

## Annexe 7.4.1

---

Expertise pour travaux de forage et de sautage en  
considération des impacts environnementaux



**RAPPORT DE  
VALIDATION  
PRÉLIMINAIRE**

**MINE ARNAUD**

Expertise pour travaux de forage et de sautage  
en considération des impacts  
environnementaux

**PROJET n° 507865**

**SEPTEMBRE 2011**



**SNC•LAVALIN**  
**Environnement**





Le 27 septembre 2011

Monsieur Hugo Latulippe  
Monsieur François Biron  
**MINE ARNAUD**  
600, de la Gauchetière Ouest  
Bureau 1500  
Montréal (Québec) H3B 4L8

**Objet :           Établissement et analyse des méthodes de forage et de sautage  
pour l'exploitation de la future Mine Arnaud  
N/Réf. : 507865**

---

Messieurs,

Vous trouverez ci-joint, notre étude détaillée pertinente à l'établissement et l'analyse des méthodes et paramètres de sautage de production pour l'exploitation de la future mine de phosphate au site de Pointe-Noire dans la région de Sept-Îles.

L'exploitation de cette future opération minière à ciel ouvert est localisée à proximité des lignes à haute tension de la société d'État Hydro-Québec sur la frontière nord de la fosse et à proximité de résidences riveraines sur la portion sud. Par conséquent, les sautages de production seront régis par certaines mesures et à des contrôles particuliers qui sont énumérés au sein de notre étude.

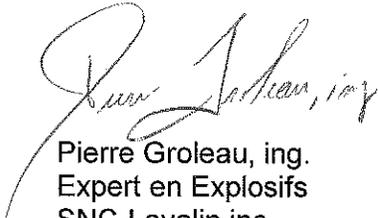
En complément aux paramètres proposés, nous avons inclus des simulations de sautage couvrant les volets de vibrations, surpressions d'air et de projections de roc.

Il est important de comprendre que les résultats obtenus à l'issu des simulations de sautage sont fondés sur des bases strictement théoriques et en fonction des informations géologiques incomplètes, disponibles au moment de produire notre rapport. Des ajustements des paramètres proposés seront donc nécessaires en cours d'opération en fonction des résultats réels de sautage obtenus au chantier.



Monsieur Hugo Latulippe  
Monsieur François Biron  
**MINE ARNAUD**  
Le 19 septembre 2011  
Page 2

En espérant le tout à votre entière satisfaction, nous vous prions Messieurs,  
d'accepter nos salutations les plus distinguées.

  
Pierre Groleau, ing.  
Expert en Explosifs  
SNC-Lavalin inc.,  
Division Environnement

---

# EXPERTISE POUR TRAVAUX DE FORAGE ET DE SAUTAGE EN CONSIDÉRATION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

## RAPPORT DE VALIDATION PRÉLIMINAIRE

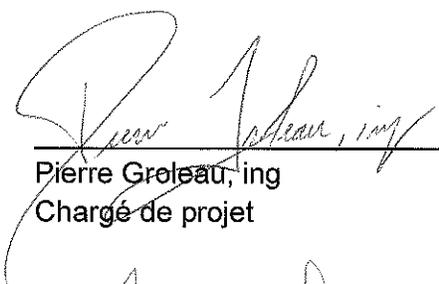
---

**Mine Arnaud**  
Sept-Îles, Québec

**N/Réf.: 507865**

**Septembre 2011**

Préparé par :

  
Pierre Groleau, ing  
Chargé de projet

Révisé par :

  
Jacques Savard, M. Sc.  
Directeur, Acoustique et vibrations



**SNC-LAVALIN**  
**Environnement**





## AVIS

---

SNC-Lavalin inc., Division Environnement (SLE) rend les services avec diligence, efficacité et selon les règles de l'art. SNC-Lavalin inc. reprend à ses frais, les services qui ne sont pas conformes aux dispositions du présent contrat. La responsabilité SNC-Lavalin inc. se limite à la correction des services non conformes identifiés par le client (Mine Arnaud) dans l'année qui en suit la prestation.

Nous vous prions de noter que notre responsabilité civile générale (sauf pour préjudice corporel ou moral) et notre responsabilité civile professionnelle se limitent au montant des honoraires.

Puisque SLE ne dispose pas des informations détaillées en ce qui concerne la géologie du site à exploiter, qu'elle ne contrôle aucunement les applications des paramètres proposés au chantier et ne procède à aucune vérification des paramètres de sautage, il est entendu que SLE n'assume aucune responsabilité quant aux résultats obtenus et conséquences à l'issue des sautages.

La présente proposition de même que les informations qui y sont incluses sont confidentielles et peuvent être protégées par des droits de propriété intellectuelle de SNC-Lavalin inc. ou de l'une de ses sociétés affiliées ou associées. Elles sont destinées exclusivement à Mine Arnaud pour les seules fins d'évaluation de la proposition. Elles ne doivent pas être divulguées à des tiers ni reproduites, utilisées ou divulguées, en tout ou en partie, à d'autres fins, sous réserve des termes et conditions d'un contrat éventuel qui pourrait intervenir entre SNC-Lavalin inc. ou l'une de ses sociétés affiliées ou associées et Mine Arnaud découlant ou résultant de la présente proposition.

Dans toute la mesure permise par les lois applicables, SLE décline en outre toute responsabilité envers le Client et les tiers en ce qui a trait à l'utilisation (publication, renvoi, référence, citation ou diffusion) de tout ou partie du présent document, ainsi que toute décision prise ou action entreprise sur la foi dudit document.



# TABLE DES MATIÈRES

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>GÉNÉRAL.....</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>GÉNÉOLOGIE .....</b>	<b>4</b>
<b>4.</b>	<b>PRODUCTION MINIÈRE .....</b>	<b>6</b>
<b>5.</b>	<b>FORAGE.....</b>	<b>7</b>
	5.1 Profondeurs de forage.....	8
	5.2 Localisation des forages.....	9
	5.3 Verticalité de forage.....	9
<b>6.</b>	<b>EXPLOSIFS .....</b>	<b>10</b>
	6.1 Émulsion pure vs émulsion dopée au AN.....	10
	6.2 Sensibilisateur .....	11
<b>7.</b>	<b>BOURRAGE DES TROUS .....</b>	<b>14</b>
<b>8.</b>	<b>AMORÇAGE.....</b>	<b>15</b>
<b>9.</b>	<b>DÉTONATEURS.....</b>	<b>16</b>
<b>10.</b>	<b>PARAMÈTRES DE FORAGE ET DE SAUTAGE .....</b>	<b>17</b>
<b>11.</b>	<b>CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES.....</b>	<b>19</b>
	11.1 Vibrations.....	19
	11.1.1 Limitation de la charge explosive par délai .....	20
	11.1.2 Précision des détonateurs.....	20
	11.1.3 Orientation de l'axe de dégagement du sautage .....	20
	11.1.4 Précisaillage des limites d'excavation de la fosse .....	21
	11.1.5 Degré de confinement du sautage .....	21
	11.1.6 Contrôle des profondeurs de forage .....	22
	11.1.7 Régularité du patron de forage .....	22
	11.1.8 Déviation des forages.....	22
	11.2 Suppressions d'air .....	22
	11.2.1 Hauteur et orientation de la face libre .....	23
	11.2.2 Fardeau de face libre trop léger .....	23
	11.2.3 Surcharge d'explosif en vrac.....	23
	11.2.4 Contrôle des hauteurs de collet .....	24
	11.2.5 Matériau de bourre.....	24
	11.2.6 Sautage de trous courts .....	24
	11.2.7 Conditions météorologiques.....	24
<b>12.</b>	<b>MONITORING DES SAUTAGES .....</b>	<b>26</b>
<b>13.</b>	<b>SIMULATIONS DE SAUTAGES .....</b>	<b>27</b>
	13.1 Paramètres de simulation (géologie, forage, chargement d'explosifs) .....	27
	13.2 Simulations des vibrations.....	28
	13.2.1 Analyse des résultats .....	32
	13.3 Simulations de suppressions d'air.....	34
	13.3.1 Analyse des résultats .....	36
	13.4 Simulations de projections de roc.....	36
	13.4.1 Analyse des résultats .....	38
<b>14.</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>39</b>
	14.1 Secteur Nord.....	39
	14.2 Secteur Sud .....	40

14.3	Forage .....	40
14.4	Explosifs .....	41

## ANNEXES

Annexe A :	Localisation de la fosse minéralisée
Annexe B :	Paramètres de forage et de chargement des explosifs
Annexe C :	Contrôle des sauvetages
Annexe D :	Simulations de sautage :
	• Projections de roc
	• Vibrations
	• Surpressions d'air
Annexe E :	Curriculum Vitae

# 1. INTRODUCTION

---

La présente étude correspond à une étude détaillée visant à établir de façon préliminaire l'ensemble des paramètres à préconiser pour la réalisation des travaux de sautage en considération des impacts environnementaux reliés aux sautages.

Cette étude vise l'exploitation de la future mine de phosphate, soit la mine Arnaud dans la région de Sept-Îles, sur la Côte-Nord du Québec.

La localisation de la future fosse à exploiter est située à proximité des lignes électriques à haute tension de la société d'état Hydro-Québec et à une certaine proximité des résidences longeant la route provinciale 138 adjacente au golfe du St-Laurent (voir annexe A)

Les travaux de sautage devront par conséquent être réalisés en considération de facteurs majeurs afin d'assurer la viabilité de l'exploitation minière. Tous les sautages à réaliser au sein de cette future exploitation devront être conçus et réalisés de manière à respecter les normes environnementales en vigueur, comme il est traité au sein du présent document.

Ainsi, des normes strictes sous de hauts standards combinées à une méthodologie de travail appropriée devront être mises en place par la Direction de la société minière pour assurer le succès des sautages à cette exploitation.

Pour l'exécution de ce rapport, Mine Arnaud a mandaté la firme SNC-Lavalin inc. (SLI) afin d'établir les méthodes de travail à préconiser en ce qui concerne l'ensemble des travaux de forage et de sautage permettant de respecter les exigences environnementales établies.

Ce mandat est réalisé par monsieur Pierre Groleau, ingénieur pour la firme SNC-Lavalin inc. Monsieur Groleau, dont le curriculum vitae est inclus en annexe du présent rapport, est un ingénieur minier de formation et hautement spécialisé dans le domaine des explosifs et des sautages. Ses nombreuses expériences de travail pour des compagnies manufacturières d'explosifs lui confèrent une expertise reconnue dans la connaissance et l'utilisation des explosifs commerciaux et divers accessoires de sautage.

Il est important de spécifier que les informations et procédures établies dans ce rapport sont livrées de bonne foi et en relation avec les informations de base fournies relativement à la géologie du massif rocheux à exploiter.

En appui avec l'établissement des paramètres de sautage recommandés, nous avons inclus des simulations de sautage afin de déterminer un ordre de grandeur quant aux vibrations, aux projections de pierres issues des sautages et aux surpressions d'air produites par les sautages de production.

Étant donné que divers paramètres propres à la mécanique des roches n'étaient pas disponibles au moment de produire ce rapport, nous avons utilisé des valeurs types moyennes s'apparentant au type de roc stérile et minéralisé à exploiter. Nous estimons que les résultats issus de ces simulations sont représentatifs des paramètres réels probables que les exploitants auront à utiliser dans ses travaux de dynamitage, mais il faut bien comprendre que les valeurs établies n'ont pour but que d'offrir un ordre de grandeur représentatif et qu'en fonction des résultats réels des sautages obtenus au chantier, des ajustements devront être apportés.

En cours d'exploitation, il s'avérera requis et essentiel d'adapter les sautages en considération de divers paramètres dont particulièrement, la nature et l'orientation de la structure géologique en place, soit des informations dont ne nous disposons pas pour le moment.

## 2. GÉNÉRAL

---

Le projet minier Arnaud de Sept-Îles est la propriété d'un partenariat entre Investissement Québec et Yara International.

Le gisement à exploiter correspond à un gisement de phosphate, de fer et de titane localisé dans le secteur de Pointe-Noire dans la région de Sept-Îles sur la Côte-Nord de la province de Québec. Mine Arnaud inc. prévoit produire un concentré d'apatite qui sera utilisé à titre de source de phosphate pour la production de fertilisant.

Le gisement tel qu'actuellement identifié s'étend sur une longueur de plus de 2,6 km, d'une largeur de 600 mètres et d'une profondeur de 350 mètres.

Au moment de produire notre rapport, Mine Arnaud prévoit exploiter 280 000 tonnes métriques de roc par semaine en vertu d'un ratio de l'ordre de 75 % minerai et 25 % stérile.

La construction d'une usine de traitement est également prévue sur ce site. Cette usine devrait produire environ 1 400 000 tonnes métriques de concentré annuellement.

La durée de vie de cette exploitation en vertu des paramètres actuellement connus est d'une vingtaine d'années.



### 3. GÉOLOGIE

---

Le roc en place dans le secteur du gisement à exploiter est un composé de péridotite contenant de l'apatite, de l'ilménite et de la magnétite. Il est identifié à titre de roc magmatique formé au cours de la période Pré-Cambrienne.

Le roc minéralisé tel qu'évalué au sein de notre étude est de 3,50 g/cc. Les zones minéralisées sont constituées comme suit :

- Troctolite, gris foncé et vert olive, 10-50 % oxydes de fer (magnétite titanifère, ilménite), 15-30 % olivine, 10-35 % plagioclase, 5-25 % apatite, 0-10 % pyroxènes, grains moyens, massif, localement serpentinisation des olivines.
- Nelsonite, gris foncé, 1-10 % plagioclase, 25-35 % apatite, 60-75 % oxydes de fer (magnétite titanifère, ilménite), grains moyens, massif.

Notre étude traite le roc stérile en vertu d'une densité moyenne de 3,20 g/cc, ce qui demeure relativement élevé pour une roche stérile. Cette valeur est justifiée par la présence de particules ferreuses dans le roc quoiqu'en quantité moindre. Le roc dans les zones stériles (en apatite) est défini comme suit :

- Leucogabbro à olivines, gris-vert, 50-70 % plagioclase, 5-10 % oxydes de fer (magnétite titanifère, ilménite), 10-20 % olivine, 10-30 % pyroxènes, grains fins à moyens, homogène, massif.
- Anorthosite, gris pâle, 75-90 % plagioclase, 1-5 % oxydes de fer, 10-20 % pyroxènes, 5 % olivine, grains grossiers, massif.
- Magnétiite, 85-95 % oxydes de fer (magnétite titanifère, ilménite), traces à 2 % pyrrhotite, 5-15 % plagioclase, massif, grains moyens.

En fonction des valeurs RQD et RMR recueillies lors des campagnes d'échantillonnages et tel qu'évalué par la firme Ausenco Vector, le roc à exploiter est considéré de très bonne qualité, ce qui représente un avantage quant à la qualité des résultats de sautage.

Au niveau de la géographie physique du site, la propriété est les contreforts d'une chaîne de collines escarpées de la province géologique du Grenville. Elle est bordée au nord par ces collines et au sud par la Baie de Sept-Îles.

La topographie est caractérisée par une série de terrasses entre lesquelles la pente atteint 15 %. L'altitude varie donc de 0 à 100 m.

L'épaisseur de mort terrain est très variable selon le secteur à exploiter variant de 0 m à 45 m. Le mort terrain est constitué de sable et d'argile marine. Les affleurements rocheux sont majoritairement localisés dans la portion nord de la future fosse donc à proximité des lignes à haute tension de la société d'État Hydro-Québec.

## 4. PRODUCTION MINIÈRE

---

La production minière prévoit le dynamitage d'environ 40 000 tonnes métriques de roc par jour à raison de 7 jours par semaine soit une production hebdomadaire de l'ordre de 280 000 tonnes métriques.

L'envergure d'un sautage moyen prévu correspond à un tir de plus de 40 000 tonnes métriques scindé en 30 000 tonnes de minerai et 10 000 tonnes de roc stérile en vertu des ratios précédemment établis.

La dimension d'un sautage sera variable particulièrement en fonction des diamètres forés et des hauteurs de bancs exploités.

À titre d'exemple, pour une hauteur de bancs de 10 mètres avec l'utilisation d'un diamètre de forage de 165 mm, un sautage moyen de 5 rangées à raison de 15 trous par rangée produira un dynamitage de l'ordre de 50 000 tonnes métriques de pierre (voir annexe 2). Plusieurs scénarios sont envisageables pour le dimensionnement des sautages, mais nous recommandons de viser comme objectif une dimension d'un sautage moyen pouvant alimenter la production sur une période de deux jours. Ce scénario permet d'offrir une plus grande flexibilité à la direction de la mine en cas de bris d'équipement.

Également, il est fortement recommandé de prévoir préconiser plusieurs fronts d'attaque simultanés en cours d'opération. À nouveau, dans l'éventualité de bris d'équipements qui ne pourraient être déplacés hors d'une zone à risque de projections de pierres dynamitées, un sautage substitut pourrait être effectué dans un secteur sécuritaire à titre d'alternative.



## 5. FORAGE

---

Au niveau des opérations de forage, étant donné que le choix des équipements et accessoires de forage n'est point défini pour le moment, nous avons considéré divers scénarios tant au niveau des diamètres de forage qu'au niveau des hauteurs de banquettes à exploiter.

Nous avons ainsi procédé à l'analyse des diamètres de forage suivants :

- 75 mm;
- 90 mm
- 100 mm
- 115 mm
- 127 mm
- 152 mm
- 165 mm
- 178 mm
- 190 mm
- 203 mm
- et 216 mm

En ce qui concerne les hauteurs de bancs exploités, nous avons considéré des hauteurs de 5 m, 10 m et 15 m.

Il est évident que le choix d'un diamètre de forage et d'une hauteur de bancs moindre génère des coûts d'exploitation supérieurs et que l'exploitant tirera un avantage significatif à opter pour des diamètres de forage de plus grande dimension et ainsi élargir la maille de forage afin de bénéficier d'économies substantielles sur les coûts unitaires de forage et de sautage.

Par contre, des diamètres de forage de plus grandes dimensions offrent des charges explosives plus imposantes par trou et peuvent s'avérer non appropriés pour certains secteurs localisés à proximité de la ligne à haute tension et régis sous de sévères contraintes sismiques et de projections de roc.

Ainsi, au sein de notre étude, nous déterminons nos choix des diamètres de forage en vertu de la proximité du secteur exploité par rapport à la ligne à haute tension d'Hydro-Québec et en fonction des hauteurs de bancs exploités.

De plus, nous accordons une importance particulière au contrôle de la qualité de la précision des forages. Le contrôle de la précision des forages dépend particulièrement de la structure géologique du roc à exploiter ainsi que de la qualité de l'opérateur de la foreuse.

Le type d'accessoires de forage utilisé demeure également un facteur majeur pour assurer la qualité des forages. Pour le forage de trou de plus de 10 m de profondeur, le foreur devrait opter pour des tiges de forage d'au moins 50 mm de diamètre soit des tiges de calibre T-51 compatible avec des forêts (bits) d'au moins 90 mm de diamètre.

Le choix d'un diamètre de forage de 75 mm est compatible avec des aciers de forages de type T-45 (45 mm de diamètre), et compte tenu de son coût unitaire plus onéreux, il ne sera considéré dans notre étude que pour des hauteurs de bancs de 5 m et 10 m dans des secteurs sensibles au contrôle des vibrations.

Un autre point à souligner au niveau des forages concerne la nature même du roc à exploiter. Tant pour le minerai que pour le roc stérile, nous notons la présence relativement élevée de fer au sein du gisement. L'exploitant devra considérer ce facteur qui augmente significativement le degré d'abrasivité du roc et qui aura des conséquences directes sur les coûts unitaires de forage. Le passage vers l'utilisation de diamètre de forage supérieur permettra d'agrandir la maille de forage, de minimiser le nombre de trous par sautage et d'offrir une économie importante à l'exploitant.

Les travaux de forage constituent l'élément de base prioritaire pour assurer le succès de tout sautage. Toute anomalie non corrigée rencontrée à cette étape aura des conséquences directes sur l'issue du sautage. À cet égard, il est requis de s'assurer d'obtenir les informations pertinentes de forage de chaque trou via un rapport de forage produit par le foreur.

Le boute-feu et les concepteurs du sautage devront adapter le sautage en fonction des informations recueillies en vertu d'une séquence de mise à feu et/ou un chargement de l'explosif modifié.

Le contrôle de la qualité des forages devrait faire l'objet des vérifications quant aux paramètres suivants :

- Profondeurs de forage
- Localisation des forages
- Verticalité de forage

## **5.1 Profondeurs de forage**

Chaque trou devra systématiquement être vérifié relativement à sa profondeur. Ces vérifications sont normalement effectuées par un technicien et visent à apporter tout correctif nécessaire avant de procéder au chargement de l'explosif. La tolérance normalement acceptée pour la profondeur de forage correspond à un écart de l'ordre de 10 % de la valeur du fardeau (distance entre les rangées d'un sautage).

Des irrégularités attribuables aux profondeurs de forage auront des conséquences financières négatives sur les opérations minières en générant des problèmes certains au niveau des planchers de marinage et en haussant les vibrations émises par les sautages. Des planchers irréguliers occasionnent des pertes de productivité et des hausses élevées des coûts de traction de l'ensemble de la flotte mobile d'équipements.

## **5.2 Localisation des forages**

Le positionnement des trous à forer représente également un élément important. La régularité du patron de forage et le respect de cette grille au chantier représentent un enjeu essentiel pour assurer la qualité des sautages.

Les trous à fardeaux trop lourds entraîneront des problèmes sévères au niveau de la fragmentation, de la qualité des planchers et au niveau du contrôle des vibrations. Il en est de même pour tous les trous localisés à l'arrière des trous problématiques.

Par conséquent et afin d'éviter une telle situation, chaque trou de forage devra être implanté à sa position prévue et validé par méthode d'arpentage.

## **5.3 Verticalité de forage**

Des déviations des forages en fond de trou risquent d'occasionner des fardeaux inappropriés en fond de trou et générer des hausses significatives sur les vibrations anticipées et des problèmes au niveau du plancher de marinage.

Par conséquent, il est important de s'assurer d'utiliser les accessoires de forage appropriés en fonction des hauteurs de banquette exploitées.

À titre de référence, vous trouverez à l'annexe C un tableau résumant l'ensemble des conséquences attribuables à des anomalies rencontrées au niveau des opérations de forage.



## 6. EXPLOSIFS

---

Dans le cadre d'une exploitation minière, l'exploitant aurait avantage à opter pour l'utilisation d'un explosif en vrac.

L'explosif en vrac permet de bénéficier d'une économie substantielle directe sur le coût du produit et permet également d'obtenir des gains significatifs sur la productivité des opérations de chargement.

L'explosif en vrac assure un plein confinement du chargement du trou foré et permet d'offrir une quantité maximale d'énergie qui résulte en la possibilité de maximiser la fragmentation lors du sautage et d'optimiser la maille de forage.

Le choix de l'explosif devra permettre un chargement conforme pour toutes conditions de chargement et particulièrement sous conditions humides. En effet, tel que défini dans le rapport émis par la firme Soquem en date du mois de mai 2011, le climat rencontré dans ce secteur est typique de la portion centre-nord du Québec, quoique les températures extrêmes sont modérées par le golfe du Saint-Laurent. Les précipitations de neige et de pluie y sont considérées comme abondantes. Par conséquent, l'explosif retenu devra offrir une excellente résistance à l'eau.

L'explosif en vrac offrant la résistance à l'eau requise et disponible sur le marché correspond à un explosif de type émulsion en vrac.

### 6.1 Émulsion pure vs émulsion dopée au AN

Dans cette catégorie de produit, on distingue deux types d'émulsion disponibles, soit l'émulsion pure et l'émulsion dopée avec granules de nitrate d'ammonium.

L'émulsion pure est un explosif à haute vélocité de détonation qui génère un maximum de fissuration au sein du massif à dynamiter. Il en résulte ainsi une meilleure fragmentation à l'issue des sautages réalisés en présence d'un roc compétent. L'émulsion pure présente une résistance à l'eau supérieure à l'émulsion dopée et peut s'avérer un choix opportun en fonction du délai de temps prévu (nombre de jours) entre le temps de chargement du produit au sein du trou de forage et sa mise à feu.

L'explosif de type émulsion dopée avec granules de nitrate d'ammonium correspond également à un explosif offrant une excellente résistance à l'eau, quoique moindre que l'émulsion pure. L'ajout de granules de nitrate d'ammonium au sein de la matrice d'émulsion permet d'augmenter l'énergie explosive du produit et d'obtenir un volume de gaz additionnel lors de la

détonation de l'explosif. Il en résulte un meilleur dégagement du sautage ce qui facilite les opérations de marinage. On remarque un net avantage avec l'utilisation de ce produit en présence d'un roc fissuré.

Pour un sautage chargé et une mise à feu à l'intérieur d'un délai de 24 heures, le choix d'un explosif dopé au nitrate d'ammonium s'avère généralement un bon choix. En général, ce type de produit est composé d'un mélange 70 % émulsion et 30 % AN. Sous présence sévère d'eau lors du chargement, il est possible d'augmenter la résistance à l'eau de l'explosif en modifiant le mélange avec 80 % d'émulsion et 20 % nitrate d'ammonium solide.

À titre de repère, tout explosif contaminé partiellement par la présence d'eau générera des fumées jaunâtres lors du sautage. Il est important de régler ce problème si la présence de fumée jaunâtre est régulièrement constatée. La contamination de l'explosif par la présence d'eau affecte directement la performance de l'explosif. Il en résulte alors une fragmentation de moins bonne qualité, des problèmes potentiels au niveau du plancher de marinage et un moins bon dégagement du matériel abattu.

Le choix du type d'émulsion à sélectionner est par conséquent fonction des paramètres suivants :

- Degré de fissuration du roc à dynamiter;
- Délai de temps entre le chargement et la mise à feu du produit;
- Type d'équipement de marinage.

Pour des travaux d'excavation réalisés à partir de chargeur pneumatique à grande mobilité, il est préférable de maximiser le déplacement du sautage et d'obtenir une pile de roc dynamité moins confinée. Pour ce type d'excavation, l'émulsion dopée représente un choix idéal.

Dans le cas d'opération de marinage réalisée avec pelle hydraulique ou électrique à mobilité moindre et pour des travaux de marinage nécessitant de minimiser tout risque de dilution, il devient approprié de minimiser le déplacement du roc dynamité et de maximiser la qualité de la fragmentation. Sous de telles conditions, l'émulsion pure représente un avantage.

## **6.2 Sensibilisateur**

Il faut comprendre que tout explosif est constitué d'un mélange d'ingrédients chimiques auxquels on ajoute un sensibilisateur afin de conférer au produit sa nature explosive.

Dans la fabrication d'un explosif de type émulsion en vrac, deux types de sensibilisateurs sont utilisés : le sensibilisateur de type microbille de verre ou le sensibilisateur de type gazéifié.

Le sensibilisateur de type microbille de verre est ajouté au produit lors de sa fabrication à l'usine du manufacturier. Cet ingrédient permet d'obtenir un produit à densité constante au sein de la colonne explosive chargée. Ce type de produit permet d'obtenir un contrôle des hauteurs de

collet plus facile lors des opérations de chargement. La densité standard d'un explosif de type émulsion sensibilisé avec microbille de verre est de 1,25 g/cc. Le désavantage de ce produit réside sur son coût de fabrication, puisque cet ingrédient (sensibilisateur) est dispendieux.

À titre d'alternative, un second sensibilisateur soit la solution gazéifiant est disponible. Cette option présente une solution beaucoup plus économique pour la fabrication de l'explosif. Contrairement à la microbille de verre ajoutée au produit lors de sa fabrication en usine, la solution gazéifiant n'est ajoutée au produit que lors des opérations de chargement de l'explosif au sein des trous de forages. Cette solution réactive liquide développe progressivement des bulles de gaz à l'intérieur de la colonne explosive. Par effet de migration, les bulles de gaz cherchent à monter vers la portion du collet du trou chargé. Il en résulte un effet de gonflement de la colonne explosive d'une durée moyenne d'environ 15 minutes après le chargement du produit.

À l'issue de ce délai, on obtient une variation de la densité de l'explosif au sein de la colonne explosive. On obtient alors une densité de produit avec un maximum d'énergie en fond de trou, soit dans la zone où la demande en énergie est maximale et une densité de produit moindre dans la portion du collet, suite à la présence d'un nombre supérieur de bulles de gaz migrants vers la surface. Cette variation de distribution énergétique de l'explosif permet de mieux s'adapter aux exigences du roc à dynamiter, soit avec énergie maximale en fond de trou et énergie réduite au collet.

