

**ÉVALUATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES OPÉRATIONS
DE DYNAMITAGE RELIÉES AUX TRAVAUX DE
LA NOUVELLE PRISE D'EAU DE SAINTE-FOY**

Présenté à:

LABORATOIRES D'EXPERTISES DE QUÉBEC LTÉE
2320, rue De Celles
Québec (Québec)
G2C 1X8

Présenté par:

GÉOPHYSIQUE GPR INTERNATIONAL INC.
100-2545, rue Delorimier
Longueuil (Québec)
J4K 3P7

FÉVRIER 2006

M-06160



TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	MÉTHODOLOGIE.....	3
3.	IMPACT DES OPÉRATIONS DE DYNAMITAGE.....	3
3.1	Vibrations.....	3
3.1.1	Limite sécuritaire aux bâtiments.....	6
3.1.2	Limite de tolérance des humains aux vibrations.....	7
3.1.3	Limite sécuritaire aux puits d'eau des particuliers.....	10
3.1.4	Stabilité du talus rocheux.....	11
3.2	Surpressions d'air.....	12
3.3	Projections.....	14
4.	CONCLUSION.....	15
5.	RECOMMANDATIONS.....	16
BIBLIOGRAPHIE		

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1	Localisation des travaux de dynamitage et des structures.....	2
FIGURE 2	Courbes d'atténuation des vibrations en fonction de la distance et de la charge maximale d'explosifs par délai.....	5
FIGURE 3	vitesse de particules maximum admissible en fonction de la fréquence de vibrations des dynamitages (USBM).....	7
FIGURE 4	Effets des vibrations sur les gens.....	9

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1	Vibrations extrapolées en fonction de la distance et de la charge par délai.....	6
TABLEAU 2	Effets des sautages.....	12
TABLEAU 3	Effets des surpressions d'air sur les humains et les structures.....	13

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A	Photos de la visite du 19 janvier 2006
ANNEXE B	Extrait de la norme ISO 2631-2



1. **INTRODUCTION**

Géophysique GPR International Inc. fut mandatée le 12 janvier 2006 par les Laboratoires d'Expertises de Québec Ltée (LEQ), afin de procéder à une étude des vibrations et des surpressions d'air causées par les opérations futures de dynamitage reliées aux travaux de la Prise d'eau à Sainte-Foy.

Le but du mandat était d'analyser les impacts des dynamitages sur les structures, le talus rocheux et les humains en fonction de la distance et des normes existantes.

La figure 1 montre la localisation de la future Prise d'eau, de la zone de dynamitage prévue ainsi que des structures dans un rayon de 350 mètres.



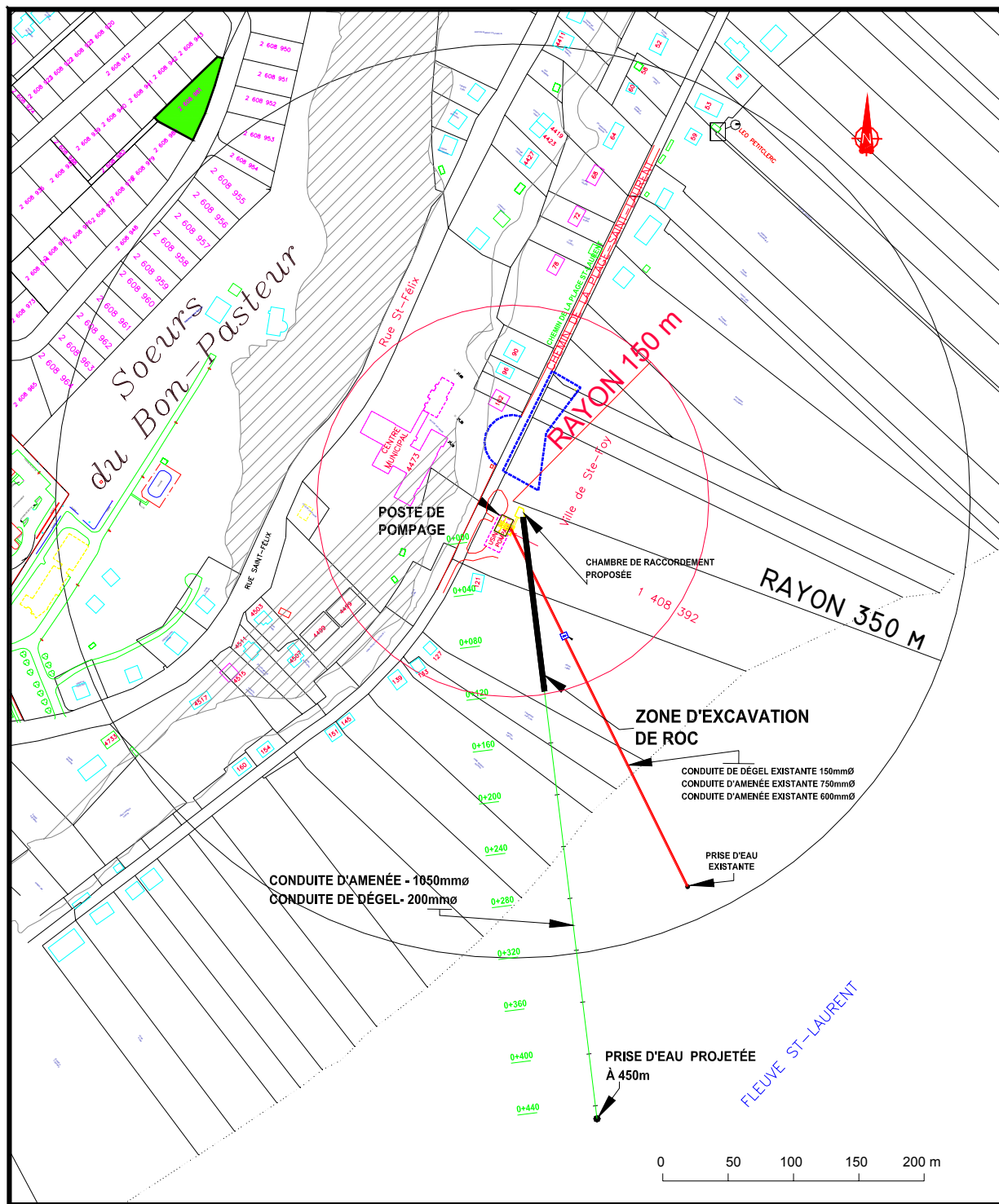


FIGURE 1

Localisation des travaux de dynamitage et des structures

(Réf. : LEQ, Dessin no. 4541-00-01 et Dessau-Soprin, Dessin no. 0856042-100-VR-0001-02)



