

CFA/VISHNO 2016

Bruit et Vibrations Basses Fréquences dans les bâtiments : Quelques difficultés

M. Asselineau

PEUTZ & Associés, 10 B rue des Messageries, 75010 Paris, France
m.asselineau@peutz.fr



LE MANS

Le bruit basses fréquences et les vibrations dans les bâtiments offrent de réels challenges aux praticiens : le diagnostic d'un site avant travaux afin de déceler d'éventuelles sources d'excitation solidiennes se heurte souvent à un manque de données concernant les sols et la localisation des réseaux. Les sources d'excitation aériennes sont souvent difficiles à appréhender du fait de leur directivité souvent inexistante. La caractérisation du couplage entre le sol et les fondations n'est pas toujours facile. Enfin, la caractérisation de la propagation dans les structures d'un bâtiment se heurte là encore à des difficultés souvent liées à la méconnaissance de leur structure. Les coefficients de couplage entre les divers éléments structurels ne sont pas toujours connus. La prévision du bruit basses fréquences rayonné à l'intérieur des espaces d'un bâtiment peut se heurter à une absence d'information sur la phase, et l'utilisation de modèles simplifiés peut parfois mener à des conclusions erronées. Le choix se pose : utiliser des modèles complexes, souvent hors budget, pour aboutir à un résultat après des délais de modélisation et de calcul conséquents, ou opter pour des modèles simplifiés, beaucoup plus rapides et économiques mais pas toujours capables de réellement répondre au problème posé.

1 Introduction

Le bruit basses fréquences et les vibrations dans les bâtiments offrent de réels challenges aux équipes de Maîtrise d'œuvre : tout d'abord le diagnostic d'un site avant travaux, en vue de déceler d'éventuelles sources d'excitation solidiennes, se heurte souvent à un manque de données concernant les sols ; par ailleurs la localisation des réseaux qui infestent bien souvent les sols en milieu urbain et périurbain, est souvent imprécise voire inexistante. Ensuite, les sources d'excitation aériennes sont souvent difficiles à appréhender du fait de leur directivité souvent faible voire inexistante, et de leur propagation affectée par les effets météorologiques. Puis, la caractérisation du couplage entre le sol et les fondations n'est pas toujours facile. Enfin, la caractérisation de la propagation dans les structures d'un bâtiment se heurte là encore à des difficultés souvent liées à la méconnaissance de leur structure (et ce plus particulièrement dans le bâti ancien). Les coefficients de couplage entre les divers éléments structurels sont encore loin de figurer dans toutes les bases de données.

La prévision du bruit basses fréquences rayonné à l'intérieur des espaces d'un bâtiment peut se heurter à une absence d'information sur la phase, et l'utilisation de modèles simplifiés peut parfois mener à des conclusions erronées. Le choix se pose : utiliser des modèles complexes, souvent hors budget, pour aboutir à un résultat après des délais de modélisation et de calcul conséquents (à telle enseigne qu'il n'est parfois pas possible de répondre efficacement dans un délai compatible avec le planning de construction), ou opter pour des modèles simplifiés, beaucoup plus rapides et économiques mais pas toujours capables de réellement répondre au problème posé.

Après un bref exposé de la situation, le présent papier se propose d'examiner quelques exemples de problèmes qui se posent en ingénierie acoustique et quelques façons de les aborder.

2 Bruit et vibrations en basses fréquences

Par « basses fréquences », on s'intéresse au domaine fréquentiel en deçà de 125 Hz. Il y a donc deux sous domaines, correspondant respectivement aux infrasons (0-20 Hz) et aux basses du domaine audible (20 – 125 Hz).

Le bruit et les vibrations en basses fréquences constituent souvent un cauchemar pour les acousticiens, du fait des nombreuses complications qu'ils impliquent. Outre les difficultés météorologiques, la réglementation est souvent limitée sur de tels sujets, et son interprétation peut donner

lieu à de nombreux débats – ce qui est certes passionnant pour les experts mais désarçonnant pour les victimes. Enfin, il n'y a généralement pas de critère établi pour caractériser la gêne, même si statistiquement celle-ci apparaît dès le seuil d'audition en basses fréquences.