Toutefois, considérant l'effet de gonflement du produit, le contrôle des hauteurs de collet devient une opération beaucoup plus minutieuse. Il en résulte des problèmes connus quant aux risques de projections verticales de roc lors des sautages quand les hauteurs de collet ne sont pas respectées. Il est donc recommandé de toujours s'assurer d'attendre que l'effet de gonflement du produit soit complété, c'est-à-dire après un délai de réaction de 15 minutes suivant le chargement du produit, puis de procéder à une vérification ultime des hauteurs de collet de chaque trou avant de finaliser avec le bourrage des collets. Le boute-feu devra également disposer d'un outil non ferreux, généralement un tube de PVC, afin de retirer tout explosif en excès. Le non-respect de cette procédure générera des problèmes de projections de roc et de surpressions d'air lors des sautages.

Pour les zones localisées à proximité des lignes à hautes tensions d'Hydro-Québec et régions sous contrôle sévère des projections de pierres, l'émulsion en vrac gazéifié n'est point recommandée, sauf sous supervision et contrôle sévère des opérations de chargement de l'explosif.

En dernier lieu, le contrôle de la qualité des émulsions en vrac est fonction du contrôle de la qualité de la matrice de base manufacturée en usine par le manufacturier, de la qualité des granules solides de nitrate d'ammonium dans le cas des produits dopés, de la bonne maintenance du camion servant au pompage du produit particulièrement pour les produits gazéifiés et de la minutie de l'opérateur du camion.

Il est important de s'assurer que l'opérateur du camion procède à des contrôles de densité du produit à chacune des livraisons effectuées. Il est recommandé de procéder à deux vérifications par livraison, soit une première au début du chargement pour assurer la bonne calibration du sensibilisateur des produits gazéifiés et une seconde vérification vers le milieu des opérations de chargement de cette même livraison.

En vertu de nos connaissances en explosifs dans le cadre d'exploitation minière à ciel ouvert, nous croyons que l'utilisation d'un explosif de type émulsion dopée au nitrate d'ammonium en vertu d'un mélange à 70 % en matrice d'émulsion et 30 % en nitrate d'ammonium solide et sensibilisé avec solution gazéifiant correspondrait à un excellent produit relativement économique et compatible au type d'exploitation prévue. Des mesures particulières devront cependant être préconisées pour assurer le bon contrôle du chargement de ce produit dans les secteurs sensibles aux projections de roc.

En fonction de conditions de chargement humides et problématiques, le mélange du produit pourrait être modifié en fonction d'un ratio 80 % en matrice d'émulsion et 20 % en granules de nitrate d'ammonium.

Également, dans certaines applications demandant un dégagement minimal du sautage, une modification de la séquence de mise à feu pourrait permettre d'atteindre cet objectif en resserrant l'angle d'ouverture du tir.

## 7. BOURRAGE DES TROUS

---

Le matériau de bourre des collets demeure un item important. Seule la pierre concassée doit être utilisée à titre de matériau de bourre. Le choix du type de criblure de la pierre concassée dépend de la dimension du trou à bourrer. Une pierre de dimension 15 à 20 mm est généralement compatible pour des forages de 75 mm à 165 mm, alors que pour des diamètres de forage supérieurs à 165 mm, une pierre concassée de calibre de 20 à 25 mm s'avère plus appropriée.

L'irrégularité des arêtes des pierres concassées permet d'obtenir un effet de blocage efficace au niveau du collet de manière à permettre à l'explosif d'effectuer un travail semi-latéral dans la portion du collet et de limiter les projections verticales de la roche dynamitée.

Il est également essentiel à ce que le boutefeu s'assure de pleinement bourrer sur leurs pleines hauteurs respectives, tous les trous annulés et non chargés aux explosifs. La présence de trou ouvert non chargé favorise la création de pertes importantes de l'énergie explosive produite par les trous chargés adjacents et ainsi créer des effets canon non désirés.



## 8. AMORÇAGE

---

L'amorçage des charges explosives est un item essentiel pour obtenir le plein rendement de la performance de l'explosif lors du sautage.

Un amorçage inadéquat de la colonne explosive résulte en une fragmentation déficiente et des problèmes au niveau du plancher de marinage. En considération de l'ensemble des coûts élevés reliés aux travaux d'excavation et de broyage, il est important de choisir des accessoires de sautage permettant d'obtenir les performances optimales de chaque sautage.

Le type d'amorce dépend en outre du type d'explosif à initier. Pour assurer un amorçage approprié, il est requis que l'amorce (donneur) génère une vitesse et une pression de détonation supérieures à celles de l'explosif (récepteur).

Dans le cas d'un explosif de type émulsion en vrac, les vitesses de détonation sont variables selon le diamètre foré. Les vitesses supérieures sont obtenues pour des diamètres de plus grandes dimensions. Pour l'explosif de type émulsion, on note en général des vitesses de détonation variant entre 4 800 m/s à 5 500 m/s.

On recommande donc de procéder à l'initiation de ce type d'explosif à haute vitesse de détonation avec des renforçateurs moulés (*cast primer*) à base de PETN et de TNT. Ce renforçateur développe une vitesse de détonation de plus de 7 200 m/s et une pression de détonation de l'ordre de 220 kbar, donc largement suffisant pour permettre à l'émulsion de développer rapidement sa pleine efficacité énergétique.

Le format de l'amorce est également fonction du diamètre de la charge explosive à initier. Pour des forages de 75 mm à 115 mm, des amorces de 12 onces sont normalement recommandées, alors que des amorces de 16 onces sont requises pour des trous de plus de 125 mm en diamètre.

Comme normalement indiqué par le fabricant d'explosifs, il est recommandé d'utiliser une amorce par trou pour les hauteurs de bancs de 5 m, deux amorces par trou pour des hauteurs de bancs de 10 m et de deux à trois amorces par trou pour des hauteurs de bancs de 15 m.

En considération de l'explosif à faible sensibilité chargé au trou, il est essentiel de procéder au réamorçage du trou en présence de toute discontinuité de la colonne explosive. Une telle discontinuité pourrait être créée par l'affaissement de résidus de forage ou par tout autre débris au sein du trou lors du chargement.

Il est recommandé au boute-feu de relever l'amorce en fond de trou d'au moins 1,0 m afin d'éviter de procéder à l'amorçage du renforçateur dans une zone pouvant être contaminée par de la boue de forage.



## 9. DÉTONATEURS

---

Pour les futurs travaux de sautage, nous recommandons fortement l'utilisation exclusive du détonateur électronique.

Le détonateur électronique offre plusieurs avantages dont particulièrement une nette amélioration quant à la précision de la séquence de mise à feu.

Il en résulte un meilleur contrôle des vibrations émises par le sautage, un meilleur contrôle du dégagement du sautage, une meilleure fragmentation et une meilleure qualité du plancher de marinage.

Quoique plus dispendieux que le détonateur conventionnel, le détonateur électronique représente un item largement rentable pour des travaux d'excavation réalisés dans un roc abrasif.

Tout comme pour le détonateur conventionnel, le détonateur électronique est composé d'un délai de mise à feu. Pour le détonateur conventionnel, le délai de mise à feu est obtenu par la combustion d'une poudre pyrotechnique incorporée à l'intérieur même du détonateur. Le degré de variation moyen de la précision d'un détonateur conventionnel est généralement de l'ordre de 3,5 % par rapport au temps théorique prévu.

Pour le détonateur électronique, le délai de mise à feu est assuré par la présence d'un microprocesseur incorporé à l'intérieur même du détonateur. La programmation du détonateur électronique, servant à déterminer le temps précis de mise à feu, est effectuée au chantier par le technicien en sautage. La haute précision du microprocesseur du détonateur permet d'obtenir un écart de mise à feu du détonateur par rapport au temps théorique de l'ordre de 0,1 %.

Ce type d'application permet d'obtenir une flexibilité quasi infinie pour établir la séquence de mise à feu et offre un contrôle largement supérieur des vibrations pour les sautages localisés à proximité de la ligne à haute tension d'Hydro-Québec.

Le détonateur électronique offre également une sécurité accrue lors de la mise à feu du sautage puisque pour procéder à la mise à feu, il est impératif à ce que la totalité des détonateurs reliés à l'exploseur réponde conformément aux signaux émis par cette batterie, à défaut de quoi le sautage ne pourra être entrepris. On élimine ainsi en grande partie tout risque de ratée lors des tirs.



## 10. PARAMÈTRES DE FORAGE ET DE SAUTAGE

---

À l'annexe C du présent rapport, on retrouve un tableau identifiant l'ensemble des paramètres de forage à préconiser en fonction des divers diamètres de forage qui seront éventuellement préconisés par la direction des opérations minières. Étant donné que le choix des diamètres de forage n'est point connu pour le moment, nous avons analysé ces données pour des diamètres variant entre 75 mm à 216 mm.

Notre étude sera scindée de façon sectorielle afin de répondre particulièrement aux exigences sismiques à rencontrer. Ainsi, dans les secteurs les plus critiques localisés à proximité des lignes de transport d'Hydro-Québec, un diamètre de forage plus petit sera requis. Le diamètre de forage pourra être progressivement augmenté en considération d'une distance plus grande entre les zones de sautage et à la zone d'emprise d'Hydro-Québec.

La sélection progressive d'un diamètre de forage supérieur permettra d'obtenir une productivité nettement supérieure et une économie substantielle sur les frais d'exploitation.

Nous avons également établi les divers paramètres selon des sautages effectués dans les zones minéralisées et les zones stériles. Pour chacune des situations, le tableau de compilation établit distinctement les paramètres suivants :

- diamètre de forage
- hauteur de bancs (5 m, 10 m, 15 m)
- hauteur de sous forage
- hauteur de collet
- hauteur de charge de la colonne explosive
- charge explosive par trou (explosif de type émulsion en vrac à 1,25 g/cc)
- fardeau
- espacement
- facteur de chargement des explosifs

L'établissement de ces paramètres est réalisé en fonction des barèmes généraux de sautage tel que décrit ci-dessous.

La hauteur de sous-forage est établie selon un ratio de 30 % de la valeur du fardeau correspondant.

La hauteur de collet est établie selon un ratio de 20 fois le diamètre de forage, donc équivalent au diamètre de la charge explosive pour un explosif en vrac.

La dimension de la maille de forage est établie de manière à obtenir pour des hauteurs de bancs de 10 m, un facteur de chargement de l'explosif variant entre 1,02 g/cc à 1,05 g/cc pour les sautages effectués dans le roc stérile d'une densité moyenne de 3,20 g/cc, et un facteur de chargement variant entre 1,12 g/cc à 1,15 g/cc pour les sautages réalisés dans le roc minéralisé d'une densité moyenne de 3,50 g/cc.

Ces facteurs de chargement de l'explosif sont déterminés en considération de la valeur énergétique de l'explosif en vrac de type émulsion en vrac et de notre expérience de son utilisation dans ce type d'application.

Nous tenons à nouveau à souligner que ces paramètres devront tous faire l'objet d'évaluation systématique au chantier et seront sujets à des ajustements en fonction des résultats obtenus et quantifiés.

## 11. CONTRAINTES ENVIRONNEMENTALES

---

Les sautages représentent un défi constant pour le contrôle des nuisances environnementales qu'elles génèrent. Les principales contraintes environnementales devant faire l'objet d'un contrôle particulier sont :

- vibrations
- surpressions d'air
- projections de roc

Le succès de tout sautage est fonction de la sélection d'un ensemble de paramètres de forage et de sautage appropriés et du contrôle de leurs applications respectives au chantier.

Seul le contrôle approprié de ces paramètres permettra à l'exploitant de demeurer en contrôle des contraintes ci-haut mentionnées.

### 11.1 Vibrations

En considération de la localisation actuelle de la fosse à exploiter et des structures avoisinantes, le principal enjeu en ce qui concerne le contrôle des vibrations sera de limiter les vibrations de sautage à la base des pylônes d'Hydro-Québec qui correspondent aux structures les plus rapprochées de la zone d'exploitation. La tolérance sismique permise par la société d'État à ces structures est de 25,0 mm/s.

En ce qui concerne le contrôle des vibrations pour les résidences localisées dans le secteur sud de la future fosse minière, soit le long de la route 138, la limite sismique actuelle est de 40,0 mm/s. Toutefois, cette valeur fait présentement l'objet d'une révision auprès du Ministère et cette révision prévoit une nouvelle valeur de 12,5 mm/s.

Par conséquent, notre étude considère une valeur maximale de 25,0 mm/s à la base des structures d'Hydro-Québec et de 12,5 mm/s aux résidences avoisinantes.

Le contrôle et la limitation des vibrations émises lors d'un sautage sont principalement régis par les items suivants :

- Limitation de la charge explosive maximale par délai de mise à feu;
- Précision des détonateurs;
- Orientation de l'axe de dégagement du sautage;
- Précisaillement des limites d'excavation de la fosse;
- Degré de confinement du sautage;
- Contrôle des profondeurs de forage;
- Régularité du patron de forage;
- Déviation des forages.

### **11.1.1 Limitation de la charge explosive par délai**

Ce paramètre est établi et contrôlé en vertu de la séquence de mise à feu. Le concepteur du sautage doit préparer cette séquence de manière à contrôler l'axe de dégagement du sautage et identifie avec exactitude à quelle séquence en millième de seconde chacun des trous sera mis à feu. La distance entre le site du sautage et la structure à protéger, l'orientation de l'axe de dégagement du sautage et la nature du roc à travers lequel voyagera l'onde sismique détermineront la valeur maximale de la quantité d'explosif pouvant être initié par délai afin de respecter la vibration maximale permise. Ce paramètre est évidemment estimé sur une base théorique dans nos simulations de sautage et devra être ajusté au chantier en fonction des lectures enregistrées.

### **11.1.2 Précision des détonateurs**

Le contrôle des vibrations produites par un sautage est grandement influencé par la précision même de la séquence de mise à feu. L'utilisation des détonateurs électronique permet une souplesse appréciable pour la programmation des détonateurs et offre une précision extrême. Le délai de mise à feu de ce type de détonateur est établi numériquement par la présence d'un microprocesseur intégré dans le détonateur. La haute précision du détonateur électronique permet d'optimiser de façon significative les résultats du sautage à plusieurs niveaux dont particulièrement au niveau du contrôle des vibrations. Nous vous recommandons fortement d'utiliser ce type de produit pour l'amorçage des charges explosives.

### **11.1.3 Orientation de l'axe de dégagement du sautage**

L'orientation de l'axe de dégagement du sautage est déterminée par la séquence de mise à feu. Pour chaque sautage, il est connu que les vibrations maximales émises par le sautage seront propagées en direction opposée à l'axe de dégagement du tir, c'est-à-dire vers l'arrière du sautage. Il est donc recommandé de maximiser le développement de la mine en procédant majoritairement à des sautages progressant le long de l'axe de la fosse, c'est-à-dire l'axe est-ouest.

Les sautages à effectuer dans le secteur critique aux vibrations, soit le long de la ligne à haute tension de HQ, ne devraient en aucun temps être dégagé en direction opposée aux lignes de HQ, c'est-à-dire dos aux pylônes de HQ. Les tirs à réaliser dans ce secteur devraient être planifiés de manière à se dégager perpendiculairement à la ligne de HQ.

#### 11.1.4 Précisaillement des limites d'excavation de la fosse

Les limites d'exploitation de la fosse à exploiter seront obtenues via des sautages de précisaillement visant à créer une ligne de fissuration dans le roc qui deviendra la paroi rocheuse finale à l'issue de l'excavation de la masse rocheuse adjacente. Les sautages de précisaillement sont recommandés pour des parois rocheuses finales de plus de 70°.

Cette ligne de cisaillement en plus d'assurer une stabilité de la paroi rocheuse finale, permettra de réduire significativement les vibrations émises par le sautage de production, au-delà de la limite d'excavation. Des tirs similaires effectués avec des lignes de cisaillement établies ont permis d'obtenir des atténuations de vibration de l'ordre de 40 % au-delà de la ligne de prédécoupage.

Cependant, compte tenu du degré de confinement élevé de ce type de sautage, il en résulte des vibrations relativement élevées si on considère la faible quantité de charges explosives utilisée. Par conséquent, les tirs de précisaillement peuvent s'avérer non appropriés pour les secteurs sensibles aux vibrations.

Dans des secteurs critiques, lorsque le prédécoupage ne peut être utilisé, le forage aligné (*line drilling*) pourra servir de solution de rechange. Le forage aligné correspond à un forage rapproché de trou de grand diamètre non chargé aux explosifs.

#### 11.1.5 Degré de confinement du sautage

Il est connu que le degré de confinement d'un sautage affecte directement les résultats de vibration enregistrés lors du dynamitage. Les sautages de production prévus en banquette représentent le type de sautage le moins confiné et le plus avantageux quant au contrôle des vibrations. Il est cependant important de s'assurer de procéder systématiquement au marinage et au dégagement de toutes faces de sautage sur leurs pleines hauteurs respectives avant chaque tir afin d'obtenir des lectures sismiques plus faibles.

Le degré de confinement du sautage dépend également du nombre de rangées à l'intérieur d'un même tir. Quoique le concepteur alloue un temps de dégagement du sautage en établissant un délai précis en millième de seconde entre les rangées dynamitées, il faut comprendre que lors du sautage, le massif ne se déplacera pas à une telle vitesse. Ainsi, plus le nombre de rangées au sein d'un même tir est élevé, plus confiné sera le sautage au niveau des rangées arrières. Dans ce type d'opération, il est recommandé de limiter le nombre de rangées à 6 pour les sautages de production standards et de limiter le nombre de rangées à 3 dans les secteurs sensibles aux vibrations, soit dans la portion nord du gisement. L'exploitant tirera avantage à préconiser un nombre de rangées moindre avec des longueurs de face de tir plus élevées.

Pour minimiser le degré de confinement du sautage, la séquence de mise à feu joue également un rôle important. Aux fins de départ, le concepteur du sautage pourrait considérer un délai de mise à feu de 20 à 25 ms entre les trous d'une même rangée et un délai variant de 30 à 35 ms par mètre de fardeau entre les rangées. À nouveau, ces valeurs devront faire l'objet d'évaluation et d'ajustement au chantier.

#### **11.1.6 Contrôle des profondeurs de forage**

La régularité des profondeurs de forage demeure un autre élément important permettant d'assurer un contrôle optimal des vibrations. La mise à feu d'un seul trou dont la profondeur est trop élevée générera une hausse au niveau des vibrations. Il en est de même pour la mise à feu d'un trou localisé derrière un trou dont la profondeur est insuffisante. Cet item devra faire l'objet d'un suivi particulier tel que décrit au chapitre du forage.

#### **11.1.7 Régularité du patron de forage**

La régularité du patron de forage constitue également un élément essentiel à contrôler pour assurer le succès du sautage relativement à la qualité du plancher de marinage, la qualité de la fragmentation du matériel abattu et du contrôle des vibrations émises par le sautage.

Il est fortement recommandé de procéder à l'implantation des trous de forage par méthode d'arpage.

#### **11.1.8 Déviation des forages**

La régularité du patron de forage est certes importante en surface au niveau du plancher de forage, mais encore plus importante en fond de trou, c'est-à-dire dans la zone où l'explosif est le plus sollicité.

Il est, par conséquent, essentiel de s'assurer d'obtenir une précision appropriée des forages en minimisant tout risque associé à la déviation. Pour atteindre cet objectif, il est important d'utiliser des diamètres de forage et des accessoires de forage appropriés selon les hauteurs de bancs exploitées. La qualité des forages sera également obtenue en fonction de la qualité même du foreur.

#### **11.1.9 Suppressions d'air**

Une autre contrainte environnementale à respecter sur ce sautage correspond au contrôle des suppressions d'air émises par le tir.

La norme provinciale actuelle régissant ce paramètre limite la surpression d'air d'un sautage à 128 dB pour les résidences avoisinantes.

Les surpressions d'air d'un sautage sont issues du déplacement semi-horizontale de la face de tir ainsi que des projections verticales de pierres.

Le contrôle et la limitation des surpressions d'air émises lors d'un sautage sont principalement régis par les items suivants :

- hauteur et orientation de la face libre;
- fardeau de face libre trop léger;
- surcharge de l'explosif en vrac;
- contrôle des hauteurs de collet
- matériau de bourre
- sautage de trous courts;
- conditions météorologiques

#### **11.1.10 Hauteur et orientation de la face libre**

Les surpressions d'air émanant de la face de sautage sont directement dépendantes de la hauteur et de la longueur de la face libre. L'orientation de la face libre et la direction de dégagement du sautage par rapport aux résidences adjacentes à la route 138 constituent des éléments clés à considérer pour permettre de respecter les surpressions d'air aux riverains. Comme démontré à l'aide des simulations jointes en annexe, il sera important de privilégier des tirs orientés soit de dos, soit perpendiculaires à la route 138.

#### **11.1.11 Fardeau de face libre trop léger**

En général, les faces libres de sautage sont issues du dynamitage et de l'excavation d'un tir précédent. Il en résulte normalement un bris arrière qui crée une nouvelle face libre à profil irrégulier sous conditions géologiques hautement altérées. Il devient alors essentiel que le boutefeue évalue adéquatement le profil de chaque trou de face libre de manière à allouer à la hausse, une hauteur de collet appropriée et sécuritaire.

#### **11.1.12 Surcharge d'explosif en vrac**

Il sera également important que le boutefeue dispose des informations pertinentes de forage afin d'adapter un chargement adéquat de l'explosif. Particulièrement pour le chargement des trous de façade issus du bris arrière d'un tir précédent, il sera important de déceler la présence de toutes cavités ou anomalies géologiques majeures afin d'éviter des pertes de produit au sein de celles-ci. En présence de cavités problématiques et selon le degré du problème, le boutefeue peut opter pour effectuer un chargement étagé en ajoutant de la pierre concassée au niveau de

la cavité. Il peut également procéder au chargement de l'explosif en vrac à l'intérieur d'une gaine de plastique pour éviter toute surcharge de l'explosif ou procéder au chargement d'explosifs encartouchés au niveau de la zone potentiellement à problème.

#### **11.1.13      Contrôle des hauteurs de collet**

Les surpressions d'air peuvent également être produites par les projections verticales du roc dynamité. À cet égard, le contrôle intégral des hauteurs de collet de chaque trou est primordial. Il ne faut jamais oublier que dans un sautage, il ne suffit que d'un seul trou pour générer des non-conformités. Tout explosif en excès dans la portion du collet devra obligatoirement être retiré du trou avec un outil spécialement conçu à cette fin.

Afin de minimiser ce problème, il serait approprié de prévoir la complétion du chargement des explosifs avec des explosifs encartouchés dans la portion supérieure du trou. Cette mesure pourrait être établie dans les secteurs plus à risque quant aux projections de roc.

#### **11.1.14      Matériau de bourre**

Le matériau de bourre des collets demeure également un item important. Comme déjà mentionné, seule la pierre concassée doit être utilisée à titre de matériau de bourre.

En complément, il est également essentiel que le boutefeu s'assure de bourrer pleinement sur leurs pleines hauteurs respectives, tous les trous annulés et non chargés aux explosifs.

#### **11.1.15      Sautage de trous courts**

Il peut s'avérer requis en cours d'exploitation minière d'avoir à effectuer de sautages de reprises de plancher de manière à corriger le profil du plancher de marouflage. Ce type de sautage requiert normalement le forage et le chargement de trous de faibles profondeurs. Quoique les explosives soient réduites, il faut comprendre que ce type de sautage n'offre que la surface à titre de face libre. Ce type de sautage représente des risques élevés de projection de roc et de surpressions d'air. Il s'avère donc requis de respecter les hauteurs de collets demandées et de recouvrir la pleine superficie de ce sautage avec 1,0 m et plus de poussière de pierre.

#### **11.1.16      Conditions météorologiques**

Au-delà de toutes ces précautions qui font l'objet d'un contrôle humain, il faut reconnaître qu'un des facteurs dominants régissant le contrôle des surpressions d'air demeure les conditions météorologiques.

Pour la mise à feu de tout sautage en milieu non isolé, il est préférable de procéder au sautage sous conditions climatiques favorables, soit :

- Ciel dégagé ou semi-dégagé avec hauteur du plafond nuageux de plus de 300 m,
- Vitesse maximale des vents en direction des résidences avoisinantes de 25 km/h.

Toutes conditions ne répondant pas à ces critères entraîneront des hausses sur les valeurs des surpressions d'air de sautage en périphérie de la fosse.

L'excavation des premiers bancs sera plus contraignante pour le contrôle des surpressions d'air auprès du voisinage. Ce phénomène s'amenuisera progressivement avec le temps lorsque l'exploitation sera réalisée en profondeur de plus de 3 banquettes de 10 m.



## 12. MONITORING DES SAUTAGES

---

Il sera important en cours d'opération que la direction de Mine Arnaud enregistre des lectures sismiques et sonores de chaque sautage afin de valider la qualité de ses sautages.

Nous recommandons l'installation de deux sismographes à la base des pylônes d'Hydro-Québec, ceux situés le plus près de la zone de sautage, ainsi que deux autres appareils installés aux résidences les plus rapprochées du sautage.

Les lectures enregistrées serviront à s'assurer de la conformité de chaque sautage et à définir les constantes sismiques et constantes d'atténuation des vibrations de sautage. Les constantes calculées permettront d'ajuster les calculs de prévision des vibrations et prévoir la conception des sautages conformément aux tolérances permises.

Chacun de ces appareils devra être étalonné annuellement par une firme spécialisée afin d'assurer la conformité des lectures enregistrées. Un certificat d'authentification sera émis par la firme pour chacun des instruments.

En complément, nous vous recommandons fortement de filmer chaque sautage. Une simple caméra numérique permet à faible coût de scinder le sautage en plusieurs images et ainsi de procéder à l'analyse détaillée du sautage.

Divers items pourront alors être analysés afin d'ajuster certains paramètres ou déceler toute non-conformité pouvant causer des problèmes quant à l'issue du sautage.



## 13. SIMULATIONS DE SAUTAGES

---

Les simulations de sautage présentées dans ce document ont toutes été réalisées avec le logiciel DNA-Blast Software par le docteur Thierry Bernard.

Les simulations présentées couvrent trois volets soit :

- vibrations
- surpressions d'air
- projections de roc

### 13.1 Paramètres de simulation (géologie, forage, chargement d'explosifs)

Les simulations ont toutes été réalisées en considération d'un roc minéralisé, étant donné que ce type de roc plus massif s'avère plus contraignant au niveau des sautages. Les résultats des simulations obtenus permettent ainsi d'établir des standards plus sécuritaires qui devraient s'avérer appropriés tant pour l'exploitation de la zone minéralisée que pour la zone stérile.

Les paramètres de forage et de chargement des explosifs retenus aux fins de simulation correspondent à ceux définis dans le tableau de l'annexe B de la présente étude.

L'ensemble des simulations effectuées considère un roc de type apatite avec des valeurs de propriétés mécaniques du roc moyennes et représentatives des valeurs standards pour ce type de roc. Ces valeurs ont été retenues aux fins de simulation et ce, avec l'accord de Mine Arnaud, puisque les valeurs des propriétés mécaniques du roc spécifique à Mine Arnaud n'étaient pas disponibles au moment de la production de ce rapport.

Les simulations présentées dans ce document ont ainsi pour but de fournir des valeurs et un ordre de grandeur appropriés pour les sautages de production. Des ajustements devront être appliqués ultérieurement en fonction des résultats réels obtenus au chantier.

Des simulations futures pourront être effectuées en connaissance des propriétés spécifiques du roc de la Mine Arnaud et permettre d'obtenir des résultats et prévisions plus adaptés.

Les valeurs retenues des propriétés mécaniques de la roche pour les simulations sont :

Densité du roc (g/cc)	3,50
P wave velocity (m/s)	4 000
Coefficient de Poisson	0,30
Module de Young (GPa)	88,4
Résistance en tension (MPa)	20,0
Résistance en compression (MPa)	185,0
Constante sismique K	1 500
Constante d'atténuation Alpha	-1,80

L'explosif choisi pour nos simulations correspond à un explosif de type émulsion en vrac d'une densité moyenne de 1,25 g/cc.

### 13.2 Simulations des vibrations

Les simulations des vibrations ont été effectuées en vertu de hauteurs de bancs exploités de 5 m, 10 m et 15 m. Elles ont parallèlement été effectuées selon les diamètres de forage suivant :

- 75 mm
- 90 mm
- 100 mm
- 115 mm
- 127 mm
- 140 mm
- 152 mm
- 165 mm
- 178 mm
- 190 mm
- 203 mm
- et 216 mm

L'objectif de ces simulations est de déterminer les combinaisons (diamètre foré vs hauteur de bancs) permettant de respecter la tolérance sismique à la base des pylônes d'Hydro-Québec localisés au nord de la fosse à exploiter, ainsi que la tolérance sismique de 12,5 mm/s pour les résidences localisées au sud de la fosse le long de la route 138.

Il est important de spécifier que les simulations de vibrations présentées dans ce document sont toutes issues d'une séquence de mise à feu à raison d'un seul trou par délai. L'utilisation et la

large flexibilité du détonateur électronique permettent au concepteur du sautage de respecter ce paramètre. Les valeurs des vibrations obtenues par simulation ne sont représentatives que dans la mesure où ce paramètre est respecté.