2. MÉTHODOLOGIE

Pour ce faire, Géophysique GPR International a fourni les services de M. Francis Trépanier, ing. pour effectuer l'analyse de risques ainsi que M. Réjean Paul, ing. géoph. pour la supervision. Pour effectuer cette étude, nous avons visité le site le 19 janvier 2006 avec la collaboration de M. Raymond Juneau, ing. M.Sc.A. de LEQ et nous avons également consulté les documents suivants fournis par LEQ :

- LEQ, « Prise d'eau de Sainte-Foy – Stabilité de talus », 22 octobre 2003.
- Dessau-Soprin, « Nouvelle Prise d'eau de Sainte-Foy », Plans no. 0856042-100-VR-0001-02, 2003-09-10.

L'annexe A présente certaines photos prises lors de notre visite du 19 janvier 2006.

3. IMPACTS DES OPÉRATIONS DE DYNAMITAGE

Selon les informations fournies par LEQ, les travaux pour la nouvelle prise d'eau de Sainte-Foy nécessiteront l'excavation de roc sur une distance d'environ 120 mètres à partir de la station de pompage en se dirigeant vers le fleuve (voir figure 1). La profondeur maximale de roc à excaver sera d'environ 6 mètres si les travaux sont réalisés en tranchée.

Dans ce type de travaux, les méthodes de dynamitage utilisés dépendent généralement de la dimension de la tranchée, de la nature du roc et des contraintes environnementales (limites de vibrations, de surpressions d'air, et de surpressions dans l'eau). Par conséquent, la charge maximale d'explosifs par délai utilisée dépendra du diamètre de forage, de la hauteur du banc, du type d'explosifs, et du nombre de délais par trou (ou trous par délai).

3.1 Vibrations

À partir de résultats de vibrations pour un site donné et de la relation mathématique ci-dessous, on peut établir le niveau des vibrations aux alentours des dynamitages.

$$V = K (d/w^{1/2})^\beta$$

où V: Vitesse de particules (mm/s)
 w: Charge maximale par délai (kg)
 d: Distance entre la source et le point de mesure (m)
 K et β : Constantes de dynamitage et de site
 $d/w^{1/2}$: Distance scalaire



Pour ce faire, on doit déterminer les constantes K et β en portant des données de vitesse de particules et de distance scalaire (30 données minimum pour une bonne représentation statistique) sur un graphique log-log. Étant donné que l'on n'a pas de résultats pour le site de la nouvelle prise d'eau, on peut estimer les vibrations à l'aide de valeurs de base pour K (1143) et β (-1,6), couramment utilisées comme évaluation au début d'opérations de dynamitage.

La figure 2 montre les courbes d'atténuation des vibrations en fonction de la distance et de la charge maximale d'explosifs par délai qui pourrait être utilisée dans le contexte du site de la nouvelle prise d'eau. De plus, le tableau 1 présente les valeurs de vibrations de la figure 2 pour les distances de 50, 100, 150, 200, 250, 300 et 350 mètres.

D'autre part, les vibrations générées par le trafic (voitures, autobus, trains) et les travaux de construction (compaction, excavation du sol, marteau piqueur, véhicule lourd) sont généralement inférieures à 5 mm/s à des distances de l'ordre de 20 à 30 mètres.



