

Comment réduire la vibration des planchers

par D.E. Allen et G. Pernica

La vogue qu'ont connue de nouvelles activités rythmiques comme la gymnastique aérobique, et la tendance moderne à construire des planchers à longue portée ont soulevé le problème de la vibration excessive des planchers. Cet article décrit le phénomène et présente des solutions pour prévenir ce désordre dès la conception ou, dans le cas d'immeubles existants, pour remédier au problème grâce à des interventions.

La vibration d'un plancher est un mouvement vertical de va-et-vient qui est causé par des forces exercées directement sur le plancher par des personnes ou des machines. Les vibrations peuvent aussi provenir d'autres étages ou du sol; elles sont alors transmises par les poteaux porteurs.

Les problèmes liés à la vibration des planchers ne sont pas nouveaux. En 1828, T. Tredgold écrivait : « Il faudrait toujours utiliser des poutres aussi hautes que possible pour ne pas risquer de faire trembler tout ce qui se trouve dans la pièce, en marchant¹. » Depuis plus de 100 ans, on se sert d'un critère simple de fléchissement des planchers (flèche inférieure à « portée/360 » sous surcharge répartie) pour éviter le « tremblement excessif ». Mais aujourd'hui, compte tenu des problèmes de vibration dus à l'augmentation des portées, à l'amincissement des éléments porteurs des planchers, à la diminution de l'amortissement structural (absence de matériaux et de composants absorbant l'énergie vibratoire) et à l'utilisation d'immeubles pour des activités comme les exercices aérobiques, cette façon de faire ne fonctionne pas. C'est

pourquoi on a récemment publié des lignes directrices portant sur ces problèmes; elles sont basées sur la façon dont les gens perçoivent la vibration des planchers et sur les niveaux qui leur paraissent acceptables.

Limites de vibration

Les planchers qui vibrent mettent généralement les gens mal à l'aise et leur font craindre un effondrement, mais cette peur n'est habituellement pas justifiée en raison des petits déplacements et contraintes qui sont en fait produits. Néanmoins, les vibrations perceptibles sont ordinairement considérées comme peu souhaitables parce qu'elles influent sur le sentiment de bien-être des gens et sur leur capacité à accomplir des tâches.

La limite de vibration, ou seuil acceptable, s'exprime normalement en pourcentage de l'accélération due à la pesanteur (g). Elle dépend surtout du contexte, c'est-à-dire de ce que font les gens lorsqu'ils ressentent les vibrations. Par exemple, une personne assise dans un bureau ou couchée chez elle trouvera inacceptables les vibrations distinctement perceptibles (accélération d'environ 0,5 % g), tandis qu'un individu participant à une activité comme la gymnastique aérobique s'accommodera de vibrations beaucoup plus fortes (à peu près 10 % g). Les gens qui mangent à côté d'une piste de danse ou qui sont debout dans un centre commercial trouveront acceptables les vibrations situées entre ces deux extrêmes (environ 2 % g).

De façon générale, ce ne sont pas ceux qui participent à une activité ou à une manifestation qui sont le plus dérangés par la vibration du plancher, mais ceux qui se trouvent dans des locaux adjacents, car les vibrations les gênent et perturbent leurs activités.

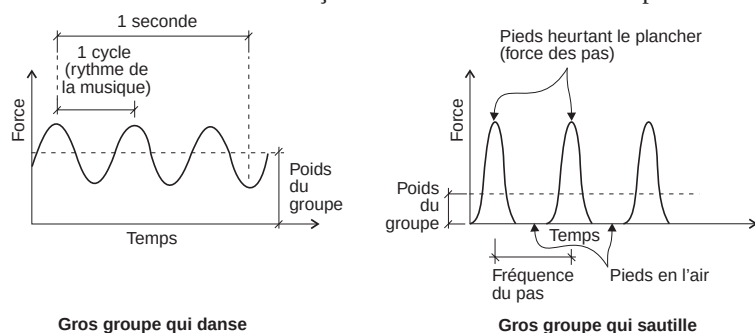


Figure 1. Forces répétitives produites par les activités humaines

Si les vibrations sont très fortes (plus de 20 % g) et se produisent fréquemment (p. ex. dans un centre de culture physique), le plancher peut se rompre sous l'effet de la fatigue. Afin d'empêcher les planchers de s'effondrer sous l'action de la fatigue ou de surcharges excessives, le Code national du bâtiment (CNB) du Canada exige qu'ils fassent l'objet d'une analyse dynamique s'ils ont une fréquence propre inférieure à 6 Hz².

