

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Développement de méthodes acoustiques pour les bâtiments à structure légère : l'approche suédoise

Delphine Bard¹, Klas G. Hagberg²

¹Engineering Acoustics, Lund University, SE-221 00 Lund, delphine.bard@acoustics.lth.se

²ÅF-Ingemansson, SE- 401 51 Göteborg, klas.hagberg@afconsult.com

En Suède, plus de 15% de l'ensemble des immeubles résidentiels de plusieurs étages sont construits avec une structure légère, principalement constituée de bois. L'accroissement du nombre de ces constructions est dû à plusieurs facteurs, tels que le soutien gouvernemental, la production hautement industrialisée des matériaux, etc. Cependant, afin de consolider le rang des bâtiments résidentiels dits légers par rapport aux bâtiments lourds dans le futur, il est nécessaire de développer de nouvelles méthodes d'évaluation acoustique et d'augmenter les connaissances au sein même des industries en termes de vibrations et de caractéristiques des matériaux. Il existe un besoin immédiat et impératif de satisfaire aux exigences essentielles de la "Protection contre le bruit" de la directive européenne de production de la construction (DPC). Premièrement, il est absolument nécessaire d'établir des indices bien-fondés pour l'évaluation de l'isolation acoustique vis-à-vis des bruits d'impact, en vue de définir des critères minimaux, ainsi que diverses classes sonores au sein de schémas de classification qui soient raisonnablement comparables aux exigences correspondantes pour les bâtiments lourds. Dans ce contexte, il est important de considérer les vibrations des structures dues aux activités domestiques et les effets ressentis liés aux bruits d'impact à basses fréquences. Les constructeurs de structures légères ont également besoin d'une mise en œuvre rapide de nouveaux critères dans les normes internationales et européennes (ISO 717) afin de faciliter le commerce de leurs produits. La complexité des systèmes, les difficultés à remplacer un produit unique au sein d'un système et l'absence de modèles de calcul amplifient l'urgence de ce problème.

1 Introduction

Le nombre de bâtiments résidentiels de plusieurs étages à base de structures légères est en rapide augmentation. Après des années de développement, l'intérêt commercial croît grâce aux progrès des techniques industrielles de construction modernes et rapides. Les problèmes de la stabilité structurelle des bâtiments légers et de la protection incendie sont résolus, ce qui permet d'accroître le sentiment de sécurité des habitants. Néanmoins, les exigences d'isolation acoustique sont un vestige historique et ne sont plus adaptées au développement actuel de nouveaux systèmes.

Une mauvaise isolation acoustique n'apparaît pas comme un problème évident à l'achat d'un nouvel appartement. La prise de conscience a lieu uniquement après avoir emménagé dans le nouveau logement. Dans certains cas critiques impliquant des vibrations à basses fréquences, il pourrait y avoir des effets à long terme sur la société. Au contraire, les problèmes liés aux fréquences élevées sont souvent résolus assez facilement même si les habitants ont déjà pris possession des lieux.

Malheureusement, les structures légères se caractérisent souvent par des problèmes de vibrations diffuses à basses fréquences, contre lesquels il est très difficile de prendre des mesures adéquates. Par conséquent, afin de prévenir une évolution négative générale de l'industrie des bâtiments à structure légère, il est nécessaire de définir rapidement les valeurs cibles et les principes d'évaluation pour l'isolation acoustique, et en particulier pour les bruits d'impacts et les vibrations à basses fréquences d'origine domestique.

2 Historique

En Europe, la Suède est le seul pays qui a adopté le facteur d'adaptation pour les basses fréquences du spectre pour les bruits d'impact et aériens comme une exigence dans la réglementation de la construction nationale [1]. Le but était d'adapter, au moins dans une certaine mesure, les exigences des techniques de construction des nouvelles maisons à plusieurs étages à structures légères. Toutefois, une nouvelle recherche prouve que l'introduction de l'adaptation aux basses fréquences du spectre pour les bruits d'impact ne suffit pas à prévenir l'apparition de mauvaises constructions sur le marché [3, 5]. Il est nécessaire de créer assez rapidement une courbe d'évaluation pour les bruits d'impact et d'introduire de nouvelles normes en ce qui concerne les vibrations provenant des activités domestique. L'exigence minimale pour les bruits d'impact aujourd'hui en Suède est la suivante :