Le secteur le plus critique de la mine à exploiter correspond à la portion nord du gisement qui longe avec proximité les lignes de transport à haute tension de la société d'État.

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 5 m permettant de respecter une vibration maximale de 25 mm/s au pylône de HQ sont :

<b>Banc de 5 m</b>	
<b>Pylône HQ – limite de 25,0 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
75	48
90	54
100	61
115	67
127	73
140	78
152	84
165	89
178	93
190	97
203	101
216	104

À titre d'exemple et selon les résultats des simulations, l'exploitation d'un banc de 5 m dans un secteur en vertu d'un diamètre de forage de 90 mm devrait être effectuée à une distance de plus de 54 m de la base des pylônes d'Hydro-Québec pour permettre d'enregistrer des lectures à la base de ces structures de 25,0 mm/s et moins.

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 10 m permettant de respecter une vibration maximale de 25 mm/s au pylône de HQ sont :

<b>Banc de 10 m</b>	
<b>Pylône HQ – limite de 25,0 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
75	70
90	81
100	92
115	103
127	113
140	123
152	133
165	143
178	153
190	162
203	171
216	180

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 15 m permettant de respecter une vibration maximale de 25 mm/s au pylône de HQ sont :

<b>Banc de 15 m</b>	
<b>Pylône HQ – limite de 25,0 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
100	115
115	129
127	142
140	156
152	169
165	182
178	195
190	208
203	220
216	232

Le second secteur imposant un contrôle sismique pour l'ensemble des sautages correspond aux résidences riveraines de la route 138 et localisées au sud de la fosse minière. La tolérance sismique à ces structures est de 12,5 mm/s. Quoique plus limitatif au niveau des vibrations, il faut considérer que les résidences les plus rapprochées des futures zones à dynamiter sont localisées à plus de 800 m.

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 5 m permettant de respecter une vibration maximale de 12,5 mm/s aux résidences riveraines de la route 138 sont :

<b>Banc de 5 m</b>	
<b>Résidences, route 138 – limite de 12,5 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
75	70
90	80
100	90
115	98
127	107
140	115
152	123
165	130
178	136
190	143
203	148
216	152

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 10 m permettant de respecter une vibration maximale de 12,5 mm/s aux résidences riveraines de la route 138 sont :

<b>Banc de 10 m</b>	
<b>Résidences, route 138 – limite de 12,5 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
75	103
90	119
100	136
115	151
127	166
140	181
152	196
165	210
178	224
190	238
203	252
216	264

Les résultats des simulations pour l'exploitation d'un banc de 15 m permettant de respecter une vibration maximale de 12,5 mm/s aux résidences riveraines de la route 138 sont :

<b>Banc de 15 m</b>	
<b>Résidences, route 138 – limite de 12,5 mm/s</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance critique (m)</b>
100	170
115	189
127	209
140	229
152	249
165	268
178	286
190	305
203	324
216	342

Pour cette seconde analyse, on note que dans le scénario ultime, soit un diamètre de forage de 216 m combiné à une hauteur de bancs exploités de 15 m, une distance d'au moins 342 m entre le site du sautage et la résidence la plus rapprochée est requise pour limiter les vibrations à 12,5 mm/s.

Par conséquent, le type d'exploitation prévue ne présente pas de problème de vibrations de sautage pour les résidences riveraines à la fosse à exploiter.

## 13.2.1 Analyse des résultats

### 13.2.1.1 Secteur Nord

Comme mentionné précédemment, la principale contrainte des vibrations de sautage correspond aux bases des pylônes et poteaux d'Hydro-Québec localisés le long du flanc nord de la future fosse minière.

La tolérance sismique de sautage à ces structures, telle qu'établie par Hydro-Québec, est de 25,0 mm/s.

Selon les résultats obtenus lors des simulations de sautage, une distance minimale de 48 m est requise entre le site du sautage et la base du pylône le plus rapproché en considération d'un diamètre de forage de 75 mm chargé à l'émulsion en vrac et d'une hauteur de bancs limitée à 5 m.

L'utilisation de hauteurs de bancs supérieurs pourrait s'avérer applicable en procédant à du chargement étagé des explosifs de manière à scinder la séquence de mise à feu en vertu de plus de un délai par trou. Cette technique permet de réduire la charge explosive par délai de mise à feu et par conséquent de réduire les vibrations émises par le sautage.

Il est important de comprendre que ce type de chargement et de séquences allongées génère un déplacement moindre de roc dynamité. Il en résulte un degré de confinement plus élevé pour le sautage et, afin de conserver un contrôle des vibrations acceptable, il est recommandé de limiter ce type de sautage à trois rangées.

Pour du chargement standard en explosif, en vertu d'une séquence de mise à feu de un délai par trou, il est recommandé de prévoir la conservation d'une zone tampon de plus de 70 m entre le limite nord de la fosse et l'axe de la base des structures d'Hydro-Québec. Cette option permet de préconiser des diamètres de forage de 75 mm combiné à l'exploitation de bancs de 10 m de hauteur. Tout sautage effectué à l'intérieur de ce périmètre théorique devra faire l'objet de mesures particulières.

Les diamètres de forage et la hauteur de bancs exploités pourront tous deux être progressivement augmentés en fonction de l'augmentation de la distance entre la zone de sautage par rapport aux structures voisines.

Les distances critiques à respecter selon le diamètre foré et la hauteur de bancs exploités sont indiquées dans les tableaux précédents.

Diverses techniques permettent de réduire la propagation des vibrations de sautage au-delà de la limite de la fosse. La principale méthode correspond au tir de prédécoupage.

Le sautage de prédécoupage consiste à forer une rangée de trous rapprochés le long de la limite périphérique de la fosse et de les charger faiblement aux explosifs de manière à générer une ligne de cisaillement dans le roc le long de cet axe.

Des expériences similaires de chantier ont permis de mesurer une atténuation des vibrations des sautages de production de l'ordre de 40 % au-delà de la limite d'excavation avec l'utilisation de cette technique.

Quoiqu'une faible quantité d'explosifs ne soit utilisée pour les tirs de prédécoupage, il faut comprendre qu'aucune face libre, outre la surface, n'est disponible sur ce type de sautage. Le haut degré de confinement d'un tel sautage est propice à générer des projections verticales de pierres dynamitées et des vibrations plus élevées. Par conséquent, il est recommandé de recouvrir ce type de tir avec la pose de matelas pare-éclats, de sable et/ou de membrane géotextile pour les sautages de prédécoupage effectués le long de la limite nord de la fosse.

Le type de recouvrement devra être déterminé en fonction de la distance en le sautage et les éléments d'Hydro-Québec.

Les vibrations émises par les tirs de prédécoupage pourront être réduites en réduisant le nombre de trous initiés par délai de mise à feu. Cette séquence pourrait être réduite jusqu'à raison de 4 trous par délai. Il est important de scinder la séquence en utilisant des relais rapides entre les séquences (17 ms) afin de conserver l'effet de cisaillement recherché.

Dans certains cas ultimes où les vibrations émises par les sautages de prédécoupage ne permettent pas de respecter les vibrations aux structures voisines, le cisaillement du roc peut être obtenu en vertu de la méthode de forage aligné à grand diamètre.

Cette méthode correspond au forage d'une rangée de trous rapprochés et non-chargés aux explosifs. Le faible espacement entre les trous permet de générer un ratio élevé de vide le long de l'axe de cisaillement. En général, on exige un ratio de 56 % entre le diamètre de forage et la distance centre à centre entre deux trous adjacents.

La méthode de forage aligné à grand diamètre permet d'obtenir des parois rocheuses finales de première qualité même sous conditions géologiques moins favorables et permet de réduire la propagation des vibrations au-delà des limites de la fosse minière. Toutefois, cette méthode s'avère onéreuse particulièrement en présence d'un roc abrasif et son application se limite aux secteurs critiques quant aux surexcavations et aux contrôles des vibrations.

En mode contrôle des vibrations, il est impératif de comprendre qu'une réduction de la charge explosive par délai de mise à feu n'implique aucunement une réduction du facteur de chargement de l'explosif. Le massif rocheux a besoin d'une quantité suffisante d'énergie explosive pour assurer la qualité de la fragmentation et du dégagement du sautage. Cette valeur du facteur de chargement doit demeurer à peu près constante.

La limitation des vibrations d'un sautage requiert de disséquer la séquence de mise à feu en millième de seconde, de manière à limiter la charge explosive à chacune des secousses produites par le tir.

Dans le cas du chargement étagé, soit en vertu d'une séquence de moins d'un trou par délai, chacune des charges explosives distinctes au sein d'un même trou est séparée par la présence d'au moins 1,0 m de pierres concassées. L'ajout de matériau non explosif au sein de la colonne entraîne une réduction de la charge par trou. Le concepteur devra alors calculer le facteur de chargement effectif et au besoin prévoir rétrécir la maille de forage à titre compensatoire.

### **13.2.1.2 Secteur Sud**

Le long du mur sud de la fosse minière, les structures les plus rapprochées à considérer pour le contrôle des vibrations sont les résidences longeant la route 138. La limite sismique à respecter à ces structures est de 12,5 mm/s.

La distance critique évaluée entre la limite sud de la fosse et les résidences les plus rapprochées est de l'ordre de 800 m. Cette grande distance est favorable à offrir une certaine souplesse pour la conception des sautages.

Divers scénarios ont été analysés lors des simulations de sautage. Même dans le cas ultime, soit en fonction de l'exploitation d'une hauteur de bancs de 15 m avec un diamètre de forage de 216 m, la distance critique permettant de respecter la limite sismique établie est de 342 m.

Par conséquent, pour des sautages de production standards convenablement effectués, nous ne prévoyons pas de problème majeur de vibration de sautage pour les résidences voisines localisées à plus de 800 m de la limite sud de la future fosse minière.

### **13.3 Simulations de surpressions d'air**

Nous avons également procédé à des simulations de sautage afin d'évaluer les surpressions d'air émises par les sautages. Dans le présent contexte, l'objectif à atteindre pour la conception et réalisation des sautages est de limiter les surpressions d'air à 128 dB aux résidences voisines de la mine. Les résultats obtenus permettront de déterminer les diamètres de forage et hauteurs de bancs appropriés selon le secteur de la mine exploité.

Nous avons donc procédé à l'analyse de diverses simulations de sautage en fonction des hauteurs de bancs et diamètres de forage, comme mentionné au chapitre des vibrations et selon une distance critique de 800 m entre le lieu de sautage et la résidence la plus près.

Afin d'être représentatifs des conditions météorologiques du secteur, nous avons considéré la présence de vent dominant en direction sud-est, c'est-à-dire en direction des résidences

longeant la route 138. Nous avons simulé les surpressions d'air selon une vitesse éolienne de 10 km/h afin de simuler des conditions météorologiques relativement favorables pour des tirs dirigés, soit en direction de la route 138, soit parallèles à la lentille à exploiter, c'est-à-dire perpendiculaires à la route 138 et aux résidences voisines. Les simulations de surpressions d'air ont été réalisées en vertu de hauteurs de bancs de 5 m, 10 m et 15 m.

Il faut comprendre que ces résultats sont produits sur une base théorique afin d'offrir un ordre de grandeur entre différents scénarios. Les valeurs réelles obtenues au chantier sont variables selon les conditions météorologiques au moment du tir (direction et vitesse éolienne, hauteur du plafond nuageux, pourcentage d'humidité), la topographie du site, la présence et la densité d'obstacles naturels (arbres, etc.).

Il faut également comprendre que les scénarios analysés font suite à des sautages réalisés selon les règles de l'art, c'est-à-dire selon des hauteurs de collet appropriées et conformes ne présentant aucun trou canon, des fardeaux de face libre réguliers sans aucune surcharge d'explosif.

Les résultats obtenus par simulation sont :

<b>Sautage orienté en direction de la route 138</b>			
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Banc de 5 m (db)</b>	<b>Banc de 10 m (db)</b>	<b>Banc de 15 m (db)</b>
75	138,9	153,9	
90	137,8	151,1	
100	136,7	150,0	156,1
115	132,2	149,4	155,5
127	133,3	148,3	154,8
140	131,7	147,2	154,0
152	130,6	146,1	153,3
165	128,9	142,8	151,1
178	126,7	143,3	150,6
190	125,5	142,2	150,0
203	123,3	140,6	148,9
216	120,0	140,0	148,3

<b>Sautage orienté perpendiculairement à la route 138</b>			
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Banc de 5 m (db)</b>	<b>Banc de 10 m (db)</b>	<b>Banc de 15 m (db)</b>
75	81,4	90,6	
90	81,1	88,9	
100	80,6	88,4	91,8
115	78,1	87,8	91,6
127	78,8	87,2	90,9
140	77,5	86,3	90,6
152	76,6	85,6	89,8
165	75,6	83,3	89,2
178	74,4	83,8	88,4
190	73,8	83,1	88,1
203	72,5	82,7	87,5
216	71,2	82,3	87,2

### **13.3.1 Analyse des résultats**

Les valeurs obtenues par simulations de sautage illustrent l'importance de l'orientation de la face de dégagement du sautage et de la hauteur du banc exploité.

Dans la première analyse, les scénarios simulés sont issus de sautages orientés directement en direction de la route 138, soit en direction sud-est.

Les valeurs obtenues indiquent que l'exploitation de bancs de 10 m et 15 m de hauteur serait non conforme au respect de la norme du 128 dB aux résidences adjacentes à la route 138.

Dans un tel contexte, seuls des diamètres de forage de 178 mm à 216 mm avec une hauteur de bancs de 5 m permettraient d'obtenir des lectures inférieures à la norme du 128 dB aux résidences.

Par contre, en orientant l'axe de dégagement du sautage à 90° par rapport à la route 138, on obtient une chute importante des surpressions d'air mesurées aux résidences.

Dans cette seconde analyse, on obtient par simulation la capacité de respecter la norme du 128 dB pour tous les scénarios analysés incluant les hauteurs de bancs de 15 m.

Cependant, divers facteurs variables non inclus dans le modèle du simulateur et pouvant influencer les résultats des surpressions d'air ne sont pas pris en compte dans nos simulations. Il serait intéressant en cours d'exploitation de calibrer le simulateur en fonction des paramètres de forage et sautage réels utilisés à la mine, en fonction des conditions météorologiques rencontrées et en fonction des surpressions d'air mesurées au chantier.

Malgré tout, les simulations démontrent la pertinence d'exploiter le gisement progressant le long de l'axe dominant de la lentille minéralisée soit en direction est-ouest et en direction nord-sud en privilégiant des tirs orientés vers le nord.

## **13.4 Simulations de projections de roc**

Finalement, nous avons effectué des simulations de sautage pour connaître les distances maximales estimées de projections de roc lors des tirs de production.

Ces simulations ont à nouveau été réalisées en vertu de diamètre de forage et hauteurs de bancs variables pour des trous chargés avec de l'émulsion en vrac.

L'objectif visé est de sélectionner les paramètres de sautage appropriés pour éviter tout risque de dommage particulièrement dans le secteur des lignes à haute tension d'Hydro-Québec.

Les distances de projections obtenues par simulation correspondent aux distances de projections de roc horizontales maximales anticipées à l'avant de la face libre de tir.

Les résultats des simulations de projections sont établis dans le tableau suivant;

<b>Simulations des projections de roc</b>	
<b>Banc de 5 m</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance max. de projection (m)</b>
75	36
90	34
100	30
115	20
127	23
140	20
152	17
165	14
178	14
190	15
203	16
216	13

<b>Simulations des projections de roc</b>	
<b>Banc de 10 m</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance max. de projection (m)</b>
75	140
90	120
100	120
115	114
127	104
140	92
152	83
165	60
178	64
190	62
203	54
216	53

<b>Simulations des projections de roc</b>	
<b>Banc de 15 m</b>	
<b>Diamètre foré (mm)</b>	<b>Distance max. de projection (m)</b>
100	182
115	184
127	182
140	180
152	172
165	165
178	150
190	142
203	131
216	126

### 13.4.1 Analyse des résultats

On remarque particulièrement que, pour de faibles hauteurs de bancs (5 m), les distances maximales de projections de roc issu d'un sautage sont décroissantes avec l'augmentation du diamètre de forage. Ce phénomène s'explique par l'influence de la portion non chargée du collet du trou qui résulte en une hauteur de colonne explosive moindre exposée à la face de sautage.

En regard de ce principe et à l'issue de l'analyse du tableau des projections de roc, on remarque que, pour une hauteur de bancs établie, les plus gros diamètres sont moins contraignants pour le contrôle des projections de roc issues d'un sautage.

Il est également évident de constater que les distances théoriques de projections de roc sont grandement influencées par la hauteur du banc dynamité.

Pour le contrôle des projections en direction des résidences voisines à la future mine, la distance tampon de plus de 800 m est largement suffisante pour éviter toute problématique à ce niveau toujours en prenant considération que les sautages sont réalisés avec contrôle.

En ce qui concerne le secteur nord de la fosse, les valeurs simulées combinées aux estimations sismiques dans ce secteur devraient permettre de déterminer les paramètres à préconiser selon les distances par rapport aux éléments d'Hydro-Québec.

Pour l'exploitation de bancs de 5 m, une distance minimale de 36 m serait requise. Pour l'exploitation d'un banc de 10 m, une distance minimale de 140 m serait requise et pour un banc de 15 m, une distance minimale de 180 m serait appropriée. Il faut comprendre que ces distances de projections sont celles estimées selon l'axe de dégagement du sautage.

L'exploitation à des distances moindres que celles présentées demeurent possibles et aisément réalisables dans la mesure où les sautages ne seraient pas orientés en direction nord soit vers les lignes à haute tension d'Hydro-Québec.

Pour les sautages critiques réalisés à proximité de la limite nord de la fosse voir une distance moindre de 50 m par rapport aux lignes d'Hydro-Québec, nous vous recommandons de prévoir utiliser un recouvrement complémentaire de la surface du sautage avec matelas pare-éclats et/ou membrane géotextile.

## 14. CONCLUSION

---

En vertu de l'analyse du type d'exploitation minière et de sa proximité par rapport à certaines contraintes avoisinantes et également en considération des résultats obtenus par simulation des sautages de production, nous sommes d'avis que l'exploitation de ce gisement est viable et réalisable.

Cependant, en ce qui concerne les sautages, des mesures particulières doivent être envisagées et un contrôle des opérations de forage, de chargement des explosifs et du séquençage de la mise à feu devra être systématiquement appliqué afin d'assurer le succès de cette exploitation minière.

À cet égard, la direction de Mine Arnaud devrait prévoir procéder à de la formation pertinente auprès de son personnel impliqué dans les opérations de sautage (foreurs, boutefeux, contremaîtres, techniciens et ingénieurs) afin que tous comprennent l'importance de leurs tâches respectives et les conséquences de toute non-conformité sur les résultats des sautages.

Le secteur nord de la future fosse longeant les lignes de haute tension d'Hydro-Québec sera particulièrement régi par des contrôles plus sévères au niveau des vibrations et des projections de pierres issues des sautages.

Le secteur sud sera plus contraignant en ce qui concerne les surpressions d'air générées par les dynamitages pour les résidences longeant la route 138 au bord du golfe du St-Laurent.

### 14.1 Secteur Nord

Le dernier design de la fosse à exploiter présenté au moment de la publication de notre rapport indique une distance minimale de l'ordre de 100 m entre la limite nord de la fosse minière et les structures les plus rapprochées d'Hydro-Québec.

Selon les résultats de simulations effectuées pour les vibrations, un tel scénario permettrait théoriquement l'exploitation soit de bancs de 5 m de hauteur en vertu d'un diamètre de forage de 190 mm, soit de bancs de 10 m de hauteur en vertu d'un diamètre de forage de 100 mm. Pour l'exploitation de bancs de 15 m, la technique du chargement étagée à raison de plus de un délai par trou serait requise.

En ce qui concerne les projections de pierre dynamitée, l'exploitation de bancs de 10 m et 15 m représente des risques pour des projections au-delà d'une distance de 100 m. Par conséquent, l'orientation de dégagement du sautage devra obligatoirement être modifiée de manière à ne pas être dégagée en direction des structures voisines.

## 14.2 Secteur Sud

En considérant que la résidence la plus près de l'opération minière est localisée à plus de 800 m de la limite de la fosse, les résultats des simulations de sautage n'indiquent aucune contrainte en ce qui concerne le contrôle des vibrations et/ou projections de pierres lors des dynamitages.

Par contre, en ce qui concerne le contrôle des surpressions d'air limitées à 128 dB aux résidences, on remarque que lorsque l'orientation de l'axe de dégagement du sautage est en direction des résidences, il en résulte théoriquement des valeurs au-delà de la norme permise.

Une modification de 90° de cet axe, c'est-à-dire en direction suivant l'axe de la lentille minéralisée, permet une réduction significative des émissions de bruit perçu aux résidences et conforme à la norme établie pour l'ensemble des scénarios de sautage analysés.

À ces mesures simulées, il faut évidemment comprendre que les conditions météorologiques rencontrées lors des sautages auront des impacts négatifs majeurs sur les valeurs de bruit mesurées. Ces simulations démontrent tout de même l'importance et la pertinence d'orienter les sautages, soit perpendiculaires, soit à 180° (de dos) à la route 138.

## 14.3 Forage

Le diamètre de forage proposé est dicté selon le contrôle des vibrations requis en assumant une séquence de mise à feu à raison de un trou unique par délai. Il est également dicté en fonction de la profondeur de forage (hauteur de bancs) et les risques associés aux déviations. Dans ce contexte, tout sautage à effectuer sous contrôle sismique sévère soit à l'intérieur d'un périmètre de 100 m dans l'éventualité d'une modification du design de la fosse devrait être réalisé à partir de forage de 75 mm ou 90 mm.

Pour l'exploitation de bancs de 10 m de hauteur, des diamètres de forage de 115 mm à 165 mm seraient envisageables pour des tirs effectués à l'intérieur d'un périmètre variant de 100 m à 150 m. Des diamètres plus grands ne devraient être envisagés que pour des distances supérieures à 150 m et préférablement 200 m.

En ce qui concerne les hauteurs de bancs, nous croyons qu'il serait approprié de limiter les diamètres de forage de 75 mm à 100 mm pour l'exploitation de bancs de 5 m, privilégier les diamètres de plus de 90 mm pour les hauteurs de bancs de 10 m et plus de prévoir des diamètres de 125 mm et plus pour l'exploitation d'une hauteur de bancs de 15 m.

## 14.4 Explosifs

Pour le choix de l'explosif, nous considérons un explosif de type émulsion en vrac sensibilisé à l'aide d'une solution gazéifiante pour des raisons d'ordre économique en outre. Ce produit devra cependant faire l'objet d'un contrôle approprié des hauteurs de collet dans les secteurs sensibles aux projections de roc. À titre de solution alternative pour le chargement dans les secteurs sensibles, vous pouvez envisager de procéder au chargement de l'explosif en vrac sur près de 90 % de la colonne explosive et compléter le chargement dans la portion du collet avec des explosifs encartouchés.

Nous croyons également qu'un mélange à raison de 70 % d'émulsion et 30 % de nitrate d'ammonium en granules offrirait un bon dégagement du roc dynamité facilitant les opérations de marinage. Sous présence sévère d'eau et problématique pour les opérations de chargement, le produit pourrait être modifié en vertu d'un mélange de 80 % d'émulsion et 20 % AN afin d'augmenter la résistance à l'eau de l'explosif.

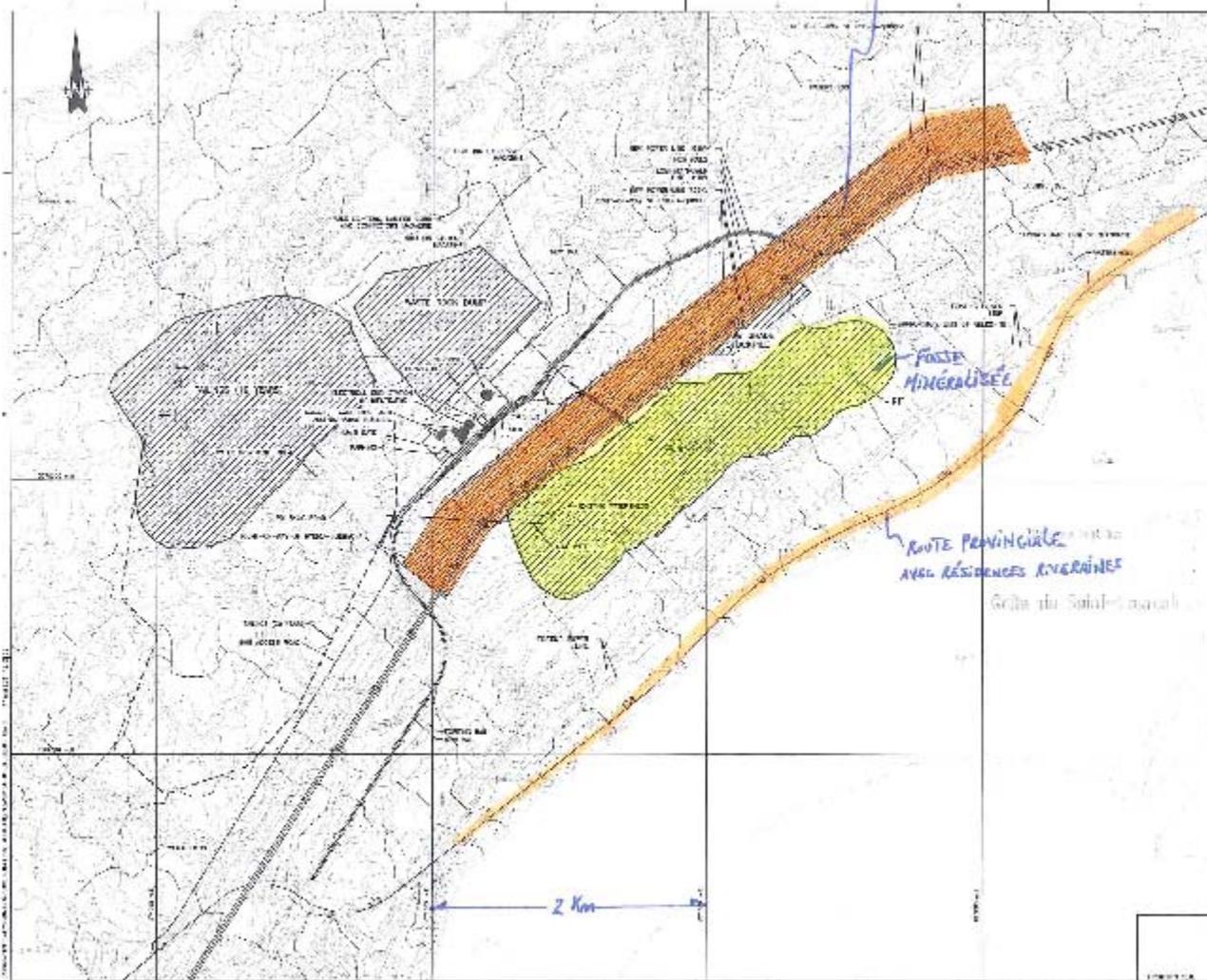
Nous croyons que dans ce type d'opération, il serait possible et favorable à limiter le délai de temps entre le chargement du produit et sa mise à feu à moins de 48 heures.



