutes d'eau.

Une méthode prédictive de la performance acoustique a été développée et validée. Elle est basée sur la performance des séparatifs et celles des jonctions. Plusieurs classes de jonctions ont été définies grâce à des mesures vibratoires in situ. Cette méthode sera proposée pour la révision des normes de calcul internationales. On pourra retenir que la transmission directe par le séparatif est prépondérante, les transmissions latérales étant souvent négligeables.

Une méthode simplifiée a été développée et permet d'évaluer simplement la performance d'un séparatif, puis celle d'un bâtiment. Des exemples de solutions acoustiques découlent de cette méthode. Toutefois, la méthode mériterait d'être validée sur certains cas.

L'enquête de satisfaction des occupants a montré une satisfaction moyenne des occupants. Les sujets d'insatisfaction portent surtout sur les bruits de chocs, où les habitants peuvent localiser les personnes qui marchent à l'étage. Viennent ensuite les bruits aériens des voisins, les bruits en provenance des parties communes, les vibrations des équipements (machine à laver) en provenance des autres logements, les bruits en provenance de l'extérieur associés à des personnes (personnes en train de parler, enfants en train de jouer, ...) et au trafic routier, et enfin les bruits dans son propre logement.

A l'issue de cette étude, il ressort des points qui mériteraient d'être approfondis :

- La comparaison de la satisfaction avec des opérations à structures lourdes, ce qui est prévu dans une étude en cours.
- Le développement de méthodes de calcul de la performance des séparatifs : le séparatif est l'élément le plus influant, les variantes sont multiples et il n'est pas réaliste de réaliser des essais acoustiques en laboratoire pour chaque variante.
- La comparaison d'un même séparatif testé en laboratoire et testé in situ : malgré le grand nombre d'essais réalisés, ce cas n'est pas ressorti. La méthode simplifiée a été définie avec une incertitude liée à la simulation des séparatif et pourrait être affinée.

- Le développement de solutions permettant d'améliorer le confort des occupants.