

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Vibrations dans les bâtiments

Rainer, J. H.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40000969>

Digeste de la construction au Canada, 1984-11-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=cb6e0cec-c92e-48a8-9313-afeaa6ec25c1>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=cb6e0cec-c92e-48a8-9313-afeaa6ec25c1>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Digeste de la Construction au Canada

Division des recherches en construction. Conseil national de recherches Canada

CBD-232-F

Vibrations dans les bâtiments

Veillez noter

Cette publication fait partie d'une série qui a cessé de paraître et qui est archivée en tant que référence historique. Pour savoir si l'information contenue est toujours applicable aux pratiques de construction actuelles, les lecteurs doivent prendre conseil auprès d'experts techniques et juridiques.

Publié à l'origine en novembre 1984.

J.H. Rainer

L'utilisation de matériaux plus résistants et de techniques plus perfectionnées permet maintenant de construire des structures plus légères qui sont cependant plus sujettes aux vibrations que les constructions massives d'autrefois. Ce digest examine les vibrations dans les bâtiments sous divers aspects et propose des moyens permettant d'en éviter les inconvénients. Les effets résultant du dynamitage,¹ le calcul antisismique² et les vibrations des planchers³ ont été discutés dans d'autres digests. Ils ne seront donc pas traités en détail ici.

Il existe deux sortes de vibrations dans les bâtiments: celles qui proviennent d'une source interne et celles qui proviennent d'une source externe. La plupart des vibrations générées à l'intérieur des bâtiments sont provoquées par des machines (chariots, ascenseurs, ventilateurs, pompes, presses, etc.) ou par les occupants (la marche, le saut, la danse, la course). Les vibrations générées à l'extérieur proviennent en général de la circulation routière ou ferroviaire, du métro, des activités de construction (enfouissement de pieux, dynamitage, excavation, etc.), du bang des avions supersoniques, des vents très forts et des tremblements de terre. Les vibrations qui s'en suivent peuvent être une source de désagrément pour les occupants, peuvent affecter le fonctionnement de certains instruments ou provoquer des dommages à la structure du bâtiment.

Considérations générales

Les paramètres les plus importants dans la vibration des structures sont la fréquence naturelle, la forme de mode et l'amortissement. La fréquence naturelle d'un bâtiment ou d'un élément de bâtiment est celle à laquelle les oscillations libres se produisent une fois que l'excitation est terminée. La structure ou l'élément structural assument une forme de mode lorsqu'ils vibrent librement à une fréquence naturelle. Lorsque la fréquence de l'excitation se rapproche de la fréquence naturelle, d'importantes amplitudes de vibration peuvent se produire. Ce phénomène, appelé résonance, doit en général être évité. L'amortissement est la capacité d'un élément à absorber l'énergie produite par les vibrations. Cette caractéristique existe à divers degrés dans tous les matériaux. Dans la plupart des cas, l'augmentation de la capacité d'amortissement entraîne la réduction de l'amplitude des vibrations. Ainsi, les éléments ou les bâtiments ayant une faible capacité d'amortissement ont tendance à vibrer davantage que ceux ayant une capacité plus élevée. L'énergie se dissipe dans les matériaux, les joints et les raccords. La capacité d'amortissement peut être augmentée en utilisant des amortisseurs, des dispositifs à friction, ou en ajoutant des matériaux amortisseurs spéciaux.

La plupart des problèmes de vibration peuvent être décrits en tenant compte de la source, des voies de transmission et du récepteur. Cette méthode permet de subdiviser le problème

général de manière pratique et de simplifier l'examen des mesures correctives. Ces trois aspects peuvent être traités séparément mais, lorsqu'il s'agit de trouver une solution satisfaisante à des niveaux de vibration tout à fait inacceptables, il faut parfois examiner les trois.

Lorsque les vibrations sont transmises de la source aux fondations du bâtiment par le sol, elles se propagent latéralement et verticalement dans tout le bâtiment. Le sol joue donc un rôle prépondérant dans l'amplitude des vibrations ressenties à l'intérieur du bâtiment. Pour des excitations semblables à la source, les sols mous transmettent des vibrations de plus grande amplitude que les sols durs ou le roc. Toutefois, sur une même distance, les sols mous amortissent plus rapidement les vibrations que les sols durs. Le type de fondations sur lesquelles reposera le bâtiment est aussi très important. Des fondations qui se prolongent jusqu'aux couches solides du sol peuvent réduire l'amplitude des vibrations provoquées par des sources extérieures. La voie de transmission peut également se trouver à l'intérieur du bâtiment, par exemple lorsque la source est une salle de machines située au sommet du bâtiment ou une personne qui saute sur le plancher de la pièce voisine.