***Localisation de la fosse minéralisée***



ZONE D'EMPRUNT DE LA LIGNE DE HAUTE TENSION HYDRO QUEBEC



Scale: 1:50,000

IN PREPARATION

1:50,000	1:50,000	1:50,000
1:50,000	1:50,000	1:50,000
1:50,000	1:50,000	1:50,000
1:50,000	1:50,000	1:50,000

Ausenco  
INGENIEROS SONDWAL

PROYECTO DE LÍNEA DE ALTA TENSION

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

PROYECTO DE LÍNEA DE ALTA TENSION

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

PROYECTO DE LÍNEA DE ALTA TENSION

ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL



***Paramètres de forage et de chargement des  
explosifs***



# Mine Arnaud

## Paramètres de forage et de sautage

Émulsion en vrac

Densité 1,25 g/cc

Roc	Diamètre foré (mm)	Charge à 1,0 g/cc (kg/m.l.)	Charge explosive (kg/m.l.)	Hauteur de banc (m)	Sous-forage (m)	Profondeur forée (m)	Collet (m)	Hauteur de charge (m)	Charge par trou (kg)	Fardeau (m)	Espacement (m)	Volume par trou (m3)	Densité du roc (g/cc)	Tonnage par trou (tonne met.)	Facteur charge (kg/m3)	Facteur charge (kg/ton.met.)
Minerai	75	4,55	5,69	5,0	0,7	5,7	1,5	4,2	23,89	2,15	2,15	23,1	3,5	80,89	1,03	0,30
				10,0	0,7	10,7	1,5	9,2	52,33	2,15	2,15	46,2	3,5	161,79	1,13	0,32
Stérile	75	4,55	5,69	5,0	0,7	5,7	1,5	4,2	23,89	2,25	2,25	25,3	3,2	81,0	0,94	0,29
				10,0	0,7	10,7	1,5	9,2	52,33	2,25	2,25	50,6	3,2	162,00	1,03	0,32

Minerai	90	6,21	7,76	5,0	0,8	5,8	1,8	4,0	31,05	2,50	2,50	31,25	3,5	109,375	0,99	0,28
				10,0	0,8	10,8	1,8	9,0	69,86	2,50	2,50	62,5	3,5	218,75	1,12	0,32
Stérile	90	6,21	7,76	5,0	0,8	5,8	1,8	4,0	31,05	2,60	2,60	33,8	3,2	108,16	0,92	0,29
				10,0	0,8	10,8	1,8	9,0	69,86	2,60	2,60	67,6	3,2	216,32	1,03	0,32

Minerai	100	8,11	10,14	5,0	0,9	5,9	2,0	3,9	39,5	2,8	2,8	39,2	3,5	137,2	1,01	0,29
				10,0	0,9	10,9	2,0	8,9	90,2	2,8	2,8	78,4	3,5	274,4	1,15	0,33
				15,0	0,9	15,9	2,0	13,9	140,9	2,8	2,8	117,6	3,5	411,6	1,20	0,34
Stérile	100	8,11	10,14	5,0	0,9	5,9	2,0	3,9	39,5	2,95	2,95	43,5	3,2	139,2	0,91	0,28
				10,0	0,9	10,9	2,0	8,9	90,2	2,95	2,95	87,0	3,2	278,5	1,04	0,32
				15,0	0,9	15,9	2,0	13,9	140,9	2,95	2,95	130,5	3,2	417,7	1,08	0,34

Minerai	115	10,25	12,81	5,0	1,0	6,0	2,3	3,7	47,41	3,15	3,15	49,6	3,5	173,6	0,96	0,27
				10,0	1,0	11,0	2,3	8,7	111,47	3,15	3,15	99,2	3,5	347,3	1,12	0,32
				15,0	1,0	16,0	2,3	13,7	175,53	3,15	3,15	148,8	3,5	520,9	1,18	0,34
Stérile	115	10,25	12,81	5,0	1,0	6,0	2,3	3,7	47,41	3,30	3,30	54,5	3,2	174,2	0,87	0,27
				10,0	1,0	11,0	2,3	8,7	111,47	3,30	3,30	108,9	3,2	348,5	1,02	0,32
				15,0	1,0	16,0	2,3	13,7	175,53	3,30	3,30	163,4	3,2	522,7	1,07	0,34



# Mine Arnaud

## Paramètres de forage et de sautage

Émulsion en vrac

Densité 1,25 g/cc

Roc	Diamètre foré (mm)	Charge à 1,0 g/cc (kg/m.l.)	Charge explosive (kg/m.l.)	Hauteur de banc (m)	Sous-forage (m)	Profondeur forée (m)	Collet (m)	Hauteur de charge (m)	Charge par trou (kg)	Fardeau (m)	Espacement (m)	Volume par trou (m3)	Densité du roc (g/cc)	Tonnage par trou (tonne met.)	Facteur charge (kg/m3)	Facteur charge (kg/ton.met.)
Minerai	127	12,66	15,83	5,0	1,1	6,1	2,5	3,6	56,34	3,45	3,45	59,5125	3,5	208,3	0,95	0,27
				10,0	1,1	11,1	2,5	8,6	135,46	3,45	3,45	119,0	3,5	416,6	1,14	0,33
				15,0	1,1	16,1	2,5	13,6	214,59	3,45	3,45	178,5	3,5	624,9	1,20	0,34
Stérile	127	12,66	15,83	5,0	1,1	6,1	2,5	3,6	56,34	3,65	3,65	66,6125	3,2	213,2	0,85	0,26
				10,0	1,1	11,1	2,5	8,6	135,46	3,65	3,65	133,2	3,2	426,3	1,02	0,32
				15,0	1,1	16,1	2,5	13,6	214,59	3,65	3,65	199,8	3,2	639,5	1,07	0,34
Minerai	140	15,33	19,16	5,0	1,2	6,2	2,8	3,4	65,15	3,75	3,75	70,3125	3,5	246,1	0,93	0,26
				10,0	1,2	11,2	2,8	8,4	160,97	3,75	3,75	140,6	3,5	492,2	1,14	0,33
				15,0	1,2	16,2	2,8	13,4	256,78	3,75	3,75	210,9	3,5	738,3	1,22	0,35
Stérile	140	15,33	19,16	5,0	1,2	6,2	2,8	3,4	65,15	3,95	3,95	78,0	3,2	249,6	0,84	0,26
				10,0	1,2	11,2	2,8	8,4	160,97	3,95	3,95	156,0	3,2	499,3	1,03	0,32
				15,0	1,2	16,2	2,8	13,4	256,78	3,95	3,95	234,0	3,2	748,9	1,10	0,34

Minerai	152	18,25	22,81	5,0	1,3	6,3	3,0	3,3	74,37	4,10	4,10	84,1	3,5	294,2	0,88	0,25
				10,0	1,3	11,3	3,0	8,3	188,43	4,10	4,10	168,1	3,5	588,4	1,12	0,32
				15,0	1,3	16,3	3,0	13,3	302,49	4,10	4,10	252,2	3,5	882,5	1,20	0,34
Stérile	152	18,25	22,81	5,0	1,3	6,3	3,0	3,3	74,37	4,30	4,30	92,5	3,2	295,8	0,80	0,25
				10,0	1,3	11,3	3,0	8,3	188,43	4,30	4,30	184,9	3,2	591,7	1,02	0,32
				15,0	1,3	16,3	3,0	13,3	302,49	4,30	4,30	277,4	3,2	887,5	1,09	0,34

Minerai	165	21,42	26,78	5,0	1,4	6,4	3,3	3,1	83,00	4,40	4,40	96,8	3,5	338,8	0,86	0,24
				10,0	1,4	11,4	3,3	8,1	216,88	4,40	4,40	193,6	3,5	677,6	1,12	0,32
				15,0	1,4	16,4	3,3	13,1	350,75	4,40	4,40	290,4	3,5	1016,4	1,21	0,35
Stérile	165	21,42	26,78	5,0	1,4	6,4	3,3	3,1	83,00	4,60	4,60	105,8	3,2	338,6	0,78	0,25
				10,0	1,4	11,4	3,3	8,1	216,88	4,60	4,60	211,6	3,2	677,1	1,02	0,32
				15,0	1,4	16,4	3,3	13,1	350,75	4,60	4,60	317,4	3,2	1015,7	1,11	0,35



# Mine Arnaud

## Paramètres de forage et de sautage

Émulsion en vrac

Densité 1,25 g/cc

Roc	Diamètre foré (mm)	Charge à 1,0 g/cc (kg/m.l.)	Charge explosive (kg/m.l.)	Hauteur de banc (m)	Sous-forage (m)	Profondeur forée (m)	Collet (m)	Hauteur de charge (m)	Charge par trou (kg)	Fardeau (m)	Espacement (m)	Volume par trou (m3)	Densité du roc (g/cc)	Tonnage par trou (tonne met.)	Facteur charge (kg/m3)	Facteur charge (kg/ton.met.)
Minerai	178	24,82	31,03	5,0	1,5	6,5	3,6	2,9	91,21	4,70	4,70	110,5	3,5	386,6	0,83	0,24
				10,0	1,5	11,5	3,6	7,9	246,34	4,70	4,70	220,9	3,5	773,2	1,12	0,32
				15,0	1,5	16,5	3,6	12,9	401,46	4,70	4,70	331,4	3,5	1159,7	1,21	0,35
Stérile	178	24,82	31,03	5,0	1,5	6,5	3,6	2,9	91,21	4,90	4,90	120,1	3,2	384,2	0,76	0,24
				10,0	1,5	11,5	3,6	7,9	246,34	4,90	4,90	240,1	3,2	768,3	1,03	0,32
				15,0	1,5	16,5	3,6	12,9	401,46	4,90	4,90	360,2	3,2	1152,5	1,11	0,35

Minerai	190	28,50	35,63	5,0	1,6	6,6	3,8	2,8	99,75	4,95	4,95	122,5	3,5	428,8	0,81	0,23
				10,0	1,6	11,6	3,8	7,8	277,88	4,95	4,95	245,0	3,5	857,6	1,13	0,32
				15,0	1,6	16,6	3,8	12,8	456,00	4,95	4,95	367,5	3,5	1286,4	1,24	0,35
Stérile	190	28,50	35,63	5,0	1,6	6,6	3,8	2,8	99,75	5,20	5,20	135,2	3,2	432,6	0,74	0,23
				10,0	1,6	11,6	3,8	7,8	277,88	5,20	5,20	270,4	3,2	865,3	1,03	0,32
				15,0	1,6	16,6	3,8	12,8	456,00	5,20	5,20	405,6	3,2	1297,9	1,12	0,35

Minerai	203	32,43	40,54	5,0	1,7	6,7	4,1	2,6	107,02	5,25	5,25	137,8	3,5	482,3	0,78	0,22
				10,0	1,7	11,7	4,1	7,6	309,71	5,25	5,25	275,6	3,5	964,7	1,12	0,32
				15,0	1,7	16,7	4,1	12,6	512,39	5,25	5,25	413,4	3,5	1447,0	1,24	0,35
Stérile	203	32,43	40,54	5,0	1,7	6,7	4,1	2,6	107,02	5,50	5,50	151,3	3,2	484,0	0,71	0,22
				10,0	1,7	11,7	4,1	7,6	309,71	5,50	5,50	302,5	3,2	968,0	1,02	0,32
				15,0	1,7	16,7	4,1	12,6	512,39	5,50	5,50	453,8	3,2	1452,0	1,13	0,35

Minerai	216	36,61	45,76	5,0	1,8	6,8	4,3	2,5	113,49	5,50	5,50	151,25	3,5	529,375	0,75	0,21
				10,0	1,8	11,8	4,3	7,5	342,30	5,50	5,50	302,5	3,5	1058,75	1,13	0,32
				15,0	1,8	16,8	4,3	12,5	571,12	5,50	5,50	453,75	3,5	1588,125	1,26	0,36
Stérile	216	36,61	45,76	5,0	1,8	6,8	4,3	2,5	113,49	5,80	5,80	168,2	3,2	538,24	0,67	0,21
				10,0	1,8	11,8	4,3	7,5	342,30	5,80	5,80	336,4	3,2	1076,48	1,02	0,32
				15,0	1,8	16,8	4,3	12,5	571,12	5,80	5,80	504,6	3,2	1614,72	1,13	0,35



**Contrôle des sautages**



## Contrôle des sautages

### Facteurs à surveiller

	Contrôle des vibrations	Projections de roc	Qualité des parois finales	Qualité des planchers	Fragmentation
Géologie	x	x	x	x	x
Régularité du patron de forage	x	x	x	x	x
Déviations des forages	x	x	x	x	x
Facteur de chargement inadéquat	x	x	x		x
Qualité des explosifs	x		x	x	x
Sélection des explosifs inadéquate	x		x	x	x
Qualité du chargement des explosifs	x	x	x	x	x
Hauteur de collet insuffisante		x			x
Matériel de bourre inadéquat		x			x
Fardeau trop lourd	x	x	x	x	x
Fardeau de face libre insuffisante		x			
Face libre non dégagée	x	x	x	x	
Surcharge d'explosifs		x	x		
Nombre de rangées trop élevé sur un même tir	x	x	x	x	
Mauvaise séquence de mise à feu	x	x	x	x	x
Mauvaise orientation de l'axe de dégagement du tir	x	x	x	x	x
Sautage de trous courts		x			
Sur forage inadéquat	x			x	



***Simulation de sautage***



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



*DNA-Blast Software*

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

TBT-TEC-R-119-E

1



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Plan

2

- Cahier des Charges
- Paramètres des simulations
- Calibration du modèle
- Simulations
- Résultats
- Conclusion
- -----
- Conditions Générales des Services TBT

TBT-TEC-R-119-E



# Cahier des Charges

Page 3

## • Simulations de sautage – mandat

- Le présent mandat vise à réaliser des simulations de sautage pour l'exploitation future d'une mine d'apatite dans la région de Sept-Îles au nord de la province de Québec.
- L'ensemble des simulations sera réalisé à partir d'informations géologiques de base et de paramètres de forage et de sautage établis par la firme SNC-Lavalin Inc. Les résultats des simulations ne sont appropriés que dans la mesure où les informations fournies s'avèrent pertinentes et éventuellement bien appliquées au chantier.
- Les simulations à réaliser couvrent trois volets distincts, soit :
  - Les vibrations
  - Les surpressions d'air
  - Les projections de roc
- Au niveau des vibrations:
  - l'objectif sera de déterminer les diamètres de forage et hauteurs de banc d'exploitation appropriées qui seront à préconiser afin de permettre de respecter les tolérances sismiques établies à la base des pylônes de Hydro Québec (25,0 mm/sec) localisés au nord de la future fosse à exploiter et en second lieu, ces mêmes paramètres permettant de respecter une tolérance sismique de 12,5 mm/sec aux résidences riveraines de la route 138 le long du golfe du St-Laurent.
  - Notre étude de vibration sera établie selon des distances progressives par rapport à la zone d'emprise de Hydro Québec soit, 25m, 50m, 75m, 100m, 150m, 200m, 250m et 300m et plus.
- En ce qui concerne les surpressions d'air émises par les sautage:
  - nos simulations seront effectuées de manière à s'assurer que le limite de 128 dB sera respectée aux résidences voisines de la carrière dont la distance la plus rapprochée de la fosse minière est de l'ordre de 800m. Nos simulations seront établies en fonction d'un vent dominant en direction Sud-Est soit en direction des résidences voisines. Elles seront réalisées selon une vitesse éolienne de 10km/hr pour simuler des conditions météorologiques favorables et également en considération d'une vitesse éolienne de 60 km/hr pour simuler des conditions défavorables.
  - L'objectif de nos simulations des surpressions d'air sera de déterminer les diamètres de forage et hauteurs de banc d'exploitation maximal permettant de rencontrer l'exigence du 128 dB au niveau des résidences voisines.
- En dernier lieu, des simulations de projection de roc
  - seront réalisées afin de connaître les distances de projection maximales estimées lors des sautages de production selon différents diamètres de forage et en vertu des paramètres de forage et de sautage établis par la firme SNC-Lavalin Inc. Ces simulations couvriront particulièrement le chargement d'explosif de type émulsion en vrac pour des trous de 75mm, 90mm, 115mm, 165mm et 216mm.

TBT-TEC-R-118-E



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



## *PARAMETRES DES SIMULATIONS*

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

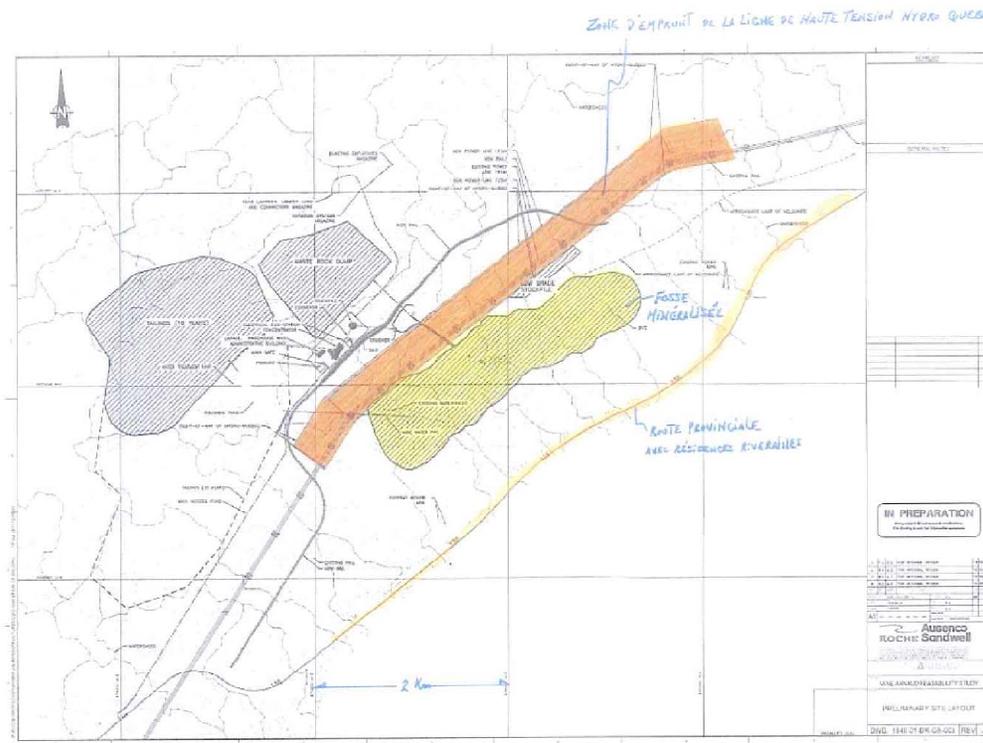
TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Plan de situation

Page 5



TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Caractéristiques de la Roche

- Roche : Apatite
- Caractéristiques : provenance rapport Ausenco Vector



I-Blast - Geology template

Density (kg/m3) 
 Tensile strength (Mpa) 
 Image  

P wave velocity (m/s) 
 Compressive strength (Mpa) 
 Name

Poisson ratio 
 Young module (Gpa)

K 
 Alpha

Geology template

Name	Young	Density	Compressiv	Tensile	Poisson	P wave	Picture	K
ApatiteSept Iles	88.38	3 500	185.00	20.00	0.30	4 000.00		1 500.00

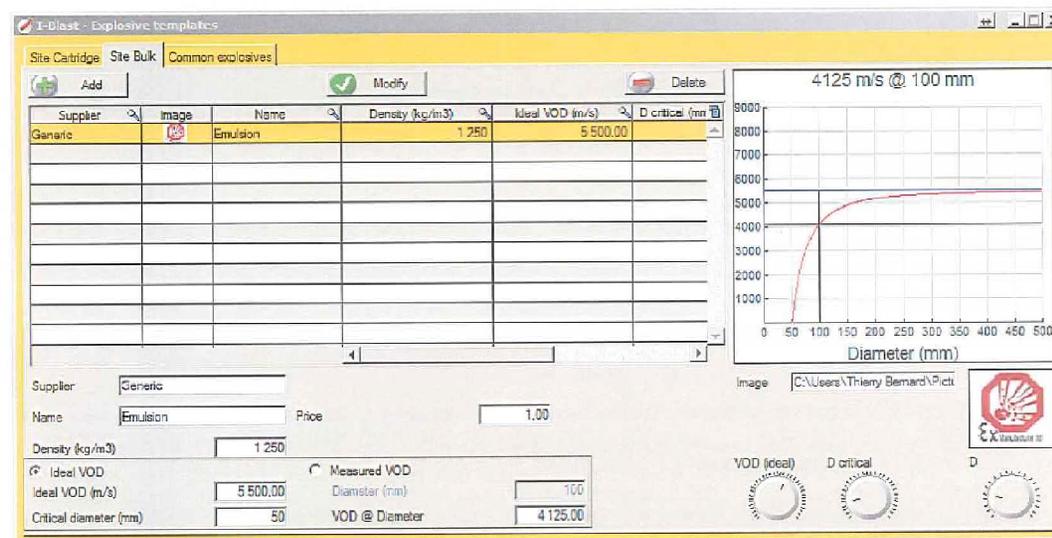
TBT-TEC-R-119-E



# Explosif utilisé

Page 7

- Emulsion
  - Densité : 1,25
  - VoD idéale : 5 500 m/s
  - Diamètre critique : 50 mm/s



TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



## *SIMULATIONS DES PROJECTIONS*

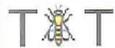
ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des projections

Page 9

- Roche utilisée : Apatite Sept Iles
- Modèle non calibré vis-à-vis de la dissipation d'énergie au travers de la fracturation in situ

**Geology**

Apatite Sept Iles

Default **Advanced geology**

Dip angle

None

Horizontal

Up

Down

Multiple

Density (kg/m3) 3 500.00

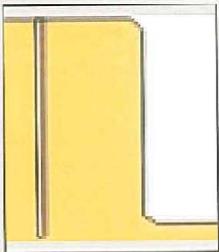
P wave velocity (m/s) 4 000.00

Tensile strength (Mpa) 20.00

Compressive strength (Mpa) 165.00

Young module (Gpa) 88.38

Poisson ratio 0.30



TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud



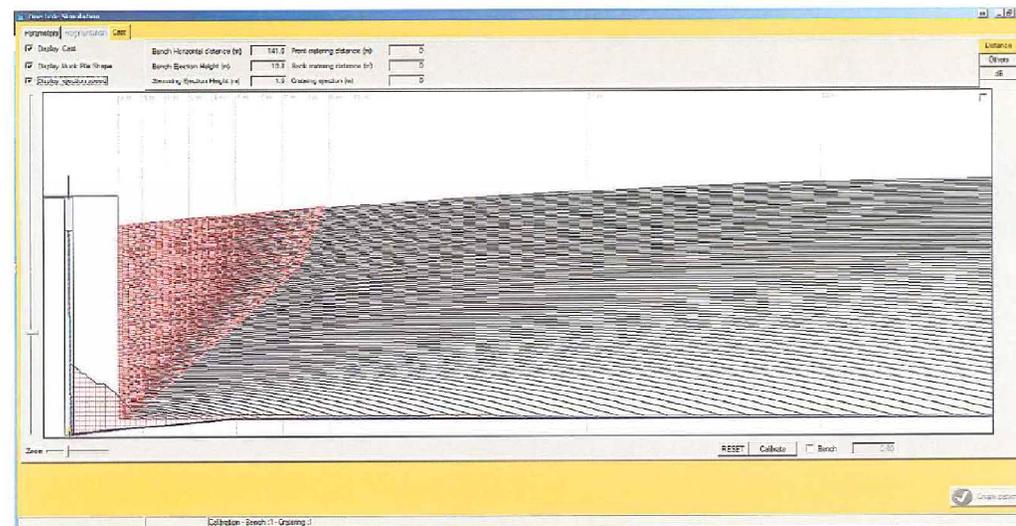
# Simulation des projections

Page 11

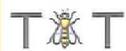
- Diamètre : 75 mm
- Banc : 10 m
- Fardeau : 2,15 m
- Espacement : 2,15 m
- Collet : 1,5 m

• -----

- Projection Horiz: 141
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 1,0 m



TBT-TEC-R-119-E

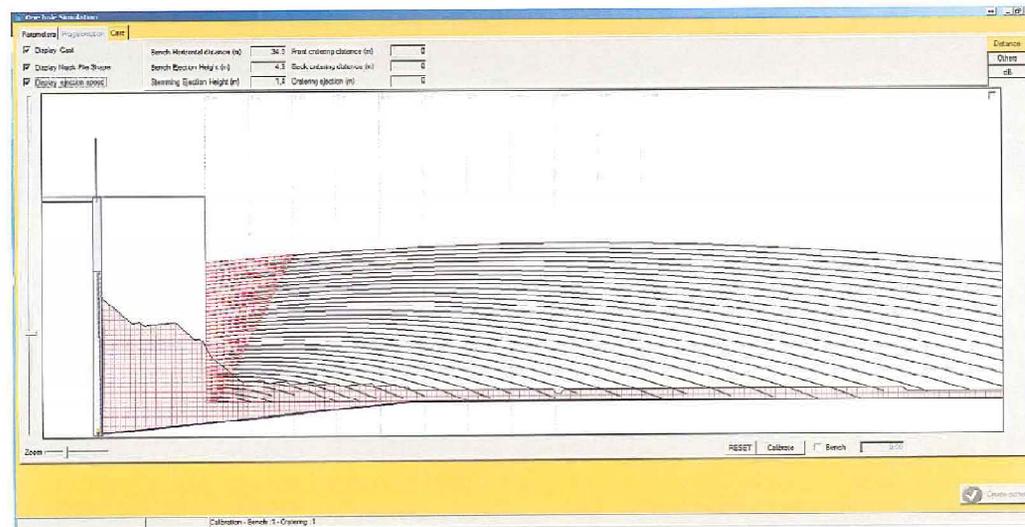


# Simulation des projections

Page 12

- Diamètre : 90 mm
- Banc : 5 m
- Fardeau : 2,5 m
- Espacement : 2,5 m
- Collet : 1,8 m

- -----
- Projection Horiz: 34
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 0,3 m



TBT-TEC-P-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

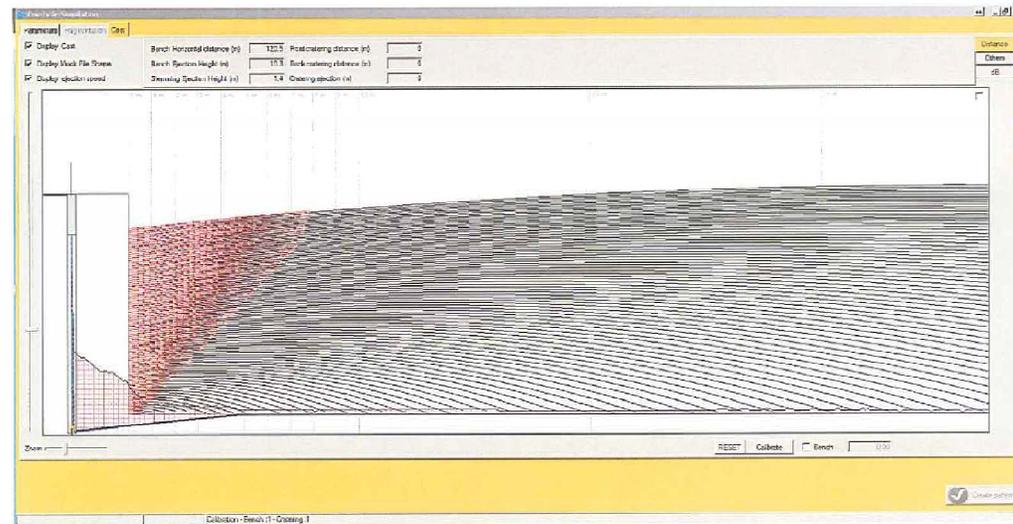
# Simulation des projections

Page 13

- Diamètre : 90 mm
- Banc : 10 m
- Fardeau : 2,5 m
- Espacement : 2,5 m
- Collet : 1,8 m

• -----

- Projection Horiz: 120 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 1,4 m



TBT-TEC-R-119-E

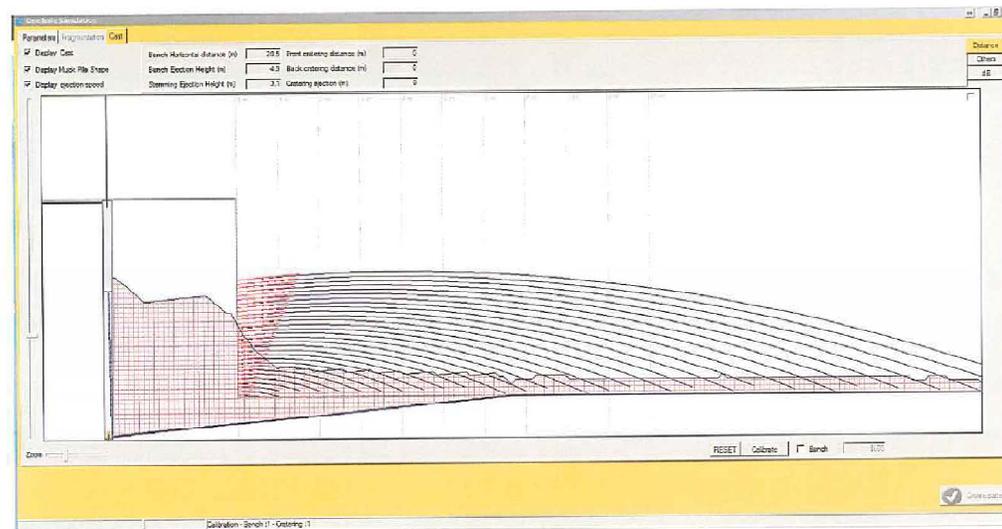


# Simulation des projections

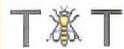
Page 14

- Diamètre : 115 mm
- Banc : 5 m
- Fardeau : 3,15 m
- Espacement : 3,15 m
- Collet : 2,3 m

- -----
- Projection Horiz: 20,5 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 3,1 m



