



ROYAL NICKEL
CORPORATION



PROJET DUMONT

Étude d'impact sur l'environnement et le milieu social



VOLUME 5 – Annexe 24

Évaluation des impacts des vibrations
et des surpressions d'air

**ÉVALUATION DES IMPACTS DES VIBRATIONS ET DES SURPRESSIONS D'AIR POUR
LE PROJET À CIEL OUVERT DUMONT DE ROYAL NICKEL CORPORATION**

Présenté à :

GENIVAR
5355, boulevard des Gradins
Québec (Québec)
G2J 1C8

Présenté par:

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

MAI 2012

M-12343



TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	DESCRIPTION DU PROJET ET GÉOLOGIE	2
3.	ANALYSE DES VIBRATIONS ET DES SURPRESSIONS D'AIR	6
4.	ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DES LIEUX ET DES GENS.....	11
4.1	Dommages aux structures.....	11
4.2	Limite sécuritaire aux puits d'eau des particuliers.....	17
4.3	Sensibilité des gens.....	18
5.	PROCÉDURES D'ASSURANCE QUALITÉ – GESTION ET OPTIMISATION DES ACTIVITÉS DE FORAGE ET DYNAMITAGE	21
6.	CONCLUSION.....	23
7.	RECOMMANDATIONS	24
	BIBLIOGRAPHIE	

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1	Localisation du projet.....	3
FIGURE 2	Localisation des puits et forages	4
FIGURE 3	Localisation de la fosse et des structures les plus rapprochées	5
FIGURE 4	Courbe d'atténuation des vibrations	9
FIGURE 5	Courbe d'atténuation des surpressions d'air.....	10
FIGURE 6	Vitesse de particules maximum admissible selon le USBM	17
FIGURE 7	Effets des vibrations sur les gens.....	20

LISTE DES TABLEAU

TABLEAU 1	Vitesses maximales permises en fonction des fréquences de vibrations au sol (Directive 019)	12
TABLEAU 2	Distances minimales des structures les plus rapprochées du projet Dumont	13
TABLEAU 3	Distances pour respecter 12,7 mm/s et 128 dB de la <i>Directive 019</i>	14
TABLEAU 4	Vitesses maximales aux différentes structures selon la charge d'explosifs par délai	15



LISTE DES ANNEXES

- ANNEXE 1 Tableaux de l'atténuation des vibrations en fonction de la distance et de la charge d'explosifs par délai
- ANNEXE 2 Tableaux de l'atténuation des surpressions d'air en fonction de la distance et de la charge d'explosifs par délai
- ANNEXE 3 Niveaux de bruit et de surpressions pour différentes sources



1. **INTRODUCTION**

Géophysique GPR International Inc. fut mandatée le 22 mars 2012 par GENIVAR, afin de procéder à l'évaluation des impacts des vibrations et des surpressions d'air sur les structures et les humains dans le cadre du projet minier à ciel ouvert « Dumont » de Royal Nickel Corporation (RNC).

Principalement, le but du mandat consistait à évaluer les impacts probables des activités de dynamitage sur les résidences et les citoyens les plus rapprochés du projet. Cette évaluation s'est faite par une approche théorique en fonction des normes applicables.



2. DESCRIPTION DU PROJET ET GÉOLOGIE

Le projet est situé à 25 kilomètres au nord-ouest d'Amos, entre les cantons de Trécesson et de Launay et juste au nord de la route 111, tel que montré à la figure 1. L'exploitation du projet Dumont se fera par méthode conventionnelle de forage et dynamitage à ciel ouvert. La fosse aura une dimension de 4,8 km par 1,4 km à la fin du projet avec une profondeur d'environ 560 m.

La minéralisation nickélique se trouve dans la zone de dunite sous forme de sulfures de nickel et d'un alliage naturel de fer et nickel, tandis que la zone de dunite se retrouve dans la zone inférieure (ultramafique) du filon-couche Dumont d'une longueur totale de 7,5 km. Le filon couche Dumont se situe dans la ceinture de l'Abitibi.

D'autre part, la figure 2 montre la localisation des puits et forages réalisés dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement par Genivar. Certains de ces puits et forages se retrouvent à proximité des habitations les plus rapprochées du projet (route 111) et décrivent la nature des dépôts meubles sur lesquels reposent potentiellement ces résidences. Principalement, les zones à l'ouest (Launay; puits 11-RN-GD70M) et à l'est (puits 11-RN-GD56M) du projet, sont constituées principalement de sable avec des épaisseurs d'environ 18 à 28 m. La zone au sud du projet et le long de la route 111 est composée principalement d'argile, de silt et de sable. Cependant, la zone au nord de la route 111 semble moins épaisse qu'au sud. En effet, l'épaisseur des dépôts meubles de la zone au nord de la route 111 varie entre 5 et 11 m, tandis que l'épaisseur des dépôts au sud de la route 111 atteint 35 m.

Finalement, la figure 3 présente l'emplacement du futur secteur d'exploitation à ciel ouvert (fosse) par rapport aux structures les plus rapprochées (voie ferrée et maisons).