Cause principale

Le principal facteur à l'origine de la plupart des problèmes de vibration est la résonance, qui se produit lorsqu'une charge est appliquée sur un plancher à une fréquence donnée. Par exemple, un groupe de personnes qui dansent appliquent une force cyclique (leurs pas) sur le plancher à la fréquence correspondant au rythme de la musique (voir figure 1). La force cyclique produit une accélération maximale du plancher, qui dépend du rapport de la fréquence propre de la structure du plancher à la fréquence cyclique de la force appliquée (voir figure 2). Lorsque la fréquence propre du plancher coïncide plus ou moins avec la fréquence d'excitation, il y a résonance, ce qui a des conséquences très sérieuses. À chaque cycle de mise en charge, la quantité d'énergie transmise au système et l'intensité de la vibration s'accroissent jusqu'à ce qu'un maximum soit atteint. Ce maximum dépend de la capacité d'amortissement du plancher.

Lors d'une activité rythmique, les gens appliquent sans cesse sur le plancher des forces dont la fréquence est de 2 à 3 Hz (cette fréquence est connue sous le nom de « fréquence du pas »). Dans le cas de la danse, il se produit une résonance si la fréquence propre du plancher se situe entre 2 et 3 Hz.

Si la force répétée comporte un élément impact, comme dans le cas de la gymnastique aérobique, dans laquelle tous sautillent en même temps (voir figure 1), la résonance peut se produire non seulement à la fréquence du pas mais aussi aux multiples, ou harmoniques, de cette fréquence. Par exemple, une classe de gymnastique aérobique sautillant au rythme de 2,5 Hz (la fréquence du pas) produit des vibrations harmoniques aux multiples de cette fréquence : à 2,5 Hz (première harmonique), à 5 Hz (deuxième harmonique) et à 7,5 Hz (troisième harmonique). Comme la fréquence propre de la plupart des planchers est plus élevée que 3 Hz (elle se

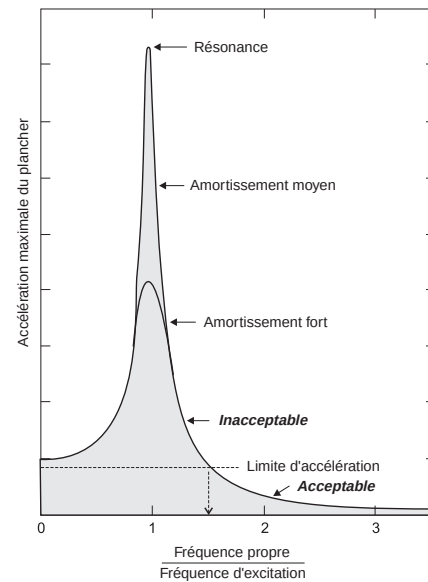


Figure 2. Accélération du plancher due à une force cyclique pour une plage de fréquences propres

situe souvent entre 4 et 8 Hz), il y a de bonnes chances que surviennent des problèmes dus aux deuxième et troisième harmoniques. Cependant, plus l'harmonique est basse, plus la vibration produite par la résonance est forte.

Activités rythmiques

Les problèmes de vibration dus aux activités rythmiques se produisent dans les stades, dans les auditoriums, dans les bâtiments abritant un club de danse ou de santé, ainsi que dans les centres de congrès, qui servent à toutes sortes de fins.