TBT-TEC-R-119-E

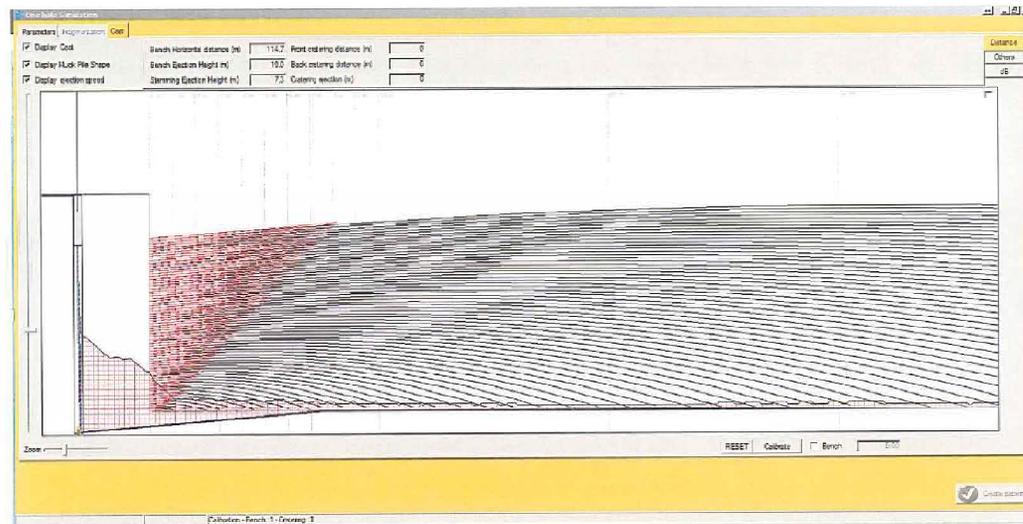


# Simulation des projections

Page 15

- Diamètre : 115 mm
- Banc : 10 m
- Fardeau : 3,15 m
- Espacement : 3,15 m
- Collet : 2,3 m

- -----
- Projection Horiz: 115 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 7,3 m



TBT-TEC-R-118-E



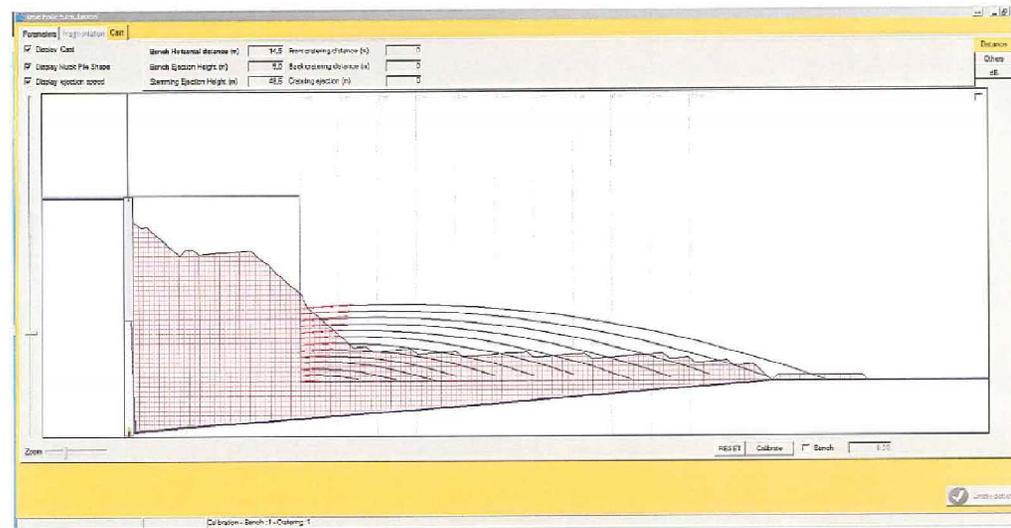
DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des projections

Page 16

- Diamètre : 165 mm
- Banc : 5 m
- Fardeau : 4,4 m
- Espacement : 4,4 m
- Collet : 3,3 m

- -----
- Projection Horiz: 14,5 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 48 m



TBT-TEC-R-119-E



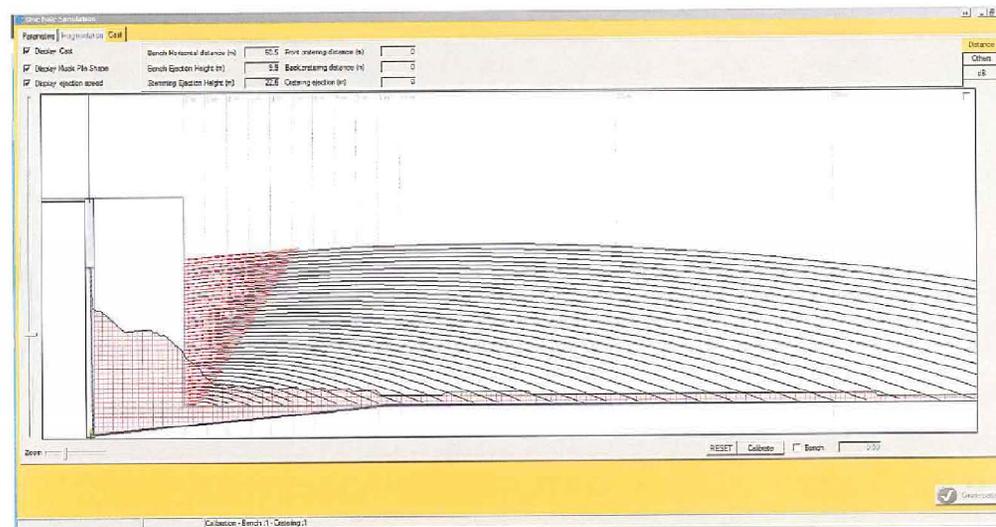
# Simulation des projections

Page 17

- Diamètre : 165 mm
- Banc : 10 m
- Fardeau : 4,4 m
- Espacement : 4,4 m
- Collet : 3,3 m

• -----

- Projection Horiz: 60,5 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 22 m



TBT-TEC-R-119-E



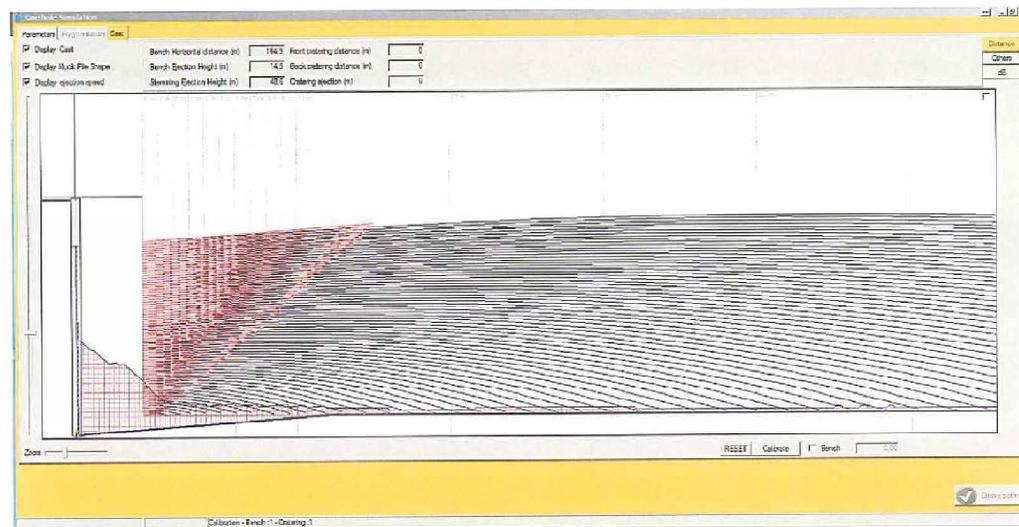
DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des projections

Page 18

- Diamètre : 165 mm
- Banc : 15 m
- Fardeau : 4,4 m
- Espacement : 4,4 m
- Collet : 3,3 m

- -----
- Projection Horiz: 165 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 48 m



TBT-TEC-R-119-E



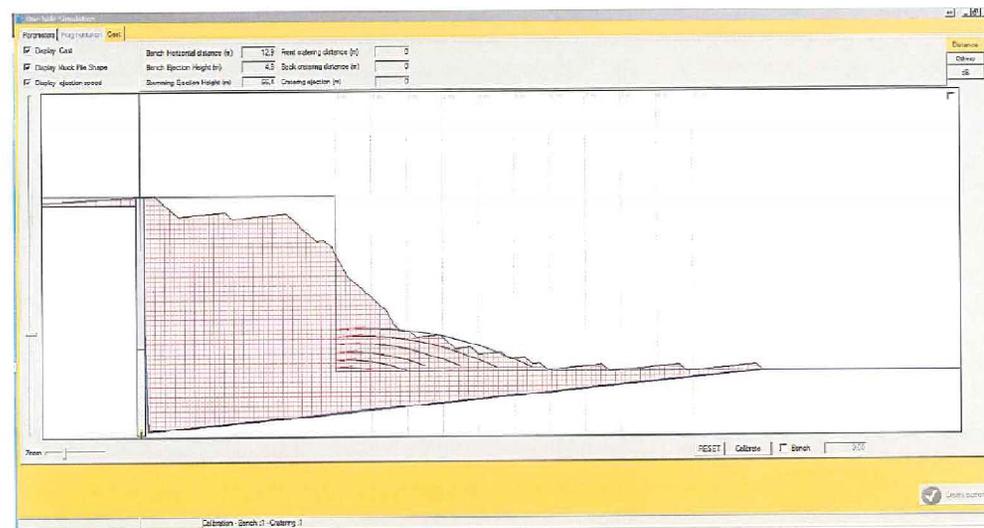
DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des projections

Page 19

- Diamètre : 216 mm
- Banc : 5 m
- Fardeau : 5,5 m
- Espacement : 5,5 m
- Collet : 3,3 m

- -----
- Projection Horiz: 12,9 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 66 m



TBT-TEC-R-119-E



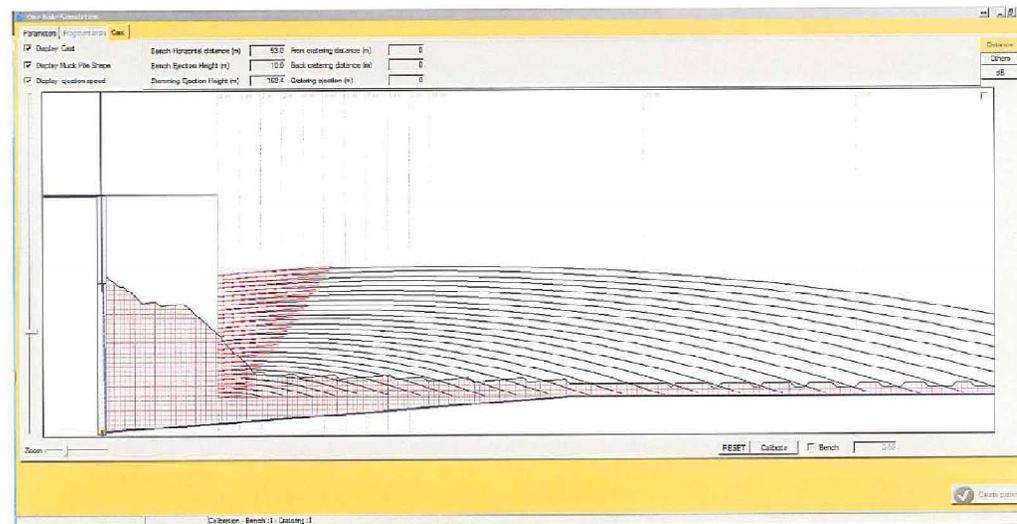
DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des projections

- Diamètre : 216 mm
- Banc : 10 m
- Fardeau : 5,5 m
- Espacement : 5,5 m
- Collet : 3,3 m

• -----

- Projection Horiz: 53 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 168 m



TBT-TEC-R-119-E

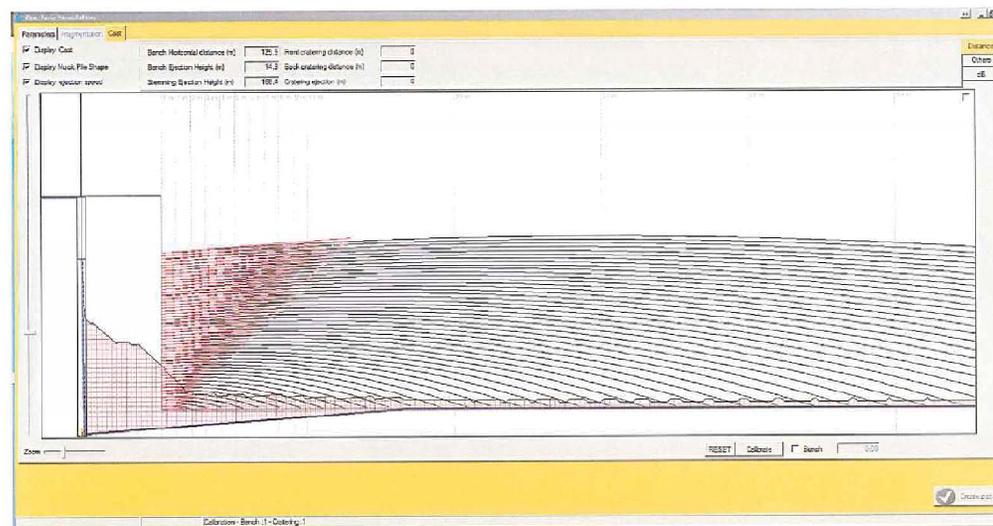


# Simulation des projections

Page 21

- Diamètre : 216 mm
- Banc : 15 m
- Fardeau : 5,5 m
- Espacement : 5,5 m
- Collet : 3,3 m

- -----
- Projection Horiz: 125 m
- Projection Vert : -
- Ejection Bour. : 168 m



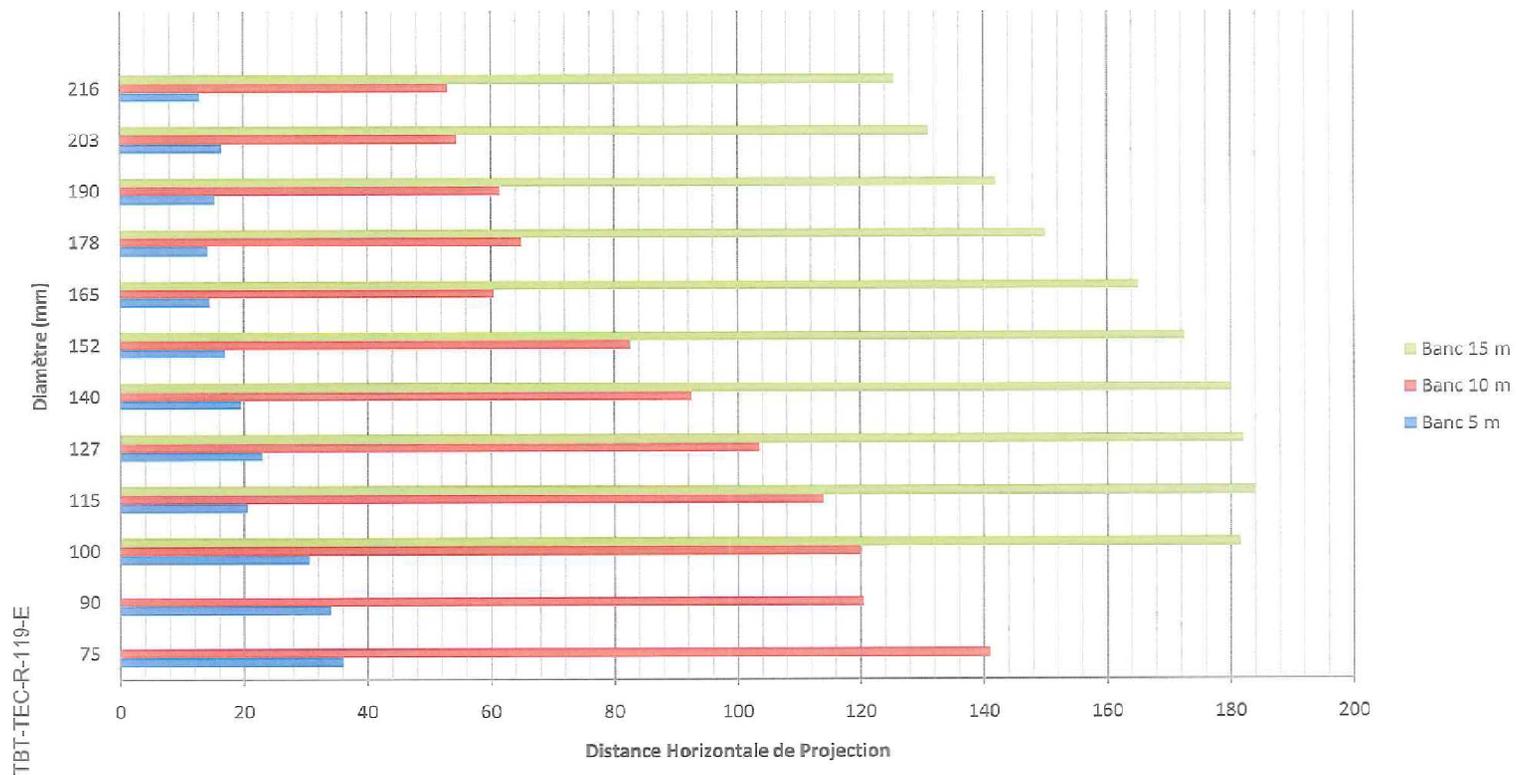
TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Résumé des Simulations Projections

Page 22



TBT-TEC-R-119-E

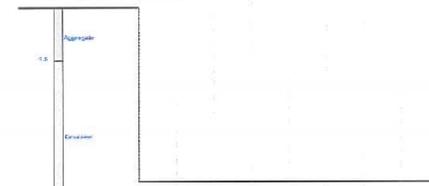


# Simulation des projections

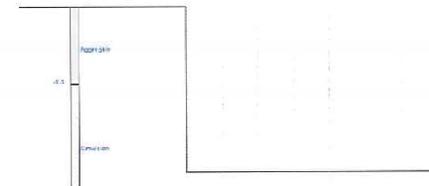
Page 23

- Commentaires
  - Les distances horizontales de projection se réduisent sensiblement avec l'augmentation des diamètre
  - L'explication est que la proportion de colonne d'explosif en dehors du sous forage est plus importante pour les petit diamètre que les grand et que le collet est proportionnellement plus important pour les gros diamètre
  - L'exemple ci-contre avec un banc de 5 m illustre le propos

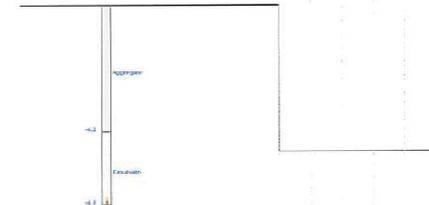
D 75 mm / H=5 m



D 115 mm / H=5 m



D 216 mm / H=5 m



TBT-TEC-R-119-E



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
pour définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



## *SIMULATIONS DES VIBRATIONS*

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

TBT-TEC-R-119-E

24



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Simulation des vibrations

Page 25

- Hypothèses de calcul
  - Loi de propagation de type « Chapot »
  - D : distance du tir au point de simulation
  - Q : charge unitaire instantanée
  - K : coefficient de rendement
  - alpha : coefficient d'atténuation des ondes
  - Sélection de valeurs conservatives\*:
    - K = 2500
    - Alpha = -1,8

$$V = K \left( \frac{D}{\sqrt{Q}} \right)^\alpha$$

TBT-TEC-R-119-E

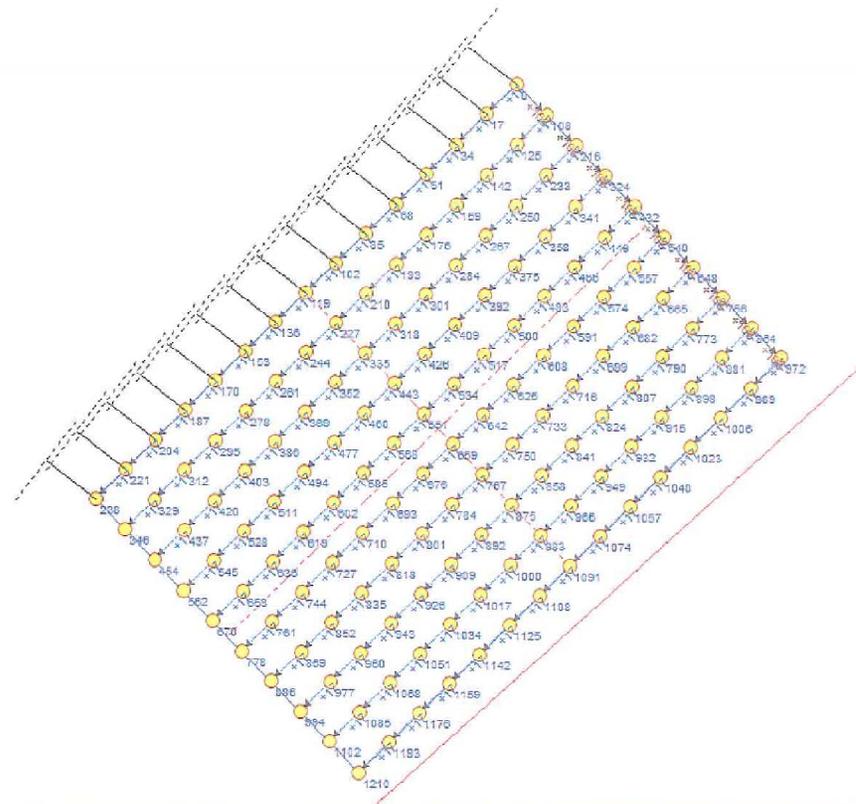
\* Les valeurs de K et alpha sont des valeurs théoriques moyennes pour ce type de sautage et de roche. Pour obtenir des simulations plus représentatives, ces valeurs doivent être obtenues par une série de mesures sur le terrain (calibration)



# Simulation des vibrations

Page 26

- Hypothèses de calcul
  - Sautage:
  - 10 Rangées
  - 15 Trous par rangée
  - Séquence d'initiation type
    - 17 ms entre trous
    - 108 ms entre rangées



TBT-TEC-R-119-E

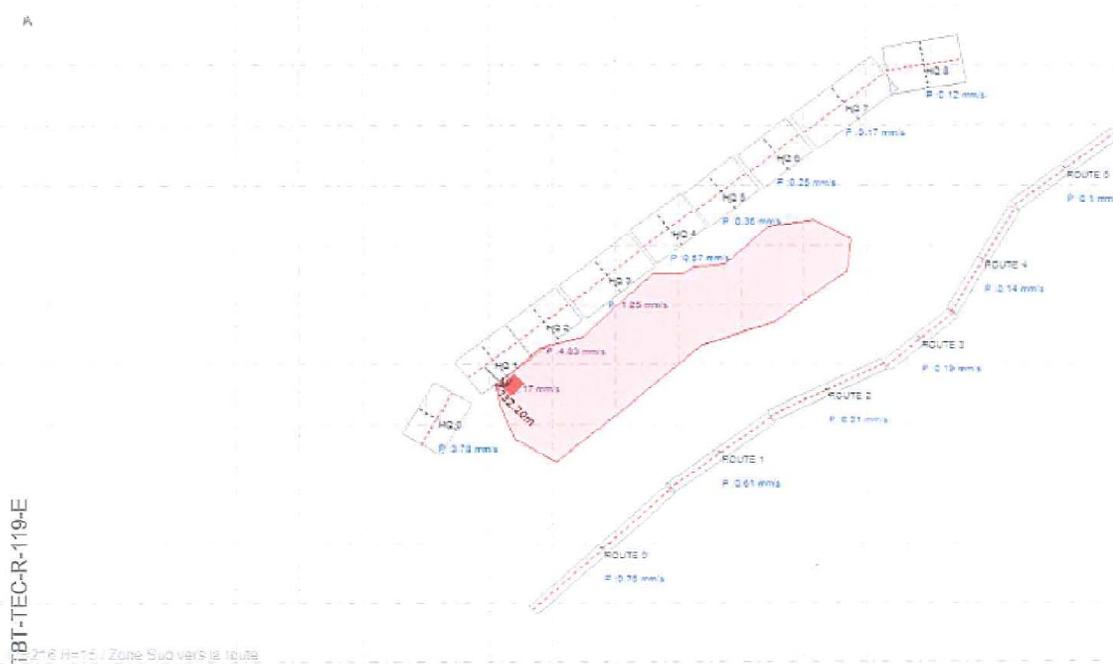


DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Exemple : Simulation des vibrations

Page 27

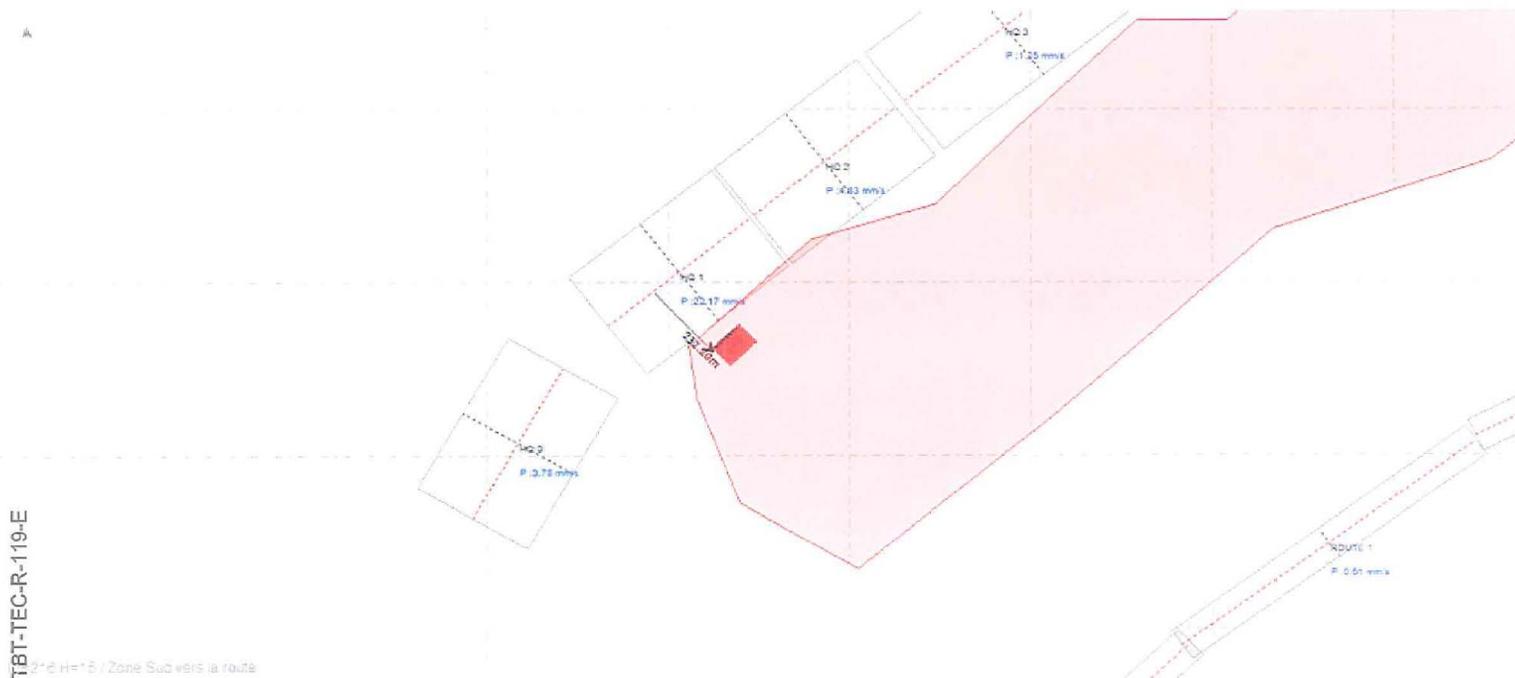
- D=216, H=15 m, Distance critique ligne HQ= 232 m