Le "récepteur" est toute personne, toute pièce d'équipement et de mobilier, ou tout bâtiment frappés par les vibrations. La sensibilité de l'être humain varie selon sa position (assis, debout, couché), la direction des vibrations (verticales, horizontales, rotationnelles) et le type d'activité exercée. Lorsque les vibrations sont accompagnées de bruit, une interaction psychologique complexe se produit qui tend à augmenter la gêne ressentie par les personnes.

Les instruments peuvent être perturbés par les vibrations. Certains sont parfois même plus sensibles que les humains puisqu'ils subissent des désordres avant que les vibrations n'aient été ressenties par les techniciens. Les microbalances, les microscopes électroniques et les autres instruments de précision doivent être installés dans un endroit à l'abri des vibrations pour fonctionner convenablement. Règle générale, une dalle sur terre-plein constitue le meilleur support pour ces instruments. On a cependant constaté que les ordinateurs et le matériel informatique étaient beaucoup moins sensibles aux vibrations.

Les bâtiments sont assujettis à divers niveaux de tolérance aux vibrations. Les vieux bâtiments ont souvent un niveau moindre que les nouveaux à cause de l'âge des matériaux ou du type de structure. D'autres facteurs comme la détérioration du mortier et le tassement des fondations interviennent également. S'ils sont convenablement construits et bien entretenus, les bâtiments résistent en général assez bien aux faibles vibrations tolérées par les occupants. Les impulsions de pression provenant du bang des avions supersoniques ou d'explosions peuvent par contre endommager les éléments fragiles comme les fenêtres et le plâtre des murs ou des plafonds. Certaines études tendent à prouver qu'une exposition à long terme peut provoquer des dommages cumulatifs bien que cela n'ait pas été démontré avec certitude. Les vibrations transmises par le sol et provoquées par le dynamitage et les travaux de construction peuvent entraîner la fissuration du plâtre, de la maçonnerie ou du béton si les niveaux de sécurité ne sont pas respectés.¹ Les tremblements de terre peuvent causer des dégâts allant de la fissuration superficielle aux dommages sérieux à la structure.²

Des vibrations désagréables causées par le va-et-vient peuvent se produire si les planchers sont flexibles et légers, ou s'il y a de grandes surfaces de plancher sans cloison.³ Dans le cas des planchers de gymnases, de salles de danse et de centres sportifs soumis à des surcharges dynamiques, les mouvements rythmiques des personnes peuvent provoquer des vibrations de grande amplitude et causer du désagrément, voir même des dommages à la structure dans les cas extrêmes. Pour limiter ces inconvénients, le plancher doit avoir une rigidité suffisante et l'on doit éviter que la fréquence des excitations coïncide avec la fréquence naturelle du plancher.⁴

Critères de vibration et recommandations

Les critères et les recommandations qui établissent les limites acceptables d'exposition aux vibrations sont utiles lors de la conception d'un bâtiment ou de l'évaluation d'une structure existante. Malheureusement, il n'est pas toujours possible d'obtenir ces informations de

manière détaillée ou elles ne correspondent pas toujours aux situations rencontrées. L'extrapolation à partir de cas semblables ou une approche de tâtonnement par améliorations successives peuvent alors être nécessaires.

Les critères fixant les limites acceptables d'exposition aux vibrations se fondent sur l'expérience pratique, les essais et le bon sens. Ils sont élaborés dans le but d'améliorer le confort des occupants, d'assurer le bon fonctionnement d'instruments sensibles (ou la protection de certains objets) ou de préserver les bâtiments et ils sont réévalués et modifiés périodiquement de façon à intégrer les dernières informations sur le sujet.

Les critères d'exposition aux vibrations pour les occupants sont publiés par l'ISO (International Standards Organization). Les limites acceptables sont établies en fonction de la fréquence et du temps d'exposition aux vibrations transversales (du dos à la poitrine) et longitudinales (des pieds à la tête).⁵ Cette norme a été adoptée aux États-Unis⁶ et en Grande-Bretagne⁷ mais n'a pas encore été reconnue comme norme nationale au Canada. Certaines recommandations concernant une conception antivibratile ont été énoncées dans un précédent digest.³ Il existe également des normes relatives aux vibrations dans le domaine de la santé et de la sécurité au travail. Toutefois, celles-ci n'entrent pas dans le cadre de cette publication.

Le fonctionnement de certains instruments très sensibles peut être perturbé par les vibrations de la structure porteuse. Les limites de tolérance de ces instruments doivent être fournies par le fabricant. Lorsque cette information n'est pas accessible, l'expérience avec des instruments similaires peut servir à titre de référence.⁸ En raison de la grande sensibilité des instruments, les critères d'exposition aux vibrations pour les laboratoires de normalisation sont particulièrement sévères.⁹

Des critères de limitation des flèches servent parfois de moyen pour réduire l'amplitude des vibrations pouvant endommager le bâtiment et son contenu. Par exemple, un dégagement entre des bâtiments contigus ou entre l'ossature et les cloisons peut être indispensable (en cas de vibrations produites par des séismes ou des rafales de vent). Ces critères permettent également de limiter les contraintes ou les déformations admissibles pour les éléments fragiles ou de faible résistance (comme les plafonds en plâtre). Toutefois, le fait de se conformer à une flèche limite sous des charges statiques ne garantit pas nécessairement l'absence de problèmes de vibration.

