

Stratégie de développement des meilleures pratiques de chargement d'explosifs pour diverses conditions de forage long trou à l'aide du logiciel iRing



SEEQ 2006
24 novembre 2006
Université Laval
Québec, QC.



DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

La solution se trouve dans la détermination du rayon de bris optimal



- “Toutes les compagnies minières utilisent des explosifs, cependant, au cours des dernières années nous avons observé que lorsqu'ils sont utilisés de façon appropriée, voir optimale, une entreprise peut alors économiser énormément quant aux coûts de comminution qui en découlent, le tout étant conséquent à l'efficacité du bris initial engendré”.
- “Si vous tentez d'économiser et en utilisez pas suffisamment, il y aura alors plus de maintenance à effectuer sur les équipements, alors que vous tentez de re-briser les blocs sur-dimensionnés. De plus, plus d'énergie sera requise lors des opérations de concassage du matériel”.
- **Pour chaque exemple de dynamitage, il existe un patron de forage optimisé, lequel lorsque employé avec la bonne distribution d'énergie explosive, fournira un coût total de revient le plus bas avec la fragmentation la mieux adaptée aux équipements de havage utilisés.**
- iRing nous aide à démontrer que le développement de stratégies appropriées de forage et chargement peuvent avoir un impact majeur sur le coût des opérations de dynamitage souterrain.

DYNO
Dyno Nobel
G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

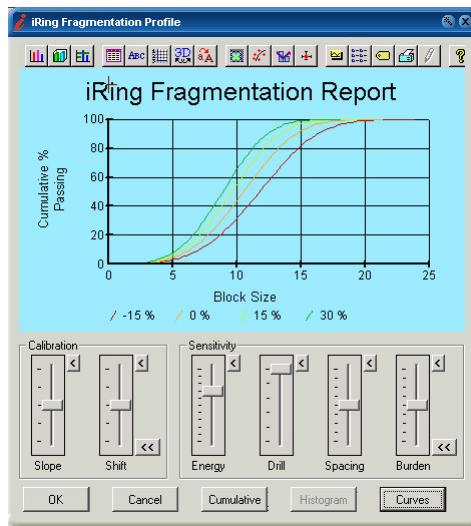
2

iRing – Paramètres de Design utilisant la Fragmentation à titre de base de comparaison pour définir le coût de sautage le plus bas



- **Exemple théorique de comparaison des coûts de sautage en utilisant ces paramètres:**

- Diamètre de trou (mm) 102
- Espacement optimisé des collets
- F.P. (Kg/tonne) 0.5
- Courbe de Fragmentation
 - Allant de -15 à +30% autour de la résistance en tension moyenne établie.
 - % cumulative passant
- Propriétés actuelles du minerai
- Coût forage budgeté (\$/m) 46.00
- Longueur des chantiers (m) 22.0



3

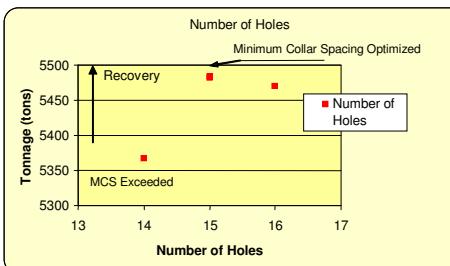
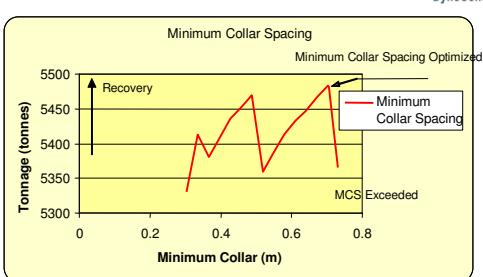
DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

iRing – Design et Optimisation de section de forage en 3D



- Dans les opérations minières de surface, les trous de forage sont généralement parallèles entre eux.
- La distribution des explosifs est optimisée en utilisant une configuration parallèle de trous.
- Dans les opérations minières souterraines, les trous de forage sont généralement forés à partir d'un point de pivot/départ commun.
- La distribution d'explosifs est plus concentrée dans la région des collets parce que les trous sont tous forés à partir d'un point de pivot unique.
- L'optimisation de l'espacement des collets va permettre de maximiser la récupération – voir la figure montrant la récupération maximale atteinte en ayant le bon nombre de trous par section.
- Les graphiques illustrent comment la configuration de chaque section peut être analysée statistiquement de façon à optimiser la récupération, tout en ayant le coût de forage le plus bas possible pour diverses géométries.
- **Rappelez-vous que les trous parallèles représentent la meilleure configuration, alors qu'un seul point de pivot représente le pire scénario envisageable**