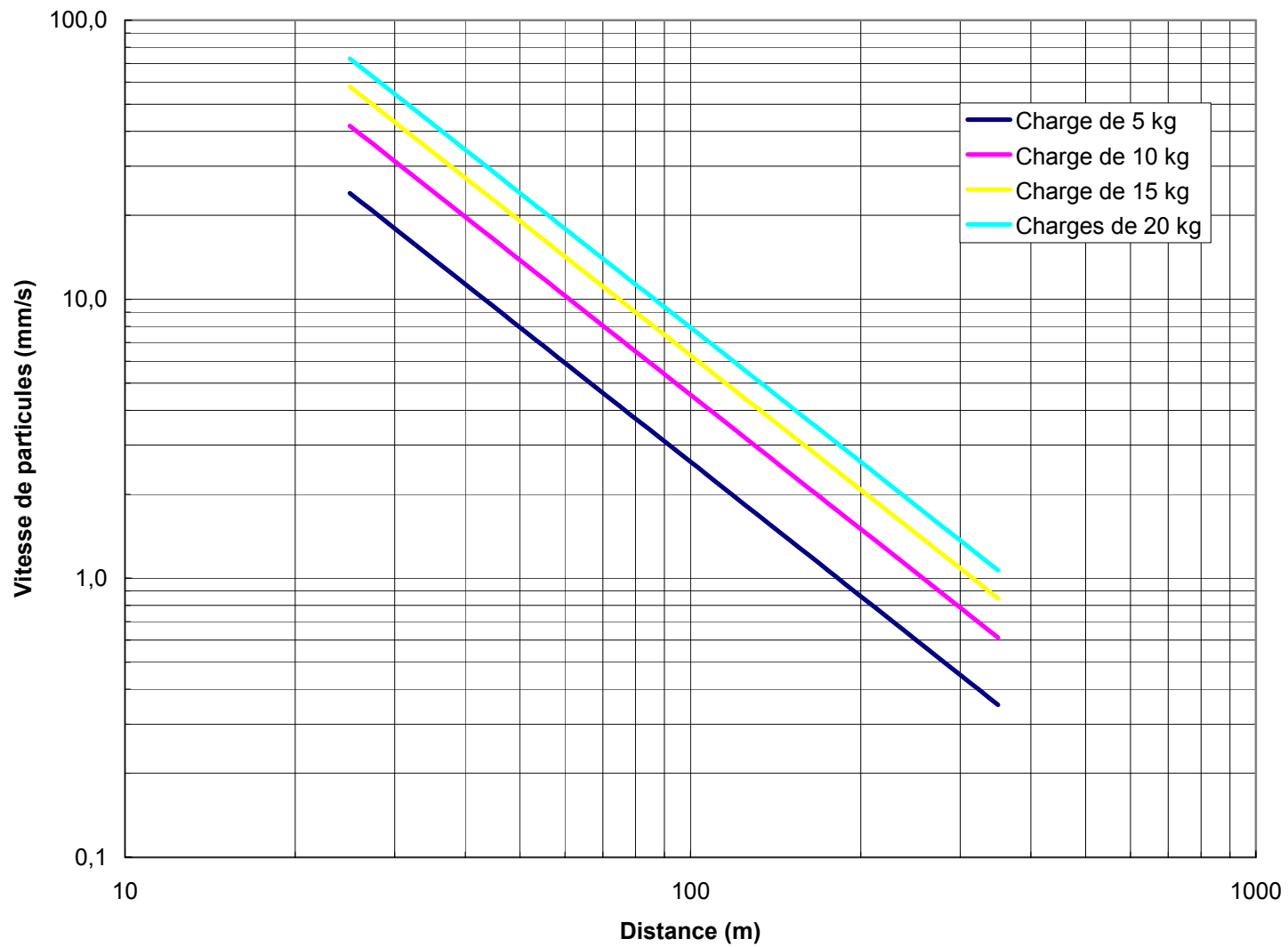


FIGURE 2

Courbes d'atténuation des vibrations en fonction de la distance et de la charge maximale d'explosifs par délai



TABLEAU 1
Vibrations extrapolées en fonction de la distance et de la charge par délai

Distance (m)	Valeur des vibrations en mm/s			
	W=5 kg	W=10 kg	W=15 kg	W=20 kg
50	7.92	13.79	19.08	24.01
100	2.61	4.55	6.29	7.92
150	1.37	2.38	3.29	4.14
200	0.86	1.50	2.08	2.61
250	0.60	1.05	1.45	1.83
300	0.45	0.78	1.09	1.37
350	0.35	0.61	0.85	1.07

3.1.1 Limite sécuritaire aux bâtiments

Pour évaluer la possibilité de dommages causés par les vibrations aux différentes structures, on doit se baser sur des critères reconnus et sur les conditions géologiques et environnementales du site. Aujourd'hui, de nombreux critères et études existent pour les résidences. Cependant, pour des structures particulières comme des talus, ça oblige les intervenants à effectuer des études d'impacts et des programmes de contrôle afin de minimiser les risques de dommages (voir section 3.1.4).

La figure 3 représente le critère maximal de vitesse de particules admissible, ne causant pas de dommage notable, en fonction de la fréquence des vibrations selon le United States Bureau of Mines (USBM). Ce critère a été émis en 1980 par le USBM dans son rapport RI 8507. Ce rapport fut l'aboutissement de plusieurs années de mesures expérimentales et d'analyses statistiques sur des résidences unifamiliales.



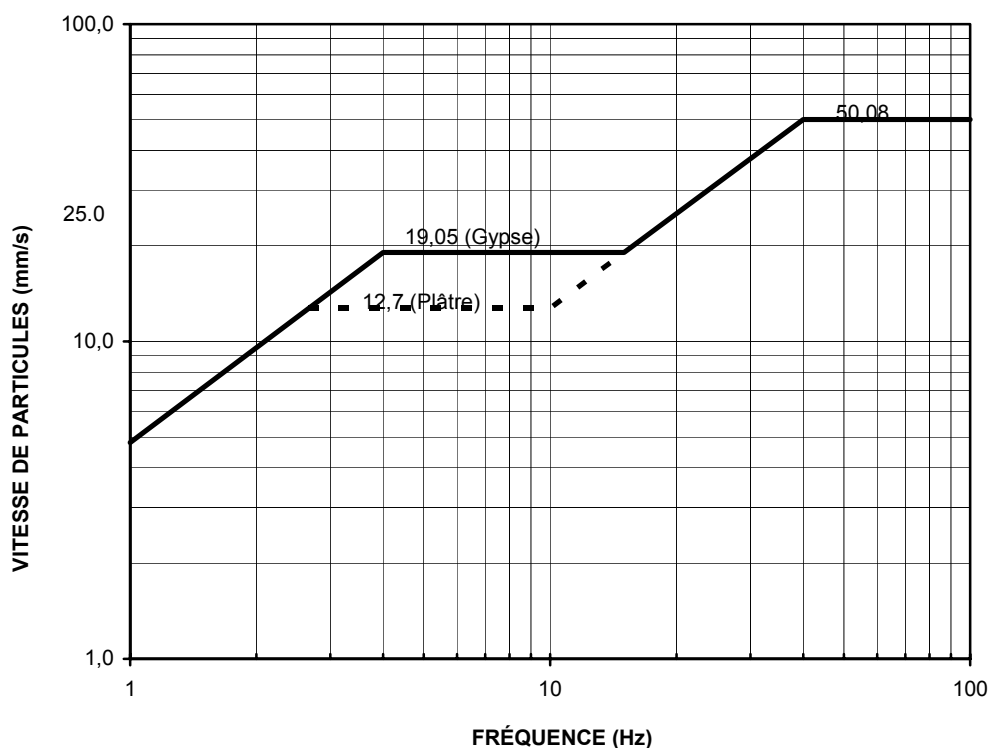


FIGURE 3

VITESSE DE PARTICULES MAXIMUM ADMISSIBLE EN FONCTION DE LA FRÉQUENCE DE VIBRATIONS DES DYNAMITAGES (Courbe limite établie par le United States Bureau of Mines, RI-8507, 1980)

D'autre part, certaines municipalités du Québec ont des règlements stipulant les limites de vibrations pour les travaux de dynamitage sur leur territoire. Par exemple, la Ville de Montréal a un règlement sur les excavations où la limite de vibrations est de 25 mm/s.

3.1.2 Limite de tolérance des humains aux vibrations

Les vibrations induites par des chocs dans les bâtiments peuvent être perçues par les occupants et les affecter de diverses façons. Les vibrations perceptibles entraînent souvent les résidents à craindre l'apparition de dommages sur leur bâtiment. Cependant, ces faibles vibrations ne justifient généralement pas ces craintes.



Les êtres humains sont beaucoup plus sensibles aux vibrations que les structures. Comme pour les structures, il existe des normes pour la sensibilité des gens aux vibrations. En effet, la norme ISO 2631 présentée sous le titre général « Estimation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps », inclut une section (2631-2) concernant les vibrations continues et induites par les chocs dans les bâtiments (1 à 80 Hz). Cette norme donne seulement des principes directeurs concernant son application à la réponse humaine aux vibrations dans les bâtiments.