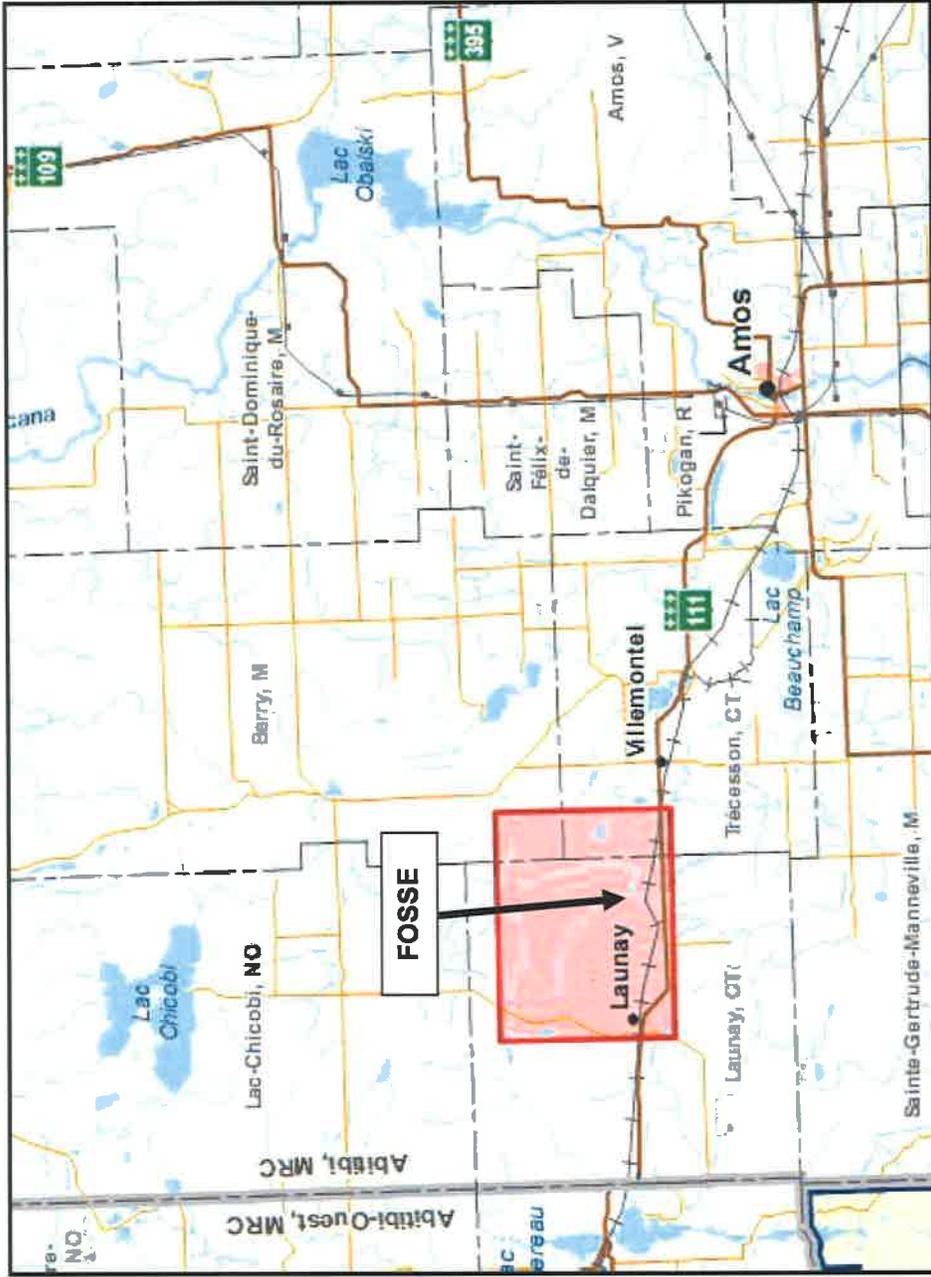


FIGURE 1
Localisation du projet



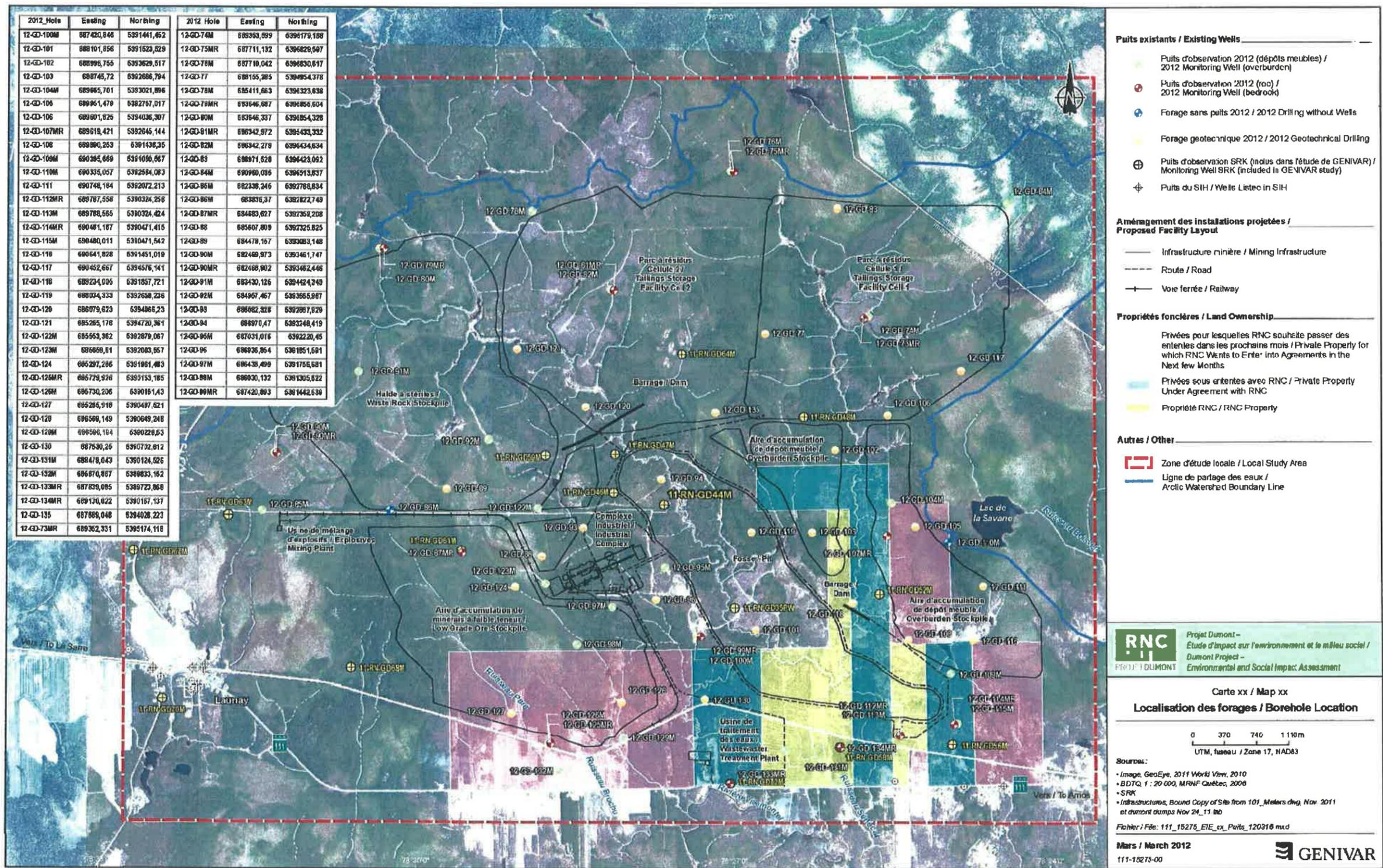


FIGURE 2
Localisation des puits et forages



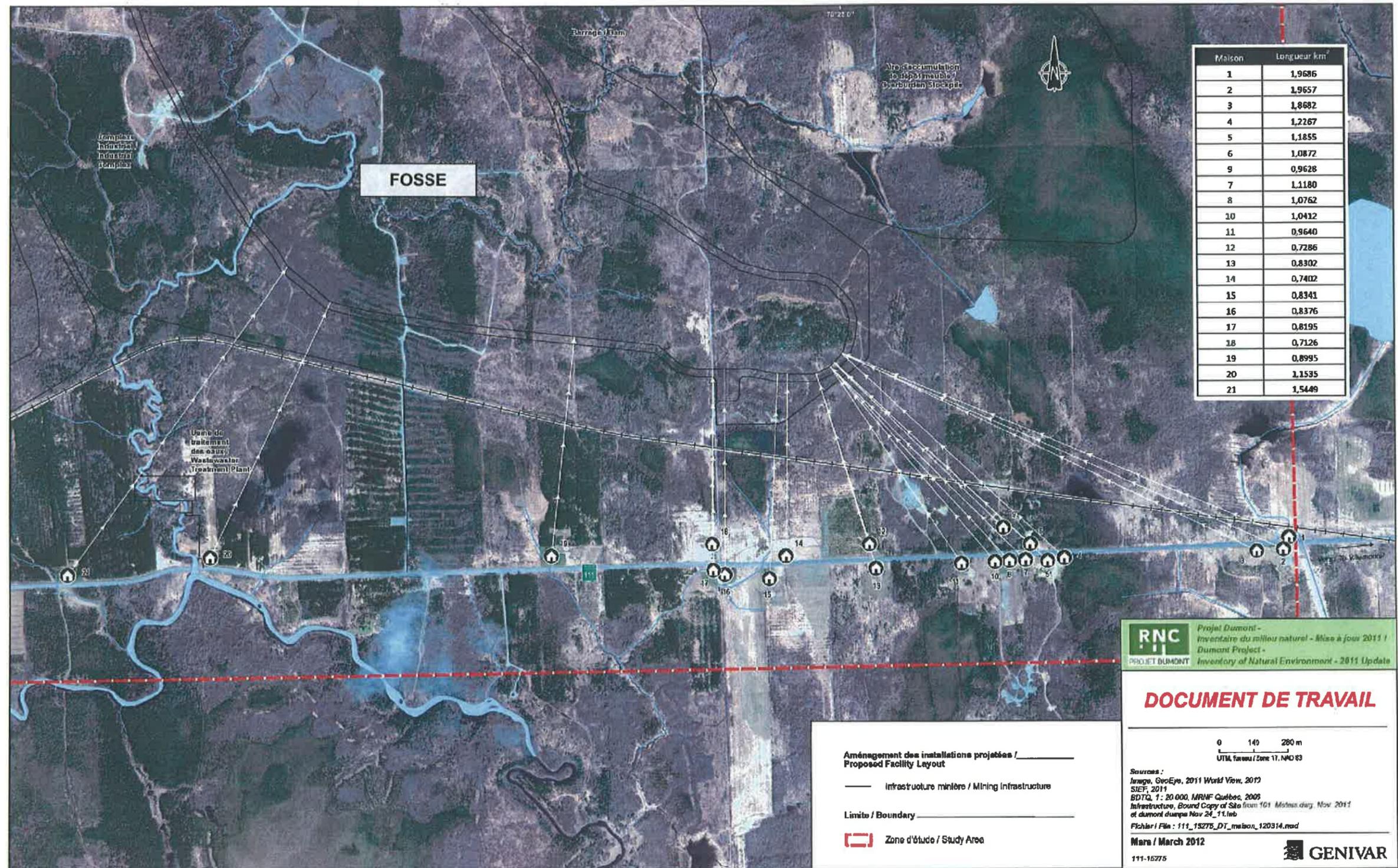


FIGURE 3
Localisation de la fosse et des structures les plus rapprochées



3. ANALYSE DES VIBRATIONS ET SURPRESSIONS D'AIR

Tel que cela a été mentionné en introduction, l'évaluation contenue dans le présent rapport est basée sur une approche théorique. En effet, à partir d'un nombre suffisant (minimum 30) de résultats de vibrations et des relations mathématiques ci-dessous mondialement reconnues et acceptées par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), on peut prédire les niveaux des vibrations et des surpressions d'air aux alentours des dynamitages.