En raison des grandes forces produites par les activités rythmiques, la vibration due à la résonance est généralement trop forte pour être acceptable. Pour réduire la vibration d'un plancher due à une activité rythmique, il faut concevoir celui-ci de manière à ce qu'il ait une fréquence propre plus élevée que la fréquence d'excitation de la plus haute harmonique importante (comme le montre la figure 2). Le tableau 1 indique la fréquence propre minimum qui est acceptable pour certains types de plancher, selon l'activité pratiquée.

Aux fins de la conception, on peut estimer la fréquence propre d'un plancher (f_n en Hz) à l'aide d'une formule simple :

$$f_n \text{ (Hz)} = \frac{18}{\sqrt{\Delta(\text{mm})}}$$

où Δ représente le fléchissement global du plancher sous l'effet du poids supporté par tous ses éléments (poutrelles ou solives, poutres et poteaux). Ainsi, si la flèche du plancher est de 9 mm, la fréquence propre est 6 Hz. Pour obtenir une fréquence propre de 9 Hz, il faut que la flèche ne soit que de 4 mm, ce qui est pratiquement impossible dans le cas de planchers reposant sur des pièces de charpente très longues. (Au sujet des méthodes de calcul de la fréquence propre et de l'accélération des planchers, voir les références 2-4.)

Les principaux facteurs qui influent sur la conception des planchers destinés à des activités rythmiques sont :

Tableau 1. Fréquence minimum (Hz) pour certains types de planchers, selon l'activité

Activité rythmique	Plancher acier-béton	Plancher à ossature légère
Danse et repas	5	10
Exercices aérobiques	9	13

La portée. Plus la portée du plancher est grande, plus la fréquence propre est basse. Les planchers des centres de congrès, en particulier, ont une très grande portée (environ 30 m). Il n'est généralement pas pratique de concevoir ces planchers de façon à obtenir la fréquence propre minimum indiquée au tableau 1 dans le cas des activités rythmiques qui comportent un élément impact, par exemple la gymnastique aérobique. Dans ce cas, la solution consiste à déplacer l'activité rythmique (en choisissant un plancher plus rigide) ou les occupants qui y sont sensibles.

La hauteur d'étage. Plus les poteaux qui supportent le plancher sur lequel est pratiquée l'activité rythmique sont hauts, plus la fréquence propre du plancher est basse. C'est ce qui explique que des exercices aérobiques tenus au dernier étage d'un immeuble qui en compte 26 ont provoqué, sous l'effet de la deuxième harmonique, une résonance due à la flexibilité axiale des poteaux. Cette résonance a produit des vibrations gênantes d'environ 1 % g dans les bureaux situés en dessous. Parce que les exercices aérobiques ne pouvaient avoir lieu ailleurs dans l'immeuble, on a dû y mettre fin.

Le choix de l'endroit (l'étage, la partie d'étage, etc.) où pratiquer une activité rythmique constitue donc le plus important critère à prendre en compte lors de la conception d'un plancher. Il faut aussi veiller à bien placer les locaux dont les occupants risquent d'être gênés par les activités rythmiques. Voir à ce sujet la section « Comment remédier aux problèmes de vibration », à la fin de cet article.

Vibration due à la marche

La vibration due à la marche, qui dépend en grande partie du type de plancher, constitue aussi un facteur important dans la conception des planchers de la plupart des immeubles.

Planchers acier-béton

La fréquence propre d'un plancher en béton possédant une ossature métallique est habituellement comprise entre 3 et 10 Hz. Une personne qui traverse une pièce en marchant applique une force à une fréquence d'environ 2 Hz, ce qui peut provoquer une résonance lorsque la fréquence propre du plancher se situe autour de 2, 4, 6 ou 8 Hz. Comme dans le cas des activités mentionnées précédemment, plus l'harmonique est élevée, moins la résonance est forte.

