

*Survol de certaines normes sur les vibrations
et la surpression d'air lors de sautages en
réponse à une question de la direction de
santé publique de Lanaudière.*

Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

29 janvier 2020

AUTEUR

Mathieu Gauthier, Ph. D.
Conseiller scientifique spécialisé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie

Survol de certaines normes sur les vibrations et la surpression d'air lors de sautages

La réponse est basée sur une analyse non exhaustive de certaines normes internationales sur les vibrations et surpression d'air lors des sautages. Elle a été réalisée en 2016 et n'est donc peut-être plus à jour.

Normes internationales

ANGLETERRE

La norme BS 6472-2:2008 fournit des directives sur l'exposition humaine aux vibrations produites par le sautage dans les mines. Cette norme semble basée sur la prévention du dérangement des personnes exposées.

La norme BS 6472-2 estime qu'il n'est pas possible de distinguer les effets de la vibration des effets de la surpression d'air. Ces deux phénomènes s'additionnent et la surpression d'air peut occasionner une augmentation significative des effets perçus pour les personnes exposées aux deux phénomènes. La norme indique que la crainte des dommages potentiellement causés par les sautages avait un effet significativement plus important sur les personnes exposées que les vibrations elles-mêmes.

Les recommandations de la norme sont élaborées de manière à ce que les limites suggérées soient respectées pour au moins 90 % des sautages. Ainsi, considérant la distribution statistique naturelle (*data scatter*), la norme indique que les sautages devraient être réalisés avec pour objectif que le niveau maximal de vibration ne dépasse pas 50 % de la valeur fixée dans la norme.

Pour des sautages de jour à proximité de milieux résidentiels, lorsque le nombre de sautages par jour ne dépasse pas 3, la norme recommande une vitesse particulière maximale de 6,0 mm/s, telle que mesurée sur une surface ferme (*firm*) à l'extérieur des bâtiments. Ainsi, la norme recommande de réaliser la planification des sautages de manière à ne pas dépasser une vitesse particulière de 3,0 mm/s (ce qui produirait, en pratique, environ 10 % de sautage dépassant 6 mm/s). Selon la norme, 6,0 mm/s mesurée à l'extérieur correspond à environ 8,0 mm/s à l'intérieur des bâtiments. La norme propose également une valeur 10,0 mm/s pour les situations où la limite à 6,0 mm/s serait trop contraignante (*too restrictive*). Cette limite correspondrait à environ 13,0 mm/s à l'intérieur des bâtiments, et entraînerait une planification à 5,0 mm/s.

La norme indique qu'à l'intérieur des résidences, les personnes ressentent les effets des vibrations de manière très variable. La vitesse particulière maximale tolérée dépendrait de plusieurs facteurs sociaux, culturels et psychologiques, de même que le niveau de dérangement attendu (*expected degree of intrusion*). La norme indique qu'en pratique, la valeur de 6,0 mm/s devrait être utilisée et que l'utilisation de la valeur de 10 mm/s devrait être évaluée au cas par cas.

La norme souligne qu'il n'y a aucune indication que la surpression d'air, à des niveaux similaires à ceux engendrés par les sautages miniers, aurait déjà été responsable de dommages aux Royaumes-Unis. Selon la norme, les fenêtres seraient la partie d'une résidence la plus vulnérable à ce type d'exposition. Cependant, le niveau de surpression d'air typiquement présent en bordure des carrières serait de l'ordre de 120 dBL, soit environ 30 dBL de moins que le seuil de dommages pour des fenêtres mal installées (*poorly mounted*) qui sont déjà soumis à une contrainte (*pre-stressed*).

Notons toutefois que la norme semble considérer davantage des sautages de courte durée, mentionnant que les sautages dont il est question ont typiquement des durées de 1 ou 2 secondes. Il demeure donc possible que des sautages ayant une durée moyenne plus grande aient plus d'impacts.

La norme BS 5228-2:2009, quant à elle, fournit un code de bonnes pratiques pour le contrôle des vibrations sur des lieux de construction ou sites ouverts produisant des niveaux de vibration significatifs.