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

ou V: Vitesse de particules (mm/s)
 w: Charge maximale par délai (kg)
 d: Distance (m)
 K et β : Constantes de dynamitage et de site

- $P = K (d/w^{1/3})^\beta$

ou P: Surpressions d'air (Pa)
 w: Charge maximale par délai (kg)
 d: Distance (m)
 K et β : Constantes de dynamitage et de site

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 encore de résultats pour le site du projet, on peut estimer les vibrations à l'aide de valeurs de base⁽¹⁾ pour K (1 140) et β (-1,6), et les surpressions d'air à l'aide de valeurs de base pour K (3 300) et β (-1,2), lesquelles sont couramment utilisées comme évaluation au début des opérations de dynamitage à ciel ouvert.

Les figures 4 et 5 montrent respectivement les courbes d'atténuation des vibrations (ou vitesse de particules en mm/s) et des surpressions d'air (en dB) en fonction de la distance et de la charge maximale d'explosifs par délai de 250, 500, 750, 1000, 1500 et 2000 kg. Selon les informations transmises par RNC, un sautage typique du projet Dumont sera constitué d'environ 175 à 250 trous avec une charge par délai de l'ordre de 1000 kg (1 trou par délai).

⁽¹⁾ The International Society of Explosives Engineers (ISEE), BLASTERS' HANDBOOK, 17th Edition, 1998.



D'autre part, les tableaux de l'annexe 1 présentent les valeurs de vibrations de la figure 4 en fonction de la distance et des charges par délai, tandis que l'annexe 2 comprend les tableaux qui se rapportent aux surpressions d'air pour les mêmes paramètres.

Les équations empiriques mentionnées ci-dessus prennent en considération plusieurs facteurs qui peuvent influencer la courbe d'atténuation selon leur variabilité. Ces principaux facteurs sont les suivants :

- le type et patron de sautage;
- la géologie des dépôts meubles et du roc;
- les cavités souterraines (anciennes galeries souterraines);
- la localisation et l'orientation du sautage;
- les conditions hydrogéologiques;
- la localisation du point de mesure;
- les conditions météorologiques.

Ces équations permettent d'évaluer l'impact probable des dynamitages selon des conditions particulières. De plus, pour un même site, elles permettent également d'extrapoler ces impacts probables pour des conditions légèrement différentes (ex : localisation du point de mesure, charges d'explosifs utilisées, localisation du sautage). Par la suite, les courbes d'atténuation peuvent être réajustées en fonction des mesures effectuées selon les nouvelles conditions.

Autre élément important à mentionner : les vibrations peuvent être plus élevées par un facteur d'environ 1,5 lorsque le sol est dégelé au printemps et saturé en eau.

De façon générale, on constate une plus grande variabilité dans les résultats de surpressions d'air par rapport aux vibrations. En effet, certains des facteurs mentionnés précédemment ont une grande influence sur les surpressions d'air, surtout les conditions météorologiques. Cependant, il est possible de contrôler d'autres facteurs afin de maintenir une stabilité et une qualité des surpressions d'air d'un sautage à l'autre, soit :

- la hauteur et le matériel des collets;
- le type et les temps de délais des détonateurs;
- la charge par délai;
- la direction des vents;
- les phénomènes d'inversion de température;
- l'orientation des dynamitages;
- les patrons de forage et de dynamitage;
- le design des sautages en fonction de la géologie (fractures et cavités dans les faces libres, etc).



Afin d'optimiser vos plans de sautage, nous vous proposons également d'utiliser le service de simulation d'un logiciel de modélisation au début et pendant les opérations de dynamitage. À l'aide des premiers résultats de vibrations et de surpressions d'air ainsi que de trous signatures, il sera possible d'optimiser la séquence d'initiation. Ce type d'analyse est très adapté à tout exploitant cherchant à tirer profit de l'emploi des détonateurs électroniques. L'analyse d'un trou signature en champ lointain est adaptée à la recherche d'une séquence d'initiation performante générique (délai optimal entre trous d'une même rangée et entre rangées) qui tient compte des caractéristiques du site.



