

Prévision du rayonnement vibro-acoustique des structures bois voisines d'infrastructures ferroviaires

Thomas Toulemonde
IMPEDANCE SAS
33, rue Godot de Mauroy
75009 Paris
Tél. : 01 53 30 04 80
E-mail : thomas.toulemonde@impedance.fr



La construction d'un bâtiment à proximité d'une voie ferrée existante, qu'elle soit en surface ou souterraine, nécessite une étude de **propagation vibratoire**, complétée d'une évaluation du **bruit généré par le rayonnement vibro-acoustique des parois** des futurs locaux. Cette étude doit couvrir tout ou partie du processus de propagation ci-dessous, la mesure des vibrations au sol ou sur une structure existante constituant généralement le point d'entrée.

Les vibrations transmises par le sol dépendent du type d'excitation. C'est pourquoi, nous proposons d'examiner préalablement les caractéristiques des vibrations d'origine ferroviaire.

La particularité des bâtiments à structure bois repose sur la propagation des vibrations dans la structure du bâtiment et, bien entendu, sur le rayonnement vibro-acoustique des surfaces du local.

Si comparé à un édifice en maçonnerie « lourde » de même hauteur, un bâtiment en bois possède différents types de fondations, la nature de l'assise de celles-ci ne diffère pas fondamentalement. Un grand nombre de bâtiments en bois reposent sur des fondations en béton (pieux, longrines, semelles isolées...) et sur une infrastructure (dallage, étages en sous-sol, voire rez-de-chaussée) de même nature. Enfin, le niveau de pression acoustique effectif dépend de l'intensité acoustique rayonnée par les parois ainsi que du comportement acoustique interne du local. Quel que soit le procédé constructif adopté, il convient alors de considérer, dans les chambres et les pièces de vie de dimensions courantes, le comportement modal à basses fréquences de ces espaces.

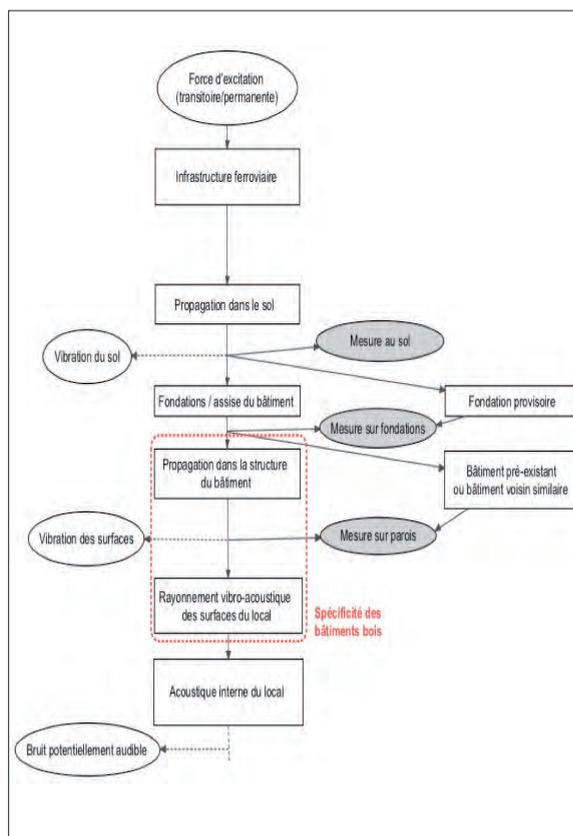


Fig. 1 : Propagation des vibrations ferroviaires et bruit régénéré

Caractéristiques des vibrations d'origine ferroviaire

Selon la norme NF S 31-088 [1] : « Par comparaison au trafic routier (...), le trafic ferroviaire ou assimilé présente les spécificités suivantes dont il est tenu compte dans la présente norme :

- un guidage par contact dans une emprise restreinte en site propre ;
- des catégories peu nombreuses de matériels roulants ;
- une exploitation cadencée périodique avec un nombre d'événements déterminé ;
- une gamme de vitesses spécifiques à chaque matériel et à chaque point d'observation. »

Par conséquent, les vibrations engendrées en un point donné par ce type de trafic présentent un certain nombre de caractéristiques spécifiques :

- des événements partiellement transitoires, ou partiellement continus,
- une durée pour chaque passage : de quelques secondes (métro, tramway) à quelques dizaines de secondes (train de voyageur ou de fret),
- une relative répétabilité d'un passage à l'autre, les variations étant dues à divers paramètres : vitesse des convois, usure des roues (redessinées lors des opérations de maintenance périodiques), taux de chargement, etc.
- des caractéristiques stables à moyen terme (quelques années) et variables à long terme (vieillesse ou, au contraire, renouvellement de l'infrastructure ou du matériel roulant).