# Exemple : Simulation des vibrations

Page 28

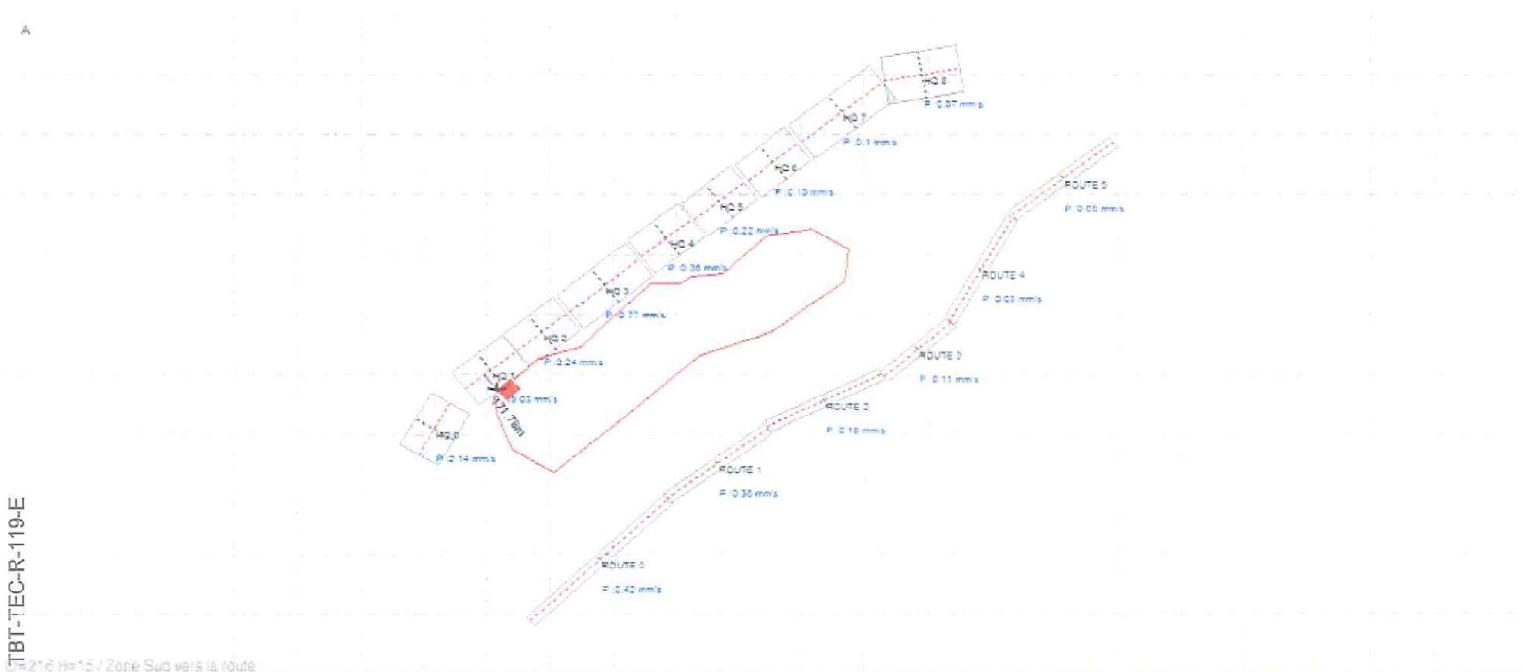
- D=216, H=15 m, Distance critique ligne HQ= 232 m



# Exemple : Simulation des vibrations

Page 29

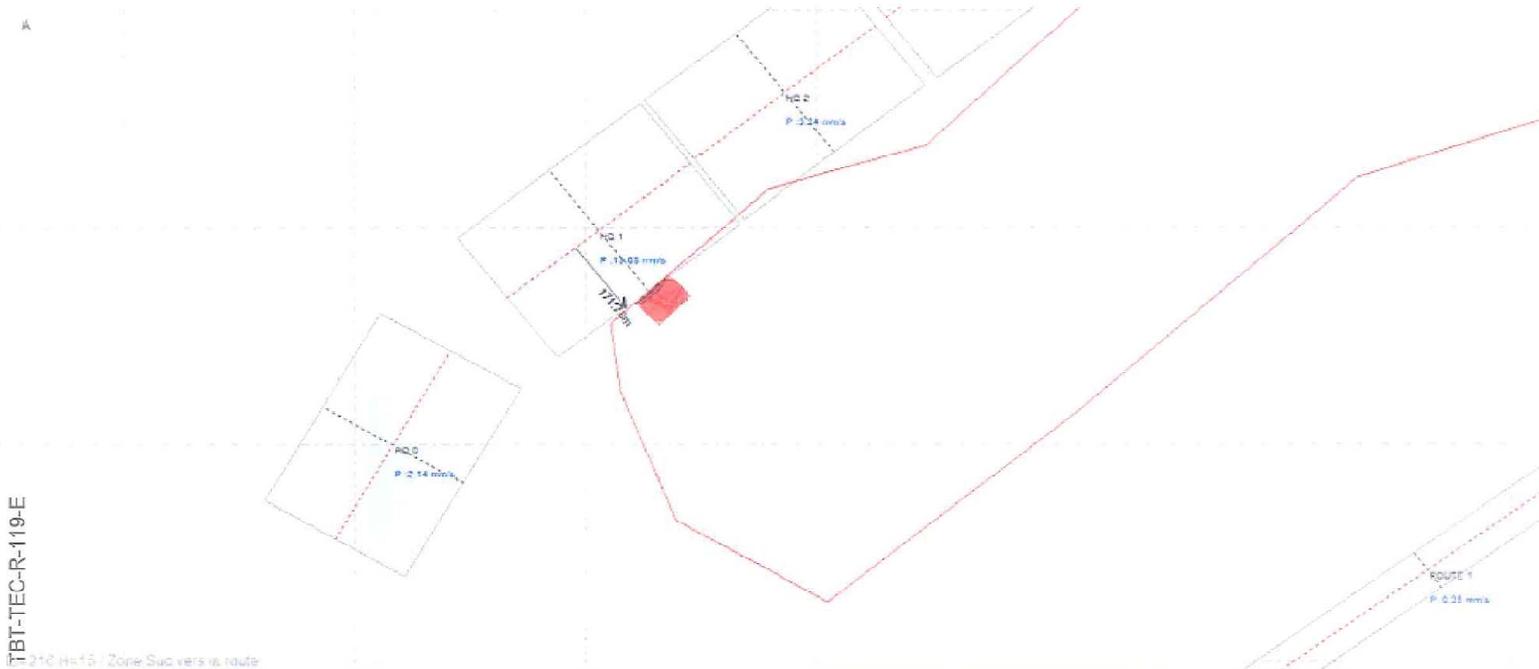
- $D=152$ ,  $H=15$  m, Distance critique ligne HQ= 169 m



# Exemple : Simulation des vibrations

Page 30

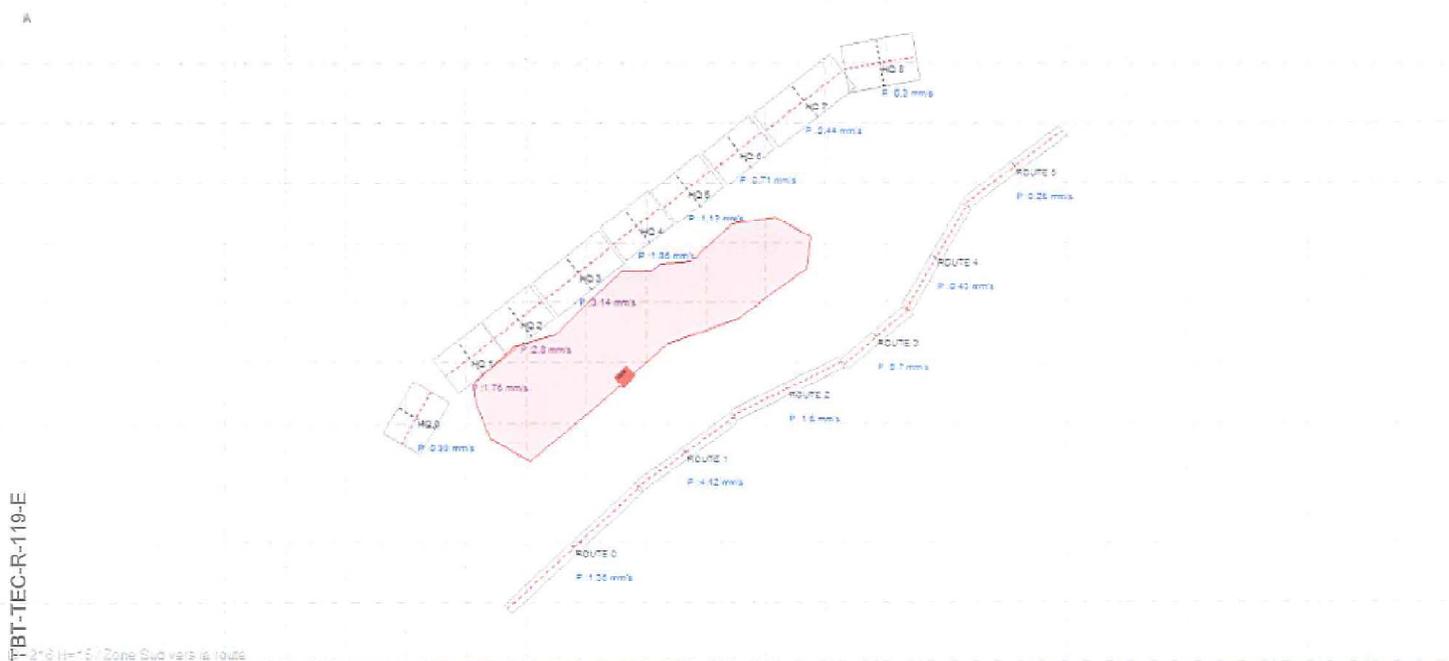
- D=152, H=15 m, Distance critique ligne HQ= 169 m



# Exemple : Simulation des vibrations

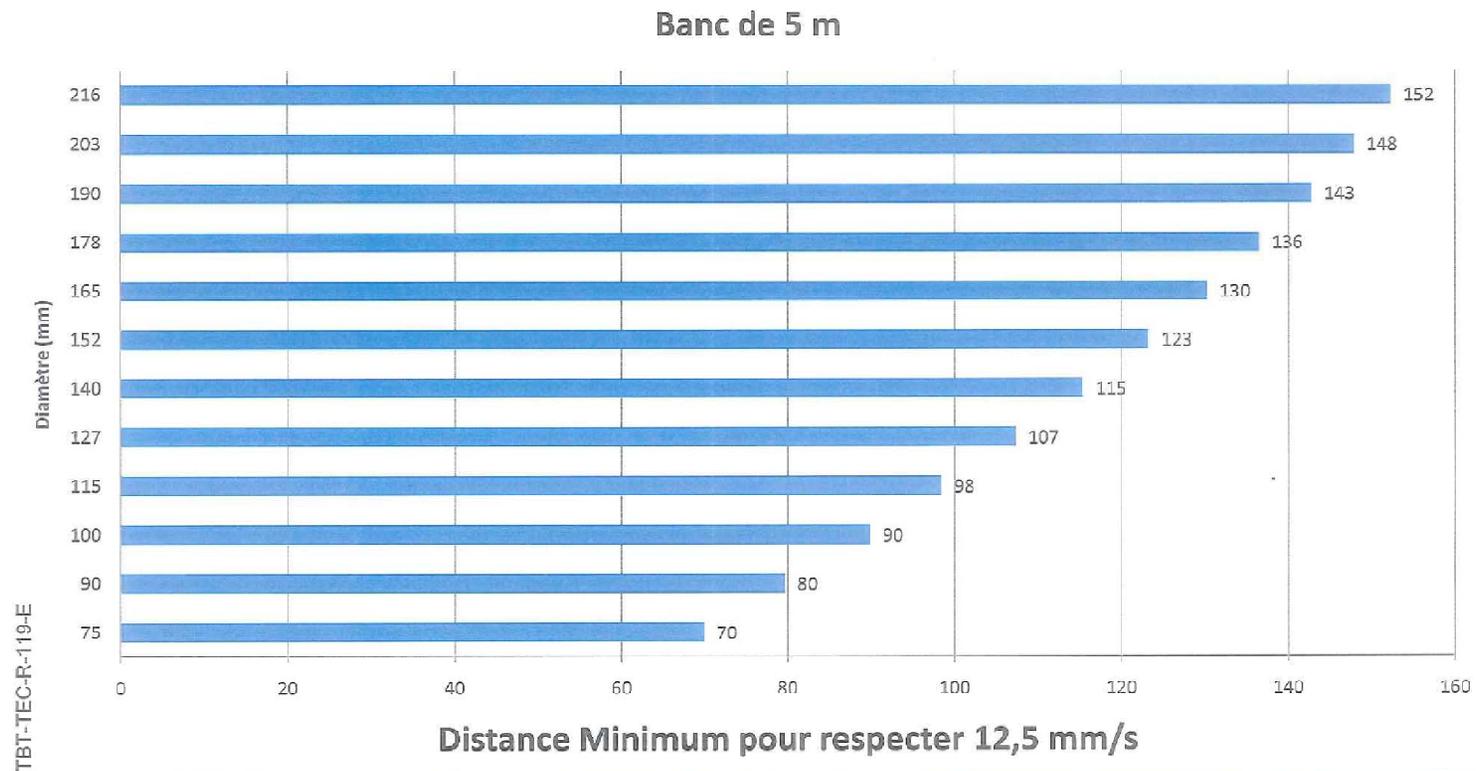
Page 31

- D=216, H=15 m, Distance critique route 138= 342 m



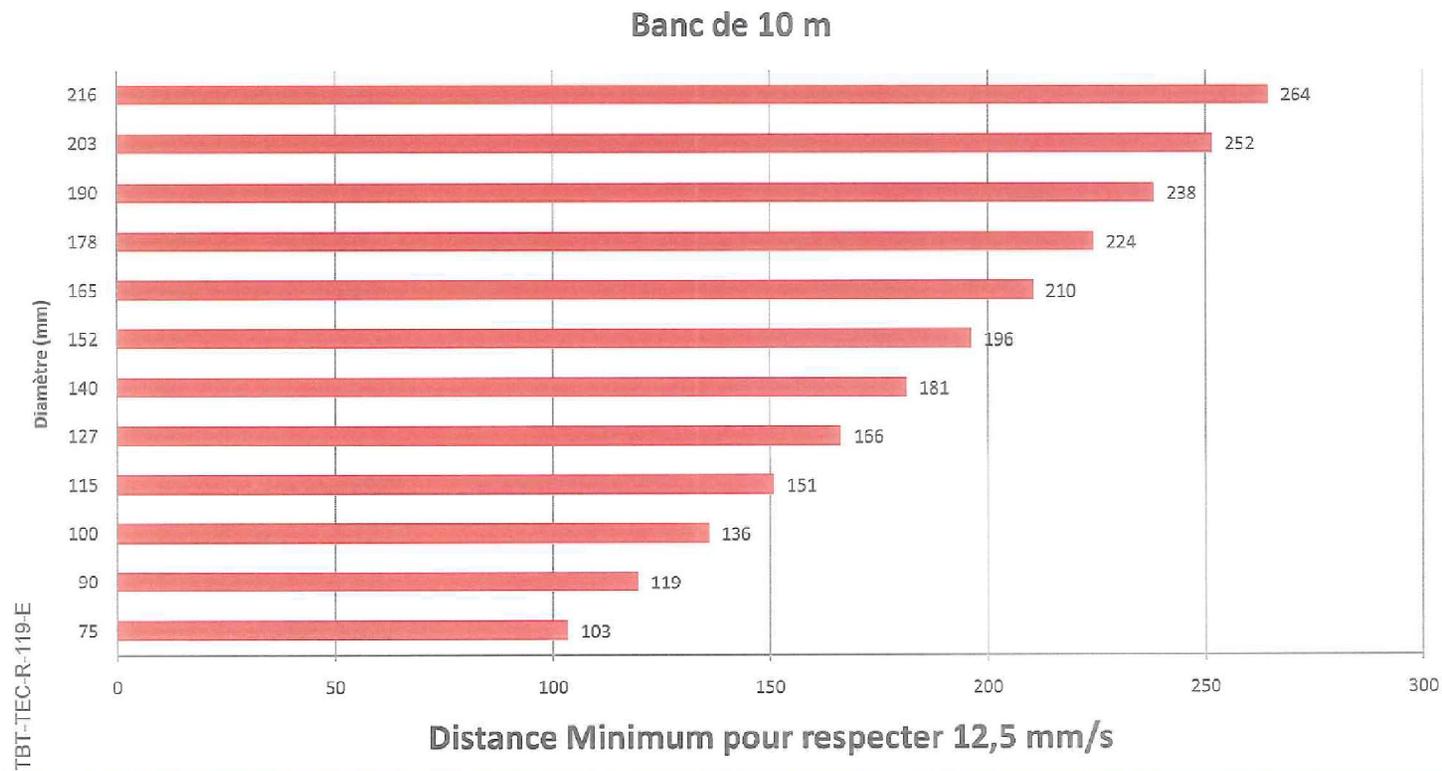
# Résumé des Simulations Vibrations

Page 32



# Résumé des Simulations Vibrations

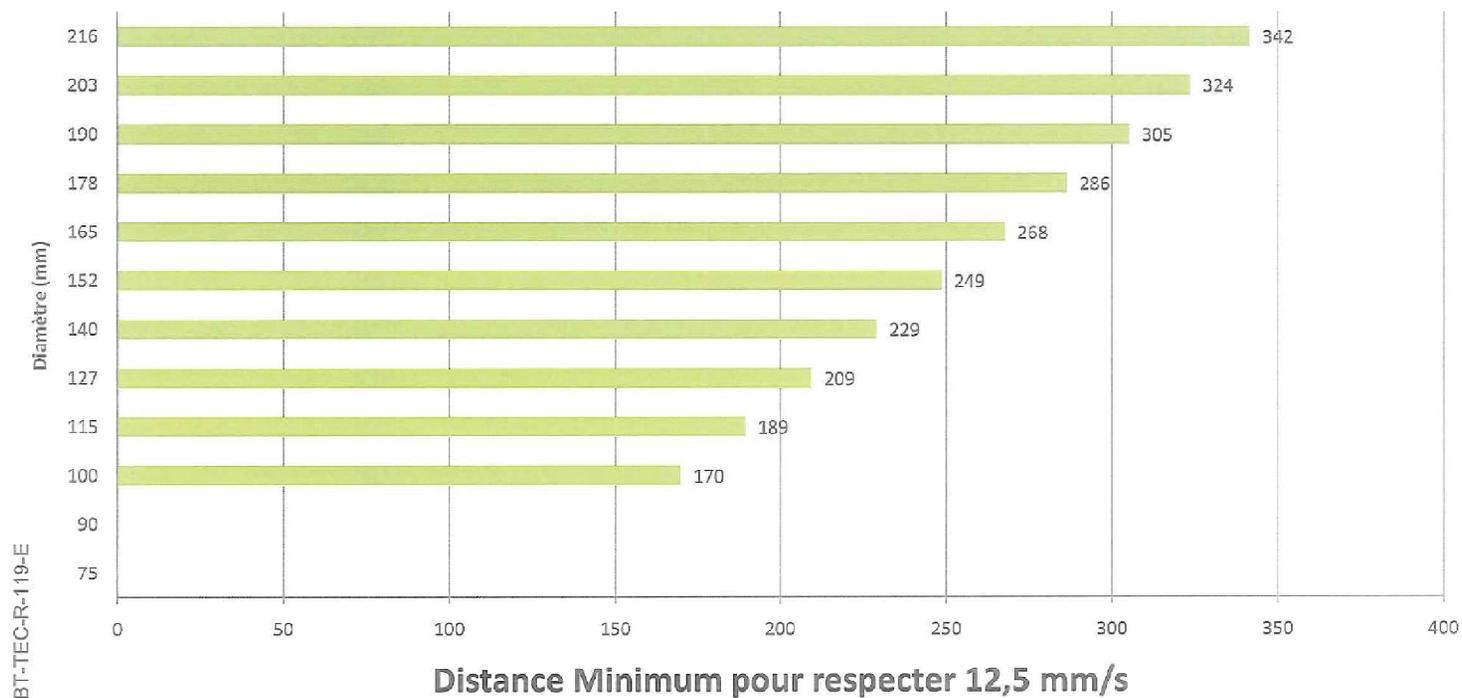
Page 33



# Résumé des Simulations Vibrations

Page 34

## Banc de 15 m

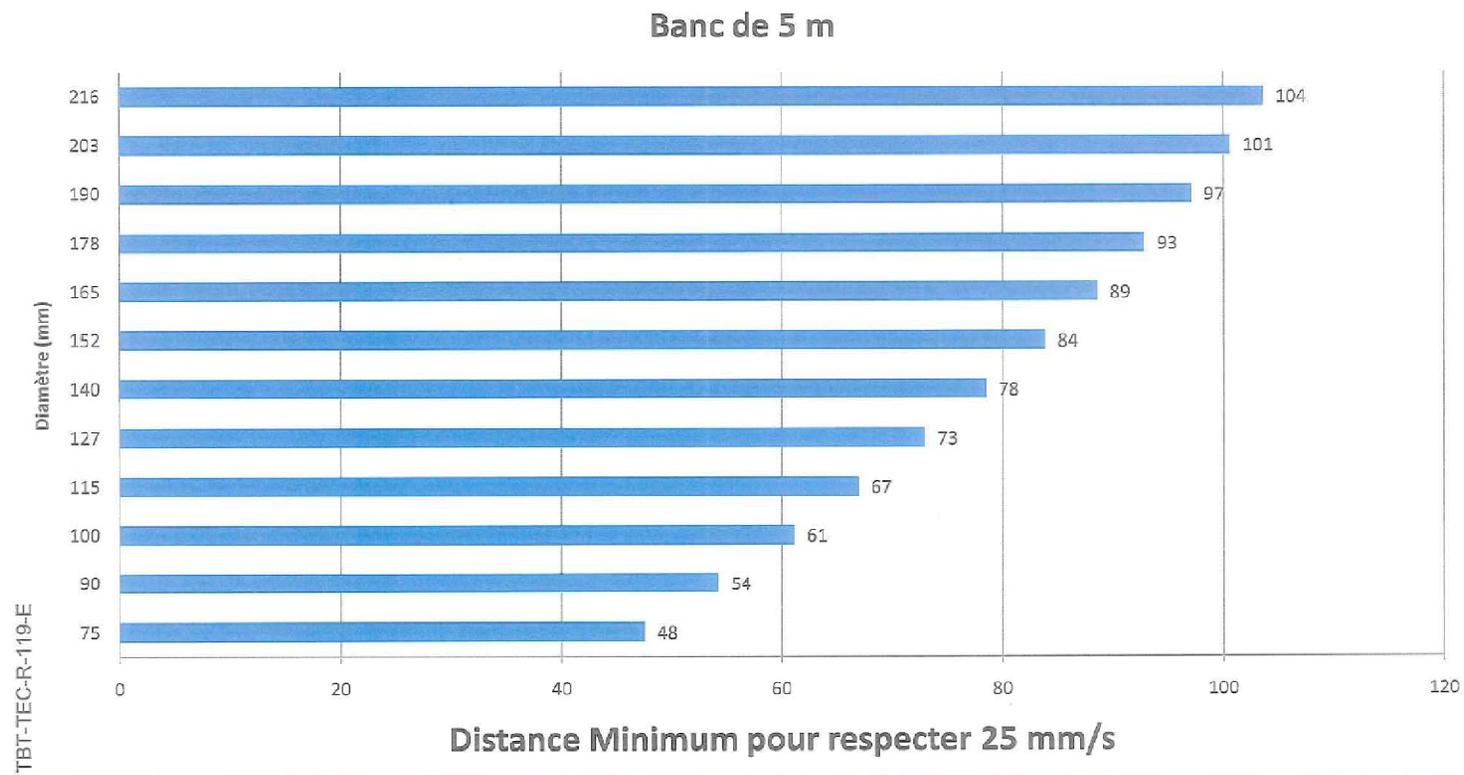


TBT-TEC-R-119-E



# Résumé des Simulations Vibrations

Page 35



# Résumé des Simulations Vibrations

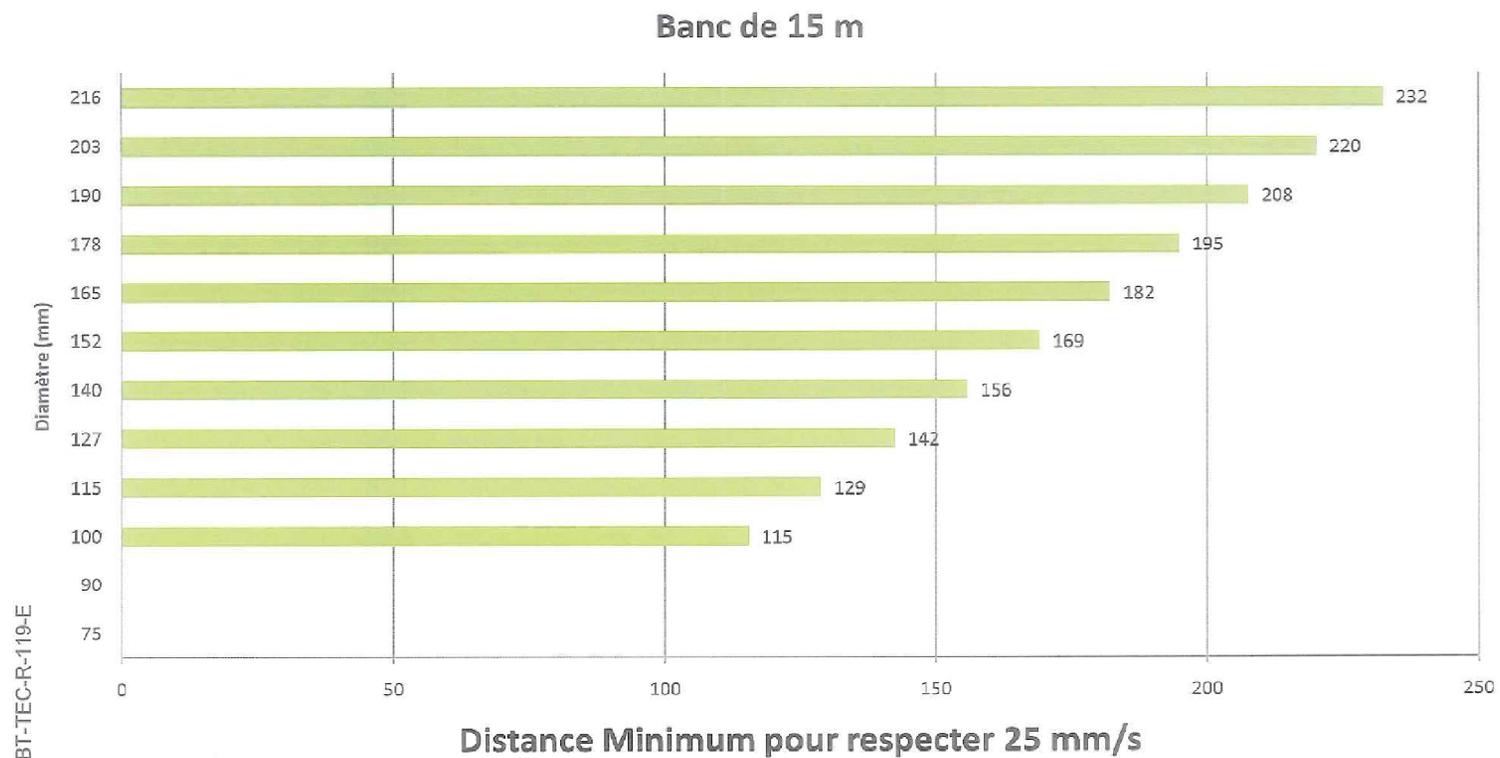
Page 36

## Banc de 10 m



# Résumé des Simulations Vibrations

Page 37



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



## *SIMULATIONS DE LA SURPRESSION AERIENNE*

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

TBT-TEC-R-119-E

38



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

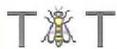
# Exemple : Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

Page 39

- Paramètres de la simulation pour un trou
  - Chargement du trou
  - Patron de forage
  - Géologie
- La surpression se calcule à partir de l'intégration des vitesses d'éjection de la face et d'une relation vitesse d'éjection surpression aérienne\*.
- La relation vitesse d'éjection de la face libre et surpression est du type:  $V = K_{air} \left( \frac{D}{V_{eject}} \right)^{\alpha_{air}}$ 
  - $K_{air} = 4480$
  - $\alpha_{air} = -1,38$
  - Ces valeurs sont établies avec une corrélation de 91% pour des vitesses d'éjections  $\leq 20\text{m/s}$ , mesurées en carrière. Elle représentent une bonne base de calcul mais nécessiteront d'être calibrées pour les conditions du site où les vitesses d'éjection calculés sont supérieures

TBT-TEC-R-119-E

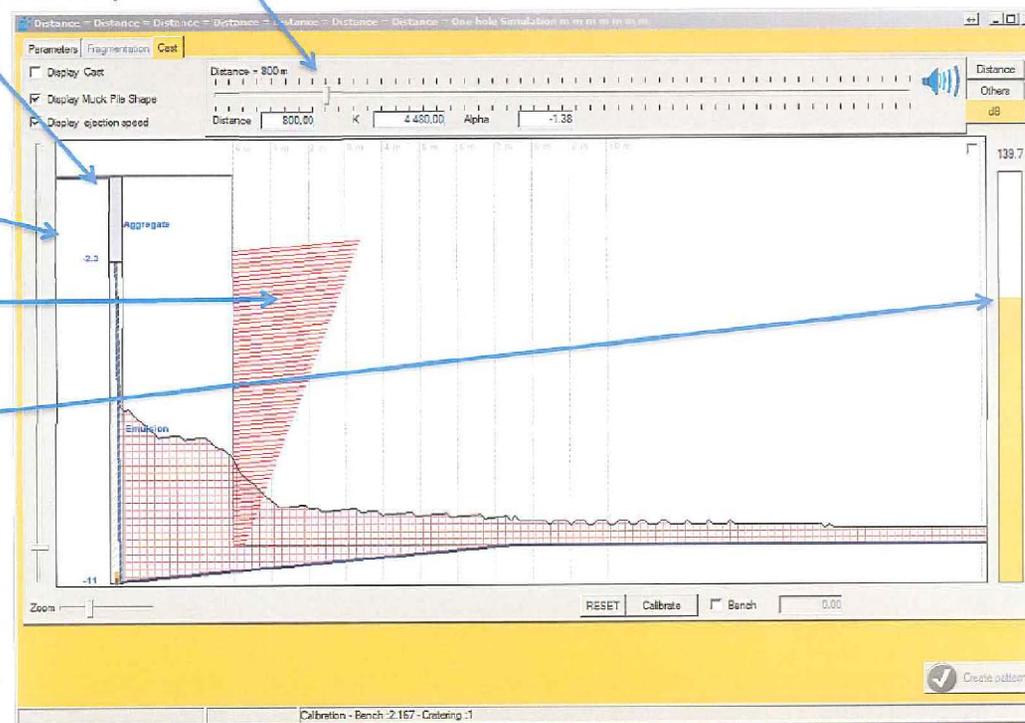
\* La surpression est calculée théoriquement, sans calibration, en champ libre. Les paramètres suivants ne sont pas pris en compte : la topographie, les obstacles naturels ou artificiels, les conditions météorologiques tels que gradient de température, gradient de vitesse du vent, inversion de température., l'hygrométrie, les conditions d'absorption ou de réflexion du sol.