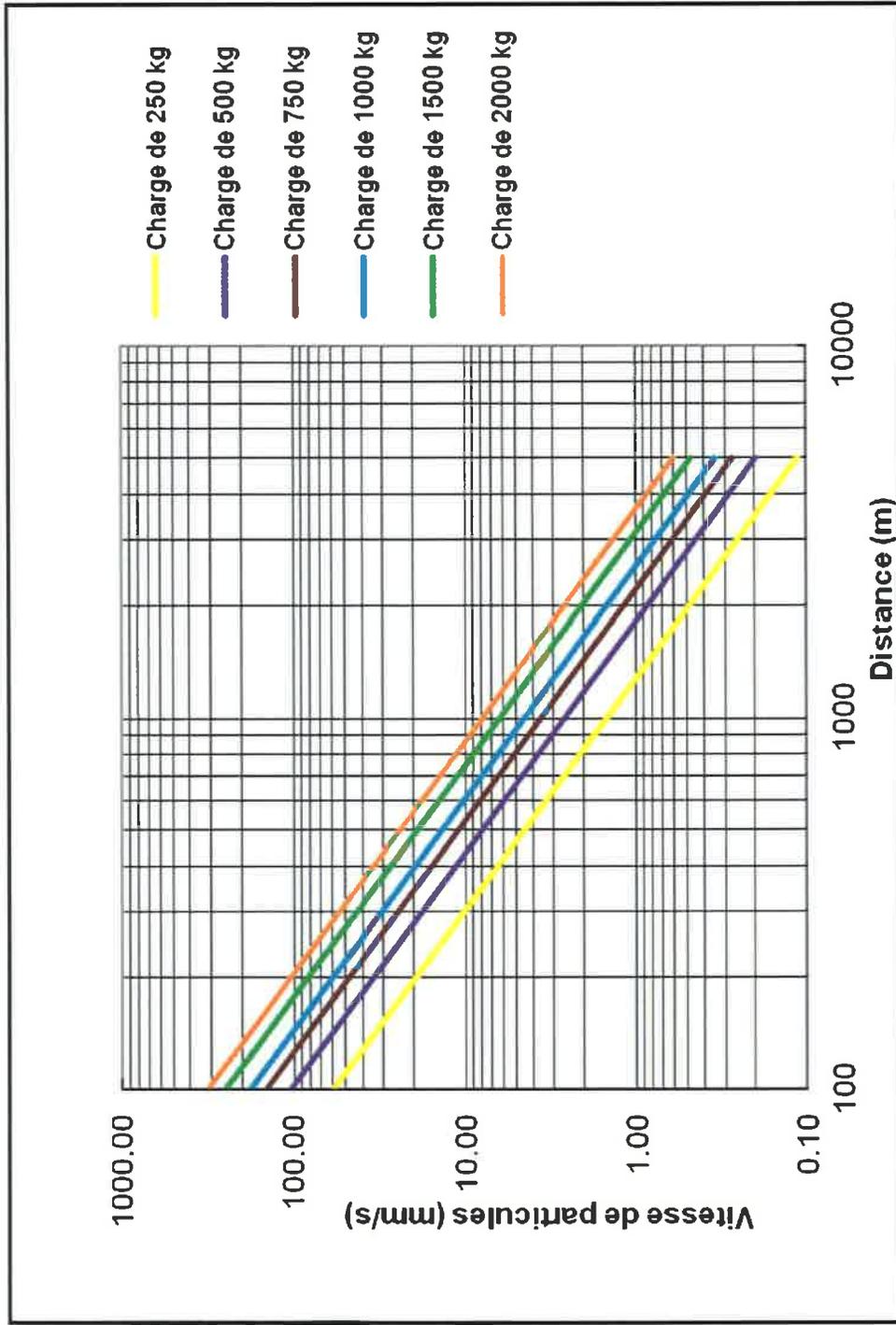


FIGURE 4
 Courbe d'atténuation des vibrations



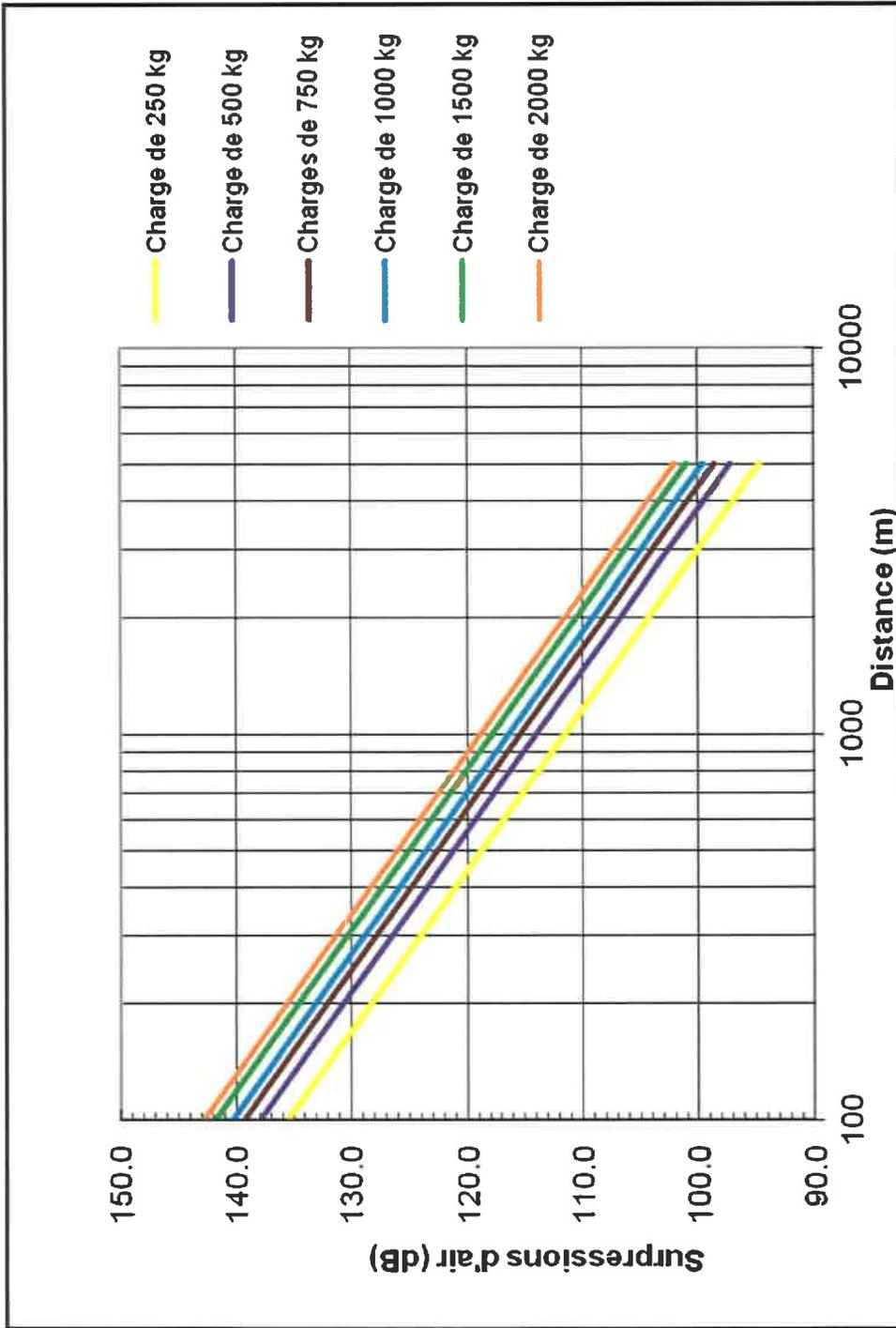


FIGURE 5
Courbe d'atténuation des surpressions d'air



4. ÉVALUATION DE LA SENSIBILITÉ DES LIEUX ET DES GENS

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. Dans cette section, nous étudierons les effets des vibrations sur les structures et sur les personnes.

4.1 Dommages aux structures

Pour évaluer la possibilité de dommages causés par les vibrations aux différentes structures, on doit se baser sur des critères reconnus. Dans cette section, nous vous présentons les critères de la directive 019 du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (mars 2012), ainsi que le critère du United States Bureau of Mines (USBM, *Siskind et al.*, 1980) couramment utilisé au Canada pour fins de comparaison.

La *Directive 019* sur l'industrie minière (version mars 2012) a été rédigée de manière à soutenir, plus particulièrement, l'application de la section IV et les articles 20 et 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement*. Tel que stipulé dans le document de la *Directive 019*, celle-ci ne constitue pas un texte réglementaire; mais il s'agit plutôt d'un texte d'orientation qui précise les attentes du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Plus précisément, l'article 2.4.2 sur les bruits et vibrations lors d'un sautage stipule :

L'exploitant d'une mine active (incluant la période des travaux de mise en valeur de l'exploitation du gisement minier) doit mettre en place un système d'autosurveillance et conserver, dans un registre prévu à cet effet et pendant au moins deux ans, toutes les données de suivi des opérations de dynamitage (vitesses de vibrations, fréquences de vibrations au sol, pressions d'air, patrons de sautage). En outre, l'exploitant est soumis aux règles suivantes :

a) Cas où il n'y a aucun point d'impact à l'intérieur d'un périmètre de 1 km autour du site minier

- *Les vitesses maximales des vibrations permises au sol dues aux opérations de sautage sont les vitesses indiquées au tableau 2.5 (tableau 1 dans le présent document);*
- *Pour une mine à ciel ouvert, le seuil maximal des pressions d'air à toute habitation, s'il y a lieu, est de 128 décibels linéaires.*



TABLEAU 1**Vitesses maximales permises en fonction des fréquences de vibrations au sol**

FRÉQUENCE DES VIBRATIONS AU SOL (Hertz)	VITESSES MAXIMALES PERMISES (mm/s)
<i>Fréquence ≤ 15</i>	12,7
<i>15 < fréquence ≤ 20</i>	19,0
<i>20 < fréquence ≤ 25</i>	23,0
<i>25 < fréquence ≤ 30</i>	30,5
<i>30 < fréquence ≤ 35</i>	33,0
<i>35 < fréquence ≤ 40</i>	38,0
<i>Fréquence > 40</i>	50,0

- b) Cas où les activités minières s'effectuent à moins de 1 km d'un point d'impact (à l'exception d'une habitation appartenant ou louée au propriétaire ou à l'exploitant de la mine ou aux habitations d'un campement minier ou d'un puits artésien appartenant à ce propriétaire ou à cet exploitant ou desservant un campement minier)**

L'exploitant doit installer un réseau de surveillance des vibrations au sol et des pressions d'air à proximité des habitations ou des puits artésiens (entre une et trois stations installées aux habitations les plus rapprochées de la mine, à moins d'un avis contraire justifiant un autre emplacement).