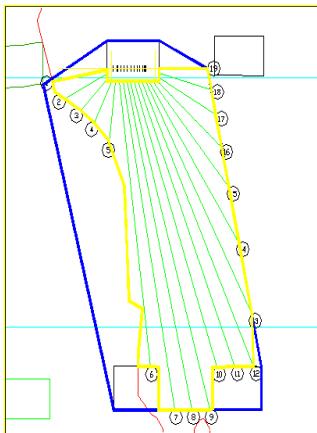


4

DYNO
Dyno Nobel

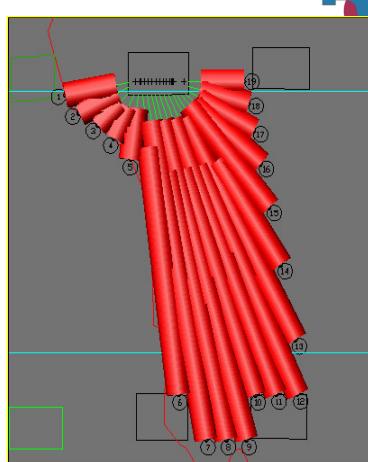
Groundbreaking Performance

Patron de forage pour ANFO – 2.5 x 2.5 m
 (9 panneaux requis pour chantier de 44,000 t.m.)



Statistics	Values
Number of Holes	19
BreakThrough	4
Setup Points	14
Pivot Points	2
Minimum Collar Spacing (m)	.53
Top Spacing (m)	2.44
Row Spacing (m)	2.4
Drill Meters	415.79
Tonnage (Tonnes)	4945.0
Drill Factor (tonnes/m)	11.65
Drilling Cost (\$)	19,093.08
Drilling Cost/Tonne (\$)	3.94

Diamètre de trou (mm) 102
 F.P. (Kg/tonne) 0.496
 Coût de forage (\$/tonne) 3.94
 Coût de sautage (\$/tonne) 4.20



Blast Statistics	Value
Tonnage	4945.0
Drill Meters	415.79
Drill Factor	11.65
Drill Cost (\$)	19,093.08
Drill Cost/Tonne	3.94
Total Explosive Cost (\$)	1267.07
Explosive Cost/Tonne	0.22
Blasting Cost (\$)	20300.15
Blasting Cost/Tonne	4.20
Powder Factor	0.496