Cette norme indique que les vibrations sont perceptibles à de très faibles niveaux par les humains et que le seuil de perception, situé entre 0.14 mm/s et 0.3 mm/s, est beaucoup plus faible que les niveaux à partir desquels des dommages aux maisons ou aux équipements sont possibles. La norme BS 5228-2:2009 précise toutefois que des niveaux de vibrations supérieurs au seuil de détection peuvent produire du dérangement (*disturb, annoyance*), surprendre (*startle*) et nuire à certaines activités (*interfere with work activities*). À des niveaux plus élevés, les effets des vibrations sont décrits comme déplaisants (*unpleasant*), voire même douloureux (*painful*). Enfin, en milieu résidentiel, la norme précise que les vibrations peuvent créer de l'anxiété liée à la crainte de dommages aux biens.

Dans une annexe informative, la norme fournit le tableau suivant, qui décrit les sommairement les effets attendus des vibrations en fonction de la vitesse particulaire maximale.

Conseils sur les effets des niveaux de vibrations (tableau tiré de BS 5228-2:2009).

Table B.1 Guidance on effects of vibration levels

Vibration level	Effect
0.14 mm·s ⁻¹	Vibration might be just perceptible in the most sensitive situations for most vibration frequencies associated with construction. At lower frequencies, people are less sensitive to vibration.
0.3 mm·s ⁻¹	Vibration might be just perceptible in residential environments.
1.0 mm·s ⁻¹	It is likely that vibration of this level in residential environments will cause complaint, but can be tolerated if prior warning and explanation has been given to residents.
10 mm·s ⁻¹	Vibration is likely to be intolerable for any more than a very brief exposure to this level.

Selon la norme, au-delà du seuil de détection, des vibrations de 1 mm/s peuvent générer des plaintes, mais seraient tolérables (*can be tolerated*) lorsqu'un système de relation avec le public est mis en place, tandis que des vibrations de 10 mm/s sont intolérables (*intolerable*) pour des expositions qui ne sont pas de très courte durée (*very brief*).

ÉTATS-UNIS

La norme ANSI S2.71-1983 (R2012), *Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings*, de l'American National Standards Institute (2012) donne les niveaux de vibration maximaux en lien avec la tolérance des personnes aux vibrations, en particulier aux effets de crépitements des maisons (*rattle*) et le dérangement (*annoyance*) causés par les vibrations. La norme précise que les limites proposées assurent l'absence d'effet sur la santé qui pourrait être dû aux vibrations elles-mêmes. Cette norme semble donc être basée sur la prévention du dérangement des personnes exposées.

La norme note que les événements vibrationnels isolés de grande amplitude, tel que ceux occasionnés par les sautages, sont des cas spéciaux. Pour la norme, les vibrations provenant de ce type d'événements peuvent être beaucoup plus grandes que celles occasionnées par des sources plus constantes, mais ne doivent être acceptées que sur la base d'une exposition très limitée. Dans de telles situations, les personnes tolèrent des expositions supérieures et les principaux inconvénients sont liés à

aux crépitements des maisons (*rattle*) et à la peur des dommages qui pourraient résulter des vibrations. La norme précise que les limites suggérées pourraient, au cas par cas, faire l'objet d'ajustement dans le but d'accommoder divers facteurs de nature social, économique, ou lié à l'information publique disponible.

Le tableau suivant donne les vitesses particulières maximales (rms) proposées dans la norme en fonction de la fréquence.

Vitesse particulière en fonction de la fréquence pour la combinaison des axes.

	Vitesse particulière (rms) ^A	Vitesse particulière maximale ajustée ^B
Fréquence	(mm/s)	(mm/s)
1	0,57	30,4
1,25	0,46	24,5
1,6	0,36	19,2
2	0,26	13,9
2,5	0,24	12,8
3,15	0,21	11,2
4	0,17	9,1
5	0,14	7,5
6,3	0,12	6,4
8 à 80	0,10	5,3

^A Données tirées du Tableau 1 de l'ANSI S2.71-1983 (R2012).

^B Valeurs ajustées pour obtenir une valeur crête dans un milieu résidentiel, de jour, à moins de 3 événements par jour et pour une durée de 15 secondes.