Les **spectres de vitesse vibratoire** observés sur ce type d'infrastructures se concentrent dans la gamme 20 Hz – 100 Hz, avec un maximum généralement situé entre 25 Hz et 63 Hz :

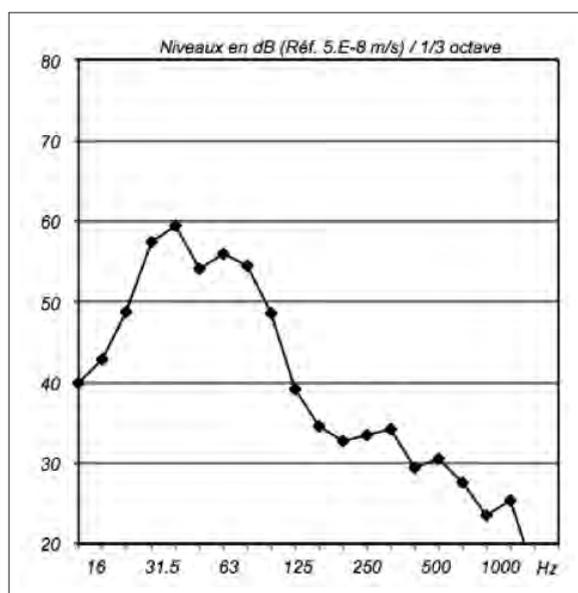


Fig. 2 : Exemple de spectre de vitesse vibratoire d'origine ferroviaire

Comportement de la structure du bâtiment

La filière constructive bois se présente aujourd'hui sous plusieurs formes, dont deux principales dans les régions tempérées :

- Les bâtiments à ossature bois dite traditionnelle

Il s'agit de structures porteuses poteaux-poutres bois supportant des panneaux et des planchers composites : ossature bois, remplissage, parements.

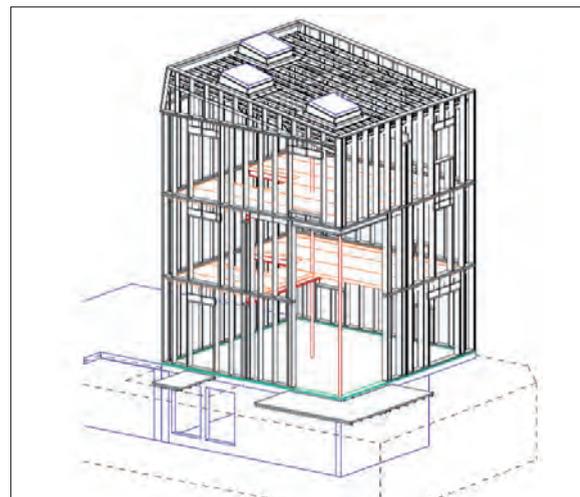


Fig. 3 : Ossature bois dite traditionnelle (doc. B.E. TradiCAD, arch. : FBG)

Une ossature bois traditionnelle possède une ossature primaire (poteaux et poutres) qui transmet les sollicitations vibratoires dans l'ensemble du bâtiment, souvent sans atténuation. On peut même observer une amplification des vibrations sur toutes les hauteurs d'étage, due aux modes de flexion des poteaux en bois.

- Les bâtiments à murs porteurs et planchers en bois massif ou CLT (cross-laminated timber) ou panneaux en bois lamellé-croisé.



Fig. 4 : Panneau de façade préfabriqué en CLT (doc. Stora Enso)

Les bâtiments à base de panneaux de bois massifs ou assemblés possèdent des caractéristiques similaires à celles des autres bâtiments avec murs porteurs. Les modes propres de flexion des planchers bois, d'une manière générale, occasionnent une amplification vibratoire non négligeable dans la gamme fréquentielle coïncidant avec les excitations ferroviaires. À titre indicatif, les fréquences propres prises pour hypothèse pour le dimensionnement de bâtiments à parois CLT sont les suivantes :
- 15 Hz environ pour les éléments verticaux,
- et de 6 à 8 Hz pour les planchers (similaire aux planchers béton).