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

5

**Exemple de Coûts Associés au patron standard avec ANFO
 2.5 x 2.5 m – Notre base de référence**



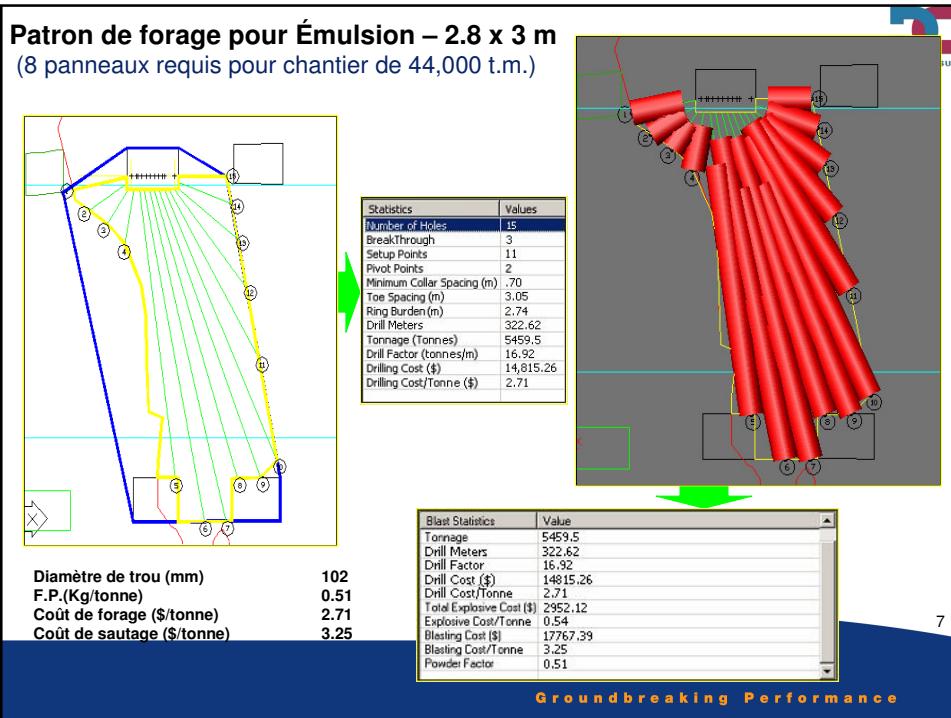
Paramètres	ANFO*
Tonnage total (tonnes)	43,605
Coûts de Forage (\$)	\$171,837
Coûts d'Explosifs (\$)	\$11,403
Coûts totaux (\$)	\$183,240
Coût/tonne (\$/tonne)	\$4.20

*Calculé selon une longueur de chantier de 22 m

DYN
 Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

6



**Économies de Coûts en utilisant l'explosif de type émulsion
2.8 x 3.0 m**

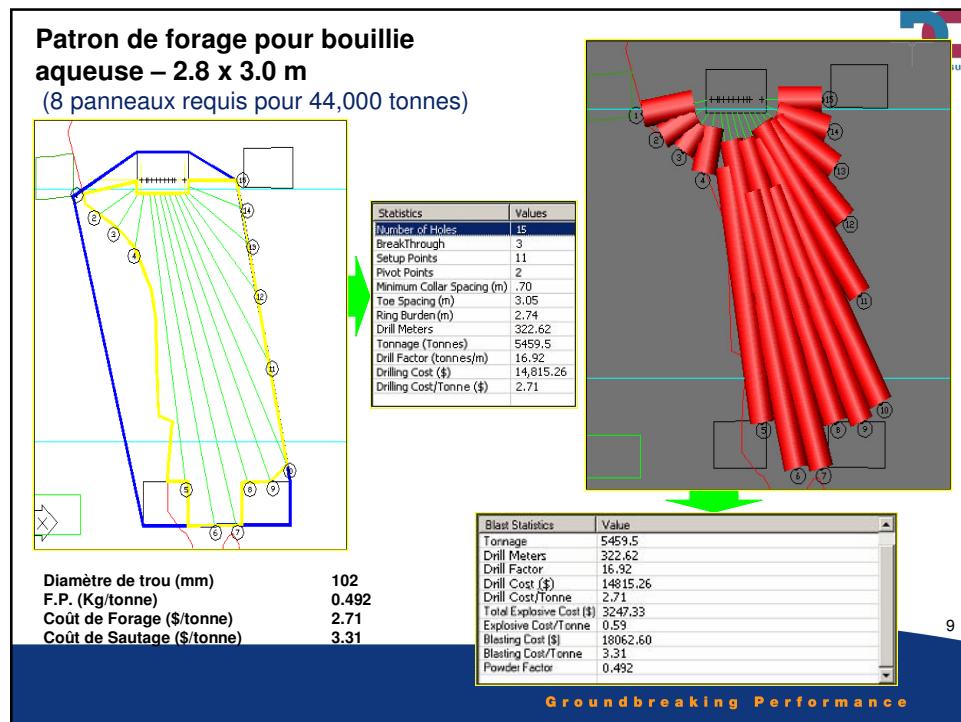
Paramètres	Émulsion	ANFO	Économies* **
Tonnage totale (tonnes)	43,676	43,605	
Coûts de Forage (\$)	\$118,522	\$171,837	\$53,315
Coûts d'Explosifs (\$)	\$23,617	\$11,403	(\$12,214)
Coûts Totaux (\$)	\$142,139	\$183,240	\$41,101
Coût/tonne (\$/tonne)	\$3.25	\$4.20	\$0.95 22.5%