# Exemple : Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

Page 40

- Distance de simulation de la surpression
- Chargement du trou
- Patron de forage
- Vitesses d'éjection
- Niveau de surpression



TBT-TEC-R-119-E

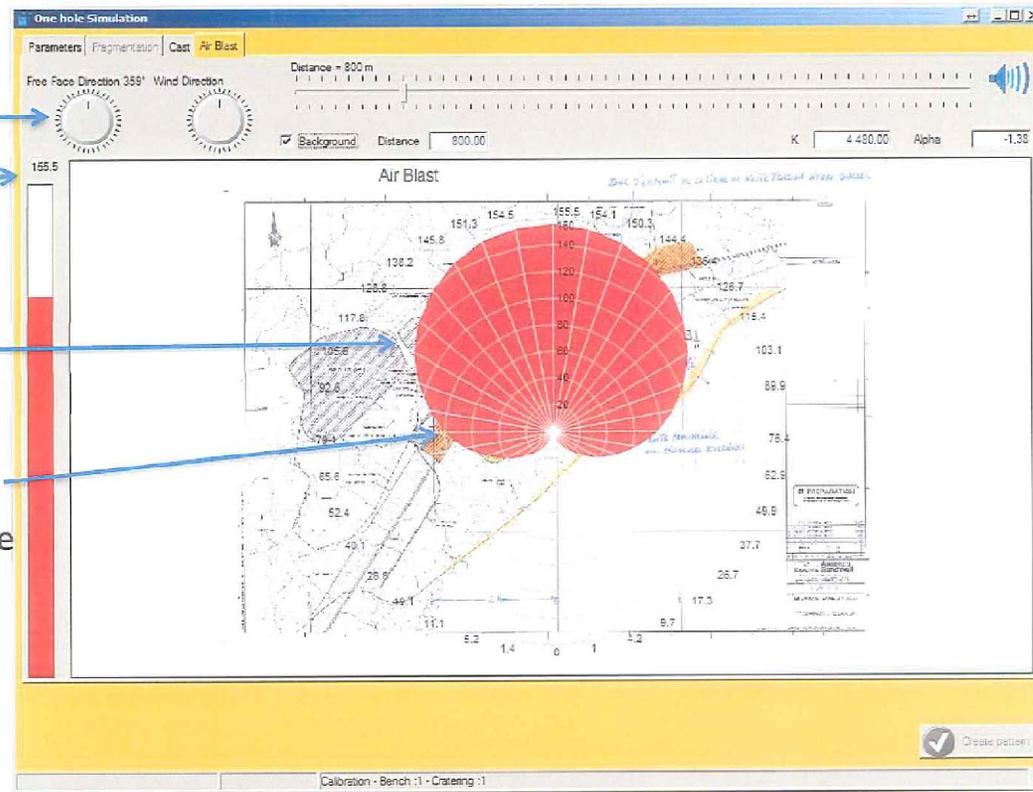


DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Exemple : Simulation de Surpression Aérienne autour d'un Trou

Page 41

- Orientation de la Face libre (ici au Nord)
- dB max en avant de la face libre
- Profil de dB autour du trou
- dB min en arrière de la face libre



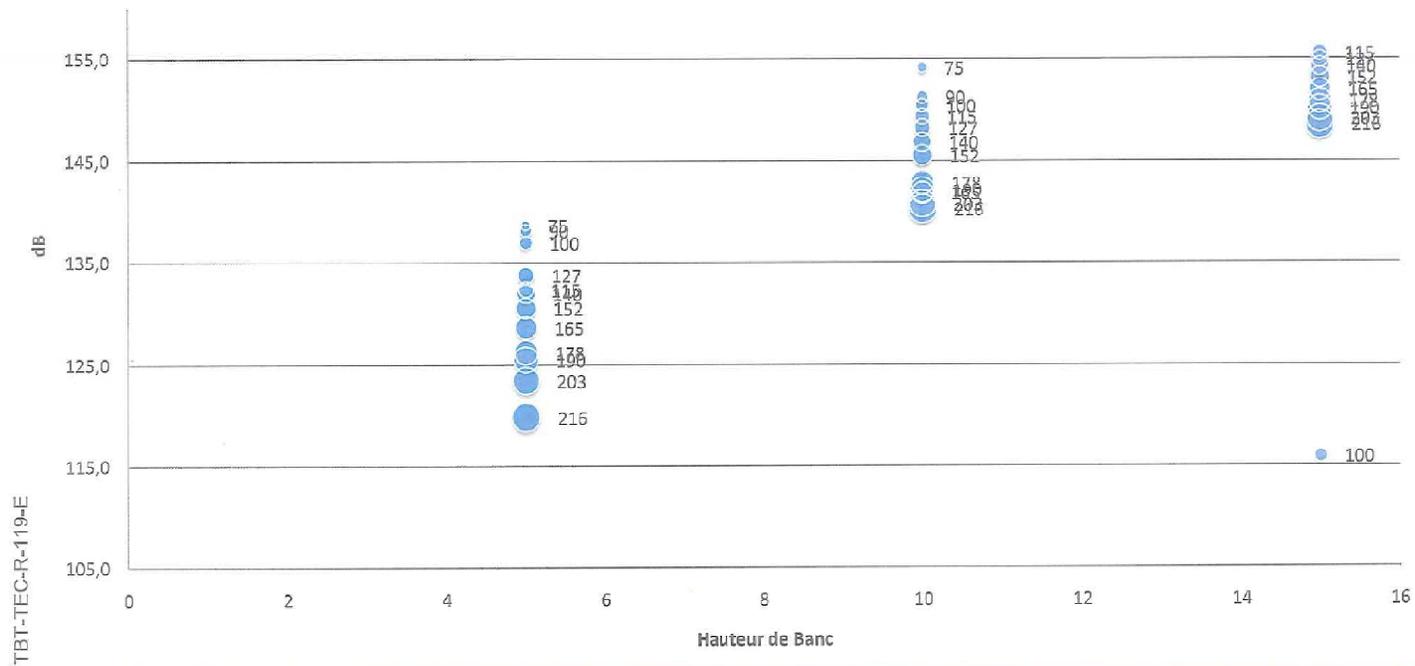
TBT-TEC-R-119-E



# Résumé: Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

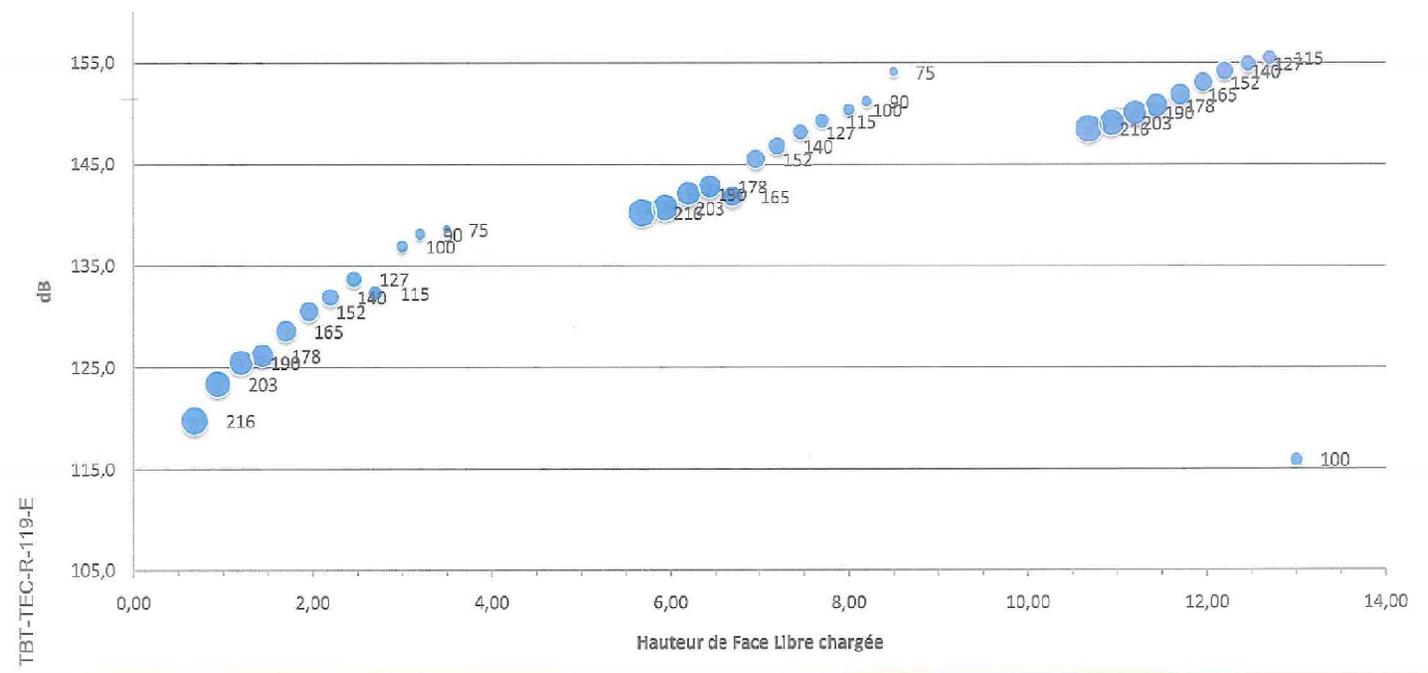
Page 42

Surpression Aérienne à 800 m en avant de la face libre  
fonction de la Hauteur de banc et du diamètre du trou



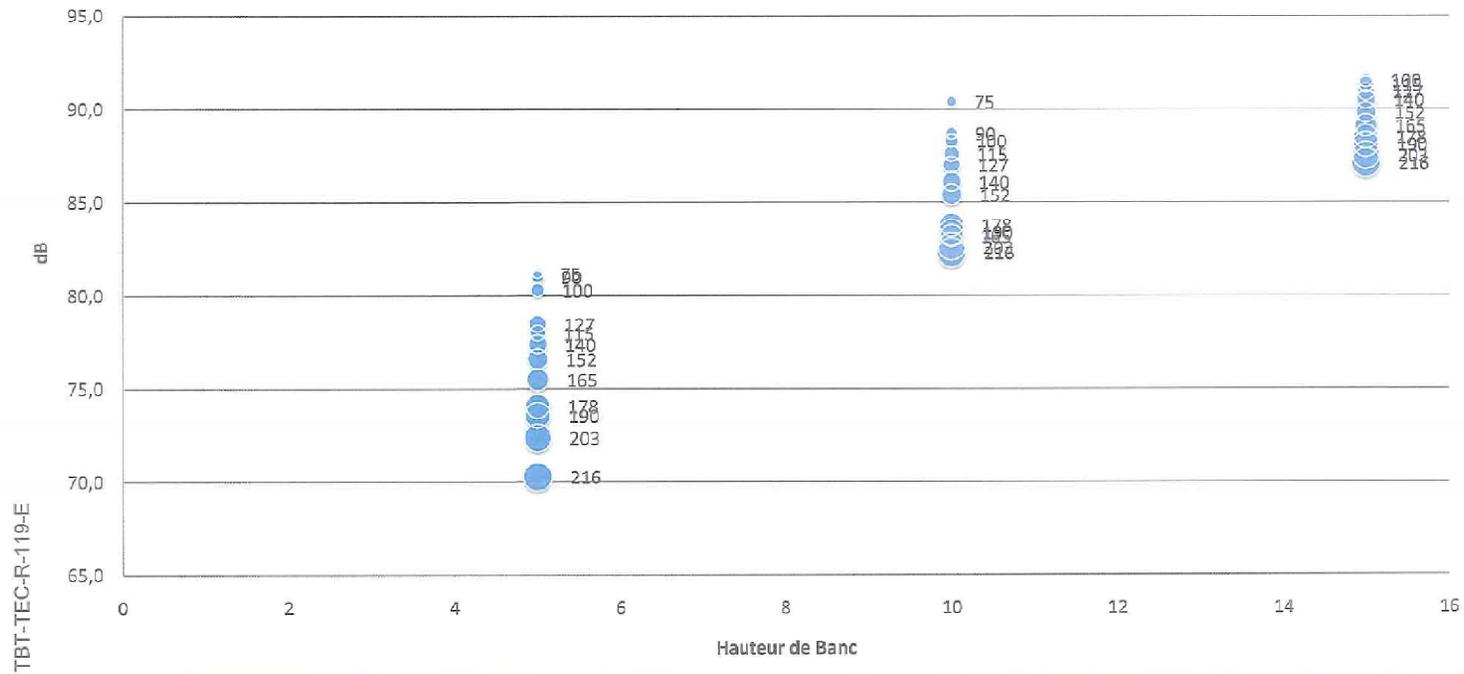
# Résumé: Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

Surpression Aérienne à 800 m en avant de la face libre  
 fonction de la Hauteur chargée de la Face et du diamètre du trou



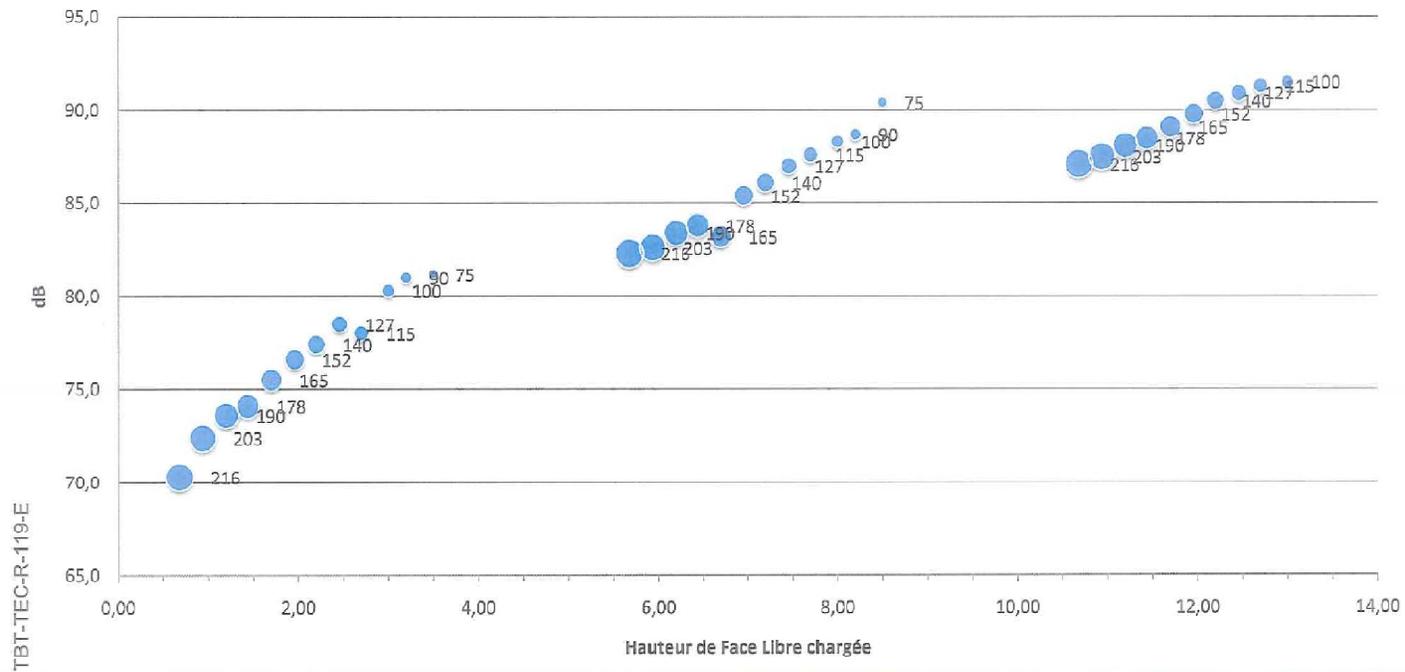
# Résumé: Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

Surpression Aérienne à 800 m à 90° de la face libre  
fonction de la Hauteur de Banc et du diamètre du trou



# Résumé: Simulation de Surpression Aérienne d'un Trou

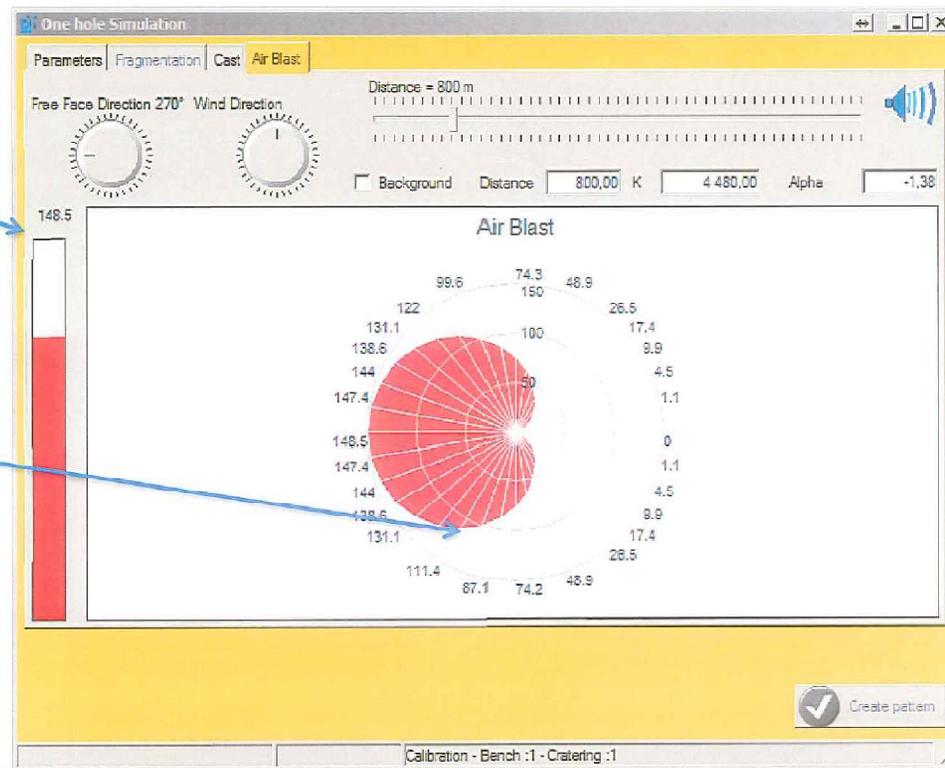
Surpression Aérienne à 800 m à 90° de la face libre (orientation Ouest)  
fonction de la Hauteur chargée de la Face et du diamètre du trou



# Simulation de Surpression Aérienne autour d'un Trou Cas D=126 mm, H= 15 m

Page 46

- Orientation de la Face libre (ici à l'ouest)
- max 148 dB en avant de la face libre
- dB max 87 dB en direction de la route 138



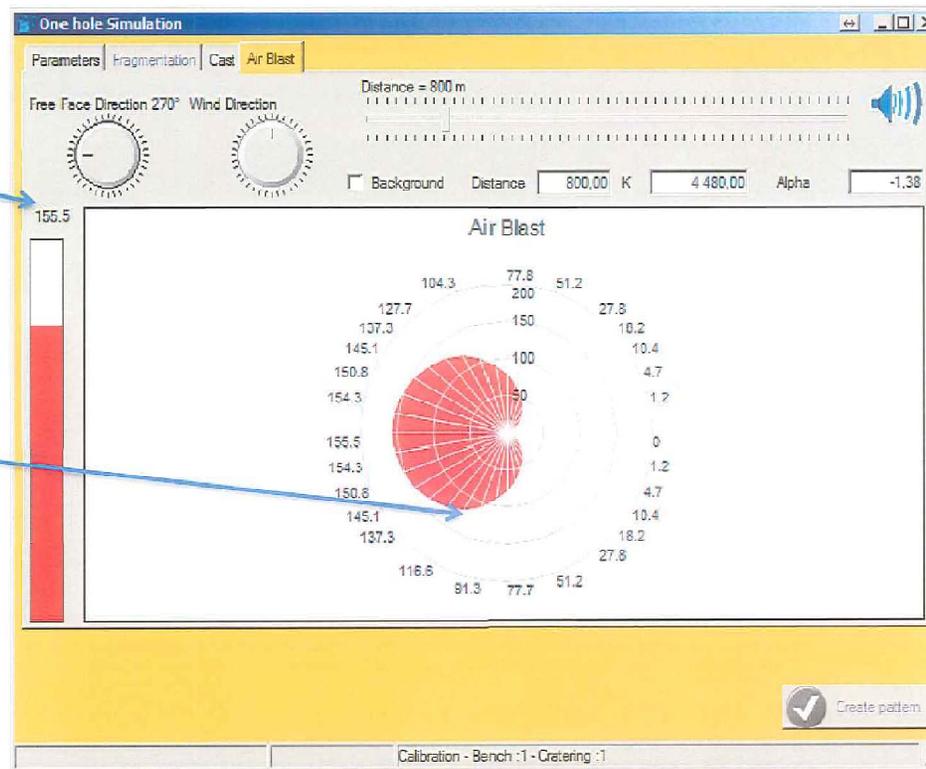
TBT-TEC-R-119-E



# Simulation de Surpression Aérienne autour d'un Trou Cas D=115 mm, H= 15 m

Page 47

- Orientation de la Face libre (ici à l'ouest)
- max 155 dB en avant de la face libre
- dB max 91 dB en direction de la route 138



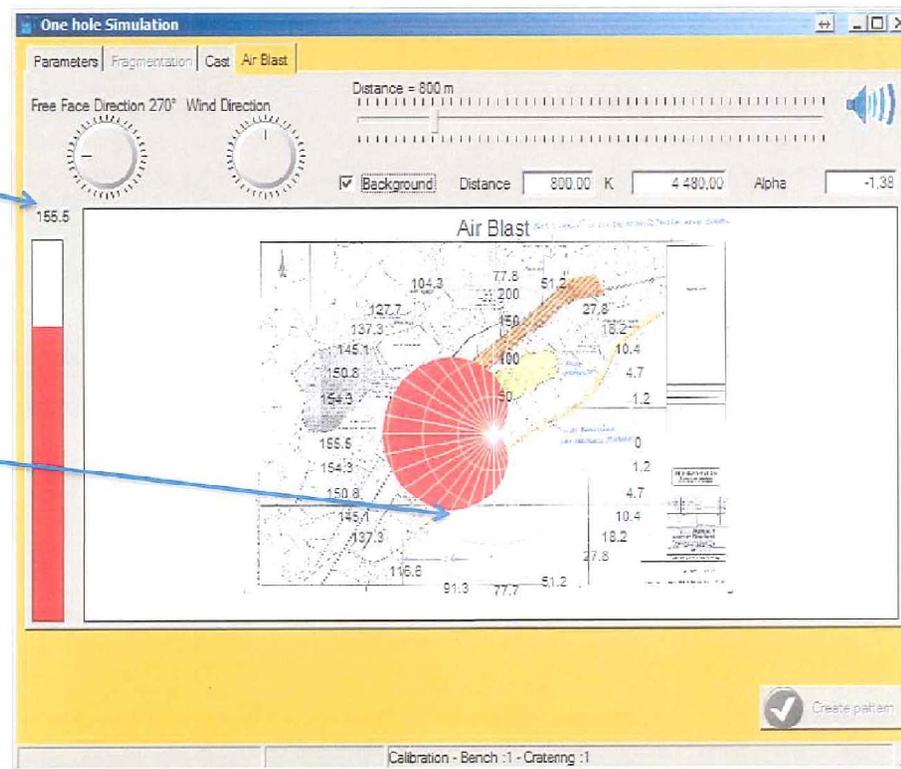
TBT-TEC-R-119-E



# Simulation de Surpression Aérienne autour d'un Trou Cas D=115 mm, H= 15 m

Page 48

- Orientation de la Face libre (ici à l'ouest)
- max 155 dB en avant de la face libre
- dB max 91 dB en direction de la route 138



TBT-TEC-R-119-E



# Exemple : Simulation de la Surpression Aérienne d'un sautage

Page 49

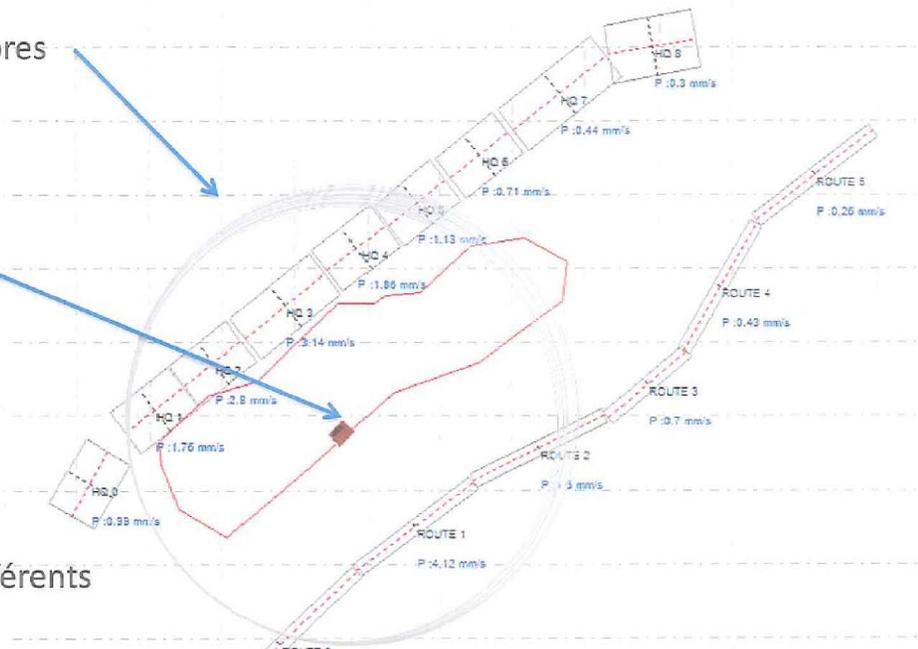
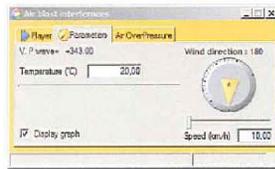
- Paramètre de la simulation pour un sautage
  - Chargement des trous
  - Patron de forage
  - Géologie
  - Position des trous
  - Séquence d'initiation
  - Température de l'air
  - Direction et vitesse du vent
- La surpression se calcule à partir de la surpression aérienne de chaque trou et les interférences des ondes en fonction de la séquence d'initiation et de la position des trous.
- Remarques :
  - Ce type de simulation est effectuée pour information. Elle prend tout son sens en production à partir de données calibrées, en particulier pour les valeurs de surpression en arrière de la face libre.
- Vent
  - Une vitesse de 10 km/h de vent est prise en compte
  - Une direction plein Sud du vent est prise en compte