2.1 Quelques origines

Rappelons tout d'abord que la sensation auditive liée à l'émission de bruit du fait de vibrations dans la structure d'un bâtiment apparaît bien avant une quelconque sensation tactile.

Que peut-il se passer ? Par exemple, des vibrations peuvent être générées dans la plate-forme de voie d'une ligne ferroviaire, puis transmises au terrain environnant avant d'être propagées dans les fondations d'un bâtiment d'où elles migreront ensuite vers les divers étages (planchers et parois) de ce bâtiment. D'autres causes extérieures au bâtiment peuvent également être impliquées, par exemple les éoliennes ou les tirs de mine, certaines musiques amplifiées [1, 2].

Mais il peut également s'agir d'un équipement technique situé à un étage d'un bâtiment, dont les vibrations sont communiquées au plancher bas du local technique d'où elles se propagent ensuite dans les structures du bâtiment, y occasionnant du bruit voire des vibrations en basses fréquences. Il n'est pas forcément nécessaire d'avoir affaire à un gros équipement : par exemple un cas a été signalé dans lequel un ventilateur plafonnier mal équilibré générait du bruit en basses fréquences à l'étage au dessus, à telle enseigne que des ondes stationnaires s'établissaient dans la chambre à coucher [3] !

Enfin, il y a des cas où les planchers vibrent en basses fréquences sans pour autant générer de bruit audible. Si les deux planchers sont en phase, il n'y aura pas de sensation d'inconfort et seul un mesurage permettra de déceler un tel phénomène. En revanche, s'ils vibrent en opposition de phase, il en résulte une succession de compression et décompression dans la pièce qui peut se traduire par un sentiment de malaise.

Des phénomènes naturels peuvent être à l'origine de bruit en basses fréquences, par exemple, les orages, les grandes chutes d'eau, ou les avalanches [1]. Leur connotation négative contribue au sentiment de gêne.

Souvent le bruit incriminé est tonal, ce qui complique la détection : certaines personnes exposées à ce type de bruit le perçoivent voire se focalisent sur le problème, alors que d'autres ne parviennent pas à le percevoir (voir exemple 4.2 à ce sujet). Il peut être partiellement masqué par le bruit de fond du site où il se produit [1].

2.2 Un peu de métrologie

En acoustique « audible », la demi-longueur d'onde atteint 1,70 m à 100 Hz (qui pour mémoire constitue la limite basse du domaine fréquentiel en acoustique de bâtiment [4]), ce qui peut déjà donner lieu à quelques complications lors de mesurages dans de petits volumes. Mais à 63 Hz voire en deçà l'exercice devient plus que délicat : faut-il mesurer en quelques points choisis, ou s'abstenir ? Pour tout arranger, ce type de bruit n'étant pas directionnel, la recherche de la source sonore potentielle, par exemple à l'extérieur du bâtiment, est rarement simple (voir exemple 4.2 de cet article).

Dans ces conditions, la reproductibilité, voire même la répétabilité, des mesures, n'est pas acquise d'avance [1, 5] ! Cet état de fait a souvent induit les autorités compétentes à souvent ne pas retenir la potentialité de gêne en l'absence de preuve.

Il existe plusieurs procédures de mesure, dont un résumé a été donné par Oliva & al. [5]. La plupart font appel à plusieurs points de mesure, et certaines (par exemple [6, 7]) prennent un de ces points à l'emplacement indiqué par le plaignant. Bien souvent, d'autres points sont pris à proximité des coins de la pièce afin de maximiser la valeur des niveaux de pression acoustique relevés.