L'annexe A de la norme ISO 2631-2 présentée en annexe B, donne des indications reflétant l'état actuel des connaissances sur les résultats des études concernant les amplitudes de vibrations dans les bâtiments jugées acceptables vis-à-vis de la réponse humaine. Mentionnons que dans les zones résidentielles, il y a de grandes variations de tolérance des vibrations. Les valeurs spécifiques dépendent des facteurs socioculturels, des attitudes psychologiques et de l'ingérence prévue des vibrations dans la vie privée.

Par conséquent, avec la courbe de base pour la vitesse de particules (en mm/s) selon une direction combinée du corps humain (axe des x, y et z), ainsi que selon les fréquences enregistrées entre 8 et 100 Hz et les facteurs multiplicatifs indiqués dans l'annexe A de la norme, on trouve des amplitudes acceptables de jour (crête) pour des vibrations d'impulsions entre 4,2 mm/s et 12,7 mm/s dans les résidences en ce qui concerne la réponse humaine.

De plus, en se référant à la figure 4 qui présente les effets des vibrations sur les gens, on constate que les résultats estimés pour les bâtiments résidentiels les plus rapprochées (environ 50 mètres; 121 chemin de la Plage Saint-Laurent) se situent dans les zones déplaisantes et intolérables pour l'être humain.

D'autre part, les vibrations peuvent être perceptibles pour certains humains à un niveau aussi bas que 0,3 mm/s.



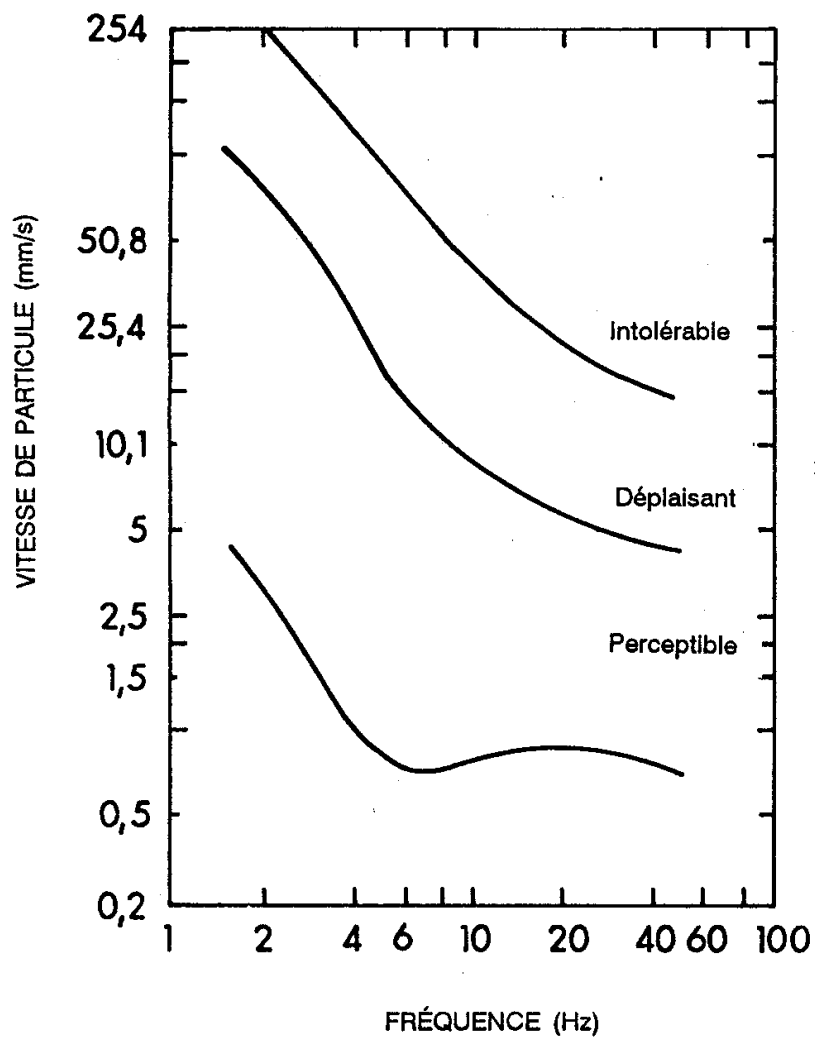


FIGURE 4

Effets des vibrations sur les gens
(Réf. : USBM, RI-8507, 1980)



3.1.3 Limite sécuritaire aux puits d'eau des particuliers

Selon les informations transmises par LEQ, les résidences du chemin de la Plage Saint-Laurent à l'ouest de la station de pompage ne sont pas raccordées au réseau d'aqueduc de la municipalité, mais par un puits sur leurs terrains.

Les critères pour les structures ne peuvent pas nous servir vraiment pour les puits résidentiels en alimentation d'eau car ils ne sont pas une structure comme un bâtiment.

Le United States Bureau of Mines publiait au début des années 80, ses recherches sur les effets des dynamitages sur les puits résidentiels. Ces recherches ont étudié les principales causes de plaintes, soit la qualité et le niveau de l'eau dans les puits. Ces études ont démontré qu'il n'y avait aucun effet direct des dynamitages sur les puits lorsque les vibrations étaient inférieures à 50 mm/s en surface. De façon générale, les problèmes de qualité et de baisse du niveau d'eau étaient causés par une mauvaise installation, des changements environnementaux (conditions climatiques, excavation) à proximité, ou des puits auxquels on a procédé à une réparation avant les dynamitages.

Cette limite de 50 mm/s est également confirmée par l'International Society of Explosives Engineers qui a publié différentes études à ce sujet. Ces études ont également montré qu'avec une vibration maximale de 138 mm/s (5,44 po/s) enregistrée en surface, il n'y avait aucune évidence directe d'un changement dans la qualité et le niveau d'eau. De plus, des mesures faites en profondeur ont indiqué que les vibrations des dynamitages au niveau des pompes submersibles étaient plus faibles que les vibrations engendrées par le démarrage et l'arrêt de la pompe.

Le type d'onde produite par le sautage se compose principalement de l'onde de Rayleigh, cette onde de surface s'atténue avec la profondeur et n'atteint pas des profondeurs plus grandes que sa longueur d'onde. Cependant, les différentes études ont démontré que dans certains cas, les dynamitages peuvent engendrer temporairement une turbidité de l'eau (matière en suspension).