Dans l'annexe A de la norme, plusieurs facteurs affectant la perception des vibrations sont identifiés. Dans le cas de sautages en milieu résidentiel de jour (moins de 3 événements par jour), un facteur multiplicatif de 90 doit être ajouté aux limites de base. De plus, pour des événements discrets dépassant 1 seconde (cas d'un plancher en bois), un facteur additionnel F_d doit aussi être utilisé. Ce facteur doit être calculé à l'aide de l'équation suivante :

$$F_d = T^{-0.32}$$

où T est la durée du sautage (mesurée à 10 % du maximum). Par exemple, pour un sautage durant 6 secondes, le facteur est d'environ 0,56, tandis que pour un sautage de 15 secondes, celui-ci est d'environ 0,42. Au total, pour un sautage d'une durée de 15 secondes, le facteur d'ajustement multiplicatif est d'environ 37,8. À ce facteur d'ajustement s'ajoute un autre facteur multiplicatif d'environ 1,41 pour passer de valeurs rms à des valeurs crêtes. Les vitesses particulières maximales ajustées en fonction de la fréquence sont présentées dans le tableau ci-haut. On note qu'à basse fréquence (2,5 Hz et moins), la limite proposée dépasse la valeur considérée comme étant sécuritaire pour les bâtiments.

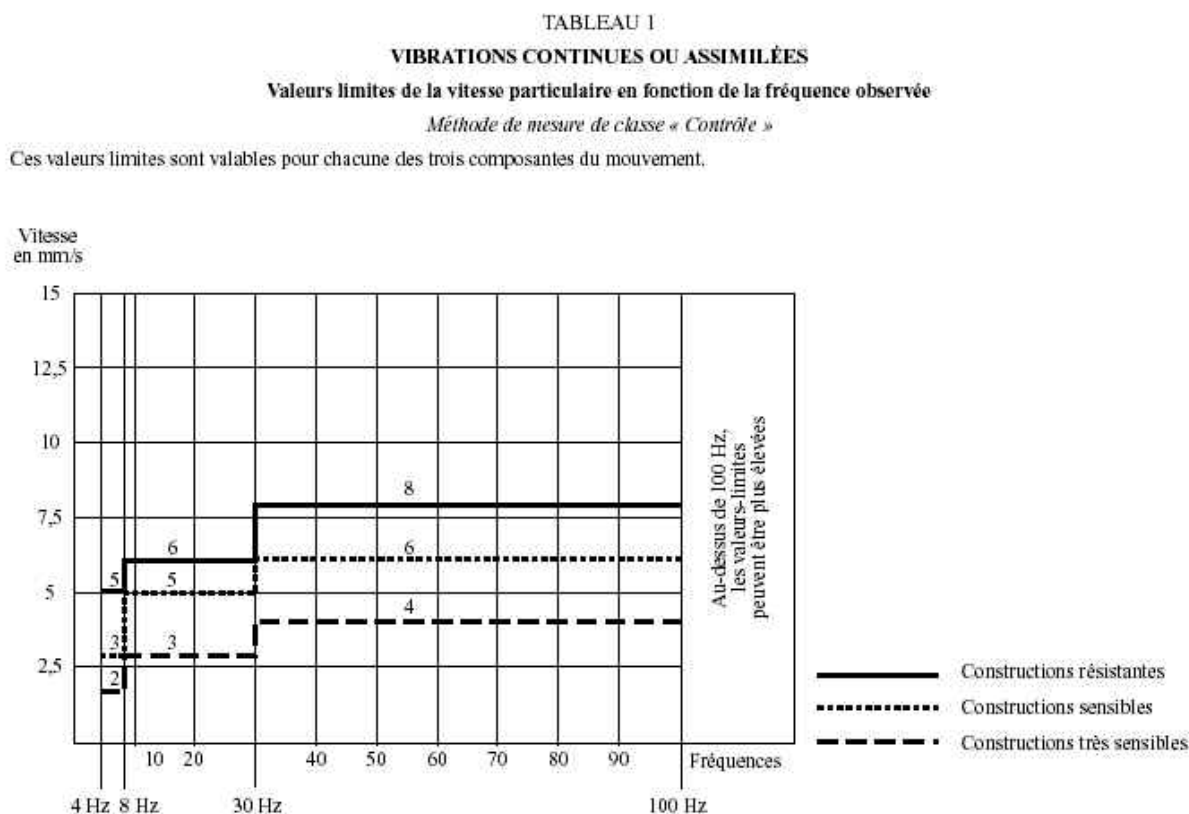
FRANCE

La Circulaire du 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement donne des limites de vitesse particulière