Pour une mine à ciel ouvert :

- la vitesse maximale des vibrations permises au sol dues aux opérations de dynamitage et enregistrées au point d'impact est de 12,7 mm/s;*
- le seuil maximal des pressions d'air à toute habitation est de 128 décibels linéaires;*
- s'il y a présence d'habitation à moins d'un kilomètre d'une telle mine, il est interdit de dynamiter entre 19h et 7h;*



- Lors d'un sautage, l'exploitant d'une mine doit utiliser un pare-éclats adapté à ses usages dans le cas d'un sautage réalisé à moins de 500 m d'une habitation. De plus, l'exploitant doit aviser sans délai le MDDEP dans le cas d'un sautage ayant causé des projections de pierre à l'extérieur des limites de sa propriété. La distance pourrait être inférieure à 500 m si l'exploitant soumet un programme d'assurance qualité démontrant l'utilisation de bonnes pratiques de sautage.

Dans le cas du projet Dumont, les habitations les plus rapprochées se situent à l'intérieur d'un périmètre de 1 km. Nous retrouvons également à l'intérieur du périmètre d'un kilomètre une voie ferrée. Le tableau 2 montre les distances des structures les plus rapprochées du projet Dumont (voir figure 3). D'autre part, la définition d'un point d'impact dans la directive 019 est « toute construction destinée à loger des êtres humains et pourvue de systèmes d'alimentation en eau et d'évacuation des eaux usées reliés au sol, tout puits artésien, tout terrain de camping, tout établissement d'enseignement ou tout établissement visé par la Loi sur les services de santé et les services sociaux. »

TABLEAU 2

DISTANCES MINIMALES DES STRUCTURES PLUS RAPPROCHÉES DU PROJET DUMONT

STRUCTURES	DISTANCE MINIMALE (mètre)
Voie ferrée	260
Maisons 1 à 3	1 868
Maisons 4 à 11	963
Maisons 12 et 13	730
Maisons 14 à 18	713
Maison 19	900
Maison 20	1 154
Maison 21	1 545

Par conséquent, nous pouvons considérer que le cas « b » (il y a un point d'impact à l'intérieur d'un périmètre d'un kilomètre) s'appliquerait pour le projet Dumont. Le tableau 3 montre les distances pour respecter les critères de 12,7 mm/s et de 128 dB de la Directive 019 en fonction de la charge d'explosifs par délai.



TABLEAU 3Distances pour respecter 12,7 mm/s et 128 dB de la *Directive 019*

Directive 019 Vibration maximale de 12,7 mm/s	
Charge (kg)	Distance (m)
250	262.82
500	371.68
750	455.22
1000	525.64
1500	643.77
2000	743.37

Directive 019 Surpression d'air maximale de 128 dB	
Charge (kg)	Distance (m)
250	206.10
500	259.66
750	297.23
1000	327.15
1500	374.48
2000	412.17

En se référant au tableau 4, qui représente les vibrations maximales aux différentes structures selon la charge d'explosifs par délai, et selon le type de charge typique utilisée pour le projet Dumont (1000 kg), on constate que les critères de vibrations et de surpressions d'air de la directive 019 sont respectés à des distances plus faibles que les distances des premières habitations.



TABLEAU 4

Vibrations maximales aux différentes structures selon la charge d'explosifs par délai

Charge (kg)	Vibration maximale en mm/s selon la charge d'explosifs									
	Voie ferrée (Dist. min. de 260 m)	Maisons 1 à 3 (Dist. min. de 1868 m)	Maisons 4 à 11 (Dist. min. de 963 m)	Maisons 12 et 13 (Dist. min. de 730 m)	Maisons 14 à 18 (Dist. in. de 713 m)	Maison 19 (Dist. in. de 900 m)	Maison 20 (Dist. in. de 1154 m)	Maison 21 (Dist. in. de 1545 m)		
250	12.92	0.55	1.59	2.48	2.57	1.77	1.19	0.75		
500	22.50	0.96	2.77	4.31	4.48	3.09	2.07	1.30		
750	31.12	1.33	3.83	5.97	6.19	4.27	2.87	1.80		
1000	39.17	1.67	4.82	7.51	7.80	5.37	3.61	2.26		
1500	54.18	2.31	6.67	10.39	10.79	7.43	4.99	3.13		
2000	68.20	2.91	8.39	13.07	13.58	9.35	6.28	3.94		

Charge (kg)	Surpression d'air maximale en dB selon la charge d'explosifs									
	Voie ferrée (Dist. min. de 260 m)	Maisons 1 à 3 (Dist. min. de 1868 m)	Maisons 4 à 11 (Dist. min. de 963 m)	Maisons 12 et 13 (Dist. min. de 730 m)	Maisons 14 à 18 (Dist. in. de 713 m)	Maison 19 (Dist. in. de 900 m)	Maison 20 (Dist. in. de 1154 m)	Maison 21 (Dist. in. de 1545 m)		
250	125.6	105.0	111.9	114.8	115.1	112.6	110.0	107.0		
500	128.0	107.4	114.3	117.2	117.5	115.0	112.4	109.4		
750	129.4	108.8	115.7	118.6	118.9	116.4	113.9	110.8		
1000	130.4	109.8	116.7	119.6	119.9	117.4	114.9	111.8		
1500	131.8	111.2	118.1	121.0	121.3	118.9	116.3	113.2		
2000	132.8	112.2	119.1	122.0	122.3	119.9	117.3	114.2		



Le United States Bureau of Mines (USBM) publiait, au début des années 1980, ses recherches quant aux effets des dynamitages sur les bâtiments résidentiels. La figure 6 représente le critère maximal de vibrations (vitesse de particules en mm/s) admissible ne causant pas de dommage notable, en fonction de la fréquence des vibrations selon le USBM.

Les résultats de cette étude ont démontré que le critère conservateur de 50,8 mm/s (2 po/sec) était valable pour les hautes fréquences. Par contre, à 81,3 mm/s, il y a 5 % de probabilité de dommage. Ce critère (50,8 mm/s) est basé sur le fait que les plus faibles dommages ont été observés à 56,0 mm/s et qu'aucun dommage n'ait été observé en deçà du seuil de 50,8 mm/s lors d'études antérieures.

Pour les basses fréquences, la limite de 12,7 mm/sec (plâtre) a été établie en fonction de l'extension d'une très petite fissure observée sur un bâtiment lors de leurs études pour une vitesse de 20,07 mm/sec et sur plusieurs observations d'aucun dommage pour des vitesses excédant 50,8 mm/sec.

De plus, le USBM recommande une limite sécuritaire de surpressions d'air de 128 dB. En fait, lorsque la valeur des surpressions d'air se situe entre 120 et 130 dB, il n'y a aucun effet sur les structures (voir annexe 3). Cependant, la limite à ne pas dépasser pour les bris de fenêtres (les premiers à survenir par les surpressions d'air), est de l'ordre de 150 dB.

Indépendamment des caractéristiques d'un bâtiment, la sensibilité de celui-ci aux vibrations est fonction des sols sur lesquels il repose. En effet, le risque d'endommagement des édifices augmente avec la faible capacité portante des sols. Les dépôts argileux et organiques, par exemple, sont favorables à la transmission des ondes sismiques de basses fréquences.

Finalement, les opérations de dynamitage produisent une combinaison d'ondes complexes qui peuvent être influencées par la géologie entre la source de vibrations et le point de mesure (type et épaisseur des couches de sols, densité, niveau de la nappe phréatique, etc.).