$$L'_{n,w} \leq 56 \text{ dB} \quad (1)$$

$$L'_{n,w} + C_{I,50-2500} \leq 56 \text{ dB} . \quad (2)$$

Les deux conditions définies dans les équations (1) et (2) doivent être satisfaites. Pour les vibrations, aucune exigence minimale stricte n'existe. Cela signifie qu'en cas de vibrations gênantes il n'y a aucun code du bâtiment sur lequel se baser pour résoudre le litige. En conséquence, il est nécessaire de reconsidérer rapidement les méthodes actuelles d'évaluation des bruits d'impact et des vibrations. En effet :

- L'isolation acoustique est généralement perçue comme étant moins bonne que ce que la valeur objective révèle, peut-être en raison de la combinaison du bruit de basses fréquences et des vibrations.
- Les classes acoustiques pour une construction légère ne sont pas équivalentes à celles pour les constructions en lourd, même si les valeurs objectives sont identiques.
- Les parts de marché de l'industrie des structures légères augmentent rapidement. Ainsi, si l'on conserve les méthodes de mesures actuelles, le nombre de constructions de mauvaise qualité sur le marché risque de croître en conséquence.

Une nouvelle courbe d'évaluation n'est pas forcément nécessaire pour tous les types de logements. Pour certains, les principes d'évaluation actuels pourraient convenir. Cependant, une connaissance plus pointue des habitudes de la vie moderne est sans aucun doute requise afin de définir des critères appropriés. Ainsi, il pourrait en résulter différentes valeurs qui pourraient être appliquées à différentes constructions résidentielles multi-étages.

Un exemple concret des conséquences d'une mauvaise conception, alors même que les contraintes les plus strictes de la norme ISO 717 sont respectées pour les basses fréquences, est illustré par la figure 1. Les deux courbes font référence à deux habitations multifamiliales modernes en Suède, au coût similaire, mais très différentes du point de vue de leur construction. Dans l'une d'entre elles, une construction légère, les habitants se plaignent de graves nuisances sonores à basses fréquences. L'autre est une construction homogène lourde en béton, et ne fait pas l'objet de critiques liées aux nuisances sonores. Pourtant, ces deux bâtiments ont tous deux été positivement évalués, conformément aux normes en vigueur, selon la norme ISO 717 actuelle. Ils respectent tous deux les classes acoustiques "A" selon la classification sonore du standard suédois SS 25267. Les résultats selon la norme ISO pour les deux exemples sont :

$$L'_{n,w} = 35 \text{ dB (bois)} \quad (3)$$

$$L'_{n,w} = 48 \text{ dB (béton)} \quad (4)$$

$$L'_{n,w} + C_{l,50-2500} = 48 \text{ dB (pour les deux)} \quad (5)$$

Selon le principe d'évaluation actuel, un client, n'ayant pas de connaissances particulières en acoustique choisira la maison en bois qu'il estimera être meilleure de 13 dB par rapport à la maison correspondante en béton. Cependant, en prenant en compte les aspects perceptifs, on aboutit à des conclusions diamétralement opposées! Si l'on considère les basses fréquences, la différence, en faveur du béton, est de 28 dB à 50 Hz. L'utilisation de courbes de référence alternatives, basées sur des valeurs adéquates ([2] et [3]), permettrait au consommateur d'être conscient du fait que la structure légère est acoustiquement pire que la structure en béton, non seulement subjectivement mais aussi objectivement (voir la table 1). Au lieu d'être meilleure de 13 dB, elle devient pire de 7 dB, ce qui représente une différence de 20 dB.