D'autre part, le règlement sur les carrières et sablières du Québec stipule que les vibrations ne doivent pas être plus élevées que 40 mm/s à 30 mètres de toute construction ou de tout puits artésien.



3.1.4 Stabilité du talus rocheux

En se référant au rapport de LEQ daté du 22 octobre 2003 intitulé « Étude de stabilité de talus » et à notre visite du 19 janvier 2006, on constate que les affleurements rocheux dans le talus montrent une pente prononcée généralement comprise entre 40° et 45° vers le chemin de la Plage Saint-Laurent (voir photos en annexe A).

On constate également que des chutes locales de petits blocs ou cailloux surviennent naturellement (gel-dégel, fortes pluies, fonte printanière, etc.).

Le tableau 2 présente la relation entre les vibrations de dynamitage et l'échelle de Richter utilisée pour calculer l'énergie libérée pendant un tremblement de terre.

Cependant, cette relation est une mesure plus qualitative que quantitative étant donné les différences importantes des caractéristiques physiques entre un tremblement de terre et un dynamitage de construction. En effet, les calculs de magnitude pour les tremblements de terre (exemple : magnitude de Richter et de Nuttli), prennent en considération des caractéristiques propres au tremblement de terre (très basse fréquence, épicycle en profondeur, etc.).

Cependant, selon les vibrations maximales estimées (voir tableau 1), la magnitude maximale des dynamitages pourrait être de l'ordre de 2 à 3 sur l'échelle de Richter. De plus, suite aux séismes du Saguenay en 1988 (magnitude de 5,9) et de Cap-Rouge en 1997 (magnitude de 5,2), aucun glissement ou chute de blocs n'a été observé dans le secteur à l'étude du projet de la nouvelle prise d'eau de Sainte-Foy. À titre comparatif, une charge d'explosif de 10 kg génère environ 13,8 mm/s à 50 mètres, comparativement au tremblement de terre de Cap-Rouge d'une magnitude de 5,2 à l'échelle de Richter où les vibrations ont largement dépassé 300 mm/s à l'épicentre (voir tableau 2).

Les risques d'instabilité de surface du talus rocheux durant la période des travaux devraient être précisément surveillés et contrôlés par les mesures énumérées dans nos recommandations à la section 5.



TABLEAU 2
Effets des sautages
 (Références : Dupont, Manuel des Explosifs)

Vibration des particules		Échelle Richter Magnitude	Nature des effets (à l'épicentre des tremblements de terre)
Pouce/sec	(mm/sec)		
12.0	305.0	4.5	Chute de pierres dans les tunnels souterrains sans revêtement et probabilité de dommages aux cheminées.
7.59	193.0	4.2	À titre d'exemple, un séisme d'une intensité de 4,2 a été détecté près de Baie Trinité le 9 novembre 1986. Aucun dégât n'a été rapporté.
5.39	137.0	4.0	Probabilité de 50% de dommages légers au plâtre.
2.79	71.0	3.7	Seuil minimum pouvant causer des dommages aux structures.
2.00	51.0	3.5	Critère de sécurité pour les structures résidentielles.
1.5	38.0		
0.98	25.0	3.0	95% des gens perçoivent bien ce niveau de vibrations.
0.31	8.0	2.5	Gamme de vibrations que produiront les sautages du gisement E-32 (théorique, à 1 800 pieds de la source).
0.09	2.5		
0.05	1.3	1.5	50% des gens perçoivent ces vibrations.
0.01	0.5	0.5	Seuil minimum de perception des humains.

3.2 Surpressions d'air

Si on se réfère au tableau 3 représentant le niveau de bruit en dB et en lb/po² par rapport à leurs effets sur les humains et sur les structures, on constate que la valeur de 120 dB (ou 0,0030 lb/po²) correspond à un seuil très inconfortable mais qui peut être de courte durée, tandis que 130 dB (ou 0,0095 lb/po²) en continue correspond à un seuil insupportable au niveau de la perception auditive et qui se compare au bruit d'un feu d'artifice lorsqu'il est de courte durée. En terme de pression, la valeur de 130 dB est 3,2 fois plus élevée que 120 dB. Selon notre expérience, nous sommes d'avis qu'une limite de 130 dB pour les dynamitages serait sécuritaire pour les structures.



TABLEAU 3**Effets des surpressions d'air sur les humains et les structures**

Surpression Lbs/PO ²	Niveaux de bruit en dB	Effets ou impressions auditives	Bruits intérieurs urbains ou communautaires et sources de surpression	Effets sur les structures
3.0*	180			Dommages aux structures (plâtres)
0.95	170			Presque toutes les vitres Brisent
0.30	160		Vent de 100 milles/hre***	Bris de quelques vitres
0.095	150			
0.030	140			
0.0095	130***	Insupportable, seuil de la douleur	Avion à réaction militaire au cours de l'envol, à 15 m de distance (130 dB(A))	Aucun
0.0030	120	Très inconfortable, dangereux: l'exposition à ce niveau doit être de courte durée	Envol d'un avion turbo-propulseur à pleine puissance mesuré à une distance de 60 m (118 dB(A))	Aucun
0.00095	110	Temps d'exposition limité de 30 à 120 min. par jour, inconfortable, port de dispositifs protecteurs obligatoires	Survole de différents jets à 300 m (103 dB(A)) freinage intempestif d'un camion ou d'un autobus (105 dB(A))	Aucun
0.00030	100	Risques auditifs graves pour une exposition habituelle de 8 heures par jour, port de dis- positifs protecteurs recommandés	Boeing 737 ou DC9, 1800 m avant le point d'atterrissage (97 dB(A)), motocyclette à 7.5m (90 dB(A)).	Aucun
>0.0001	90	Très bruyant, début des dommages auditifs pour une exposition de 8 heures par jour	Lave-auto à 6 m (89 dB(A)), camion diesel à 60 km/h à une distance de 15 m (84 dB(A)), grosse tondeuse à gazon à 7.5 m (85 dB(A))	Aucun
>0.0001	80	Ambiance bruyante	Niveau de bruit moyen pour un carrefour urbain très animé d'une grande métropole (78 dB(A)), automobile roulant à 100 km/h à 7.5 m (77 dB(A))	Aucun
>0.0001	70	Ambiance animée	Bruit moyen dans un quartier commercial animé (68 dB(A)). Bruit moyen en bordure d'une voie de circulation avec un débit de 1000 véhicules par heure (68 dB(A))	Aucun
>0.0001	60	Conversation à voix normale perçue à 3 m, peu bruyant	Unité d'air conditionné à 15 pieds (55 dB(A)). Gros transformateur électrique à 30 m (55 dB(A))	Aucun