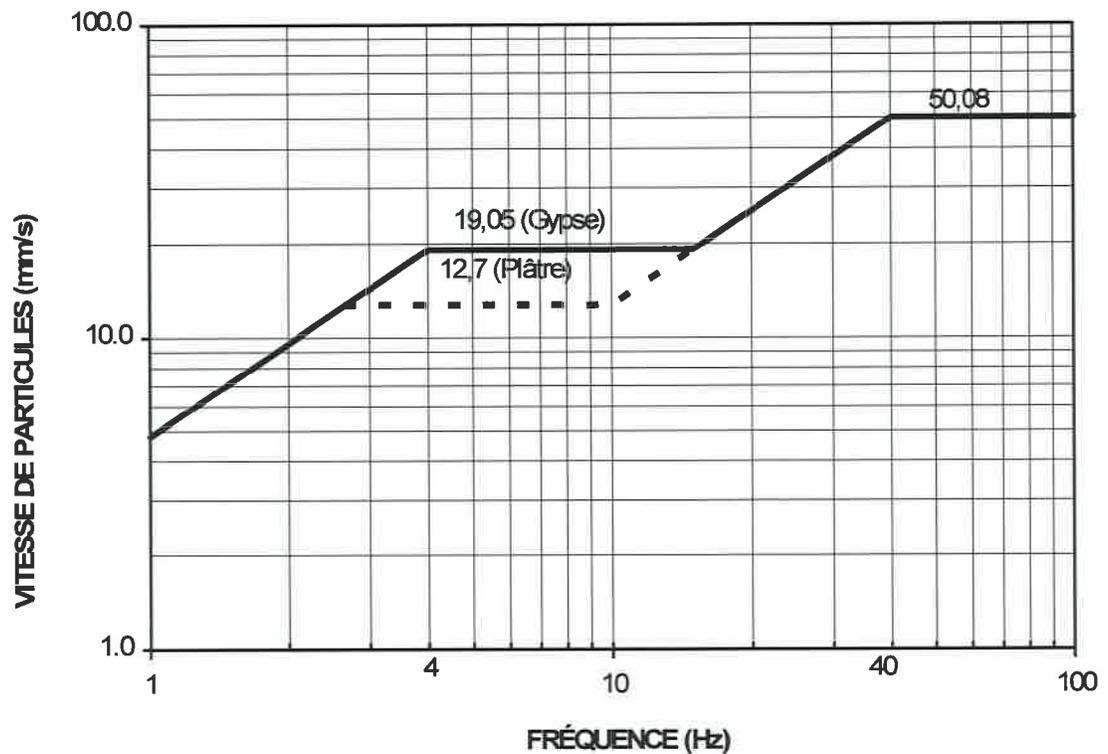


FIGURE 6

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)

4.2 Limite sécuritaire aux puits d'eau des particuliers

Selon les informations disponibles, les résidences ne sont pas raccordées au réseau d'aqueduc de la municipalité, mais par un puits sur leur terrain.

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 actuel 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.

4.3 Sensibilité des gens

La réaction des individus aux vibrations d'un sautage varie d'une personne à l'autre. Les gens sont plus sensibles aux vibrations que les structures qu'ils occupent. Les vibrations seront moins ressenties quand on est à l'extérieur qu'à l'intérieur, debout plutôt qu'assis et assis plutôt qu'allongé. Les vibrations accompagnées de surpressions d'air paraîtront plus fortes que ne le seraient les mêmes vibrations sans surpressions d'air.

Les gens peuvent ressentir des vibrations extrêmement basses qui sont plusieurs fois plus faibles que celles à partir desquelles il peut y avoir des dommages aux structures. Les activités humaines (marcher, claquer les portes, fermer les fenêtres ou des enfants courant dans la maison), ainsi que les changements environnementaux (température, humidité) induiront sur les composants individuels d'une bâtisse, des contraintes supérieures à celles causées par un sautage sécuritaire.



Les surpressions d'air peuvent également donner lieu à des vibrations sur les structures (comme celles engendrées par le vent), ainsi que des nuisances pour l'être humain. Le spectre fréquentiel des surpressions d'air causées par les dynamitages est généralement compris entre 2 et 200 Hz. Toutefois, l'être humain ne peut pas entendre les bruits dans l'air avec des fréquences inférieures à 20 Hz. Cette énergie des surpressions d'air en basse fréquence peut induire des vibrations dans les structures sans que les gens ne perçoivent aucun bruit.

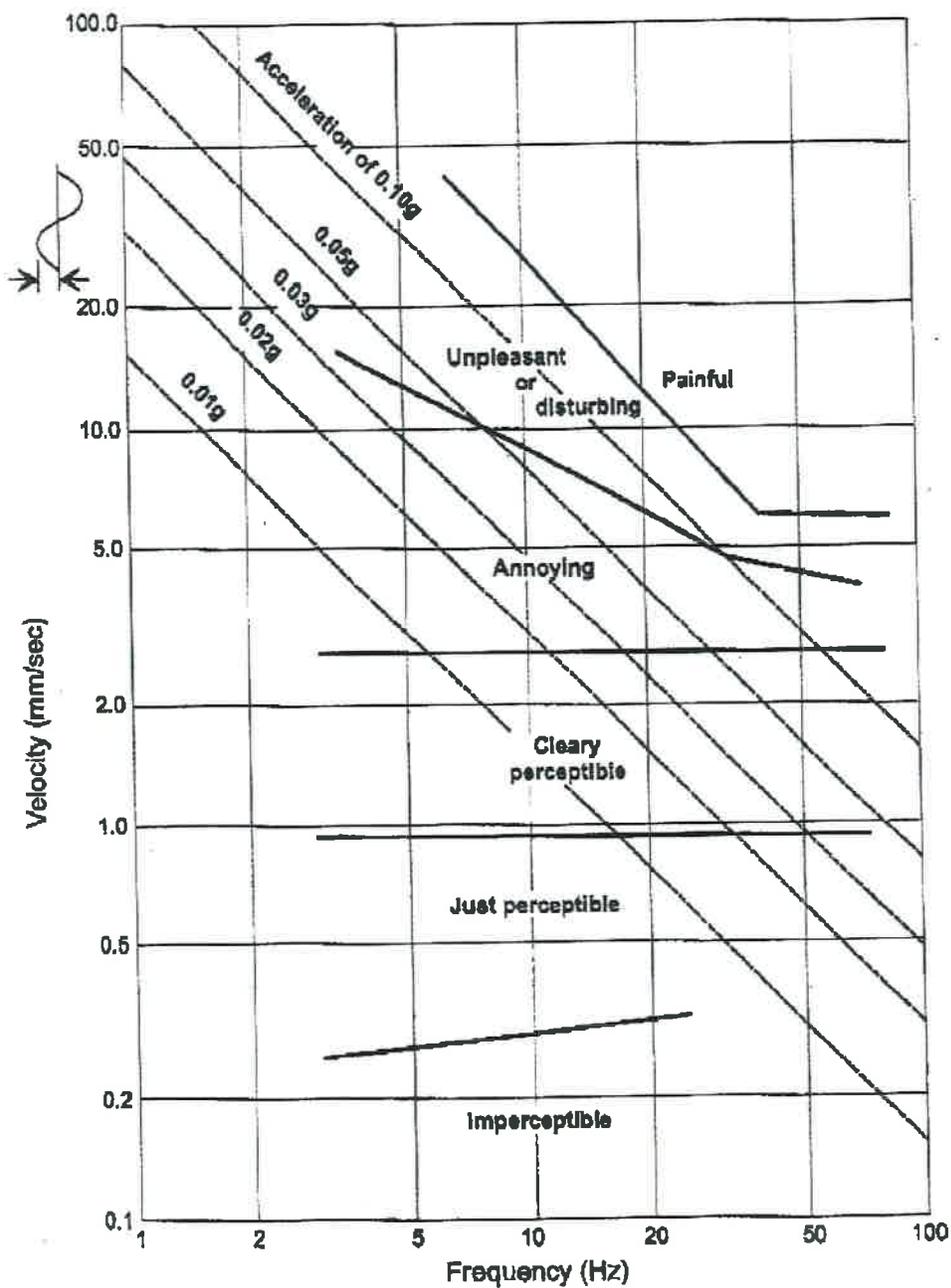
Les gens qui n'ont pas d'expérience avec l'usage des explosifs partagent l'opinion que tous les types d'explosifs sont des agents de destruction. Toutefois, on doit considérer que les explosifs militaires sont spécialement conçus pour causer la destruction, tandis que ceux du commerce sont mis au point pour faire un travail utile. Chaque jour, autour du monde, des centaines de milliers de livres d'explosifs sont mis à feu de façon sécuritaire dans les industries de la construction, des mines et des carrières. Des ingénieurs et boutefeux compétents peuvent concevoir des sautages qui fragmenteront la roche dans la zone de dynamitage, tout en maintenant les vibrations du sol ainsi que les surpressions d'air à l'intérieur de limites sécuritaires.