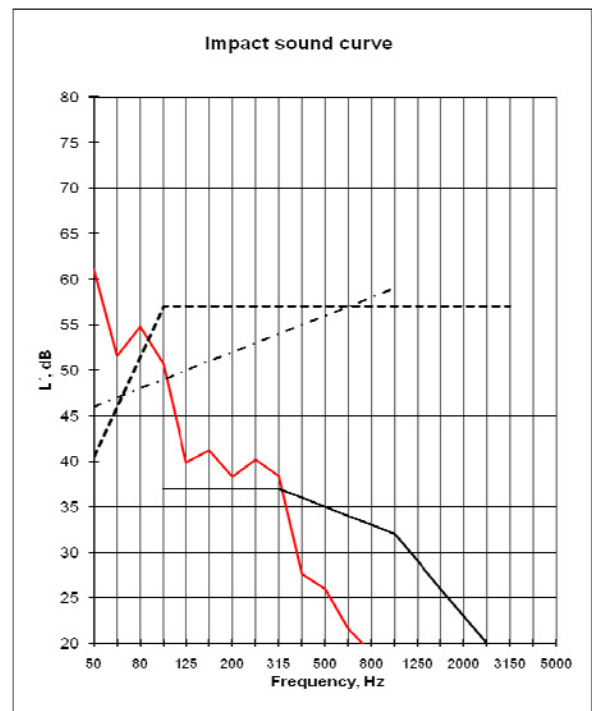


Figure 1(a) : Exemple de mesure réelle : Structure en bois, répondant aux normes de classe "A", mais objet de plaintes de la part des habitants.

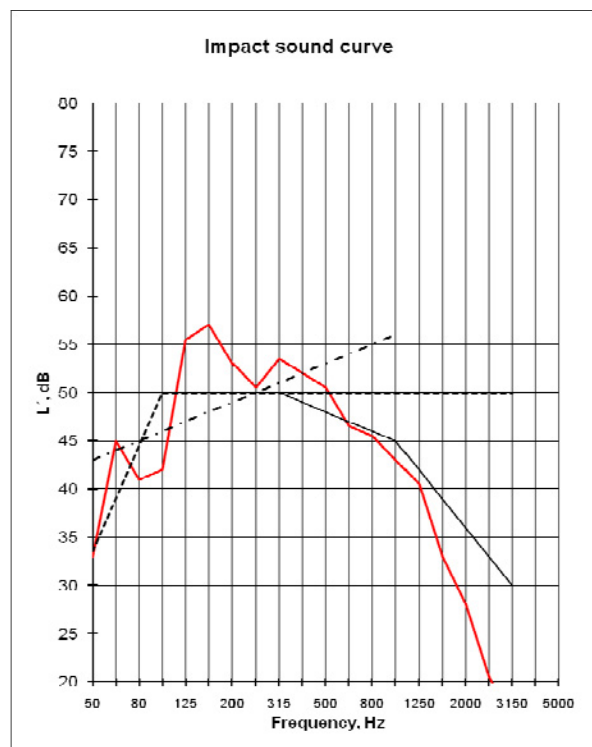


Figure 1(b) : Exemple de mesure réelle : Structure en béton homogène répondant aux mêmes normes, mais presque considérée comme étant « trop calme ».

Néanmoins, la construction légère pourra toujours remplir la condition minimale [3] :

$$L_B \leq 62 \text{ dB} \quad (6)$$

$$L_{new} \leq 61 \text{ dB} \quad (7)$$

Toutefois, en cas de gênes à très basse fréquence, même ces valeurs ne sont pas assez sévères. Si elles sont utilisées en plus des valeurs ISO et si la courbe mesurée est étudiée en parallèle, elles donnent au moins une indication qu'il existe un problème de bruit en basses fréquences dont il faut tenir compte [4].

Indices	Bois [dB]	Béton [dB]
$L'_{n,w}$	35	48
$L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$	48	48
L_B	56	53
L_{new}	57	50

Table 1 : De nouvelles valeurs d'indices pourraient contribuer à éviter des erreurs de conception, en vue de promouvoir un développement sain de nouveaux systèmes de construction à base de structures légères.

Bien sûr, il existe certaines constructions qui se situent entre ces deux cas extrêmes présentés sur la figure 1. Actuellement, l'utilisation du standard ISO 717 et de son terme d'adaptation aux basses fréquences et son adaptation aux différentes structures est décrite très grossièrement par la figure 2.