* Mohrard R., *Explosives and Rock Blasting*, 1987, imprimé aux États-Unis par Llibrary of Congress, p.362** J.G. Migneron, *Acoustique urbaine*, Université Laval, 1980, p.12*** *Blasting damage*, publié par American Insurance Association, N-Y, 1972, p.8

3.3 Projections

En respectant les règles de l'art pour ce type de travaux, la probabilité que des projections surviennent est faible. Les risques de projections devraient être précisément surveillés et contrôlés par un contrôle continu lors des travaux qui vise à réduire les risques d'un incident en assurant une qualité d'un tir à l'autre. Toutes les étapes du contrôle continu doivent être documentées selon une procédure établie au préalable. Ces procédures assurent que les opérations de dynamitage soient conçues et réalisées afin de maintenir les effets environnementaux à un niveau acceptable et sécuritaire pour les structures. Ce contrôle continu inclut entre autres:

- Approbation des patrons de forage et de dynamitage;
- Surveillance des travaux en fonction des patrons approuvés;
- Mesure des vibrations et des surpressions d'air;
- Enregistrement des sautages sur vidéo;
- Contrôle des produits explosifs;
- Rapport de non-conformité;
- Utilisation de pare-éclats.



4. CONCLUSION

Nos services ont été retenus par les Laboratoires d'Expertises de Québec Ltée (LEQ) dans le but de réaliser une étude des impacts environnementaux occasionnés par les opérations de dynamitage prévues par la construction de la nouvelle prise d'eau de Sainte-Foy.

Suite à l'analyse des données transmises par LEQ et de nos observations lors de notre visite du site le 19 janvier 2006, il en ressort les faits suivants :

- Les travaux de construction de la nouvelle prise d'eau nécessiteront l'excavation de roc sur une distance d'environ 120 mètres à partir de la station de pompage et sur une profondeur maximale d'environ 6 mètres, si les travaux sont réalisés en tranchée;
- Les vibrations maximales extrapolées pour les résidences les plus rapprochées (environ 50 mètres) se situent entre 7,9 mm/s et 24 mm/s pour des charges par délai entre 5 et 20 kg;
- Les vibrations extrapolées pour des charges entre 5 et 20 kg se situent à un niveau à peine perceptible pour l'être humain à 350 m (entre 0,35 mm/s et 1,07 mm/s);
- Les vibrations maximales extrapolées aux résidences les plus rapprochées se situent à un niveau déplaisant à intolérable pour l'être humain;
- Selon le critère du USBM, les vibrations extrapolées seraient sécuritaires pour les structures;
- Selon la norme ISO-2631-2, les amplitudes acceptables de jour pour l'être humain pour des vibrations d'impulsions sont entre 4,2 mm/s et 12,7 mm/s;
- Les surpressions d'air de l'ordre de 120 à 130 dB pour ce genre de travaux sont sécuritaires pour les structures mais inconfortables pour l'être humain;
- Les vibrations maximales extrapolées pourraient être de magnitude de Richter de 2 à 3 maximum, ce qui est bien inférieur aux derniers séismes (Saguenay en 1988 à 5,9 et Cap-Rouge en 1997 à 5,2) importants ressentis dans la région de Cap-Rouge où aucun glissement ou chute de blocs n'a été observé dans le secteur à l'étude.

Finalement, sur la base de notre analyse et des critères existants, nous sommes d'avis que les vibrations extrapolées sont sécuritaires pour les structures et la stabilité du talus. Cependant, les risques d'instabilité des blocs de surface doivent être précisément surveillés et contrôlés durant toute la période des travaux (dynamitage et construction).



5. RECOMMANDATIONS

Certaines mesures de protection et certains suivis devront être réalisés afin de s'assurer de la sécurité des structures, des citoyens et du talus rocheux.

- Établir un système de suivi de détection de mouvement pour la stabilité du talus aux zones jugées plus ou moins instables durant toute la durée des travaux (dynamitage et construction);
- Réévaluer visuellement la stabilité du talus sur un rayon d'au moins 150 mètres (vibrations extrapolées inférieures à 5 mm/s) et si nécessaire, caractériser les affleurements rocheux avec un géologue d'expérience;
- Réaliser une pré inspection des structures et des puits sur un rayon d'environ 150 mètres par un expert en contrôle de dynamitage;
- Réaliser un suivi rigoureux des vibrations et des surpressions d'air pour la durée des travaux de dynamitage par un expert en contrôle de dynamitage;
- Effectuer des tests de dynamitage au début des travaux afin d'établir avec plus d'exactitude l'atténuation des vibrations en fonction des caractéristiques du site (établir les constantes K et β);
- Effectuer un contrôle rigoureux des projections;
- Rédiger des spécifications détaillées pour le devis de dynamitage sur les méthodes de travail, le suivi à réaliser et les limites de vibrations;
- En se référant au CCDG, l'Entrepreneur doit installer des détecteurs de monoxyde de carbone à proximité des drains de plancher qui sont situés à l'intérieur d'une zone de 50 m de largeur mesurée par rapport aux limites de l'aire de chaque sautage. De plus, l'Entrepreneur doit renseigner les occupants sur la nature des travaux ainsi que sur les symptômes pouvant être ressentis (maux de tête, nausées, etc.), et sur les mesures à prendre advenant une infiltration, dans les bâtiments, des gaz engendrés par les tirs à l'explosif;



- Vérifier s'il y a présence d'équipements sensibles aux vibrations dans le secteur du projet.

Ce rapport a été préparé par M. Francis Trépanier, ing. et vérifié par M. Réjean Paul, ing. géoph.

Francis Trépanier, ing.

Réjean Paul, ing., géoph.
Président



BIBLIOGRAPHIE

Charles H. Dowding, Construction Vibrations, 2000.

D. E. Siskind, M. S. Stagg, J. W. Kopp, and C. H. Dowding, Structure Response and Damage Produced by Ground Vibration From Surface Mine Blasting, USBM, RI 8507, 1980.

David E. Siskind and John W. Kopp, @Blasting effects on Appalachian water wells@, USBM, rapport IC 9135, 1987.