maximale des vibrations liées aux sautages. Cette réglementation s'applique « [...] aux installations classées pour la protection de l'environnement [...] ». La circulaire indique être élaborée en vertu d'une loi française qui dit qu'une installation est « [...] construite, équipée et exploitée de façon que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits ou de vibrations susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou constituer une gêne pour sa tranquillité ». Cette norme semble basée sur la prévention du dérangement des personnes exposées.

La circulaire donne des limites de vitesse particulaire maximale selon la sensibilité aux dommages des lieux exposés. Les limites se situent entre 2 et 5 mm/s de 4 à 8 Hz, et montent à 4 à 8 mm/s de 30 à 100 Hz. La figure suivante, tirée de la circulaire, illustre ces limites.

Limites de vitesse particulaire maximale en fonction de la fréquence et du type de structure (figure tirée de la Circulaire du 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement).



La circulaire précise « [qu'en] règle générale, on observe que, lorsque l'étude sismique a réglé le problème de la sécurité des constructions, celui des autres nuisances des occupants de ces constructions se trouve résolu. »

Rapports de l'United States Bureau of Mines

Plusieurs normes proposent des limites d'exposition qui semblent basées directement sur les conclusions de rapports du United States Bureau of Mines ou encore qui se basent sur les mêmes études originales pour tirer des conclusions similaires. Les principales conclusions et recommandations de cet organisme sont données dans les sous-sections suivantes.

VIBRATION

Dans un rapport qui analyse les effets des vibrations sur les édifices, Siskind *et al.* (1980a) fournissent des niveaux de vibration sécuritaires. Ceux-ci sont reproduits dans le tableau suivant.

Niveaux sécuritaires de vibrations liées aux sautages pour des édifices résidentiels^A

	Vibration au sol – vitesse particulaire maximale (mm/s [pouces/s])	
	Basse fréquence ^B (<40 Hz)	Haute fréquence (≥40 Hz)
Maison moderne, mur intérieur de croisons sèches	19,0 [0,75]	50,8 [2,0]
Maison plus vieille, mur intérieur de lattes de bois recouvertes de plâtre	12,7 [0,50]	50,8 [2,0]

^A Données traduites du Tableau 13 de Siskind *et al.* (1980a).

^B Toutes les pointes spectrales ayant une amplitude supérieure à 50 % de l'amplitude de la fréquence dominante doivent être analysées.

Lorsque les vibrations ne durent pas plus de quelques secondes, ces limites sont considérées comme étant sécuritaires (« [...] *unlikely to produce interior cracking or other damage in residences* [...] ») pour des édifices qui reposent sur une fondation stable, ont deux étages ou moins et qui ont les dimensions typiques d'une résidence.

Pour ce qui est des effets de gêne ou de dérangement, Siskind *et al.* rapportent qu'il est difficile d'isoler les effets des vibrations étant donné la présence simultanée de la surpression d'air et les nombreux effets secondaires de ces phénomènes (vibration des fenêtres, vaisselles, etc.).

La figure suivante, tirée de Siskind *et al.*, illustre la relation entre la durée des vibrations et le dérangement. Pour diverses durées (*exposure time*) et vitesse particulaire (*particle velocity*), la figure donne la réponse des personnes exposées selon les données fournies dans 3 études et selon la norme ISO2631 en vigueur à l'époque. Il en découle que plus la durée des vibrations est grande, moins celles-ci seront considérées comme étant acceptables.

Réponse humaine aux vibrations en fonction de la durée (figure tirée de Siskind et al. [1980a]).