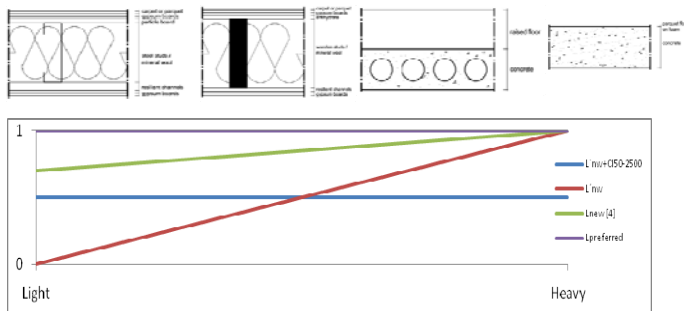


Figure 2 : Une tentative pour décrire l'adaptation de différentes valeurs particulières pour différents types de construction, appliqués à des "logements normaux", à savoir les bâtiments résidentiels familiaux multi-étages. Sur l'échelle verticale 0 représente une adaptation nulle et 1 représente une adaptation parfaite à la construction.

L'indice $L'_{n,w}$ ne fonctionne pas du tout pour les constructions légères (0 sur l'échelle verticale), mais est tout à fait acceptable pour des constructions lourdes homogènes (1 sur l'échelle verticale). En ajoutant le terme d'adaptation aux basses fréquences du spectre, on améliore l'adaptation aux constructions légères, mais on détériore les conditions pour les constructions lourdes dans les hautes fréquences. En utilisant les valeurs spécifiques proposées dans [3], on s'approche d'une solution qui serait adéquate pour toute construction, mais elle n'est toujours pas totalement applicable aux constructions légères. Les bruits à basses fréquences et les vibrations déterminent la sensation de gêne réellement ressentie. Toutefois, il est important de

prendre en considération le fait que les valeurs spécifiques proposées dans [2, 3] ne sont valables que pour les bâtiments historiquement appelés "logements normaux", ce qui constitue encore une autre lacune. Afin d'optimiser ces valeurs pour chaque type de bâtiment résidentiel, les critères doivent toujours être adaptés non seulement à de nouvelles constructions, mais aussi aux nouvelles habitudes, générales ou particulières, de la vie moderne.

Il existe un certain nombre d'avantages à poursuivre le développement de structures légères. Leur haut degré de préfabrication et la courte durée de la construction sur site, ajoutés aux avantages d'une méthode de construction « sèche », leur assureront sans aucun doute un avenir positif dans le contexte du développement de l'industrie du bâtiment en général. Celle-ci utilise traditionnellement des méthodes de production anciennes et n'a pas été très intéressée par le développement de la recherche. Par conséquent, ce développement pourrait être profitable d'un point de vue économique et qualitatif, et accroître la sécurité lors de la construction, par exemple en minimisant les dégâts dus à l'humidité. En outre, du fait de la production des éléments en usine, les déchets matériels sont moindres et la sécurité est accrue pour les travailleurs. Qui plus est, l'utilisation du bois, matière première renouvelable, est une démarche écologique. Malgré ces avantages certains, il ne faut pas perdre de vue que le comportement acoustique d'une structure légère n'est pas du tout similaires à celui des structures lourdes.

La promotion de l'utilisation de structures légères dans les bâtiments résidentiels à l'avenir demande une implication plus importante dans la recherche et une adaptation des exigences réglementaires aux différents types de logement. Cela facilitera le développement de systèmes à structures légères compétitifs, adaptés aussi aux habitations à plusieurs étages, qui n'ont pas les mêmes exigences que les "logements normaux" vers lesquels la recherche antérieure a été dirigée.

3 Développements – Besoins

Le but de cet article est de montrer qu'il existe un besoin immédiat de réexaminer les principes d'évaluation pour l'isolation acoustique des immeubles résidentiels à multiples étages. Lorsque de nouvelles structures de bâtiments sont mises au point, l'accent doit être porté sur des valeurs spécifiques et/ou des principes d'évaluation adaptés aux bruits à basses fréquences et aux vibrations, tout en prenant garde aux potentiels problèmes à hautes fréquences, naturellement. Les besoins principaux de développement sont résumés ci-dessous par ordre de priorité. Ce résumé est important car il permet d'examiner des moyens de contrôle adéquats pour l'industrie de la construction légère et de renforcer sa compétitivité de manière générale, mais aussi pour consolider sa position par rapport à l'industrie de la construction lourde traditionnelle (béton). Les points dont il est fait mention ci-dessous sont également importants pour la société au sens large, afin de garantir la satisfaction de l'exigence "Protection contre le bruit" de la Directive Européenne de Production de la Construction (DEPC) pour les bâtiments basés sur des structures légères.

