

Approche d'une méthode prédictive de la transmission des vibrations dues aux activités de chantiers dans le cadre de la protection des bâtiments et riverains du proche environnement

Ing. W. CHANG – Ing. J-P. LAHAYE
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

Le confort des riverains est souvent compromis par les nuisances environnementales, et en particulier les vibrations causées par les activités de chantiers. Ces vibrations peuvent se faire plus ou moins ressentir par les bâtiments environnants et leurs résidents, en fonction de la distance chantier-bâtiment, l'intensité des vibrations, le type de sol et bien d'autres facteurs. Elles peuvent également causer des dommages sur les structures qui peuvent aller d'une microfissure à un tassement du bâtiment. Afin de réduire les risques de l'effet des vibrations sur les structures avoisinantes pendant les travaux, il est envisageable de mettre en place des mesures de prévention et de surveillance. Par ailleurs, l'approche idéale consisterait à intégrer la prise en compte des vibrations dès la phase initiale de conception du projet. C'est pourquoi la réalisation d'une étude préliminaire permettrait d'anticiper l'impact vibratoire de certaines activités de chantier sur le proche environnement. En effet, à l'heure actuelle, certains bureaux d'études sont confrontés à une augmentation de demandes d'études vibratoires sans pour autant avoir les outils nécessaires.

Ce présent article est basé sur un travail de fin d'étude réalisé dans le cadre d'une recherche axée sur le développement d'une méthode et d'un outil permettant de répondre à cette demande.

2. Mesures de vibrations

Les dégâts observés sur les structures proviennent de l'énergie vibratoire transmise depuis le sol jusqu'aux fondations. Cette énergie est générée sous forme d'ondes de différents types : les ondes de volume (primaires ou secondaires) et les ondes de surface (Love ou Rayleigh). Dans la plupart des cas, les ondes de surface de Rayleigh sont les plus destructrices.

Revue Scientifique des Ingénieurs Industriels n°38, 2024

Une version plus développée de cet article est accessible en ligne à l'adresse suivante :
<http://www.isilf.be/>

La vitesse de propagation des ondes de Rayleigh se calcule comme suit [1]:

$$c_R \approx \frac{(0,87 + 1,12\nu)}{1 + \nu} * c_S \quad (1)$$

Où ν est le coefficient de poisson, et c_S est la vitesse de propagation des ondes secondaires :

$$c_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1 + \nu)}} \quad (2)$$

E est le module de Young, ρ est la masse volumique et ν le coefficient de poisson.

Dans le cadre de campagnes de mesure de vibrations, plusieurs types d'appareils sont utilisables, comme les accéléromètres, les vélocimètres, les géophones ou les capteurs de déplacements. Parmi ceux-ci, les appareils employés au cours des prises de mesure de ce travail, sont des accéléromètres et des géophones sismiques.

3. Les normes

Les normes analysées dans ce travail sont la DIN 4150 partie 1 (2001) [2], DIN 4150 partie 3 (1999) [3] et la BS 5228 (2014) [4]. Sur la figure 3.1 sont repris les seuils des vitesses des vibrations en fonction de la fréquence, au-delà desquels les vibrations peuvent avoir un impact sur la structure.

Catégorie 1 : Bâtiments à usage industriel, commerciale ou similaire en structure