*Economies totales calculées pour un chantier de 22 m de longueur (44,000tonnes)
** N'inclut pas les économies reliés au cycle de temps,
l'approvisionnement et la main d'œuvre

8

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance



Économies de Coûts en utilisant l'explosif de type bouillie aqueuse – 2.8 x 3.0 m

Paramètres	Bouillie Aqueuse	ANFO	Économies* **
Tonnage total (tonnes)	43,676	43,605	
Coûts de Forage (\$)	\$118,552	\$171,837	\$53,315
Coûts d'Explosifs (\$)	\$25,979	\$11,403	(\$14,576)
Coûts Totaux (\$)	\$144,531	\$183,240	\$38,709
Coût/tonne (\$/tonnes)	\$3.31	\$4.20	\$0.89 21.2%

* Économies totales sont calculées selon un chantier de 22m de long (44,000 tonnes)
** N'inclut pas les économies reliés au cycle de temps, l'approvisionnement et la main d'œuvre

10

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Tableau sommaire – Tous les produits explosifs



Paramètres	ANFO	Émulsion	Bouillie Aqueuse
Tonnage total (tonnes)	43,605	43,676	43,676
Coûts de Forage (\$)	\$171,837	\$118,522	\$118,552
Coûts d'Explosifs (\$)	\$11,403	\$23,617	\$25,979
Coûts Totaux (\$)	\$183,240	\$142,139	\$144,531
Coûts/tonne (\$/tonne)	\$4.20 Base de comparaison	\$3.25 \$- 0.95 22.5% d'économies	\$3.31 \$0.89 21.2% d'économies

11

DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

Exemple réel pour un chantier de production avec détonateurs électroniques & émulsion en vrac
DYNO® RU-SX
Investigation des résultats du sautage de masse final

Revue du design du tir à l'aide

- Simulations & détermination des rayons de bris
- Représentation graphique de la distribution réelle des charges explosives en 3D



DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

Objectifs du Projet



Objectifs pour l'opérateur minier:

- Améliorer le taux de récupération, particulièrement lors d'activités de recouvrement des piliers en chantier nécessitant le chargement de trous verticaux, là où historiquement les chargements à l'Anfo pneumatique ont généré des résultats plutôt marginaux.
- Réduction des coûts d'extraction par tonne métrique
 - Main-d'œuvre et temps de chargement
 - Bris hors-profil, % de dilution (réf.: CMS).
 - Opérations de re-conditionnement des chantiers (boulonnage, réparation du grillage, bétonnage etc.).
 - Niveaux de vibrations induites mesurés aux piliers avoisinants au chantier.

13

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Objectifs du Projet



Objectifs pour l'opérateur minier:

- Mise en place d'un programme de formation permettant aux employés impliqués dans le chargement des tirs de production d'être adéquatement entraînés aux techniques et procédures de chargement avec les systèmes de livraison en vrac.
- Identifier les différents secteurs du programme actuel de forage & sautage où des améliorations sont requises dans le cadre de travaux futurs avec des produits de type émulsion en vrac.

14

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Objectifs du Projet



Objectifs pour Dyno Nobel:

- Valider l'utilisation d'une unité modulaire pour chargement de trous ascendants en fond de trou (toe loading) avec une émulsion en vrac de type RU-SX, afin d'améliorer la constance des chargements d'explosifs dans les divers chantiers présentant des contraintes majeures (accès limité, conditions géologiques et géométries plus complexes).
 - Valider l'utilisation du produit DYNO RU-SX lors de chargement de trous ascendants de 75mm de diamètre.
 - Vérifier la consistance du produit émulsion en vrac (densité, viscosité, adhérence aux parois lorsque raffinée mécaniquement) lors de chargement ascendants
 - Définir la viscosité optimale d'une émulsion en vrac qui permettrait une logistique de fourniture et d'entreposage au site d'un seul et unique produit, lequel serait applicable selon plusieurs types de chargement (développement horizontal de 48mm, chantiers de production de 75mm).