1. Établir des critères adéquats pour l'évaluation de l'isolation acoustique vis-à-vis du bruit d'impact, de manière à définir des classes acoustiques A, B ou C raisonnablement comparables aux classes des structures lourdes :
 - Prendre en considération les différents types d'hébergement,
 - Faire le lien avec les besoins de l'isolation vis-à-vis du bruit aérien (optimisation),
 - Prendre la source d'énergie en considération (machine à impact ou autres sources).
2. Etablir, pour les vibrations un lien entre les critères définis et les nuisances telles qu'elles sont ressenties ou établir des critères distincts. Comment les vibrations affectent-elles l'évaluation du son (y compris les bruits de machines domestiques, transmis au travers des structures légères) ?
 - La gêne occasionnée est-elle dépendante des matériaux utilisés pour les structures ?
 - Prendre en compte les sources de bruit courant dans les maisons d'habitation (par exemple les machines à laver, bain à bulles, etc).
3. Étudier les effets à long terme concernant les diverses méthodes de réduction des transmissions latérales :
 - Tenir compte des caractéristiques du matériau intercalé pour minimiser les transmissions latérales et les effets d'ancrage du vent et leur influence sur l'isolation acoustique dans le temps. Ceci est important pour minimiser les risques de détérioration de l'isolation acoustique.
4. Faciliter le commerce et l'export de systèmes à structure légère dans la construction grâce à une harmonisation accrue des règlements, ce qui est favorable aussi pour les structures lourdes (pour le long terme, le point 5 est également très important) :
 - Dans les pays nordiques,
 - Au sein de l'Europe,
 - Sur le marché international.
5. Développer des méthodes de calcul avec marge de sécurité bien déterminées, qui pourraient être appliquées sur des structures légères. Pour ce faire, une meilleure connaissance des points suivants est nécessaire :
 - Constructions légères et leurs caractéristiques anisotropes,
 - Diverses articulations et leur comportement, notamment vis-à-vis des transmissions latérales.

4 Discussion

La principale raison de cet ordre de priorité est de mettre en place des moyens de contrôle adaptés au développement des structures légères (planchers) qui deviendront

compétitives du point de vue des bruits d'impact et des vibrations. Il s'agit non seulement de consolider la position des structures légères par rapport à la construction lourde, mais aussi de minimiser les risques que des investissements effectués aujourd'hui se révèlent problématiques dans le futur. L'isolation acoustique dans les structures légères est en principe complètement contrôlée par les niveaux sonores dans les bandes de fréquences les plus basses tandis que l'isolation acoustique des structures lourdes ne présente pas ce déséquilibre. Tant que l'isolation acoustique pour une certaine classe de bruit est perçue qualitativement comme étant moins bonne pour les structures légères, bien qu'elle soit objectivement similaire à celle des structures lourdes, il existe un désavantage évident pour l'industrie des structures légères et un risque futur pour la société. Aujourd'hui, le danger de commettre de graves erreurs est tout simplement trop élevé. Il y a une pénurie latente de réglementation et de normes appropriées.

Avec des moyens de contrôle adéquats, des structures légères pourraient être développées de manière à ce qu'elles soient perçues objectivement de la même manière que des structures lourdes. Les démarches doivent être initiées dès à présent, au risque d'aller trop loin dans le mauvais sens, créant des effets négatifs pour les constructions légères à un stade ultérieur de développement. Il existe des réalisations exemplaires en matière de construction légère, constituant des modèles de bonnes pratiques. Néanmoins, quelques constructions de qualité médiocre pourraient ternir de manière progressive et durable la réputation des structures légères. Ce sont les représentants de l'industrie en charge de l'aspect acoustique qui expriment en principe le besoin de réévaluer régulièrement les principes d'évaluation inappropriés. Il se peut que leurs solutions soient pénalisées par un coût et une complexité accrus par rapport à une approche minimaliste, se contentant du respect des exigences minimales. Par conséquent, si les principes d'évaluation actuel restent inchangés l'ensemble du secteur pourrait souffrir de mauvaise réputation à l'avenir, engendrée par ceux qui travaillent avec une vision à court terme.