Catégorie 2 : Construction mitoyenne

Catégorie 3 : Constructions sensibles

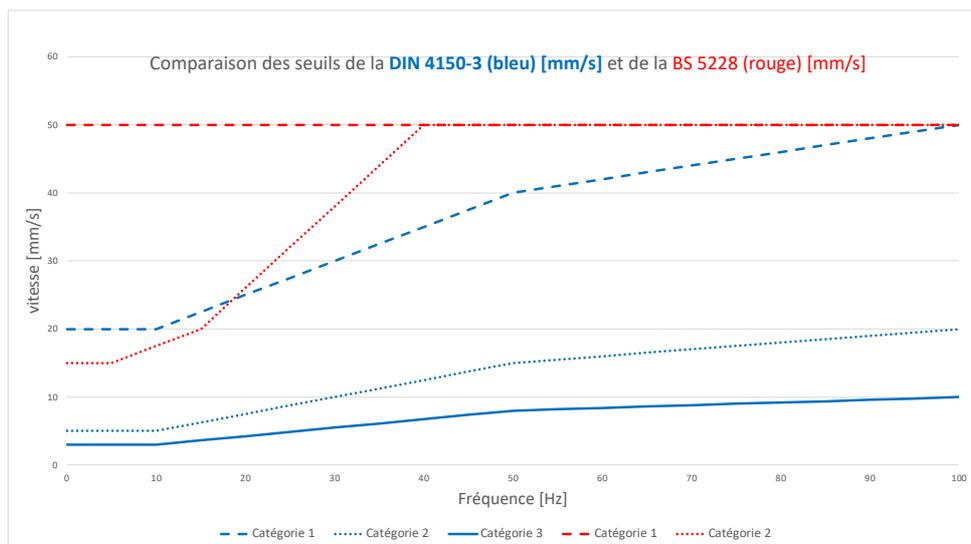


Figure 3.1: Seuils de la DIN 4150 et la BS 5228 en fonction du type de bâtiment.

4. Causes des vibrations sur chantier

Les activités de chantier récurrentes qui engendrent des vibrations importantes sont l'utilisation et le déplacement des pelles et marteaux hydrauliques, des camions et tombereaux. Lors du terrassement, l'utilisation des compacteurs dynamiques, à plaques vibrantes ou à rouleaux produit des vibrations. De même pour les activités servant à la mise en œuvre des fondations comme le battage des pieux et le vibrofonçage.

5. Prédiction des vibrations

Plusieurs méthodes permettent de prédire l'amplitude des vibrations afin qu'elles soient comparables aux normes. La liste suivante n'est pas exhaustive mais reprend les principales méthodes :

- Les lois expérimentales (exemple : Loi de Chapot),
- Les modélisations numériques (exemple : méthode des éléments finis ou des éléments frontières),
- Les formules de la BS 5228 (2014),
- La méthode décrite dans la DIN 4150-1 (2001).

L'utilisation des deux dernières méthodes a permis la création de l'outil de prédiction des vibrations. La norme BS 5228 présente des formules pour les activités de chantier telles que le compactage par vibrations, le compactage dynamique, le vibrofonçage et le battage des pieux.

La DIN 4150 introduit un rayon de criticité R_1 (rayon en dessous duquel les ondes ont un comportement complexe) afin de calculer l'amortissement des vibrations :

$$R_1 = \frac{a}{2} + \lambda_R \quad \text{avec} \quad \lambda_R = \frac{c_R}{f} \quad (3)$$

a : Dimension de la source parallèle au sens de propagation [m]

f : fréquence [Hz]

L'amortissement de la propagation des vibrations se calcule alors via la formule :

$$\bar{v} = \bar{v}_1 \left(\frac{R}{R_1} \right)^{-n} \exp(-\alpha(R - R_1)) \quad (4)$$

\bar{v} : Amplitude de la vitesse de vibration [mm/s]

\bar{v}_1 : Amplitude de la vitesse de vibration à une distance R_1 [mm/s]

R : Distance de la source [m]

Dans le calcul du rayon de criticité (3), le paramètre c_R calculé grâce à l'équation (1) peut-être simplifié par la formule suivante :

$$c_R \approx \frac{3}{4} c_s \quad (5)$$

Avec c_s qui dépend de la nature du sol (voir la version complète disponible sur isilf.be)

6. Traitement des données

Une prise de mesure et un traitement des données a été réalisé grâce à une FFT (Fast Fourier Transform) pour les mesures prises avec les accéléromètres et en comparant les analyses temporelles pour les mesures prises avec les géophones sismiques.

7. Utilisation de l'outil

Sur base des résultats obtenus à différentes distances, il est possible de trouver les différentes amplitudes des vibrations selon la BS 5228 et la DIN 4150-1.

La feuille de calcul réalisée sur base de la BS 5228 applique les formules et compare les résultats aux seuils donnés par la norme [5].

La feuille de calcul concernant la DIN 4150 est plus complexe. En effet, pour calculer l'amortissement des vibrations, la norme impose de connaître les vibrations au rayon de criticité, or, cela nécessite dans un premier temps des mesures sur chantier. Ainsi, deux cas de figures subsistent et sont représentés sur la figure 7.1.

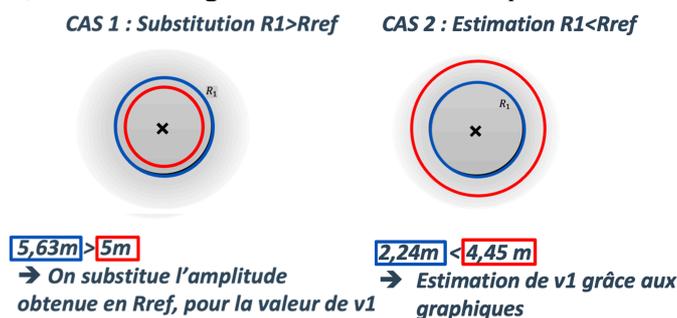


Figure 7.2: Deux cas pour l'utilisation de la DIN 4150.