Il est important de retenir que les études des effets des vibrations sur l'être humain sont plus subjectives que celles sur les structures. En effet, même la norme internationale ISO 2631-2 :2003 intitulée « Évaluation de l'exposition des individus à des vibrations globales du corps – Vibrations dans les bâtiments » ne recommande plus de valeurs au-dessus desquelles des plaintes pourraient être exprimées, car elles s'étendent sur une plage trop large. Cette norme donne seulement des principes directeurs concernant son application à la réponse humaine aux vibrations dans les bâtiments.

Mentionnons que dans les zones résidentielles, il y a de grandes variations de tolérance aux vibrations. Les valeurs spécifiques dépendent des facteurs socioculturels, des attitudes psychologiques, et de l'ingérence prévue des vibrations dans la vie privée.

La figure 7 présente les niveaux de perception des vibrations pour les humains en fonction de différentes fréquences de transmission des ondes dans le sol. En se référant à cette figure, on constate que les vibrations peuvent être perceptibles pour l'être humain à un niveau aussi bas qu'environ 0,3 mm/s.





"Sensitivity of humans to vertical vibrations according to Reher and Meister."

Reproduced from: Whiffin & Leonard, 1971

FIGURE 7

Effets des vibrations sur les humains



D'autre part, pour ce qui est des surpressions d'air et si on se réfère à l'annexe 3, présentant le niveau de bruit en dB et en lb/po² par rapport à leurs effets auditifs, on constate qu'une valeur entre 120 et 130 dB correspond à un seuil très inconfortable, mais où les humains peuvent quand même y être exposés pendant une courte durée. Finalement, une valeur d'environ 115 dB devient agaçante pour l'être humain, et les fenêtres ainsi que la vaisselle peuvent vibrer.

5. PROCÉDURES D'ASSURANCE QUALITÉ – GESTION ET OPTIMISATION DES ACTIVITÉS DE FORAGE ET DYNAMITAGE

Compte tenu de l'analyse des vibrations et des surpressions d'air réalisée dans cette étude, des caractéristiques de la mine (fosse à ciel ouvert), de la présence de structures (voie ferrée, maisons) et de la directive 019 concernant l'utilisation de pare-éclats, il est important d'établir des procédures définissant les pratiques et méthodes qui assureront une protection maximale des structures et des citoyens des lieux environnants.

Les éléments de ces procédures peuvent se résumer de la façon suivante :

- gestion des ressources humaines et matérielles;
- santé et sécurité;
- planification des opérations;
- modélisation et conception des sautages;
- réalisation et suivi des sautages (déviation des forages, profils des faces libres, etc.);
- choix et contrôle des produits explosifs;
- contrôle des vibrations et des surpressions d'air;
- contrôle des projections;
- contrôle de la dilution;
- contrôle de la fragmentation;
- contrôle des parois;
- suivi des conditions de sols (tassement) et hydrologiques;
- suivi des bâtiments (inspections, témoins de mouvements, etc.);
- suivi des plaintes et relations avec les citoyens (comité de citoyens, etc.);
- audit interne;
- documentation.



Le but de ces procédures d'assurance de la qualité est de s'assurer que les opérations de dynamitage de la mine à ciel ouvert soient conçues et réalisées afin de maintenir les effets environnementaux (vibrations, surpressions d'air, projections excessives et poussières) à un niveau acceptable et sécuritaire pour les résidents voisins de la mine, en plus d'obtenir des résultats constants d'un tir à l'autre. Cependant, ces procédures doivent toujours être adaptées aux conditions et aux changements pouvant survenir dans les opérations de la mine, ainsi qu'aux nouvelles technologies dans le domaine du dynamitage.

Toutes les procédures doivent être suivies à chaque étape de la réalisation d'un tir. Aucun mauvais tir ne doit être toléré. Le but est d'assurer un niveau d'erreur zéro à chaque étape, pour chaque tir et pour chaque trou foré et chargé.

Pour obtenir ce niveau d'assurance, il faut éliminer les anomalies à toutes les étapes des opérations de dynamitage. Pour ce faire, la philosophie à suivre devrait être :

- 1) créer un objectif à long terme;
- 2) fixer le niveau d'erreur et de tolérance à un seuil zéro;
- 3) exiger de la part des fournisseurs, des preuves statistiques de la qualité de leurs produits et de leurs opérations;
- 4) implanter des techniques de formation;
- 5) responsabiliser le travail de chacun (chacun doit pouvoir dialoguer sur un pied d'égalité avec tous les intervenants);
- 6) abattre les barrières entre les départements : tous doivent travailler ensemble.



6. CONCLUSION

Nos services ont été retenus par GENIVAR, afin d'évaluer les impacts des vibrations et des surpressions d'air sur les structures et les humains dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement et le milieu social du projet minier nickélicifère à ciel ouvert « Dumont ». Cette évaluation s'est faite par une approche théorique en fonction des normes applicables et consistait à évaluer les impacts probables des activités de sautage sur les résidences et les citoyens les plus rapprochés du projet.

L'exploitation de la mine doit se faire à ciel ouvert et la distance minimale des opérations futures de la mine sera d'environ 713 à 1868 mètres par rapport aux résidences les plus rapprochées. Cependant, nous retrouvons à proximité de la fosse une voie ferrée à une distance minimale d'environ 260 mètres. Une vérification auprès du CN devra être réalisée pour la voie ferrée afin d'évaluer les limites de vibrations pour ce genre de structures différentes d'une habitation. Étant donné que ce type de structure est moins sensible qu'une habitation, nous pouvons anticiper des limites plus élevées que celles de la directive 019.

Étant donné qu'il n'y a pas de résultats pour le site du projet à ce moment-ci, les courbes d'atténuation des vibrations et des surpressions d'air ont été établies à l'aide d'équations de base couramment utilisées mondialement comme méthode d'évaluation au début d'opérations de dynamitage à ciel ouvert. À partir de ces équations empiriques, nous avons établi les courbes d'atténuation des vibrations et des surpressions d'air en fonction de la distance et pour différentes charges d'explosifs par délai.

Selon la *Directive 019* (version mars 2012) du ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec, les vibrations maximales permises sont de 12,7 mm/s pour une opération de mine à ciel ouvert avec un point d'impact à moins d'un kilomètre.

L'analyse des vibrations et des surpressions d'air en fonction de la charge d'explosifs typique qui sera utilisée pour le projet Dumont (1000 kg), démontre que les critères de vibrations et de surpressions d'air de la directive 019 seront respectés à des distances plus faibles que les distances des premières habitations. En effet, pour une charge d'explosifs par délai de 1000 kg, les vibrations et surpressions d'air maximales aux habitations les plus rapprochées seraient d'environ 7,8 mm/s et 120 dB. De plus, ces niveaux de vibrations maximums aux habitations sont bien en deçà des limites de 50 mm/s pour les puits d'alimentation en eau. Ces niveaux de vibrations maximums permis sont sécuritaires pour les structures, mais ils se situent malgré tout à l'intérieur de zones qui vont de perceptibles à agaçantes pour l'être humain. Pour la surpression d'air, la directive 019 permet un maximum de 128 dB à toute habitation. Ce niveau de 128 dB est sécuritaire pour les structures mais correspond à un seuil très inconfortable, mais où les humains peuvent quand même y être exposés pendant une courte durée.