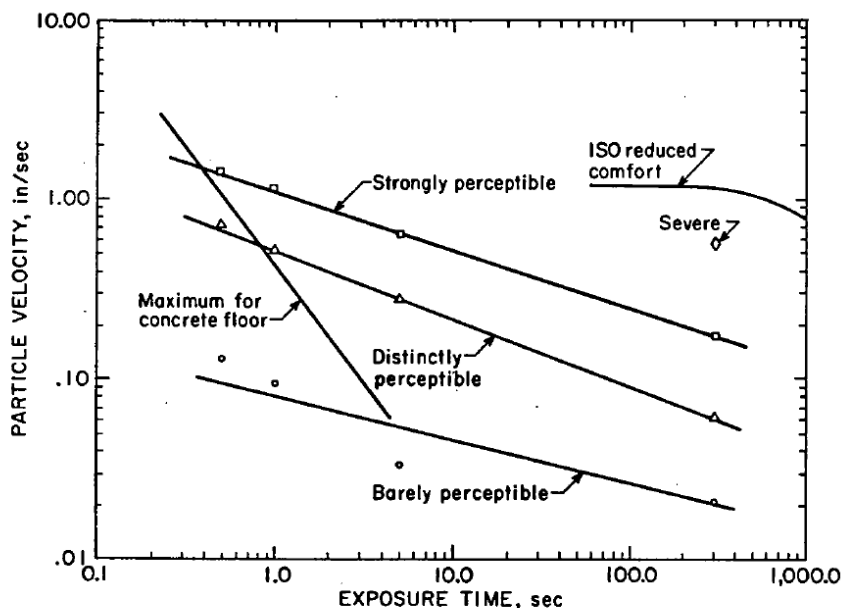


Figure 66.—Human response to vibrations of various durations, summary. ISO values are from Standard 2631.

Siskind et al. indique qu'une régression de puissance sur les données « fortement perceptible » (*strongly perceptible*) de cette figure permet d'établir la relation suivante :

$$V = 28,34 \times t^{-0,332}$$

où t est la durée de l'exposition, en secondes, et V la vitesse particulaire, en mm/s.

À partir de ces données, on constate que pour une durée qui passerait, par exemple, de 6 à 15 secondes, la vitesse particulaire maximale pour atteindre le même seuil de perception (fortement perceptible) passe de 15,63 mm/s à 11,53 mm/s, soit une réduction d'un facteur d'environ 1,35.

Siskind et al. précisent que les données reproduites ci-haut ont été recueillies auprès de personnes qui n'étaient pas dans leur domicile. Ainsi, celles-ci ne tiendraient pas entièrement compte des effets possibles liés à la peur de dommages causés par les vibrations, la surprise (*startle*), les crépitements de la maison (*rattle*), et d'autres effets secondaires. Les auteurs sont d'avis que l'ajout de ces éléments réduirait sans doute le seuil à partir duquel les personnes réagissent à la vibration. Les auteurs indiquent qu'en l'absence d'un programme de relations publiques, à des niveaux de vibration de 12,7 mm/s, 15 à 30 % de la population serait « très dérangée » (*very annoyed*).

SURPRESSION D'AIR

Dans un rapport qui analyse les effets de la surpression d'air sur les édifices, Siskind et al. (1980b) fournissent des niveaux sécuritaires de surpression d'air.

Dans leur rapport, Siskind et al. décrivent la surpression d'air générée par les sautages comme étant des bruits impulsifs de courte durée (typiquement de 300 msec) dont une grande partie de l'énergie est à une fréquence en dehors de la gamme audible.

Siskind *et al.* concluent que malgré les nombreuses variations des caractéristiques des sources, des hypothèses et des interprétations possibles, il existe un consensus qu'en dessous de 140 dB (0,030 lb/po²), la surpression d'air associé aux sautages n'est pas en mesure de causer des dommages (*improbable*). Au final, Siskind *et al.* proposent une limite de surpression d'air de 134 dB avec un filtre passe-haut à 0,1 Hz. Les auteurs donnent aussi d'autres valeurs en fonction des filtres utilisés. Ces conclusions sont illustrées dans le tableau suivant.

Niveaux sécuritaires de surpression d'air liée aux sautages (données tirées de Siskind *et al.* (1980b))

	Niveau sonore maximal
Filtre passe-haut à 0,1 Hz	134 dB
Filtre passe-haut à 2 Hz ^A	133 dB
Filtre passe-haut à 5 ou 6 Hz	129 dB
Filtre C-slow ^B	105 dB

^A Considérée comme étant le type de filtre offrant la meilleure caractérisation des surpressions d'air associées aux sautages.