David E. Siskind, A Vibration damages in industrial situations@, International Society of Explosives Engineers (ISEE), The journal of Explosives Engineering, Nov/Dec 1997.

Dessau-Soprin Inc., Plan d'ensemble, Nouvelle prise d'eau de Sainte-Foy, Projet no 0856042, dessin no 0001, 2003.

Éditeur officiel du Québec, Règlement sur les carrières et sablières du Québec, 1988.

G.M. Matherson and D.K. Miller, A Blast vibration damage to water supply well – Water quality and quantity@, Proceedings of the 23rd annual conference on explosives and blasting technique, 585-594 pp, 1997.

Géophysique GPR International Inc., Sismique réfraction 2002 – Nouvelle prise d'eau à Sainte-Foy, Projet no M-02651, décembre 2002.

ISEE, Blasters' Handbook, 17th Edition, 1998.

Kenneth P. Atkins, Jr., Donald E. Dixon, Concrete Structures and Construction Vibrations, 1984.

Laboratoire d'Expertise du Québec Ltée, Études de stabilité du talus de Cap-Rouge, Projet no 4541-00, Plan no 4541-00-01, octobre 2003.

Norme Internationale ISO-2631-2, Estimation des l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Partie 2 : Vibrations continues et induites par les chocs dans les bâtiments (1 à 80 Hz), première édition, 15 février 1989.



ANNEXE A

Photos de la visite du 19 janvier 2006





PHOTO 1

90 Plage St-Laurent



PHOTO 2

Blocs devant le 255 Plage Saint-Laurent





PHOTO 3

Blocs devant le 255 Plage Saint-Laurent



PHOTO 4

Falaise à l'ouest de la station de pompage





PHOTO 5

Falaise près du 127 Plage Saint-Laurent



PHOTO 6

Vue de la falaise à l'ouest du 102 Plage Saint-Laurent



ANNEXE B

Extrait de la norme ISO 2631-2



Tableau 1 — Valeurs d'accélération et de vitesse aux fréquences centrales de bandes de tiers d'octave pour les courbes de base des figures 2a, 2b, 3a, 3b, 4a et 4b

Fréquence (Fréquence centrale des bandes de tiers d'octave) Hz	Accélération (efficace) m/s ²			Vitesse (efficace) m/s		
	Courbe de base figure 2a	Courbe de base figure 3a	Courbe de base figure 4a	Courbe de base figure 2b	Courbe de base figure 3b	Courbe de base figure 4b
1	1×10^{-2}	$3,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-3}$	$5,73 \times 10^{-4}$	$5,73 \times 10^{-4}$
1,25	$8,9 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$1,13 \times 10^{-3}$	$4,58 \times 10^{-4}$	$4,58 \times 10^{-4}$
1,6	8×10^{-3}	$3,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$7,96 \times 10^{-4}$	$3,58 \times 10^{-4}$	$3,58 \times 10^{-4}$
2	7×10^{-3}	$3,6 \times 10^{-3}$	$3,6 \times 10^{-3}$	$5,57 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$
2,5	$6,3 \times 10^{-3}$	$4,51 \times 10^{-3}$	$3,72 \times 10^{-3}$	$4,01 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$2,37 \times 10^{-4}$
3,15	$5,7 \times 10^{-3}$	$5,68 \times 10^{-3}$	$3,87 \times 10^{-3}$	$2,88 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$1,95 \times 10^{-4}$
4	5×10^{-3}	$7,21 \times 10^{-3}$	$4,07 \times 10^{-3}$	$1,99 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$1,62 \times 10^{-4}$
5	5×10^{-3}	$9,02 \times 10^{-3}$	$4,3 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$1,38 \times 10^{-4}$
6,3	5×10^{-3}	$1,14 \times 10^{-2}$	$4,6 \times 10^{-3}$	$1,28 \times 10^{-4}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$1,16 \times 10^{-4}$
8	5×10^{-3}	$1,44 \times 10^{-2}$	5×10^{-3}	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
10	$6,3 \times 10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$6,3 \times 10^{-3}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
12,5	$7,81 \times 10^{-3}$	$2,25 \times 10^{-2}$	$7,8 \times 10^{-3}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
16	1×10^{-2}	$2,89 \times 10^{-2}$	1×10^{-2}	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
20	$1,25 \times 10^{-2}$	$3,61 \times 10^{-2}$	$1,25 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
25	$1,58 \times 10^{-2}$	$4,51 \times 10^{-2}$	$1,58 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
31,5	$1,97 \times 10^{-2}$	$5,68 \times 10^{-2}$	$1,97 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
40	$2,5 \times 10^{-2}$	$7,21 \times 10^{-2}$	$2,5 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
50	$3,13 \times 10^{-2}$	$9,02 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
63	$3,94 \times 10^{-2}$	$1,14 \times 10^{-1}$	$3,94 \times 10^{-2}$	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$
80	5×10^{-2}	$1,44 \times 10^{-1}$	5×10^{-2}	$9,95 \times 10^{-5}$	$2,87 \times 10^{-4}$	$9,95 \times 10^{-5}$

Annexe A

Informations sur les critères d'évaluation utilisés actuellement

(Cette annexe ne fait pas partie intégrante de la norme.)

Le tableau 2 présente des indications reflétant l'état actuel des connaissances sur les résultats des études concernant les amplitudes de vibrations dans les bâtiments jugées acceptables vis-à-vis de la réponse humaine.

Les différentes courbes des critères spécifiés dans le tableau 2 pour les courbes de base selon la direction combinée des figures 4a et 4b, sont présentées aux figures 5a, 5b et 5c.

Tableau 2 — Gammas des facteurs multiplicatifs acceptables utilisés dans de nombreux pays pour spécifier les amplitudes acceptables de vibrations dans les bâtiments en ce qui concerne la réponse humaine [ces facteurs ont été appliqués aux courbes de base des figures 2a, 3a et 4a¹⁾]

Lieu	Moment	Vibration continue ou intermittente ²⁾	Excitation par vibrations d'impulsion se produisant plusieurs fois par jour
Zones critiques de travail (par exemple salles d'opération d'hôpital, laboratoires de précision, etc.)	Jour	1	1 ³⁾
	Nuit		
Résidence	Jour	2 à 4 ⁴⁾	30 à 90 ^{4), 5), 6), 7)}
	Nuit	1,4	1,4 à 20
Bureau	Jour	4 ⁸⁾	60 à 128 ⁸⁾
	Nuit		
Atelier ⁹⁾	Jour	8 ^{8), 10)}	90 à 128 ^{8), 10)}
	Nuit		

1) Le tableau 2 conduit à des amplitudes de vibrations au-dessous desquelles la probabilité de réaction est faible. (Tout bruit aérien engendré par la vibration des murs n'est pas considéré.)