15

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Objectifs du Projet



Objectifs pour Dyno Nobel:

- Organiser un programme de formation sur le site, ou à l'extérieur, lequel permettra au personnel de la mine de se familiariser avec le fonctionnement des systèmes de chargement d'émulsion en vrac.
- Prise de mesures en chantier (détails du chargement effectué, densité, hauteur des collets, déviation des trous de forage, amplitude des vibrations induites aux piliers, fragmentation) qui permettront par la suite d'identifier quels seront les ajustements devant être appliqués au design des tirs afin d'en optimiser les taux de récupération.
- Structurer le programme de gestion actuel d'ingénierie des tirs de production à la mine.

16

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Revue des designs actuels de tirs en chantier



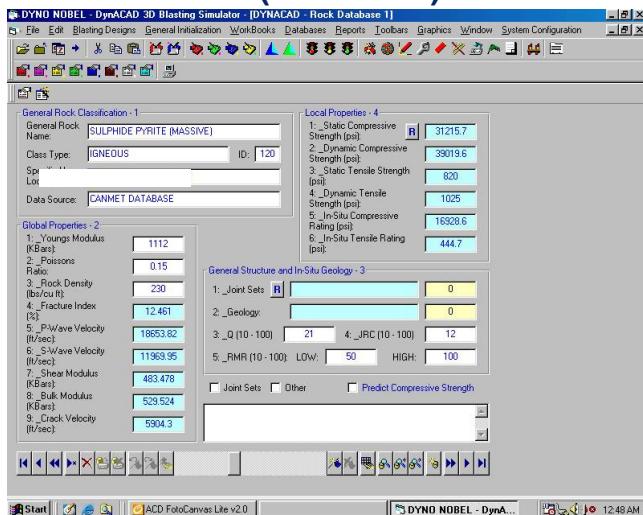
- Effectuer des simulations visant à déterminer les altérations requises aux paramètres actuels de forage, fardeau et espacement, de façon à les adapter au mode de chargement avec émulsion en vrac.
- Utilisation du logiciel Breaker de DynACAD pour déterminer les rayons de bris effectifs associés aux différents types d'explosifs considérés.
- Utiliser les fonctions du logiciel iRing pour générer des représentations graphiques en 3D nous permettant de visualiser, analyser, corriger les hauteurs de charge et distributions d'énergie explosive dans l'espace, maintenant que les trajectoires réelles en 3D des trous de forage sont connues.

17

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Obtention des propriétés géomécaniques des zones minéralisées (CANMET)



18

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Calibration du simulateur de tir

- Nous avons d'abord étudié les paramètres de forage et sautage associés au mode chargement avec Anfo, i.e un patron de 2.0m x 2.5m, afin de calibrer les autres paramètres du logiciel pour ensuite les appliquer aux autres propositions de chargement étudiées.
- Le % d'intersection (overlap ratio) des rayons de bris générés par les charges d'Anfo fut ajusté à un facteur de 10% nous permettant d'obtenir un design comportant un patron similaire de 2.0m x 2,5m.

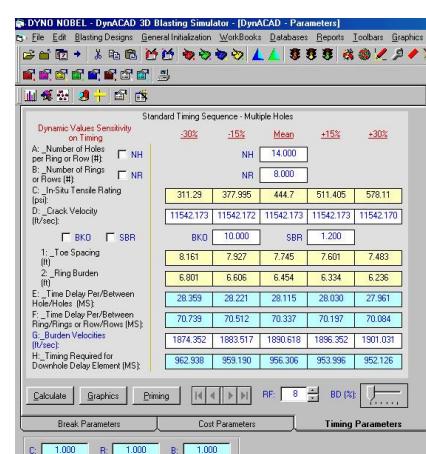
19

DYNO
Dyne Nobel

Groundbreaking Performance

Simulateur de tir: Calcul du bris des charges d'Anfo

- Bris théorique d'une charge d'Anfo est de 7.5ft/2.29m.
- Utilisation de 14 trous par section et 8 rangées par chantier.
- Le rayon de bris sera de 3.75ft/1.14m par charge, quand les charges d'Anfo sont chargées à des densités de 0.95gr/cc et détonant à 4268m/sec (14,000 pi./sec).
- Les charges d'Anfo versées librement dans les trous descendants à une densité de 0.85 gr/cc vont générer un rayon de bris réduit à 3.2ft/0.98m, la densité plus basse réduisant leur VOD substantiellement.
- Un délai entre les rangées de 70ms est envisageable.