^B Durée maximale de 2 secondes pour les événements.

Siskind *et al.* ont conclu que les surpressions d'air liées aux sautages sont loin des seuils de dommage du tympan et de l'oreille interne. Le seuil de 134 dB est considéré comme suffisamment bas pour empêcher tout effet direct lié à la santé humaine.

En ce qui a trait aux effets autres que les effets directs sur la santé humaine, Siskind *et al.* précisent qu'il est difficile d'isoler les effets de dérangement de la surpression d'air des autres phénomènes présents lors de sautages. Les auteurs considèrent que les études réalisées jusqu'à maintenant ne sont pas toutes directement applicables et que d'autres recherches étaient nécessaires.

Au final, Siskind *et al.* considèrent que la plupart des objections liées aux sautages sont liées aux dommages causés ou appréhendés et que dans le cas de la surpression d'air, les seuls descripteurs des réactions des personnes exposées qui puissent être pertinents sont la surprise (*startle*) et la peur (*fright*). Les auteurs notent que plusieurs facteurs peuvent influencer la perception du dérangement lié à la surpression d'air : l'attitude de l'opérateur et des personnes exposées, la croyance en la nature nécessaire et inévitable de la source, le système de relation publique de l'opérateur, de même que les impacts économiques liés à la source. Tout en reconnaissant la nécessité de limiter l'amplitude et les impacts des sautages, les auteurs considèrent tout de même que ces facteurs pourraient avoir une incidence plus importante sur la perception que le niveau précis de pression d'air ou le nombre de sautages par jour.

Au-delà des limites liées aux dommages possibles liés à la surpression d'air, Siskind *et al.* ont évalué qu'une surpression d'air de 120 dB pouvait occasionner du dérangement (*annoyance*) lié aux crépitements des maisons (*rattle*) et à la peur (*fright*). À la limite proposée de 134 dB, ce dérangement pourrait toucher jusqu'à 5 à 10 % des maisons.

Autre constat

Une partie importante du dérangement rapporté en lien avec les sautages proviendrait de la crainte que ceux-ci puissent endommager les bâtiments. À la lumière des documents consultés, il semble que cette crainte est non fondée pour les sautages respectant les normes en vigueur au Québec.

La plupart des documents consultés mettent de l'emphase sur la nécessité d'un programme de relation avec le public pour réduire le dérangement occasionné par les sautages. Un tel programme semble nécessaire pour bien expliquer à la population touchée que les vibrations qu'elle ressent n'entraîneront pas de dommages aux structures exposées lorsque les normes en vigueur sont respectées. En l'absence d'un tel programme, il semble probable qu'une partie de la population ressent des craintes en lien avec les risques appréhendés et que ces craintes augmentent le dérangement associé aux sautages.

Références

American National Standards Institute, ANSI S2.71-1983 (R2012). Guide to the Evaluation of Human Exposure to Vibration in Buildings, American National Standards Institute, 2012

British Standards Institute, BS 6472-2:2008. Guide to evaluation of human exposure to vibration in buildings. Part 2: Blast-induced vibration. British Standards Institute, 2008.

British Standards Institute, BS 7385-2:1993. Evaluation and measurement for vibration in buildings — Part 2: Guide to damage levels from groundborne vibration. British Standards Institute, 1993.

British Standards Institute, BS 5228-2:2009 - Code of practice for noise and vibration control on construction and open sites – Part 2: Vibration. British Standards Institute, 2009.

France, 1986. Circulaire du 23/07/86 relative aux vibrations mécaniques émises dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, Règlementation de la prévention des risques et de la protection de l'environnement, 1986.

International Organisation for Standardisation, ISO 2631-2:2003. Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz). International Organisation for Standardisation, 2003

Québec, (2012), Directive 019 sur l'industrie minière, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, mars 2012

Siskind, D. E., Stagg, M. S., Kopp, J. W., Howding, C. H., 1980a, Report of Investigations 8507: Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting. United States Bureau of Mines, 1980

Siskind, D. E., Stachura, V. J., Stagg, M. S., Kopp, J. W., 1980b, Report of Investigations 8485: Structure Response and Damage Produced by Airblast From Surface Mine Blasting. United States Bureau of Mines, 1980