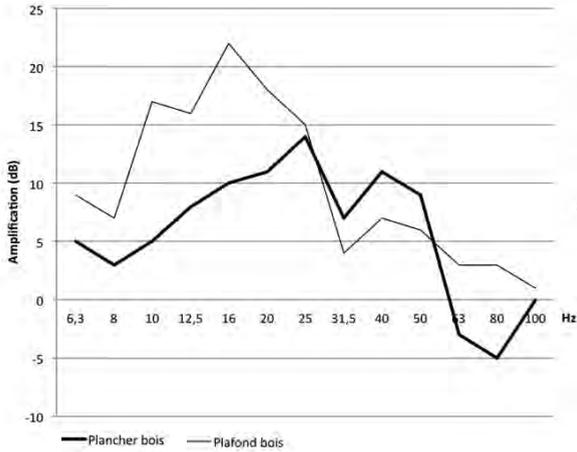


Fig. 5 : Exemple d'amplification vibratoire de plancher à ossature bois. Source : J. D'Avillez & al. [2]

Enfin, on notera que les **assemblages entre éléments structurels** jouent un rôle important dans la transmission des vibrations au travers de la structure. Mais comme le souligne P. Ropars [3], cet aspect capital pour la prévision des vibrations reste à ce jour très peu documenté.

Rayonnement vibro-acoustique

Les parois en bois les plus représentatives des filières constructives françaises sont composées de la manière suivante.

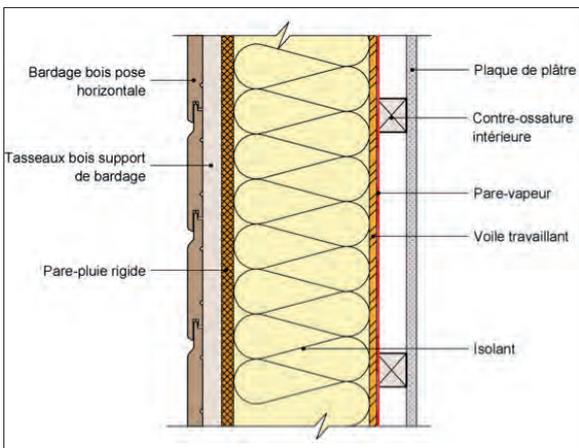


Fig. 6 : Principe de paroi verticale, ossature bois (Catalogue Bois Construction [4])

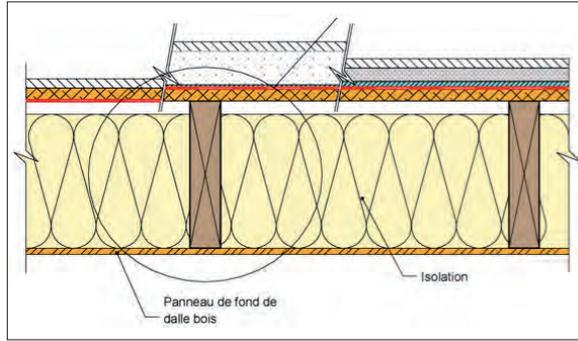


Fig. 7 : Principe de plancher, ossature bois (Catalogue Bois Construction [4])

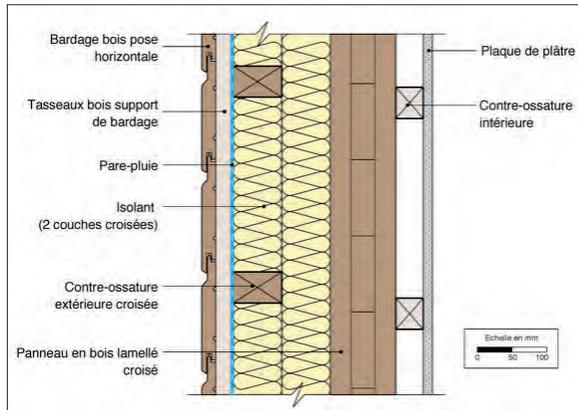


Fig. 8 : Principe de façade CLT (Catalogue Bois Construction [4])

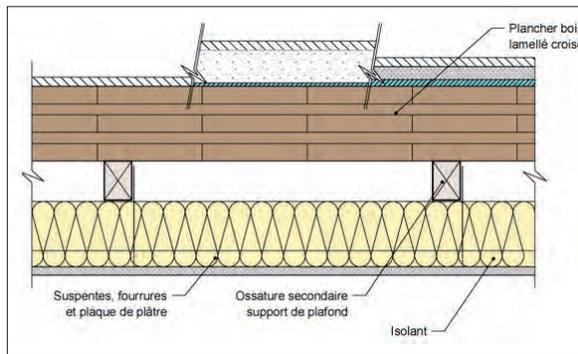


Fig. 9 : Principe de plancher de logement CLT (Catalogue Bois Construction [4])