Une mauvaise isolation acoustique à basses fréquences est la cause de bruit et de vibrations à basses fréquences, et spécifiquement dans les bâtiments à base de structures légères. Une fois le seuil de perception dépassé, une très faible augmentation du niveau de bruit ou de vibration se traduit par une augmentation significative des nuisances. De manière générale, on considère qu'une différence de 8 à 10 dB est perçue comme un doublement du niveau de bruit. Ce modèle n'est plus valable à des fréquences très basses, de telle sorte qu'une différence de 3 à 4 dB suffit à doubler l'effet perçu. Outre cela, il y a encore un certain nombre de facteurs supplémentaires à prendre en compte pour les niveaux sonores à des fréquences très basses.

Les vibrations sont un problème très rare dans les structures lourdes et ne sont en principe pas considérées lors de l'étude des activités courantes dans un logement. Toutefois, des secousses se font régulièrement ressentir dans le cas de structures légères, provoquant tremblements de vitrines, etc. Une personne qui marche, un enfant qui saute, un bain à bulles ou à une machine à laver peuvent occasionner une combinaison de vibrations et de bruits à basses fréquences qui peuvent se révéler gênants. Quelques

études sur la perception des vibrations existent. Cependant, l'influence qu'exercent la combinaison de vibrations et de bruit d'impacts à basses fréquences sur le ressenti des habitants reste un domaine inconnu et inexploré.

L'industrie moderne des structures légères souffre d'un autre désavantage. Les systèmes de construction couramment utilisés sont élaborés comme des systèmes complets, composés d'un assemblage d'éléments plans (murs, structures de sol) et de volumes, qui s'accordent selon la législation en vigueur dans le pays considéré. Il n'est pas possible de remplacer simplement des éléments individuels car les systèmes sont complexes et la norme européenne EN 12354 n'est pas applicable. Les calculs ne peuvent en conséquence être réalisés avec la même précision que pour les structures lourdes. Par conséquent, un système de structure légère adapté à un pays donné exige de nouvelles adaptations pour devenir compétitif dans un autre pays. Ces adaptations ne peuvent pas se faire sans de nombreux tests, nécessitant peut-être des bâtiments d'essai de différentes sortes. Le seuil à franchir pour pénétrer de nouveaux marchés devient énorme. Par conséquent, la nécessité immédiate d'une législation plus équilibrée et de principes d'évaluation adaptés devient pressante.

5 Conclusion

Actuellement, il y a une excellente occasion de participer à l'élaboration de principes d'évaluation de la nouvelle norme. Il a été décidé que la norme d'évaluation ISO 717 devrait être révisée. Toute activité de recherche dans ce domaine produirait rapidement des retombées industrielles positives. Dans le contexte de la collaboration avec l'action COST de l'UE FP0702 pour les bâtiments en bois: "*Net-Acoustics for Timber based Lightweight Buildings and Elements (TBLB)*", des effets de synergie sont espérés et attendus. En outre, il existe encore une autre action COST TU0901 visant à harmoniser les réglementations en général: "*Integrating and Harmonizing Sound Insulation Aspects in Sustainable Urban Housing Constructions*".

Remerciements

Tous nos remerciements à "the Swedish Governmental Agency for Innovation Systems, VINNOVA", pour leur soutien financier qui a permis de réaliser cet état de l'art des besoins industriels en 2009.

Références

- [1] Rasmussen B. and Rindel J.H., "Concepts for evaluation of sound insulation of dwellings – From chaos to consensus?", in *Proceedings of Forum Acousticum* 2005.
- [2] Bodlund K., "Alternative reference curve for the evaluation of impact sound between dwellings", *Journal of Sound and Vibration* 102 (3), pp. 381-402 (1985).

- [3] Hagberg K., "Evaluation of sound insulation in the field", *Engineering Acoustics, LTH*, TVBA-3127 (2005)
- [4] Hagberg K., Simmons C., "New acoustic handbook connected to the Swedish building code and current legislation", in *proceedings from Internoise* 2008.
- [5] SP Träteknik, "Acoustics in wooden buildings – state of the art 2008", *Vinnova project 2007-01653*, SP report 2008:16 (2008).