2.3 Un peu de modélisation ?

La modélisation peut avoir plusieurs utilités : tout d'abord elle permet d'aider à la compréhension des phénomènes mesurés (et en particulier à aider au choix des emplacements de mesure) [5] ; mais elle permet souvent d'identifier des facteurs aggravants tels que des natures d'enveloppe de locaux (épaisseur, constitution) voir des dimensions inadéquates. Enfin, elle permet d'aider au dimensionnement des ouvrages.

2.4 Quelques aspects réglementaires et normatifs

La plupart du temps, les aspects liés aux basses fréquences sont superbement ignorés par la réglementation, qu'il s'agisse de bruit ou de vibrations. En France, il n'existe à la date de rédaction de cet article qu'une circulaire relative aux vibrations émises par les installations classées dans leur environnement, destinée à limiter leur amplitude aux fins de protection des constructions [8]. Plus récemment, un inventaire des descripteurs et des principaux textes réglementaires et normatifs sur le sujet a été mené en Europe, par exemple par l'Afnor [9]. Enfin, une procédure de mesure a été proposée dans le projet NF S31-135 [2]. D'autres pays ont également proposé à l'usage de leurs concitoyens des guides adaptés [11].

Il est généralement considéré en Europe que l'incertitude sur le résultat de la mesure est trop importante pour permettre l'acceptation d'un mesurage dans le cas d'une expertise. Toutefois, la jurisprudence tend de plus en plus à accorder au plaignant [1, 10] l'existence de nuisances dues à des basses fréquences.

La pondération G a été introduite en 1995 par l'ISO [12] de manière à tenter d'harmoniser la prise en compte les infrasons. Néanmoins, l'expérience montre que dès que l'on descend en deçà du domaine fréquentiel usuel du bâtiment (100 – 5000 Hz), des problèmes métrologiques surviennent vite. Pour ne rien simplifier, peu de données sont disponibles concernant le comportement des matériaux en

basses fréquences, ce qui cause bien des soucis lorsqu'il s'agit de dimensionner une solution de réduction du bruit en basses fréquences. En France, le législateur a préféré prudemment laisser l'expert décider de la pertinence d'examiner ce domaine.

2.5 Un peu de subjectivité ?

L'expérience montre que, la plupart du temps, la gêne exprimée fait référence à un ressenti auditif dans le bas du spectre auditif, avec des cas à 16 Hz par exemple [1]. Les basses fréquences sont souvent associées à des phénomènes catastrophiques, et leur perception s'en ressent !

La bonne propagation à grande distance de ce type de signal, conjuguée à de possibles fortes fluctuations en fonction des conditions atmosphériques, contribue à complexifier la perception du bruit basses fréquences.

Une première constatation s'impose : les valeurs cibles ne sont pas harmonisées entre pays [5]. Les mesures risquent donc de susciter quelques débats.

Lorsqu'une impression subjective est exprimée par un plaignant, il est recommandable de réaliser un mesurage à l'emplacement qu'il a identifié comme potentiellement bruyant, et a contrario en un emplacement qu'il a identifié comme calme. Les recommandations Japonaises vont jusqu'à considérer une seule position de mesure correspondant au point indiqué par le plaignant [6]

2.6 Quelques critères

Pour les infrasons, qui sont ressentis comme gênants dès leur perception, il est recommandé [1] de fixer la limite au seuil de perception (ce qui correspond à 96 dB(G) et 96 dB à 10 Hz). Pour le domaine audio, il serait évidemment possible de prendre un critère similaire, mais ce serait économiquement pénalisant. Statistiquement, une valeur globale de 20 dB(A) sur les contributions du domaine fréquentiel compris entre 20 et 125 Hz apparaît adaptée [1].

Tenant compte du fait que les mesurages à l'intérieur des locaux sont délicats et pas toujours reproductibles, il peut être intéressant de fixer une valeur limite extérieure au bâtiment lorsque la source sonore considérée est à l'extérieur. Toutefois l'isolement de l'enveloppe du bâtiment doit être pris en compte. L'expérience montre que sa valeur n'excède généralement pas 10 dB dans le domaine des basses fréquences [5].