Bien que la surcharge des éléments d'un bâtiment provoquée par des vibrations soit relativement rare, le phénomène peut se produire par suite de résonance, de chocs violents, d'explosions ou de tremblements de terre. Les contraintes admissibles dépendent des matériaux et de la possibilité que ceux-ci aient subi une perte ou un gain de résistance à cause de leur âge, de l'exposition aux intempéries, de la corrosion ou autres réactions chimiques. Les charges produites par des vibrations relativement faibles peuvent provoquer des contraintes supplémentaires et entraîner la fissuration du béton, de la maçonnerie ou du plâtre. Ceci se produit parfois dans les bâtiments situés à proximité d'un chantier où l'on fait usage d'explosifs, même si les niveaux de vibration sont inférieurs aux limites prescrites.

Des pertes de résistance par suite de chargements répétés ou des ruptures de fatigue peuvent se produire si les niveaux de contrainte sont élevés par rapport à la résistance du matériau et si le nombre de cycles de mise en charge est important. En général, le problème n'est pas très grave car les contraintes induites sont habituellement faibles. Les vibrations des éléments de charpente dues au vent ainsi que les excitations à des fréquences proches de la résonance font cependant exception. Bien que la fatigue de l'acier soit un phénomène bien compris, il n'en va pas de même pour les autres matériaux. Les observations à long terme de la brique, du béton ou du bois n'ont pas permis de déceler des tendances à la fatigue lorsque les niveaux de vibration rencontrés sont normaux.

Dans les vieux bâtiments, les matériaux exposés aux intempéries peuvent s'être dégradés et être moins résistants. Les mouvements des fondations peuvent avoir engendré de fortes contraintes dans la structure et certaines fissures peuvent être déjà visibles. En outre, la structure peut être complexe et difficile ou même impossible à évaluer et des matériaux ayant

des caractéristiques de résistance mal connues peuvent avoir été utilisés. Enfin, les vieux bâtiments contiennent parfois des éléments difficiles à réparer ou à remplacer une fois endommagés. Par conséquent, les niveaux de vibration acceptables pour ces structures ne doivent être établis qu'après avoir tenu compte de toutes les circonstances. Dans certains pays d'Europe, des limites de vibration ont été définies pour les bâtiments historiques; elles s'échelonnent entre 10 et 20 p. cent des limites applicables aux nouvelles constructions. Ces recommandations peuvent servir de guide pour le contrôle des vibrations dans les vieux bâtiments.¹⁰

Pour déterminer si un bâtiment peut servir à un usage particulier ou pour évaluer une plainte concernant le bruit, les vibrations réelles doivent être mesurées puis comparées aux limites acceptables. Si ces limites sont dépassées, il faut alors apporter des correctifs. La mesure et l'analyse des vibrations est une discipline qui nécessite l'intervention de techniciens expérimentés et l'utilisation d'un matériel adéquat. Parmi les appareils de mesure les plus utilisés, mentionnons les capteurs de vibrations, les analyseurs de spectre et les ordinateurs.

Critères de conception

L'introduction de critères d'exposition aux vibrations lors de la conception peut s'avérer une tâche complexe. La nature imprécise de la source de vibration, l'interaction des divers éléments et la complexité de l'analyse empêchent de prédire avec précision des niveaux de vibration acceptables pour les divers composants. Néanmoins, il existe des recommandations pour certaines surcharges dynamiques^{1,3,4,11} et certaines décisions prises lors de la conception peuvent permettre de réduire la transmission d'énergie vibratoire dans les bâtiments. Dans la mesure du possible, le bâtiment devrait être situé à une bonne distance des sources de vibration ou vice versa. Dans le cas des bâtiments qui, par leur usage, ne peuvent tolérer les vibrations, la structure devrait être choisie sur la base de ses caractéristiques de réponse aux excitations (par exemple, construction massive ou construction légère, ossature avec contreventement ou ossature rigide, faible hauteur ou grande hauteur). Pour les bâtiments en hauteur, les vibrations dues au vent peuvent être gênantes pour les occupants et provoquer la fissuration des revêtements, des cloisons ou des fenêtres, ainsi que des bruits de craquement résultant des mouvements du bâtiment. Des recommandations pour la conception sont incluses dans la référence 11. Lorsque les mouvements prévus dépassent les limites acceptables, on doit augmenter la rigidité du bâtiment ou prévoir des dispositifs actifs tels que des amortisseurs à commande électrohydraulique, ou des appareils passifs tels que des joints à friction ou des couches de matériaux viscoélastiques à amortissement. Ces dispositifs peuvent également être employés comme mesures correctives pour des problèmes de vibration. Avant de choisir un emplacement pour construire un bâtiment dont le contenu ou l'usage sera affecté par les vibrations, il serait bon d'établir le type, le niveau et la fréquence des vibrations qui se produisent ou qui risquent de se produire sur le site. Il faut donc avoir recours à des mesures in situ et à un programme d'analyse.