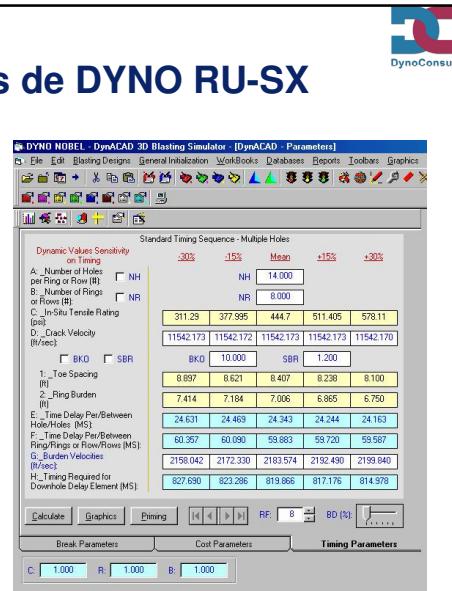
20

DYNO
Dyne Nobel

Groundbreaking Performance

Simulateur de tir: Calcul du bris des charges de DYNO RU-SX

- Utilisation de 14 trous par section et 8 rangées par chantier.
- Bris théorique d'une charge de RU-SX est 8.34ft/2.54m (11%↑)
- Le rayon de bris sera de 4.17ft/1.27m par charge, quand le produit RU-SX détonne à 5183m/sec (17,000 pi./sec).
- Si l'ouverture disponible le permet, le délai entre les rangées pourrait être plus rapide, le mouvement des fardeaux étant plus rapide en raison du gain énergétique obtenu.
- Le délai entre les trous d'une même section pourrait être de 25ms, ou moins, spécialement si des délais électroniques sont employés.



21

DYNO
Dyne Nobel

Groundbreaking Performance

Fonctions actuellement disponibles avec le logiciel de design des sections de forage iRing

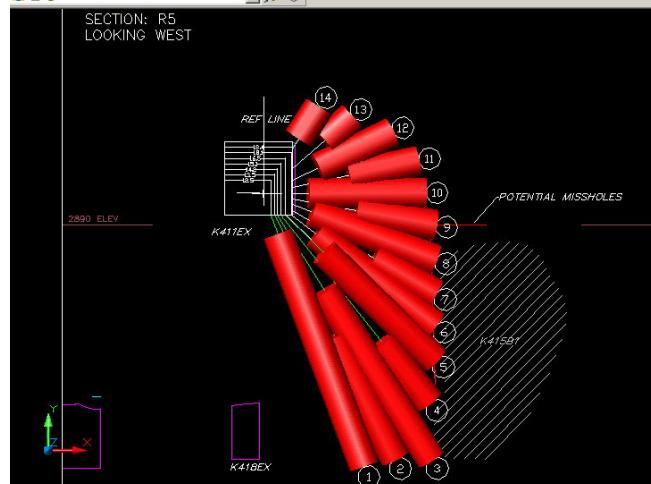
- Vaste gamme d'analyse de méthodes de planification de forage en éventail complexe.
- Méthode rudimentaire d'analyse statistique.
- Prédiction de fragmentation (modèle Kuz-Ram modifié 3D)
- Évaluation rapide et comparaison de coûts pour plusieurs scénarios de forage et chargement d'explosifs.
- Accès à des outils de surveillance (avertissements) liés aux limites de vibration permises selon les paramètres (K , B) applicables aux régressions appliquées.
- Capacité de traitement (chargement avec explosifs) des trajectoires exactes des trous de forage en 3D obtenues par arpenteage en chantier, de façon à mieux visualiser la situation à laquelle nous sommes vraiment confrontés.