A la date de rédaction du présent article, seuls quatre pays (Suède, Danemark, Allemagne et Pologne) ont défini une limite de bruit en basses fréquences dans leur réglementation [1]. La Suède n'a toutefois pas fixé de limite en deçà de 31 Hz [1].

3 Une modélisation simplifiée

La modélisation peut prendre un temps important, ce qui n'est pas toujours possible dans des projets d'ingénierie tendus. Une modélisation simplifiée ne prétend pas apporter des réponses précises mais tardives, mais seulement à orienter les investigations, ne serait-ce qu'en excluant rapidement certaines pistes d'investigations.

Par exemple, un modèle a été développé au moyen d'une décomposition masse – ressort – masse des divers éléments (fondations – poteaux ou voiles et poutres ou dalles) d'un bâtiment [13]. Le recours à ce modèle permet tout d'abord de s'assurer de l'absence de fréquence de résonance proche de la fréquence d'excitation présente sur

le terrain. Il permet également d'appréhender le risque de trouver des planchers ou parois vibrant en phase et occasionnant alors un inconfort sérieux et un réel sentiment de malaise.

4 Quelques exemples

Les exemples ci-après illustrent le genre de situation auxquelles un acousticien peut être confronté.

4.1 Ventilateur

L'occupant d'un appartement de standing situé au 3^{ème} étage d'un immeuble récent a subitement eu à affronter une situation qu'il qualifiait de « insupportable à cause d'un drôle de bruit ». Un acousticien a été mandaté par le syndic et a constaté l'existence d'ondes stationnaires dans la chambre à coucher de 40 m² peu encombrée.

Le syndic était convaincu que l'origine du problème était à chercher dans le local technique de l'épicier au RdC. Cette explication apparaissait peu plausible à l'acousticien, qui a en outre remarqué en montant les escaliers qu'il lui semblait percevoir des vibrations seulement entre le deuxième et le troisième étage.

Il s'est finalement avéré que le voisin du 2^{ème} avait installé un ventilateur plafonnier mal équilibré [3] qui excitait le plancher haut de cet étage.

4.2 Pont ferroviaire

L'occupant d'un logement de fonction se plaignait d'un bruit en basses fréquences se produisant assez régulièrement, en journée et soirée, et a fait appel à un acousticien pour trouver l'origine du problème, en lui expliquant qu'il suspectait un ventilateur de l'institut mitoyen de son logement d'être à l'origine du trouble.

Lors de sa première visite, en journée, l'acousticien n'a pas pu identifier de bruit suspect, bien que le niveau de bruit ambiant de 35 dB(A) soit assez faible pour de l'habitat en zone urbaine. Le soir venu, un grondement apparaissait assez régulièrement dans le logement de fonction.

L'acousticien a donc organisé une campagne de mesurage comportant la mise en marche puis l'arrêt de chacun de ces ventilateurs, qui a permis de constater que le problème était dans la bande au tiers d'octave de 31 Hz, et que le niveau sonore était plus élevé à l'extérieur qu'à l'intérieur de son logement. Par contre il n'a pas pu identifier l'origine de ce bruit, qui n'apparaissait pas directif.

Quelques mois plus tard, un collègue effectuant des mesures sur une terrasse d'immeuble du quartier eut la surprise de voir – sans toutefois bien entendre – l'afficheur du spectre de son appareil indiquer une forte surcharge à 31 Hz. Le phénomène se répétait de manière quasi-régulière avec une périodicité de l'ordre de 3 minutes. En observant autour de lui il a pu identifier le métro sur son viaduc métallique.

4.3 Musique et Eglise

Générer des basses fréquences au moyen, par exemple, d'instruments électro-acoustiques, est courant. Les personnes ayant eu l'occasion de vivre près d'une rave party peuvent témoigner de l'ampleur des basses fréquences en pareil cas [14].