7. RECOMMANDATIONS

Suivant l'analyse effectuée, nous vous présentons nos recommandations concernant les futures opérations de sautage du projet Dumont à ciel ouvert :

- Réaliser un suivi rigoureux des vibrations, des surpressions d'air et des projections, et élaborer des procédures qui définiront les pratiques et méthodes qui assureront une protection maximale des structures et des citoyens, surtout pour l'exploitation des premiers paliers de la fosse;
- Afin de compléter la présente étude (raffinement des courbes d'atténuation selon les conditions du site) et le suivi des opérations de dynamitage, nous vous recommandons que dès le début des opérations de sautage, tous les dynamitages soient enregistrés avec au moins 2 à 3 sismographes disposés de façon à évaluer les vibrations et surpressions d'air avec la distance;
- Évaluer la possibilité d'utiliser un des logiciels de modélisation de sautage actuellement disponibles sur le marché. Ce type de logiciel permettra d'optimiser les plans de sautage à l'aide des premiers résultats de vibrations et de surpressions d'air ainsi que de trous signatures. Ce type d'analyse est très adapté à tout exploitant cherchant à tirer profit de l'emploi des détonateurs électroniques et est adaptée à la recherche d'une séquence d'initiation performante générique (délai optimal entre trous d'une même rangée et entre rangées) qui tient compte des caractéristiques du site;
- Mettre en place un groupe de personnes responsables de l'optimisation des opérations de sautages et du contrôle de la qualité. Ce groupe devra nécessairement se rencontrer régulièrement afin de permettre une planification ordonnée avec tous les intervenants;
- Nommer une personne (en dehors du groupe d'optimisation) responsable de l'audit interne des procédures pour les opérations de dynamitage;
- Réaliser un suivi des conditions hydrogéologiques et géotechniques afin de prévoir tout mouvement ou tassement des sols causé par les vibrations ou un drainage de l'eau souterraine;
- Réaliser une inspection des bâtiments et des puits d'eau les plus rapprochés de la zone du projet, ainsi qu'un suivi des dommages existants, afin de s'assurer que les opérations de dynamitage soient sécuritaires pour les structures;
- Pour le suivi des vibrations et surpressions d'air, installer les sismographes à des endroits permanents avec une communication à distance par modem (cellulaire, Wi-Fi ou radio fréquence);



- Évaluer la possibilité d'utiliser des détonateurs électroniques pouvant permettre une précision des délais entre les charges d'explosifs (contrôle des vibrations, meilleure fragmentation, etc.), ainsi qu'une sécurité, une flexibilité et une productivité accrues des opérations.

Ce rapport a été rédigé par Francis Trépanier, ing.



2012-05-30

Francis Trépanier, Ing. (no. membre OIQ : 115941)



BIBLIOGRAPHIE

Siskind, E.E., Stragg, M.S., Kopp, J.W. et C.H. Dowding, 1980. STRUCTURE RESPONSE AND DAMAGE PRODUCED BY GROUND VIBRATION FROM SURFACE MINE BLASTING, Bureau of Mines Report of Investigations, United States Department of the Interior, RI 8507.

Pegden, M., Birch, W.J. et A. Wetherelt, 2005. IS THAT NORMAL ? FUNDAMENTAL OBSERVATIONS FOR BEST PRACTICE BLAST VIBRATION ANALYSIS, Abstract, Blasting and Environmental Research Group, Dept. of Mining, Quarrying and Mineral Engineering, University of Leeds, Camborne School of Mines, University of Exeter, International Society of Explosives Engineers, Volume 2, England.

Dowding, C.H. 2000. CONSTRUCTION VIBRATIONS, USA.

The International Society of Explosives Engineers (ISEE), 1998. BLASTERS' HANDBOOK, 17th Edition.

Atkins, K.P. Jr. et Dixon, D.E., 1984. CONCRETE STRUCTURES AND CONSTRUCTION VIBRATIONS.

Genivar et Royal Nickel Corporation. AVIS DE PROJET – PROJET DUMONT, Décembre 2011.

MDDEP. DIRECTIVE 019 SUR L'INDUSTRIE MINIÈRE, Mars 2012.



ANNEXE 1

**Tableaux de l'atténuation des vibrations en fonction de la distance et
de la charge d'explosifs par délai**



Évaluation des vibrations (W = 250 kg)	
Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	59.60
150	31.15
250	13.76
500	4.54
750	2.37
900	1.77
1000	1.50
1250	1.05
1500	0.78
2000	0.49
2500	0.35
3000	0.26
4000	0.16
5000	0.11

Évaluation des vibrations (W = 500 kg)	
Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	103.77
150	54.24
250	23.95
500	7.90
750	4.13
900	3.09
1000	2.61
1250	1.82
1500	1.36
2000	0.86
2500	0.60
3000	0.45
4000	0.28
5000	0.20

Évaluation des vibrations (W = 750 kg)	
Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	143.53
150	75.03
250	33.13
500	10.93
750	5.71
900	4.27
1000	3.61
1250	2.52
1500	1.88
2000	1.19
2500	0.83
3000	0.62
4000	0.39
5000	0.27

Évaluation des vibrations (W = 1000 kg)	
Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	180.68
150	94.44
250	41.71
500	13.76
750	7.19
900	5.37
1000	4.54
1250	3.18
1500	2.37
2000	1.50
2500	1.05
3000	0.78
4000	0.49
5000	0.35

Évaluation des vibrations (W = 1500 kg)

Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	249.91
150	130.63
250	57.69
500	19.03
750	9.95
900	7.43
1000	6.28
1250	4.39
1500	3.28
2000	2.07
2500	1.45
3000	1.08
4000	0.68
5000	0.478

Évaluation des vibrations (W = 2000 kg)

Dist. (m)	Vitesse de particules (mm/s)
100	314.58
150	164.43
250	72.61
500	23.95
750	12.52
900	9.35
1000	7.90
1250	5.53
1500	4.13
2000	2.61
2500	1.82
3000	1.36
4000	0.86
5000	0.602

ANNEXE 2

Tableaux de l'atténuation des surpressions d'air en fonction de la distance et de la charge d'explosifs par délai



Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 250 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	119.6	135.5
150	73.5	131.3
250	39.8	126.0
500	17.3	118.8
750	10.7	114.5
900	8.6	112.6
1000	7.5	111.5
1250	5.8	109.2
1500	4.6	107.3
2000	3.3	104.3
2500	2.5	102.0
3000	2.0	100.1
4000	1.4	97.1
5000	1.1	94.8

Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 500 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	157.8	137.9
150	97.0	133.7
250	52.5	128.4
500	22.9	121.2
750	14.1	116.9
900	11.3	115.0
1000	10.0	113.9
1250	7.6	111.6
1500	6.1	109.7
2000	4.3	106.7
2500	3.3	104.4
3000	2.7	102.5
4000	1.9	99.5
5000	1.4	97.2

Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 750 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	185.5	139.3
150	114.1	135.1
250	61.8	129.8
500	26.9	122.6
750	16.5	118.3
900	13.3	116.4
1000	11.7	115.3
1250	9.0	113.0
1500	7.2	111.1
2000	5.1	108.1
2500	3.9	105.8
3000	3.1	103.9
4000	2.2	100.9
5000	1.7	98.6

Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 1000 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	208.2	140.3
150	128.0	136.1
250	69.3	130.8
500	30.2	123.6
750	18.5	119.3
900	14.9	117.4
1000	13.1	116.3
1250	10.0	114.0
1500	8.1	112.1
2000	5.7	109.1
2500	4.4	106.8
3000	3.5	104.9
4000	2.5	101.9
5000	1.9	99.6

Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 1500 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	244.8	141.8
150	150.5	137.5
250	81.5	132.2
500	35.5	125.0
750	21.8	120.8
900	17.5	118.9
1000	15.4	117.8
1250	11.8	115.4
1500	9.5	113.5
2000	6.7	110.5
2500	5.1	108.2
3000	4.1	106.3
4000	2.9	103.3
5000	2.2	101.0

Évaluation des surpressions d'air		
Toutes les données		
Charge de 2000 kg / délai		
Dist. (m)	Supressions d'air	
	P = 3300 (D/W ^{0.33})	
	Pa	dB
100	274.7	142.8
150	168.8	138.5
250	91.5	133.2
500	39.8	126.0
750	24.5	121.8
900	19.7	119.9
1000	17.3	118.8
1250	13.3	116.4
1500	10.7	114.5
2000	7.5	111.5
2500	5.8	109.2
3000	4.6	107.3
4000	3.3	104.3
5000	2.5	102.0

ANNEXE 3

Niveaux de bruit et de surpressions pour différentes sources



TABLEAU

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***	
0.095	150			Bris de quelques vitres
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	Survol 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 7.5 m (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 Library 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