22

DYNO
Dyne Nobel

Groundbreaking Performance

Section 5: bris planifié du DYNO RU-SX selon un scénario de chargement optimal planifié



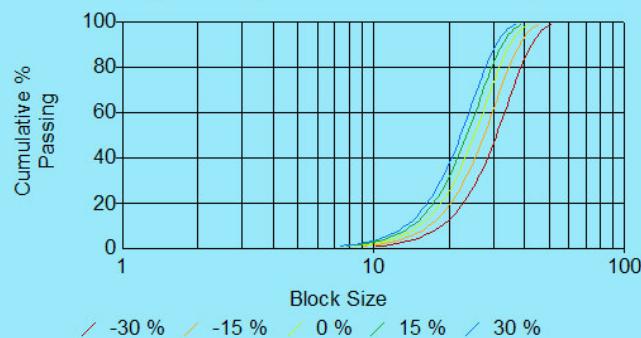
23

DYNO
Dyno Nobel
Groundbreaking Performance

Section 5: Prédiction de Fragmentation avec RU-SX en conditions optimales ($d_{80}=31''$)



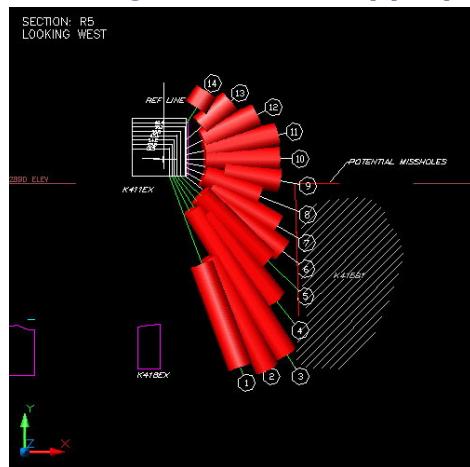
iRing Fragmentation Report



24

DYNO
Dyno Nobel
Groundbreaking Performance

Section 5: rayon de bris avec RUSX, tel que chargée en réalité (profondeurs réelles des trous, hauteurs des charges & collets appliquées).



25

DYN
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Section 5: rapport du chargement effectué



iRing Loading Report

Mine:	Mine A	Stope:	Drill R5	Date:	June 7, 2006
Level:	3560 Level	Ring Number:	R5	Blast Number:	Blast_Stope1
				Planner:	chris.preston
Explosive 1:	Large Diameter Emulsion (3 in) - DBID[63]	Cord:			
Explosive 2:		Primer:	Primer (1 lbs) - DBID[5]		
Detonator:	Detonator MS (30 ft) - DBID[7]	Stemming:	Slag		

Hole	Last Length	BT	Decks	Deck	Plug At	Explosive Type	From	To	Explosive	Detonator At	Delay	Comments
1	72.58	No	1	1	69.86	1	69.86	32.14	144.49 lbs	66.86	25/1	
1	72.58	No	1	1	69.86	1	69.86	32.14	144.49 lbs	36.86	25/1	
2	74.42	No	1	1	74.42	1	74.42	30.83	169.61 lbs	71.42	50/2	
2	74.42	No	1	1	74.42	1	74.42	30.83	169.61 lbs	41.42	50/2	
3	79.03	No	1	1	72.82	1	72.82	13.12	228.65 lbs	69.82	75/3	
3	79.03	No	1	1	72.82	1	72.82	13.12	228.65 lbs	39.82	75/3	
4	65.75	No	1	1	55.10	1	55.10	16.40	148.24 lbs	52.10	100/4	
4	65.75	No	1	1	55.10	1	55.10	16.40	148.24 lbs	22.10	100/4	
5	57.65	No	1	1	41.98	1	41.98	9.84	123.12 lbs	38.98	125/5	
6	49.40	No	1	1	41.98	1	41.98	10.50	120.59 lbs	38.98	150/6	
7	45.09	No	1	1	36.08	1	36.08	9.84	100.50 lbs	33.08	175/7	
8	41.79	No	1	1	26.90	1	26.90	6.56	77.89 lbs	23.90	200/8	
9	39.71	No	1	1	32.80	1	32.80	13.12	75.38 lbs	29.80	225/9	