Mais bien avant l'irruption de la musique électro-acoustique, il existait déjà les orgues. Dans les grands

instruments, il existe généralement un tuyau de 32 pieds, générant du 16 Hz qui est à la limite du domaine audible mais qui permet toutefois, combiné à d'autres jeux, de construire de nombreux harmoniques [15].

Il y a même eu une utilisation dans un spectacle profane : en 1935 le physicien Robert Wood fut chargé par un de ses amis metteur en scène de lui trouver un dispositif générant du bruit en basses fréquences. Wood opta pour un très long tuyau, et quand le dispositif fut essayé, les vitres tremblèrent, les personnes présentes se sentirent mal, et l'utilisation prit aussitôt fin [3].

4.4 Avion

Certains avions peuvent avoir un spectre plus riche que d'autres en basse fréquences. Par exemple, le Concorde avait un spectre particulièrement riche en basses fréquences qui permettait de le repérer de loin.

Nul doute qu'une large flotte d'appareils de ce genre eut été mal vécue par les riverains des aéroports concernés. Cependant, G. Lilley, qui dirigeait l'équipe technique répondant aux objections américaines sur le bruit de ce type d'appareil, rapportait que lors des investigations préliminaires à l'autorisation d'exploitation au départ de Heathrow, alors que l'enquête était pratiquement bouclée lorsqu'un s'avisait de la présence d'une vieille résidente vivant à proximité du seuil de piste. L'affaire était délicate, car un commentaire très négatif de la vieille dame aurait encore pu retarder la sortie de l'autorisation tant convoitée. L'investigateur se vit accueillir froidement, et eut droit à moult commentaires défavorables sur le bruit de tous ces avions modernes. Mais à sa stupéfaction, quand le sujet du Concorde fut abordé la vieille dame ne tarit pas d'éloges : « une impression de puissance, un son à vous couper le souffle, une facilité à l'identifier... Je ne rate jamais une seule de ses évolutions ».

4.5 Cinéma

Il est loin le temps où la « sonorisation » d'une salle de cinéma se limitait à un malheureux piano installé à proximité de l'écran de projection. L'électro-acoustique a fait son apparition et graduellement la bande passante s'est élargie, pendant que les niveaux sonores augmentaient. De nos jours, il est courant de pouvoir générer 105 dB(C) pour certaines séquences. Certains films peuvent descendre dans les basses fréquences et les voisins peuvent en découvrir certains effets. A cet égard, le film Tremblement de Terre [16] reste une des références en la matière, et plus d'un cinéma a eu la visite de voisins effrayés par les grondements et les vibrations qu'occasionnait la bande son. Les exploitants n'étaient pas forcément en reste, certains d'entre eux ayant fait part de désordres tels que des tuiles déplacées !

4.6 Equipement lourd

Une firme fabricant des objets de luxe possédait, à côté de son magasin implanté en centre ville dans un immeuble ancien, des bureaux et des ateliers. Cet ensemble avait bien fonctionné pendant des années sans la moindre réaction de la part des riverains ou du personnel.

Cependant, la modernisation de l'outil de production a conduit à remplacer les traditionnels petits massicots par une presse à découper dont le plateau faisait une tonne et se déplaçait pour venir sous la lame. Une petite structure de renfort a été montée sous le plancher concerné et les

premiers essais ont aussitôt commencé. L'effet a été immédiat : le personnel de l'immeuble, tout comme les occupants des immeubles riverains, ont prestement évacué les lieux en étant sous l'impression que les bâtiments allaient s'effondrer !

Les mesurages vibratoires aussitôt demandés ont heureusement rapidement conclu à une absence de risque structurel. Néanmoins, la réaction du personnel et des riverains avait été telle que le maintien de cet équipement dans l'immeuble a été jugé impossible, même avec une amélioration du découplage vibratoire.