TBT-TEC-R-119-E

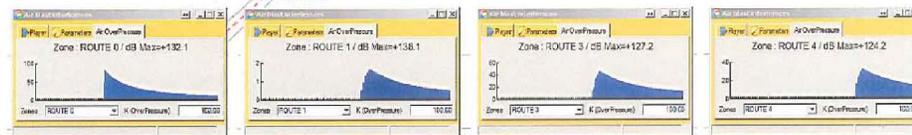


# Exemple : Simulation de la Surpression Aérienne d'un sautage

- Interférences des ondes sonores
- Sautage



- Niveau de surpression en différents points



TBT-TEC-R-119-E



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



## *Conclusion*

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



**SNC • LAVALIN**

TBT-TEC-R-119-E

51



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Conclusion

Page 52

- Des simulations « non calibrés » permettent de déterminer les distances limites d'utilisation d'un patron de forage en fonction soit de la ligne HQ soit de la route 138. On retiendra en particulier:
  - Pour les vibrations coté ligne HQ
    - Un patron en diamètre 152, hauteur de banc de 15 m, à une distance supérieure à 169 m de la ligne HQ
    - Un patron en diamètre 216, hauteur de banc de 15 m, à une distance supérieure à 232 m de la ligne HQ
  - Pour les vibrations coté route 138
    - Un patron en diamètre 216, hauteur de banc de 15 m, à une distance supérieure à 342 de la route 138 (soit aucune contrainte car la route est à environ 800m)
  - Pour la surpression coté route 138
    - Tous les patrons proposés avec une face libre orienté Est /Ouest donne une surpression ,coté route 138 ,inférieure à 128 dB
  - Pour les projections
    - Une distance maximale de projection horizontale de 185 m pour un patron en diamètre 115, hauteur de banc de 15 m
- Ces valeurs théoriques pourraient être considérablement affinées par des mesures expérimentales de terrain
  - Tir de charges élémentaires pour mesure d'une signature sismique et acoustique

TBT-TEC-R-119-E



Utilisation de la technologie DNA-Blast Software  
définir des conditions de sautage

Projet Mine Arnaud



# ANNEXES

ADVANCED BLASTING OPTIMIZATION FOR A MILLION DOLLAR BENEFIT

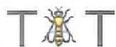
Une étude de Thierry Bernard Technologie, Nice – France  
Pour le compte de SNC-Lavalin Environnement



SNC • LAVALIN

TBT-TEC-R-119-E

53



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Conditions Générales des Services TBT

## TERMS AND CONDITIONS APPLYING TO TBT SERVICES

Page 54

- **Principles & definitions**
  - 'YOU', 'YOUR', 'THE CUSTOMER' refer to any individual or company that starts or continue a partnership, business relation and/or contract with TBT, whatever their herein status or progress.
  - The terms 'TBT' or 'US' or 'WE' or 'OUR' refers to TBT and its representations and divisions around the World, hereafter collectively referred to as 'TBT', whose registered office is 35, avenue Raymond Féraud, le Chateau des Anges B, 06200 Nice, France. Our company registration number is RCS 481 831 816 00014.
  - YOU and TBT are collectively define as 'THE PARTIES'.
  - 'THE CONTRACT' refers to the contract signed between YOU and TBT whatsoever the product and/or services.
  - 'THE SERVICE' or 'THE SERVICES' or 'IN-SCOPE SERVICE' or 'IN-SCOPE SERVICES' or 'TBT SERVICES' refer collectively to the services and/or product delivered by TBT to YOU, agreed along THE CONTRACT, which restrictively constitute the kind of product, scope of work and/or scope of service, that might involve TBT.
  - 'OUT-OF-SCOPE SERVICE' or 'OUT-OF-SCOPE SERVICES' refer to any product or services that are not part of THE CONTRACT.
  - 'ALLOCATION OF PERSONNEL' refers to one or several persons, hereafter 'TBT CONSULTANT', 'THE CONSULTANT', 'CONSULTANTS', 'THE CONSULTANTS', sent to a customer office or facility to provide locally a service framed by a contract signed between TBT and its customer.
- **GENERAL TERMS AND CONDITIONS**
  - THE PRESENT TERMS AND CONDITIONS COMES IN ADDITION TO THE CONTRACT TO GOVERN THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PARTIES AND CONSTITUTE THEREFORE THE GENERAL TERMS AND CONDITIONS BETWEEN THE PARTIES.
  - THE GENERAL TERMS AND CONDITIONS CONSTITUTE THE ENTIRE LEGAL AGREEMENT BETWEEN THE CUSTOMER AND TBT AND COMPLETELY REPLACE ANY PRIOR AGREEMENTS BETWEEN THE PARTIES, UNLESS NEW TERMS ARE PROVIDED IN A SEPARATE AGREEMENT SIGNED AND ENTERED INTO BY TBT.
  - IMPLIED AND FULL CONSENT TO THE TERMS AND CONDITIONS, AS IS, AND AS AN INTEGRAL PART OF THE GENERAL CONDITIONS GOVERNING THE RELATIONSHIP BETWEEN THE PARTIES, WILL BE INFERRED FROM THE CUSTOMER'S SIGNATURE OF THE CONTRACT OR THE CUSTOMER'S SIGNATURE OF THE ORDER FORM OR FROM THE PAYMENT OF A PORTION OF THE QUOTED PRICE.
- **IN-SCOPE SERVICES**
  - THE SERVICES include but are not limited to:
    - Blasting Management Service
    - Engineering consulting on explosives techniques
    - Blasting effect simulation service
    - Coordination / realization of building and civil engineering operations involving explosives
    - Allocation of specialized personnel for engineering and/or implementation of explosives purposes
    - Sales / trading of blasting or mining related software
  - TBT CONSULTANT agrees to make his best effort in performing IN-SCOPE SERVICES for THE CUSTOMER.
  - TBT CONSULTANT expects THE CUSTOMER to assign work tasks, preferably using written modes.
  - TBT CONSULTANT will make all reasonable efforts to deliver defect-free Service.
  - TBT and THE CUSTOMER agree that TBT CONSULTANT act as a limited liability consultant: TBT CONSULTANT legal liability for any individual task within agreed scope of service, hereafter 'IN-SCOPE SERVICES', is defined by the terms of THE CONTRACT and the present terms and conditions document.
  - On YOUR explicit written request, TBT provides YOU with the adequate insurance certificate. The compliance checking between the provided certificate and THE CONTRACT requirement is strictly YOUR responsibility. No responsibility and/or liability of any kind will be endorsed by TBT beyond the provided insurance certificate terms.

TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Conditions Générales des Services TBT

## TERMS AND CONDITIONS APPLYING TO TBT SERVICES

Page 55

- **Information on risk associated to TBT SERVICES**
  - TBT is providing the customer with a detailed written risk assessment, when appropriate and at TBT's own discretion and judgement, and whatever THE SERVICE sold. If any, the risk assessment is a dedicated document linked to the method statement and financial quotation. The method statement includes the chosen technical hypothesis and the mathematical models involved, with their limits.
  - This is YOUR strict responsibility to ask for a detailed risk assessment before the SERVICE starts to be rendered by TBT, should TBT fails or have not find appropriate to provide it to YOU. First day of SERVICE being provided put an end to any further demand linked to a risk assessment document or investigation for the considered SERVICE.
  - Similarly, it remains YOUR strict responsibility to ask for more detailed information should the documents provided by TBT does not allow YOU to take a fully documented decision about the method statement or about any other document provided to YOU by TBT.
  - The risk assessment corresponds to an evaluation stage starting, if any, after the signed order form has been received from YOU and before that any SERVICES being provided.
  - Once receiving the risk assessment from TBT, and despite the fact that you already signed an order form for the SERVICE to be provided by TBT, YOU remain free to issue or not the corresponding Order of Service (hereafter OS), that will provoke the beginning of the SERVICE provision.
  - Once a risk assessment period took place, no SERVICES can be provided before the signed OS has been received by TBT.
  - Should YOU decide not to issue the OS, YOU will be invoiced by TBT for the daily fee and corresponding costs of the risk assessment period.
  - Signing the OS based on a TBT risk assessment means that YOU duly receive the dedicated risk assessment, that YOU consider it explicit and comprehensive enough, that YOU fully understand it and accept the risk assessment as is and/or as detailed in the document sent by TBT. The risk assessment and relative method statement become therefore a non-separable part of the TBT terms and conditions governing customer's relationship with TBT. Should YOU ask TBT to deliver THE SERVICE, YOU are therefore considered as having been fully informed and expressively accepting the risk as detailed by TBT.
- **Implementation integrity of TBT SERVICES and inherent TBT responsibility**
  - In case the implementation of TBT SERVICE is also asked by customer to TBT as part of the required service, TBT is fully responsible for the correct and conformed implementation of the method statement provided to the customer.
  - Should the implementation of TBT SERVICE is asked by the customer to a third party, TBT represents no warranty nor responsibility regarding the accuracy and correctness of implementation and/or consecutive inherent results, losses and/or damage of any kind that may consequently arise. Furthermore TBT will consider the implementation by a third party as an OUT-OF-SCOPE SERVICE and will apply the corresponding section 7 and 8 of the present document to the maximum extend permitted by law.

TBT-TEC-R-119-E



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

# Conditions Générales des Services TBT

## TERMS AND CONDITIONS APPLYING TO TBT SERVICES

Page 56

- TBT-TEC-R-119-E
- **OUT-OF-SCOPE SERVICES**
    - Any activity asked by YOU to TBT and/or directly to TBT CONSULTANT, which is not expressly part of the CONTRACT is considered as an OUT OF SCOPE SERVICE, hereafter 'OUT OF SCOPE SERVICE' or 'OUT OF SCOPE SERVICES'
    - As such, the OUT OF SCOPE SERVICES are therefore ruled by additional exclusion of warranties and limitations of responsibility detailed in the present document, especially but not limited to the part 6.3 onward.
    - SHOULD TBT WOULD NOT BE IMMEDIATELY AWARE OF OUT OF SCOPE SERVICES BEING RENDERED BY ITS CONSULTANT, EXCLUSION OF WARRANTIES AND LIMITATION OF LIABILITIES WILL NEVERTHELESS FULLY APPLY TO ANY OUT OF SCOPE SERVICES THAT WOULD HAVE BEEN PERFORMED FROM THE SIGNATURE OF THE CONTRACT TO THE DATE OF AWARENESS BY TBT.
  - **OUT-OF-SCOPE SERVICES EXCLUSION OF WARRANTIES**
    - NOTHING IN THESE GENERAL TERMS, INCLUDING THE PRESENT SECTION 7 AND THE FOLLOWING SECTION 8, SHALL EXCLUDE OR LIMIT TBT'S WARRANTY OR LIABILITY FOR LOSSES WHICH MAY NOT BE LAWFULLY EXCLUDED OR LIMITED BY APPLICABLE LAW. SOME JURISDICTIONS DO NOT ALLOW THE EXCLUSION OF CERTAIN WARRANTIES OR CONDITIONS OR THE LIMITATION OR EXCLUSION OF LIABILITY FOR LOSS OR DAMAGE CAUSED BY NEGLIGENCE, BREACH OF CONTRACT OR BREACH OF IMPLIED GENERAL TERMS, OR INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL DAMAGES. ACCORDINGLY, ONLY THE LIMITATIONS WHICH ARE LAWFUL IN YOUR JURISDICTION WILL APPLY TO YOU AND OUR LIABILITY WILL BE LIMITED TO THE MAXIMUM EXTENT PERMITTED BY LAW.
    - THE CUSTOMER EXPRESSLY UNDERSTANDS AND AGREES THAT THE CUSTOMER'S USE OF OUT-OF-SCOPE SERVICE IS AT THE CUSTOMER'S SOLE RISK AND THAT THE SERVICE IS PROVIDED 'AS IS' AND 'AS AVAILABLE'.
    - IN PARTICULAR, TBT, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES, AND ITS LICENSORS DO NOT REPRESENT OR WARRANT TO THE CUSTOMER THAT:
      - THE CUSTOMER'S USE OF THE OUT-OF-SCOPE SERVICES WILL MEET THE CUSTOMER'S REQUIREMENTS,
      - THE CUSTOMER'S USE OF THE OUT-OF-SCOPE SERVICES WILL BE UNINTERRUPTED, TIMELY, SECURE OR FREE FROM ERROR,
      - ANY INFORMATION OBTAINED BY THE CUSTOMER AS A RESULT OF THE CUSTOMER'S USE OF OUT-OF-SCOPE SERVICES WILL BE ACCURATE OR RELIABLE, AND
      - THAT DEFECTS IN THE OPERATION OR FUNCTIONALITY OF ANY OUT-OF-SCOPE SERVICE PROVIDED TO THE CUSTOMER AS PART OF THE SERVICE WILL BE CORRECTED. NO INFORMATION AND/OR OUT-OF-SCOPE SERVICE PROVIDED SHALL CONSTITUTE AN INVITATION OR OFFER OF ANY KIND AND NO INFORMATION NOR STATEMENTS OF FACT OR FORECAST OR OUTPUT MADE HEREIN ARE WARRANTED AS TRUE, FAIR, ACCURATE, OR OTHERWISE, AND NO RELIANCE SHOULD BE PLACED THEREON.
    - NO ADVICE OR INFORMATION, WHETHER ORAL OR WRITTEN, OBTAINED BY THE CUSTOMER FROM TBT OR TBT CONSULTANT THROUGH OR FROM THE OUT-OF-SCOPE SERVICES SHALL CREATE ANY WARRANTY NOT EXPRESSLY STATED IN THE GENERAL TERMS.
    - TBT FURTHER EXPRESSLY DISCLAIMS ALL WARRANTIES AND CONDITIONS OF ANY KIND, WHETHER EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING, BUT NOT LIMITED TO THE IMPLIED WARRANTIES AND CONDITIONS OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE; NON-INFRINGEMENT; WARRANTIES OF TITLE; OR THOSE ARISING BY STATUTE OR OTHERWISE IN LAW OR FROM A COURSE OF DEALING OR USAGE OF TRADE.
  - **OUT-OF-SCOPE SERVICES LIMITATION OF LIABILITY**
    - THE CUSTOMER EXPRESSLY UNDERSTANDS AND AGREES THAT TBT, ITS SUBSIDIARIES AND AFFILIATES, AND ITS LICENSORS SHALL NOT BE LIABLE TO THE CUSTOMER FOR ANY DIRECT, INDIRECT, INCIDENTAL, SPECIAL, PUNITIVE, CONSEQUENTIAL OR EXEMPLARY DAMAGES WHICH MAY BE INCURRED BY THE CUSTOMER, HOWEVER CAUSED AND UNDER ANY THEORY OF LIABILITY. THIS SHALL INCLUDE, BUT NOT BE LIMITED TO, ANY LOSS OF PROFIT (WHETHER INCURRED DIRECTLY OR INDIRECTLY), ANY LOSS OF GOODWILL OR BUSINESS REPUTATION, ANY LOSS OF DATA SUFFERED, COST OF PROCUREMENT OF SUBSTITUTE GOODS OR SERVICES, OR OTHER INTANGIBLE LOSS;
    - THE LIMITATIONS ON TBT'S LIABILITY TO THE CUSTOMER DETAILED HERE ABOVE SHALL APPLY WHETHER OR NOT TBT HAS BEEN ADVISED OF OR IS AWARE OF OUT-OF-SCOPE SERVICES BEING PROVIDED BY TBT CONSULTANT AND/OR THE POSSIBILITY OF ANY SUCH LOSSES ARISING.
    - THE CUSTOMER HEREBY WAIVES ANY AND ALL RIGHTS TO BRING ANY CLAIM OR ACTION RELATED TO THE OUT-OF-SCOPE SERVICES BEYOND ONE (1) YEAR AFTER THE FIRST OCCURRENCE OF THE KIND OF ACT, EVENT, CONDITION OR OMISSION UPON WHICH SUCH CLAIM OR ACTION IS BASED.
- FOR FURTHER INFORMATION  
Any questions concerning the General Terms or the **TERMS AND CONDITIONS APPLYING TO TBT PRODUCTS & SERVICES**, should be directed to us at the following email address: [info@tbttech.fr](mailto:info@tbttech.fr) or by calling +33 950 445 543 (GMT+1). REVISED 02/08/2009



DNA-BLAST Technologie @SNC-Lavalin Canada – Projet Mine Arnaud

***Curriculum Vitae***



*Monsieur Groleau est un ingénieur possédant une vaste expérience en chantier au niveau des mines, carrières et divers chantiers de construction d'envergure. Ses diverses expériences acquises lui ont permis de développer des atouts au niveau de l'investigation et de l'analyse. Il est particulièrement reconnu comme un motivateur privilégiant le travail en équipe. Monsieur Groleau est dynamique, responsable et apte à prendre des décisions et aimant au plus au plus haut point relever des défis. M. Groleau parle le français et l'anglais.*

## ÉTUDES

- 1984      Baccalauréat en génie minier, Université Laval, Québec (Québec) Canada
- 1979      DEC en sciences pures, Collège de la Région de l'Amiante, Thetford Mines (Québec) Canada
- 1977      DES général, Polyvalente de Thetford Mines, Thetford Mines (Québec) Canada

## EXPÉRIENCE

**Depuis 2006    SNC-LAVALIN ENVIRONNEMENT INC., DIVISION ENVIRONNEMENT, Longueuil (Québec) Canada**

**Chargé de projet, expert en explosifs**

- ◆ Exploitation de carrière en milieu urbain, Carrière DJL, Mont St-Bruno (Québec) Canada (en cours)

**2009-2012    Waneta Expansion Power Corporation, Trail (British Columbia) Canada**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert et souterrain)**

- préparation des devis d'excavation de roc pour les excavations en surface et en souterrain en vertu des contraintes environnementales, sismiques et sonores
- établissement des recommandations techniques pour l'ensemble des travaux à ciel ouvert et en souterrain en vertu de sévères contraintes sismiques



- développement des méthodes de forage et de sautage pour les tirs critiques à proximité des structures
- établissement des méthodes de sautage pour optimiser la qualité et stabilité des parois rocheuses finales
- formation des inspecteurs techniques au chantier
- analyse, commentaires et approbation de tous les sautages
- suivi quotidien de l'avancement des travaux aux explosifs.

**2009**      **Projet Guelb II, Nouérat, Mauritanie**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert)**

- analyse des méthodes de sautage pour l'excavation d'une nouvelle fosse à concassage à la mine de fer SNIM
- évaluation des conditions géologiques in-situ
- planification des sautages et besoin en explosifs et accessoires de sautage
- analyse et recommandations des méthodes de sautage de production à la mine SNIM
- formation de la main-d'œuvre sur l'utilisation des explosifs.

**2009-2012**      **Hydro Québec, Projet hydroélectrique de La Romaine II et**

**2007-2010**      **SEBJ (Société d'énergie de la Baie James), Projet hydroélectrique de Eastmain 1A (Québec) Canada**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert et souterrain)**

- formation des inspecteurs au chantier sur la connaissance des explosifs, les restrictions normatives des devis et la sécurité des méthodes de travail
- membre du comité d'expert sur le séminaire du contrôle de la qualité des travaux
- approbation de tous les sautages
- suivi quotidien du déroulement des travaux aux explosifs au chantier
- analyse et approbation des sautages critiques en vertu des contraintes locales (structures) et géotechniques



- design et suivi d'une galerie d'amenée d'eau (tunnel) de 18,0 m de hauteur.

**2008-2009 SNC-LAVALIN (division Énergie), Projet hydroélectrique de Shipshaw, Jonquière (Québec) Canada**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert et souterrain)**

- préparation des devis d'excavation de roc pour les excavations en surface et en souterrain en vertu des contraintes environnementales, sismiques et sonores,
- établissement des recommandations techniques pour l'ensemble des travaux à ciel ouvert et en souterrain en vertu de sévères contraintes sismiques,
- développement des méthodes de forage et de sautage pour les tirs critiques à proximité des structures existantes et en considération des contraintes géologiques,
- établissement des méthodes de sautage pour optimiser la qualité et stabilité des parois rocheuses finales,
- formation des inspecteurs techniques au chantier,
- analyse, commentaires et approbation de tous les sautages,
- suivi quotidien de l'avancement des travaux aux explosifs.

**2006-2007 SNC-LAVALIN (division Énergie), Projet hydroélectrique de Ear Falls (Ontario) Canada**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert et souterrain)**

- établissement des recommandations techniques pour l'ensemble des travaux à ciel ouvert et en souterrain en vertu de sévères contraintes sismiques
- développement des méthodes de forage et de sautage pour les tirs critiques soit particulièrement le dynamitage des bouchons de roc pour la mise en eau
- établissement des méthodes de sautage pour optimiser la qualité et stabilité des parois rocheuses finales
- formation des inspecteurs techniques au chantier
- approbation de tous les sautages



- suivi quotidien de l'avancement des travaux aux explosifs

**2006-2007 LAVALIN (Division Industrielle), Projet de port méthanier de Canaport (Nouveau Brunswick) Canada**

**Expert en travaux de forage et sautage (ciel ouvert)**

- analyse des propositions des méthodes de forage et de sautage
- formation des inspecteurs au chantier
- optimisation des méthodes de tir en fonction de la géologie
- optimisation des méthodes en fonction du contrôle des vibrations et projections de pierres
- établissement des méthodes de sautage pour optimiser la qualité et stabilité des parois rocheuses finales
- approbation de tous les sautages
- suivi quotidien des travaux de forage et sautage en vertu des résultats obtenus

**2006 SNC-LAVALIN ENVIRONNEMENT INC., Longueuil (Québec) Canada**

- chargé de projet, expert en explosifs environnementaux des tirs en milieu urbain
- analyse, étude et préparation de la documentation d'approbation des sautages
- suivi en chantier des activités de forage, de chargement d'explosifs et de sautage
- analyse des résultats, gestion des plaintes et optimisation des paramètres de sautage.
- ♦ Optimisation des sautages en milieu urbain, Carrière d'Acton Vale, Acton Vale (Québec) Canada (en cours) :
  - analyse et revue de l'ensemble des méthodes de forage et sautage
  - établissement des méthodes à préconiser pour les tirs de production
  - suivi en chantier des activités de forage, de chargement d'explosifs et de sautage
  - établissement des paramètres et barèmes de chargement d'explosifs et de la méthode de vérification des forages



**2002-2006 SNC-LAVALIN INC., Montréal (Québec) Canada**

**Directeur adjoint**

- ◆ Projet d'installation mécanique et électrique du système de roulement du prolongement du métro vers Laval. Suivi de la gestion de projet, coordination des divers projets en activité et contrôle de la qualité d'exécution des travaux avec l'implication des laboratoires pour l'Agence métropolitaine de transport, Laval (Québec) Canada (2004-2006)

**Directeur de projet**

- ◆ Directeur de projet en régie contrôlée pendant une période de fermeture. Gestion de projet, coordination avec la direction de la STM sur le réseau en activité du métro de Montréal et responsable du contrôle de la qualité et coordination des activités en chantier pour l'Agence métropolitaine de transport, Laval (Québec) Canada (2004)

**Directeur technique adjoint**

- ◆ Projet d'excavation en surface et en tunnel pour le prolongement du métro vers Laval incluant l'excavation sous rivière et responsable du suivi des activités en respect avec les plans et devis et du contrôle de la qualité pour l'Agence métropolitaine de transport, Laval (Québec) Canada (2003-2004)

**Ingénieur de chantier**

- ◆ Responsable technique des travaux d'excavation aux explosifs dans le cadre des travaux du prolongement du métro vers Laval, approbation de tous les plans de tir sur les différents chantiers en activité et contrôle des paramètres environnementaux de sautage en milieu urbain pour l'Agence métropolitaine de transport, Laval (Québec) Canada (2002-2003).

**2001-2002 P. GROLEAU GÉNIE CONSEIL, Mont St-Hilaire (Québec) Canada**

**Ingénieur consultant**

- ◆ Consultant en forage et sautage pour les opérations d'une mine d'or à ciel ouvert en milieu urbain. Formateur des équipes de forage et de chargement d'explosifs. Responsable de l'application et du suivi des normes environnementales relatives aux sautages, expertise sur l'optimisation des méthodes de minage en vue d'optimiser la teneur de récupération du gisement. Responsable des relations publiques avec les citoyens.



**1997-2001 EXPLOSIFS ETI, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec) Canada**

**Directeur de marché**

- ◆ Directeur du marché des explosifs pour les opérations en carrières et en chantier de construction pour l'Est du Canada. Supervision des équipes de vente et de service en chantier. Responsable de la préparation des soumissions et documents techniques, du développement produits et systèmes de chargement d'explosifs et des relations auprès de la clientèle et des stratégies de mise en marché.

**1995-1997 EXPLOSIFS AUSTIN, Saint-Constant (Québec) Canada**

**Directeur technique**

- ◆ Responsable des analyses de marché et des stratégies de mise en marché. Responsable de la préparation des soumissions et documents techniques, de l'implantation d'une nouvelle équipe de forage et sautage en sous-traitance dans les opérations en carrière. Responsable de l'implantation d'un nouveau système de chargement d'explosifs en vrac, de la gestion des opérations en carrière et de la mise en place et suivi du programme de contrôle de la qualité ISO 9002.

**1992-1995 ICI EXPLOSIFS Canada, Boucherville (Québec) Canada**

**Directeur pour le marché de la Baie James (1992-1995)**

- ◆ Responsable des analyses de marché et des stratégies de mise en marché, de la préparation des soumissions, documents techniques et du suivi technique en chantier.

**Superviseur des explosifs en vrac (1993-1995)**

- ◆ Responsable des analyses de marché et des stratégies de mise en marché des explosifs en vrac pour l'Est du Canada, du développement de produits et systèmes de chargement pour les applications souterraines et à ciel ouvert, des équipes de chargements des produits vrac en chantier et des budgets d'opération.

**Représentant technique (1990-1993)**

- ◆ Représentant technico-commercial dans le secteur de la construction pour l'Est du Canada. Responsable de la préparation des soumissions et documents techniques, des suivis techniques en chantier et de la conception et réalisation de sautages critiques.



**1987-1990 EXPLOSIFS SAGUENAY, Charlesbourg (Québec) Canada**

**Représentant technique**

- ◆ Représentant technico-commercial dans le secteur de la construction, des mines et carrières pour les territoires de la Côte-Nord, du Saguenay-Lac-Saint-Jean et de Chibougamau. Responsable de la préparation des soumissions et documents techniques, des suivis techniques en chantier, de la conception et de la réalisation de sautages critiques sur divers projets d'envergure.

**1985-1987 COMPAGNIE MINIÈRE QUÉBEC CARTIER, Fermont (Québec) Canada**

**Contremaître des opérations**

- ◆ Supervision d'une équipe de 30 employés en vertu de l'application des normes de la convention collective. Responsable des travaux de forage, sautage, marinage, transport de minerai et concassage sur l'exploitation simultanée de 4 fosses, de la répartition des opérations de minage en fonction de l'optimisation des teneurs récupérées versus le volume de minerai excavé et des divers services auxiliaires (1986-1987).

**Ingénieur de sautage**

- ◆ Préparation de plans de forage et de mise à feu des sautages. Suivi technique des travaux en chantier (1985-1986).

**Ingénieur de l'approvisionnement**

- ◆ Supervision et achat des pièces d'équipement des foreuses et pelles de chargement. Compilation et analyse statistique des performances des diverses composantes. Responsable des budgets inhérents à ces composantes (1985).

**Contremaître d'usine de concassage**

- ◆ Supervision des employés et de la mise en place du programme de qualité et de sécurité, implantation du programme de maintenance et responsable du suivi budgétaire (1985).

**Contremaître du pompage**

- ◆ Supervision des activités d'assèchement des quatre puits en exploitation. Supervision des employés et de la planification des divers systèmes de pompage, implantation du programme de maintenance et responsable du suivi budgétaire des opérations (1985).



**1984-1985 MINES D'ARGENT ABCOURT, Val d'Or (Québec) Canada**

**Ingénieur en planification minière**

- ◆ Préparation des plans d'exploitation des divers chantiers souterrains. Responsable de la récupération des piliers de surface, des travaux d'arpentage, supervision des travaux d'exploitation et des opérations de transport, concassage et tri du minerai.

**1984 SERVICES TECHNIQUES DE BEAUCE, Tring Jonction (Québec) Canada**

**Ingénieur civil**

- ◆ Arpentage, études des plans et devis et supervision technique en chantier de divers travaux civils.

**1983 CIMENT ST-LAURENT, Beauport (Québec) Canada**

**Ingénieur en exploitation**

- ◆ Développement des méthodes d'exploitation d'un nouveau secteur à la carrière. Études des diverses contraintes environnementales pour l'exploitation en milieu urbain. Supervision des travaux de sondage par carottage et estimation des réserves à l'issu des analyses chimiques des échantillons prélevés.

**CONNAISSANCES INFORMATIQUES**

MS Office, Autocad, logiciels de sautage Blaspa et Sabrex

**ASSOCIATION PROFESSIONNELLE**

Ordre des ingénieurs du Québec, no d'affiliation 39115

**LANGUES**

Français, anglais



**SNC•LAVALIN**  
**Environnement**

[www.snclavalin.com](http://www.snclavalin.com)

**SNC-Lavalin inc., Division Environnement**

2271, boul. Fernand-Lafontaine

Longueuil (Québec)

J4G 2R7 Canada

Téléphone: 514-393-1000

Télécopieur: 450-651-0885