Cas 1 : Lorsque la distance à laquelle a été prise la mesure (**rouge**) est inférieure au rayon de criticité (**bleu**), il suffit de substituer l'amplitude obtenue à cette distance, comme valeur de \bar{v}_1 .

Cas 2 : lorsque la distance (rouge) est supérieure au rayon de criticité (bleu), la valeur de \bar{v}_1 peut être estimée grâce aux différents graphiques de l'évolution des vibrations normalisée en fonction de la distance $R - R_1$. Ces graphiques sont créés par l'outil grâce aux indications de la DIN 4150-1 et sont adaptables dans l'outil en fonction du type de sol (voir exemple de la version complète disponible sur isilf.be). Finalement, l'outil permet de comparer les valeurs des prédictions des amplitudes.

8. Résultats¹

Concernant la norme BS 5228, elle semble fournir des estimations correctes dans le cas du battage des pieux avec une différence sécuritaire jusqu'à 10% (les autres formules n'ayant pas pu être vérifiées par manque de données). Par ailleurs, le nombre de données étant très limité, ces résultats ne sont pas suffisants pour valider la feuille de calcul selon la BS 5228.

La feuille de calcul concernant la DIN 4150-1 a fourni des prédictions assez cohérentes et précises (14% à 34%) lorsqu'elle est utilisable. En effet, connaître tous les paramètres est assez contraignant et son utilisation nécessite une prise de mesure pour prédire les vibrations au rayon de criticité (3) dans le calcul de l'amortissement (4). De plus, un problème se pose lorsque la distance de la mesure est inférieure au rayon de criticité, auquel cas des hypothèses doivent être posées et la méthode de l'estimation (point 7.) peut être appliquée si elle est validée dans le futur.

9. Conclusion et perspectives

L'amplitude des vibrations prédite grâce à la feuille de calcul de la DIN 4150 se situe entre 14% et 34% supérieur aux valeurs expérimentales. C'est une approximation sécuritaire et qui donne des perspectives plutôt encourageantes.

Une amélioration peut être apportée lors de la prise de mesure, notamment dans le choix et la mise en place de l'appareil de mesure, l'influence des autres sources de vibration sur les mesures (utilisation simultanée des machines), la prise de mesures et de distances. De plus, il faut être conscient des hypothèses posées tel que la nature du sol, la fréquence d'excitation, la méthode de l'approximation du rayon de criticité. La meilleure démarche d'amélioration et la limitation majeure de ce travail reste le manque de données. Une base de données plus importante permettrait de valider et d'améliorer l'outil de calcul afin qu'il soit utilisable dans la prédiction des vibrations.

¹ Pour cause de confidentialité, les résultats ne sont pas détaillés.

Ainsi, il sera possible de prédire l'impact vibratoire des activités de chantier avant de commencer l'exécution du projet. Cela permettra de prédire les éventuels risques de dommages structurels aux bâtiments environnants et, de façon complémentaire, les risques d'inconfort sur les riverains.

10. Sources

- [1] Chahour, K. (2015). *Etude dynamique des vibrations d'un sol engendrées par une charge en mouvement* [Thesis, Université Mouloud Mammeri]. <https://www.ummo.dz/dspace/bitstream/handle/ummo/1839/CHA-HOUR%20Kahina.pdf?sequence=1>
- [2] German Standards (DIN-Normen). (2001). *DIN 4150-1:2001-06 : Structural vibration Part 1 : Predicting vibration parameters*. German Standards (DIN-Normen).
- [3] German Standards (DIN-Normen). (1999). *DIN 4150-3 : 1999-02 : Structural vibration Part 3 : Effects of vibration on structures*. German Standards (DIN-Normen).
- [4] The British Standards Institution, E. (2014). *BS 5228-2:2009+A1:2014 Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites Vibration*. <https://www.en-standard.eu/bs-5228-2-2009-a1-2014-code-of-practice-for-noise-and-vibration-control-on-construction-and-open-sites-vibration/>
- [5] Chang, W. (2023). *Approche d'une méthode prédictive de la transmission des vibrations dues aux activités de chantiers dans le cadre de la protection des bâtiments et riverains du proche environnement*, Mémoire de master, ECAM, Bruxelles.