4.7 Cheminée

Une copropriété en zone urbaine fit refaire, en augmentant sa puissance, son installation de chauffage, qui comportait une chaudière dans un local technique en sous-sol et une gaine technique traversant les appartements. A cette occasion, un ventilateur de tirage fut installé et le conduit de fumée fut rectifié.

A l'issue des travaux, des voisins se plaignirent : le bruit de l'installation dans l'environnement leur était devenu insupportable malgré la présence d'un bruyant boulevard urbain non loin de là. Mais certains occupants de l'immeuble se déclarèrent eux aussi gênés, et ce du fait d'un bruit à l'intérieur du bâtiment. Leur témoignage fut aussitôt contesté par d'autres copropriétaires qui affirmaient ne rien entendre.

L'acousticien appelé sur les lieux découvrit que la fréquence d'excitation du ventilateur était proche de celle du conduit de fumée, ce qui tendait à maximiser la puissance acoustique rayonnée dans l'environnement. Et compte tenu de la grande longueur du conduit, des nœuds et des ventres étaient discernables à proximité du conduit. L'affaire fut réglée par un changement de la vitesse du ventilateur et la pose d'un silencieux quart d'onde.

5 Conclusion

La prise en compte du bruit et des vibrations basses fréquences est complexe : il n'y a pas toujours de texte réglementaire applicable pour de telles situations, la métrologie correspondante est souvent délicate et pas toujours supportée par une norme-guide,

La notion de gêne est difficile à appréhender à travers une simple mesure.

Pour les infrasons, la gêne apparaît dès la perception du phénomène. Dans le domaine audible, les fluctuations temporelles sont difficiles à appréhender. Il est difficile de définir de manière scientifique une limite de niveau sonore en basses fréquences. Certains critères ont été proposés après études de cas, mais on a souvent constaté que les passages de camions ou de bus sur les voies routières environnantes conduisaient à des valeurs excédant ces critères, sans pour autant faire l'objet de plainte de la part des riverains !

Références

- [1] M. Vercammen, *Criteria for low frequency noise*, ICA 2007, Madrid
- [2] *Mesurage de niveau sonore à basse fréquence*, NF S 31-135, Afnor 2015
- [3] M. Asselineau, *Building acoustics*, CRC press, 2015.
- [4] *Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique*, JO du 17 juillet 1999, p10660
- [5] D. Oliva, V. Hongisto, J. Keränen, V. Koskinen, *Measurement of low frequency noise in rooms*, Finnish institute of Occupational Health (Indoor environment laboratory), Helsinki 2011
- [6] Japanese Ministry of the Environment, *Handbook to deal with low frequency noise*, 2004
- [7] *Nederlandse Stichting Geluidhinder*, NSG Richtlijn laagfrequent geluid, NSG, Netherlands 1999
- [8] *Circulaire du 23 juillet 1986 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement*, JO du 22 octobre 1986
- [9] *Indicateur global de gêne provoqué par le bruit et les vibrations*, PrXP E90-004, Afnor 2015
- [10] M. Vercammen, *Normering laagfrequent geluid*, concept report RA548-2, Peutz & Associates, Mook 2008
- [11] C. Roberts, *Ecoaccess guideline for the assessment of low frequency noise*, Proceedings of Acoustics2004, Gold Coast, Australie
- [12] *Frequency weighting characteristics for infrasound measurements*, ISO7196, 1995
- [13] *Berekeningmodel voor overdracht van trillingen van de bodem naar gebouwen*, Civiel Technisch Centrum uitvoering en research, rapport RB683-2, 6 mai 1993, Nijmegen
- [14] L. Parny, *Festival Electro : Paris s'amuse, le Val de Marne se bouche les Oreilles*, Pinit, 7 juin 2015
- [15] E. Leipp, *Acoustique et Musique*, Masson / Presses des Mines, Paris 2011
- [16] *Tremblement de terre*, film réalisé par M. Robson, Universal Studios 1974