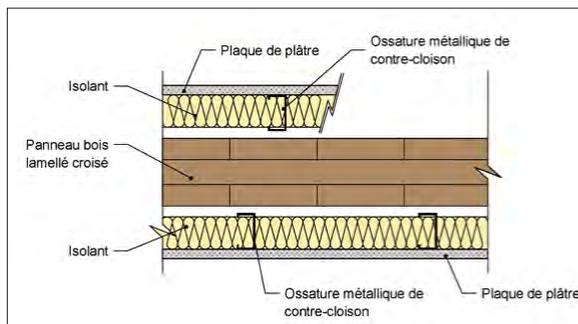


Fig. 10 : Principe de refend de logement CLT (Catalogue Bois Construction [4])

Le niveau d'intensité acoustique produit par rayonnement vibro-acoustique d'une paroi peut être estimé selon la formule suivante :

$$L_I = L_v + 10 \log (\sigma S_{ray.}) - \Delta R$$

Avec :

L_I = niveau d'intensité acoustique rayonné par la structure vibrante, exprimé en dB ;

L_v = niveau de vitesse vibratoire des parois du local, exprimé en dB réf. 5.10-8 m/s ;

σ = facteur de rayonnement de la paroi ;

$S_{ray.}$ = surface de la paroi rayonnante ;

ΔR = indice d'affaiblissement acoustique des habillages des surfaces rayonnantes.

Le **facteur de rayonnement** de chaque paroi doit être estimé. Si on assimile un plancher ou un mur en bois à une plaque d'épaisseur négligeable, encastrée sur deux côtés et rayonnant dans un fluide homogène de part et d'autre, alors ce paramètre dépend fortement de la fréquence critique (f_c) de la paroi considérée.

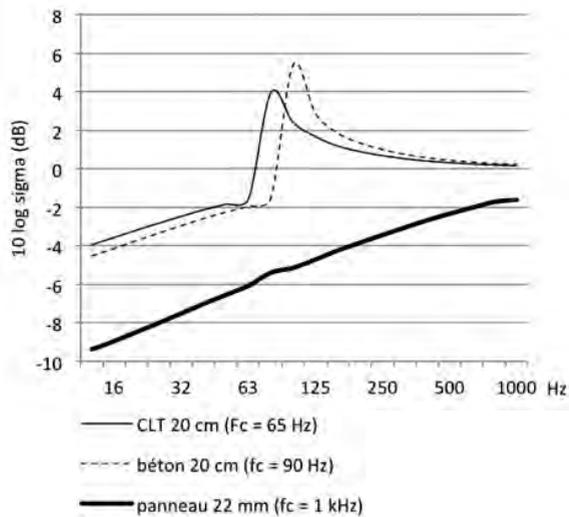


Fig. 11 : Rayonnement comparé des parois bois illustrées précédemment et d'un plancher béton

Le rayonnement des **parois en bois massif** apparaît globalement similaire à une paroi en béton d'épaisseur équivalente, tandis que les **panneaux d'habillage des parois à ossature bois**, nettement plus minces, rayonnent nettement moins dans le domaine fréquentiel affecté par les vibrations d'origine ferroviaire.

Les parois bois n'étant que rarement laissées apparentes, du moins dans les locaux d'habitation ou de bureaux, leur habillage doit être pris en compte. Celui-ci agit à la fois comme doublage, doté d'un indice d'amélioration (ΔR) du bruit aérien généré par le rayonnement vibro-acoustique de la paroi support, et comme source de rayonnement secondaire, possédant sa propre fréquence critique. On notera :

- **les doublages à base de plaques de plâtre** en façade, en cloisonnement intérieur ainsi qu'en sous planchers qui ont un effet positif sur le rayonnement vibro-acoustique de la paroi. Cet effet est d'autant meilleur que le doublage possède sa propre ossature, désolidarisée du support, ce qui est le cas pour les parois verticales en CLT. De plus, leur rayonnement propre est faible (cf. figure 11) ;

- **les chapes flottantes** utilisées pour alourdir les planchers et assurer le traitement des bruits de choc qui constituent également un élément positif : rayonnement relativement faible, amélioration au bruit aérien. Toutefois, la fréquence de résonance du complexe chape + sous-couche (40 Hz dans le cas présenté fig. 12) coïncide souvent avec les fréquences d'excitation prépondérantes des sollicitations ferroviaires : ces chapes sont donc susceptibles, dans ce registre fréquentiel, d'amplifier le bruit produit par rayonnement vibro-acoustique.