2) Les vibrations quasi stationnaires, causées par des chocs répétitifs, sont également considérées. Le choc est défini dans l'ISO 2041 : 1975, chapitre 3, et est parfois rapporté à une vibration transitoire (impulsive).

3) Les amplitudes de vibrations transitoires dans des salles d'opérations d'hôpitaux et des zones critiques de travail se réfèrent aux périodes de travail où les opérations sont en cours, ou bien le travail critique est effectué. À d'autres moments, des amplitudes aussi élevées que celles des résidences peuvent être autorisées sous réserve qu'il y ait un accord en bonne forme et un avertissement.

4) Dans les zones résidentielles, il y a de grandes variations de la tolérance des vibrations. Les valeurs spécifiques dépendent des facteurs sociaux et culturels, des attitudes psychologiques et de l'ingérence prévue des vibrations dans la vie privée.

5) La «relation» entre le nombre d'événements par jour et leurs amplitudes n'est pas bien établie. La relation provisoire présentée ci-dessous doit être utilisée pour des cas de plus de trois événements par jour en attendant de nouvelles recherches en matière de tolérance humaine aux vibrations. Elle implique la multiplication supplémentaire par un facteur numérique $F_n = 1,7 N^{-0,5}$ où N est le nombre d'événements par jour. Cette «relation» ne s'applique pas quand il en résulte des valeurs inférieures à celles données par les facteurs pour les vibrations continues. Lorsque la gamme des amplitudes d'événements est petite (moins de la moitié de l'amplitude du plus grand événement), on peut utiliser la moyenne arithmétique. Autrement, seule la plus grande amplitude nécessite d'être considérée.

6) Pour des événements discrets de durée excédant 1 s, les facteurs peuvent être réglés en les multipliant par un facteur de durée, F_d :

$$F_d = T^{-1,22} \text{ pour des sols en béton et } T \text{ compris entre 1 et 20}$$

$$F_d = T^{-0,32} \text{ pour des sols en bois et } T \text{ compris entre 1 et 60}$$

où T est la durée de l'événement en secondes, et qui peut être estimée à partir des points à 10 % (-20 dB) sur les diagrammes temporels du mouvement.

7) Lors de l'excavation de rochers durs où des troubles souterrains causent des vibrations de très hautes fréquences, un facteur jusqu'à 128 a été jugé acceptable pour les propriétés résidentielles dans certains pays.

- 8) Les amplitudes pour les vibrations transitoires dans les zones à usage de bureaux et d'ateliers ne doivent pas être augmentées sans tenir compte de la possibilité d'une interruption importante de l'activité de travail.
- 9) Les vibrations agissant sur les opérateurs de certains travaux de métallurgie, tels que travaux sur machines à estamper ou broyeurs, qui produisent des vibrations dans les lieux de travail, peuvent être situées dans une catégorie séparée des zones à usage d'ateliers considérées ici. Dans ce cas, les amplitudes de vibrations, pour les opérateurs de travaux produisant des vibrations, qui sont spécifiées dans l'ISO 2631-1, s'appliquent.
- 10) Le doublement des amplitudes de vibrations proposées pour les vibrations continues ou intermittentes et les vibrations transitoires répétées (colonne 4) peut provoquer un commentaire défavorable qui peut s'accroître d'une façon importante si les amplitudes sont quadruplées (les courbes dose/réponse peuvent être consultées, quand elles sont disponibles).

Il est prévu de revoir ultérieurement la présente partie de l'ISO 2631; aussi, les utilisateurs sont encouragés à rassembler les résultats des vibrations ainsi que descriptions de la réponse humaine. Des recommandations sur les méthodes d'acquisition et d'enregistrement des données ont été fournies pour permettre ultérieurement une nouvelle analyse. Il est espéré que les résultats supplémentaires alors obtenus sur la réponse humaine aux différentes formes de vibrations — dans la gamme de fréquences et d'amplitudes obtenues de situations variées et résultant de nombreuses actions de force — puissent être utilisés pour la mise à jour des futures éditions de la présente Norme internationale.

Annexe B

Méthodes d'évaluation en cours de développement

(Cette annexe ne fait pas partie intégrante de la norme.)

La présente annexe énumère différentes méthodes d'évaluation pour une meilleure caractérisation de la gêne produite par des vibrations impulsives, qui font actuellement l'objet de recherches et d'essais.

B.1 Méthode de la valeur de crête

Cette méthode a été utilisée pendant quelque temps et, dans ce cas, les valeurs obtenues à partir du tableau 2 sont multipliées par $\sqrt{2}$.

B.2 Méthode de la valeur efficace impulsive

Le signal de vibration, pondéré en fréquence, passe dans un circuit détecteur de valeur efficace moyenne exponentielle ayant une constante de temps de 125 ms dont la valeur de crête persiste dans le temps avec une décroissance correspondant à une constante de temps de 60 s. (Toutes les constantes de temps s'appliquent à la valeur quadratique du signal.)

B.3 Méthode de la «valeur moyenne d'ordre quatre»

La valeur moyenne d'ordre quatre, $\left[\frac{1}{t} \int_0^t a^4(t) dt \right]^{1/4}$, du signal d'accélération pondérée $a(t)$ peut être utilisée pour évaluer la sévérité de chocs isolés. La même relation entre accélération et durée peut être utilisée pour cumuler les valeurs d'exposition aux vibrations intermittentes se produisant tout au long d'une journée [c'est-à-dire, valeur cumulée = $\int_0^t a^4(t) dt$].

La valeur obtenue par cette méthode devrait être comparée à la valeur correspondant aux limites pour des vibrations continues. La méthode autorise des amplitudes plus élevées pour des périodes de vibrations intermittentes plus courtes et/ou moins fréquentes.

B.4 Méthode de spectre de réponse

L'aptitude qu'a l'impulsion d'engendrer une réponse dans des systèmes physiques simples est utilisée comme critère de base pour évaluer sa sévérité.