On a récemment défini un critère de conception³ selon lequel l'accélération due à la résonance harmonique est calculée et comparée à une limite de vibration, p. ex. 0,5 % g dans le cas des bureaux ou des habitations. Si la limite est dépassée, on peut prévoir les interventions suivantes, au stade de la conception :

Accroître l'amortissement. L'amortissement du complexe de plancher (c'est-à-dire l'augmentation du degré d'absorption de l'énergie

vibratoire) réduit la vibration due à la résonance et donc la gêne. Il dépend surtout de la présence d'éléments non structuraux comme les cloisons, les plafonds, les équipements mécaniques et les meubles et accessoires. Les cloisons pleine hauteur sont très utiles pour amortir davantage le complexe de plancher.³

Accroître la rigidité. Cela permet d'élever la fréquence propre du plancher et de déplacer la résonance vers une harmonique plus élevée, ce qui réduit l'ampleur de la vibration due à la résonance, et donc la gêne. Pour accroître la rigidité, on peut augmenter la hauteur des éléments de charpente du plancher ou veiller à ce que les poutres et la dalle de béton exercent une action collaborante.³

Dans le cas des planchers tout béton, qui possèdent une masse et une rigidité élevées, la vibration due à la marche pose rarement un problème. Il se peut toutefois que certains planchers en béton préfabriqué exigent une évaluation.⁴

Planchers à ossature légère

La fréquence des planchers à ossature légère comportant des solives ou des poutrelles en acier plié à froid et un platelage en bois se situe généralement entre 10 et 30 Hz. Une personne qui traverse une pièce en marchant peut déranger un individu assis à proximité en raison des secousses provoquées par les changements soudains de hauteur que subit le plancher sous l'effet des pas.

Voici les facteurs à prendre en compte lors de la conception d'un plancher à charpente légère :

La rigidité. La rigidité effective d'un plancher à ossature légère dépend non seulement de la rigidité des solives ou poutrelles mais aussi de la rigidité transversale du complexe de plancher (assurée par le platelage, les étrésillons, les cales, etc.), ainsi que de l'action collaborante des solives et du platelage. En accroissant la rigidité du plancher, on réduit les secousses dues à la marche.

Le critère de fléchissement. Lorsqu'il y a de bonnes chances que la marche soit source de vibrations, p. ex. dans une maison ou dans un immeuble d'habitation, il faudrait concevoir les planchers à charpente légère de façon à ce qu'ils satisfassent au critère de fléchissement pour une force concentrée de 1 kN (comme le montre la figure 3). Cette diminution de la flèche admissible en fonction de l'allongement de la portée est due à un certain nombre de facteurs décrits à la référence 4.

Le moyen le plus pratique de concevoir les planchers à charpente légère de manière à réduire le plus possible les effets de la marche est de dresser des tableaux de portée basés sur des calculs qui sont conformes au critère de la figure 3, p. ex. ceux qui se trouvent dans la partie 9 du CNB. Pour évaluer les complexes de plancher non englobés

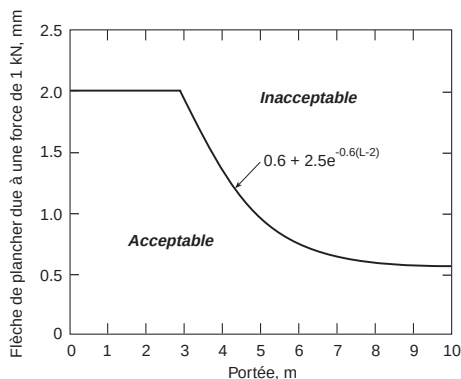


Figure 3. Critère de conception des planchers à charpente légère

dans les tableaux de portée du CNB, voir la référence 4.

Comment remédier aux problèmes de vibration

Il y a une foule de moyens que l'on peut

prendre pour résoudre les problèmes de vibration des planchers. Ils peuvent être rangés dans les catégories suivantes :

Atténuation des effets. Il n'est peut-être pas toujours nécessaire de traiter la vibration elle-même. On peut se contenter d'interventions qui réduisent la gêne causée par la vibration – c'est-à-dire qui limitent le bruit –, par exemple en enlevant ou en disposant autrement les objets qui vibrent sensiblement.