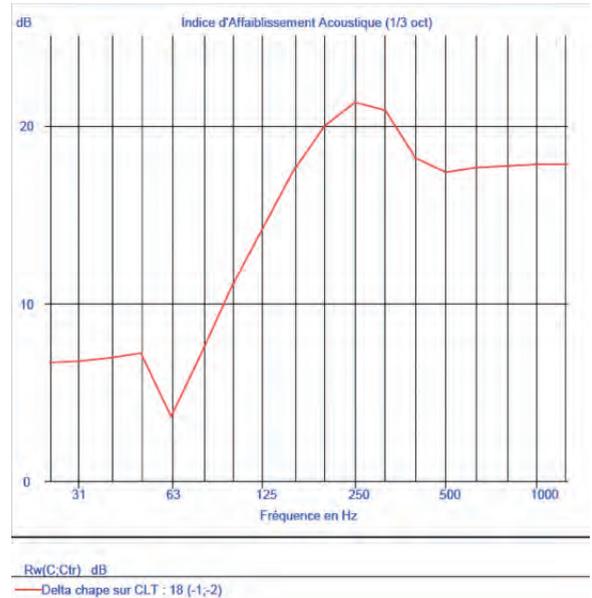


Fig. 12 : Amélioration acoustique d'une chape flottante en béton de 60 mm sur résilient en laine minérale de 15 mm, support : plancher CLT (calcul AcousSTIFF)

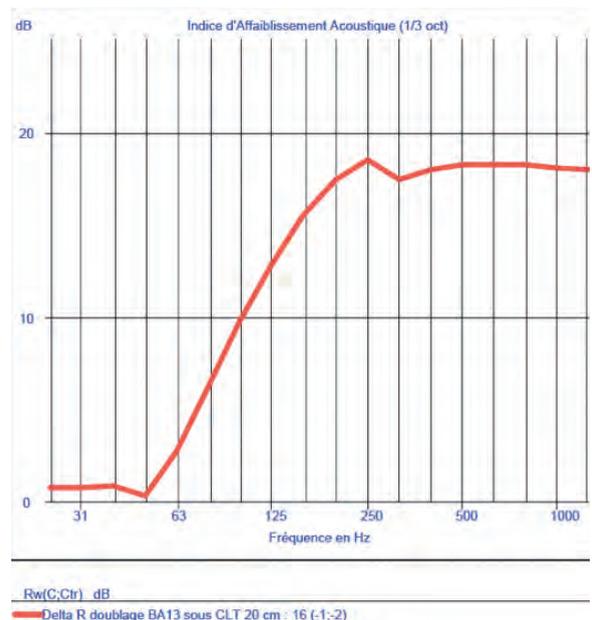


Fig. 13 : Amélioration acoustique d'un plafond BA13 + laine sur suspentes antivibratiles, sous plancher CLT (calcul AcousSTIFF)

Conclusion

Le comportement des bâtiments à structures bois soumis à une excitation vibratoire d'origine ferroviaire dépend naturellement du principe constructif retenu.

S'il fallait établir un parallèle avec les bâtiments à structure maçonnée « lourde », faisant l'objet d'un retour d'expérience plus significatif en France, nous pourrions distinguer certains aspects favorables au confort dans les bâtiments en bois : déperditions potentiellement importantes aux assemblages, facteur de rayonnement moindre dans le cas des ossatures bois, présence quasi-systématique de procédés d'habillages de la structure porteuse apportant une atténuation du bruit rayonné dans les locaux de réception, sauf aux très basses fréquences.

A contrario, ces édifices par essence modulaires et légers peuvent présenter des caractéristiques vibratoires défavorables : moins bonne dispersion, voire amplification des vibrations de la base vers le sommet, planchers présentant des modes de flexion défavorables, par exemple. Le comportement vibratoire global des différents types de structures bois manque globalement de documentation concernant ces aspects. De plus, les bâtiments bois récents construits à proximité des voies ferrées sont encore peu nombreux, limitant le corpus de résultats basés sur des investigations in situ. La filière étant actuellement en forte progression, ces connaissances manquantes devraient être étayées dans un futur proche.

Références bibliographiques

[1] NFS 31-088 : Acoustique - Mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation, Afnor, 1996

[2] J. D'aveillez, M. Frost, S. Cawser, A. El-Hamalawi, P. Fleming, P. Shields, C. Skinner, Issues and limitations on measuring building's transfer function, 15th International conference on experimental mechanics, Porto (Portugal), 2012

[3] P. Ropars, Modélisation des vibrations d'origine ferroviaire transmises aux bâtiments par le sol, Thèse de doctorat, Université Paris Est, MSME, FRE 3160 CNRS/DAE, CSTB, Grenoble, 2011

[4] Catalogue Bois Construction, FCBA, 2014