Dans le cas des bâtiments qui abriteront des instruments sensibles aux vibrations, il faut bien choisir le site et le type de structure; il faut également étudier l'emplacement et la disposition des locaux ainsi que la possibilité d'isoler les instruments à l'intérieur du bâtiment. Le choix et l'isolation des machines (par exemple les ascenseurs) et les vibrations causées par les occupants qui marchent ou claquent les portes sont également des facteurs à considérer.

Mesures correctives

Des mesures correctives peuvent être envisagées au niveau de la source, des voies de transmission ou du récepteur des vibrations. À la source, il s'agit de réduire les vibrations. Pour la circulation routière on peut réduire la vitesse ou le poids des véhicules: aplanir la surface ou améliorer l'assise de la route. Pour les voies ferrées, des coussins isolants peuvent être intercalés entre le rail et le ballast. L'utilisation de pneus (au lieu de roues d'acier) permet de réduire les vibrations. Les machines, sources de vibration, devraient être isolées de leur socle par des ressorts ou des coussins placés aux endroits les moins susceptibles de transmettre des vibrations. Les machines à mouvement alternatif et les machines rotatives devraient toujours être bien équilibrées.

On peut réduire la transmission des vibrations en installant des barrières pour faire obstacle aux ondes qui atteignent le bâtiment. Lorsque les ondes de surface dominent, des tranchées profondes (qui peuvent être remplies de bentonite) constituent un moyen efficace. Des pieux placés de façon appropriée peuvent également réduire la transmission des vibrations. Une autre méthode consiste à isoler tout le bâtiment au moment de la construction, ou lorsque celle-ci est terminée. Des supports en élastomère peuvent être placés à la base des piliers pour réduire l'amplitude des vibrations.

Lorsque le problème de vibration ne concerne qu'une partie ou un élément du bâtiment (plancher ou poutre), d'autres mesures correctives peuvent être efficaces. On peut notamment raidir l'élément pour changer la fréquence de résonance augmenter l'amortissement pour réduire l'amplitude des vibrations, ou ajouter de la masse pour réduire l'excitation par les charges dynamiques. La nature exacte des mesures correctives doit être étudiée soigneusement pour éviter d'aggraver le problème.

Conclusions

On peut éviter ou minimiser les problèmes associés aux vibrations en étant bien conscient de leur nature. Il est parfois avantageux et quelquefois moins coûteux d'examiner les effets des vibrations sur le bâtiment et son contenu à l'étape de la conception. Bien que des directives de conception ne soient pas toujours disponibles, il en existe tout de même un certain nombre. L'analyse des problèmes de vibration dans les bâtiments est un sujet complexe qui requiert en général l'avis de spécialistes.

Références

1. T.D. Northwood et R. Crawford, "Sautages d'explosifs et dégâts aux bâtiments". Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Digest de la construction au Canada, **CBD 63F**, septembre 1967.
2. J.H. Rainer et T.D. Northwood, "Les séismes et les bâtiments au Canada". Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Digest de la construction au Canada, **CBD 208F**, septembre 1980.
3. D.E. Allen et J.H. Rainer, "Vibration des planchers". Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches en bâtiment, Digest de la construction au Canada, **CBD 173F**, juin 1976.
4. Supplément du Code national du bâtiment du Canada 1985, Commentaire A, "Critères de tenue en service relatifs aux flèches et aux vibrations".
5. "Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration". International Standards Organization, ISO 2631-1978, Geneva, 1978.
6. "Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings". American National Standard, Acoustical Society of America, ANSI S3.29-1983, New York, 1983.
7. "Evaluation of human exposure to vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)", British Standards Institution BS 6472, London, 1984.
8. R.H. Ferahian and H.S. Ward, "Vibration Environment in Laboratory Buildings", National Research Council of Canada, Division of Building Research, Technical Paper No. 329, 1970.
9. "Recommended Environments for Standards Laboratories, Recommended Practice". Instrument Society of America, RP52.1-75, 1975.
10. J.H. Rainer, "Effect of Vibrations on Historic Buildings: An Overview", APT Bulletin, Vol. XIV, No. 1, 1982, p. 2-10.
11. Supplément du Code national du bâtiment du Canada 1985, Commentaire B, "Surcharges dues au vent".