Changement du lieu des activités. On peut déplacer la source des vibrations (p. ex. la classe de gymnastique aérobique ou les machines) ou les locaux sensibles. Par exemple, au lieu d'aménager une aire d'exercices aérobiques au dernier étage d'un immeuble, on peut le faire au rez-de-chaussée ou au premier étage. Il est parfois possible de résoudre les plaintes concernant les vibrations causées par la marche en plaçant les personnes ou les appareils à un endroit où il y a moins de risques de vibrations, par exemple près d'un poteau.

Renforcement. En augmentant la rigidité du plancher, on peut réduire la vibration due à la marche ou à d'autres activités rythmiques. L'ajout de poteaux entre ceux qui existent déjà, à partir de l'étage concerné jusqu'aux fondations, est très efficace dans le cas des planchers flexibles, mais il est souvent inacceptable pour le propriétaire. Si le vide sous plancher le permet, le soudage de nouvelles pièces aux ailes inférieures des poutres ou poutrelles d'acier (comme le montre la figure 4) constitue une bonne technique.³ On peut accroître la rigidité des planchers à ossature légère en posant des éléments transversaux de renforcement, par exemple un second platelage ou des cales.⁴ Il importe cependant de déterminer si la vibration est provoquée par des supports flexibles (mauvais appuis, poutres flexibles)

avant de procéder au renforcement des poutrelles⁴.

Amortissement. Dans le cas des planchers acier-béton, on peut réduire les vibrations dues à la marche en augmentant leur amortissement. Moins le plancher existant comporte d'amortissement, plus celui qui est ajouté est efficace. L'ajout d'éléments non structuraux qui interagissent avec le plancher, par exemple des plaques de plâtre dans le vide sous plancher, assure un certain amortissement s'il n'y en a guère au départ. Il existe aussi d'autres dispositifs, par exemple les poteaux amortisseurs ou les absorbeurs dynamiques de vibrations, qui permettent de réduire la vibration des planchers.³

Isolation. Une bonne façon de réduire la vibration d'un plancher due à une machine est de monter celle-ci sur ressorts mous.^{3,4}

Résumé

La plupart des problèmes de vibration des planchers sont causés par la résonance et, dans le cas des planchers à charpente légère, par les fléchissements soudains dus aux pas. On peut habituellement réduire les vibrations en renforçant la charpente du plancher, parfois en augmentant l'amortissement ou en isolant les machines ou appareils. Le facteur le plus important est le choix de l'endroit où pratiquer une activité (p. ex. la gymnastique aérobique) ou placer une machine, dans le bâtiment.

Références

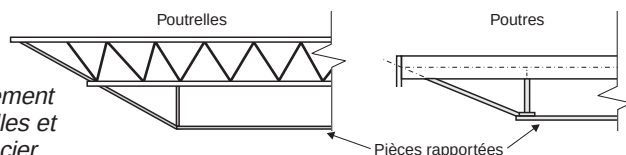
1. Tredgold, T. Elementary Principles of Carpentry, 2^e éd., éditeur inconnu, 1824.
2. Guide de l'utilisateur – CNB 1995, Commentaires sur le calcul des structures (Partie 4), Commentaire A : critères de tenue en service relatifs aux flèches et aux vibrations.
3. AISC/CISC Design Guide No. 11: Floor Vibration Due to Human Activity. American Institute of Steel, Chicago, Ill., 1997.
4. ATC Guide on Floor Vibration. Applied Technology Council, Redwood City, CA, 1999.

D.E. Allen, Ph.D., est agent de recherche invité au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'Institut de recherche en construction du Conseil national de recherches.

G. Pernica, Ph.D., est agent de recherche au sein du programme Enveloppe et structure du bâtiment, à l'IRC.

© 1998
Conseil national de recherches du Canada
Décembre 1998
ISSN 1206-1239

Figure 4. Technique de renforcement des poutrelles et poutres d'acier



« Solutions constructives » est une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Canada

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec l'Institut de recherche en construction, Conseil national de recherches du Canada, Ottawa K1A 0R6
Téléphone : (613) 993-2607; télécopieur : (613) 952-7673; Internet : <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>