Page: 1 of 2

Stroma Engineering

26

DYN
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Section 5: rapport du chargement effectué



iRing Loading Report

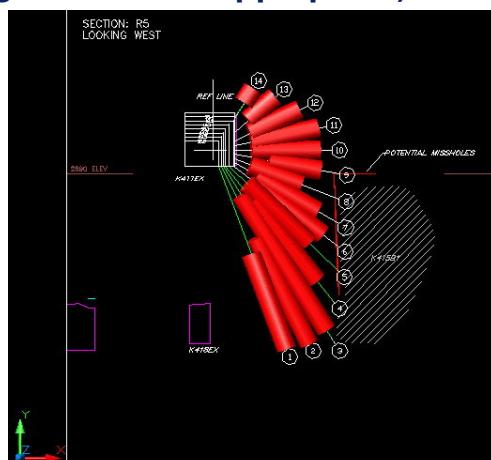
Mine:	Mine A	Stop:	Drill R5	Date:	June 7, 2006							
Level:	3560 Level	Ring Number:	R5	Blast Number:	Blast_Slope1							
Explosive 1:	Large Diameter Emulsion (3 in) - DBID[63]				Cord:							
Explosive 2:					Primer:							
Detonator:	Detonator MS (30 ft) - DBID[7]				Stemming:							
Hole	Last Length	BT	Decks	Deck	Plug At	Explosive Type	From	To	Explosive	Detonator At	Delay	Comments
10	36.36	No	1	1	32.14	1	32.14	6.56	97.99 lbs	29.14	250/10	
11	35.06	No	1	1	32.14	1	32.14	6.56	97.99 lbs	29.14	275/11	
12	30.23	No	1	1	26.90	1	26.90	6.56	77.89 lbs	23.90	300/12	
13	21.49	No	1	1	20.01	1	20.01	6.89	50.24 lbs	17.01	325/13	
14	13.39	No	1	1	13.12	1	13.12	6.56	25.13 lbs	10.12	350/14	

27

DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

Section 5: rayon de bris avec Anfo tel que chargé (profondeurs réelles des trous, hauteurs des charges & collets appliquées).

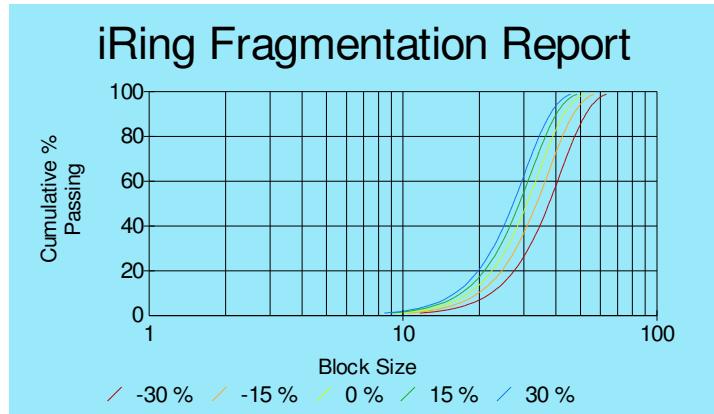


DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

28

Section 5: Prédiction de Fragmentation avec Anfo tel que chargé ($d_{80}=39''$)



29

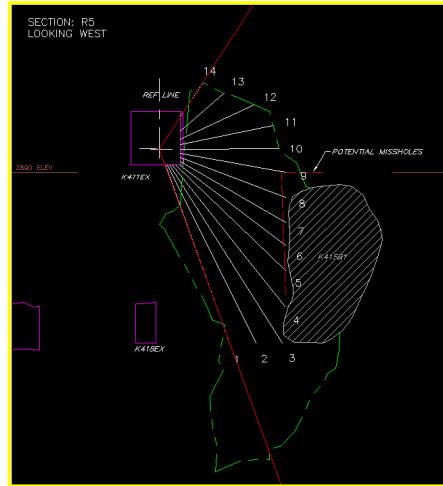
DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

Section 5: Analyse des positions réelles des trous de production vs celles planifiées



- Positions des trous prévue par le planificateur minier (en blanc).
- Représentent le cas idéal de forage pour cette section.
- La situation réelle mesurée est toutefois bien différente.....

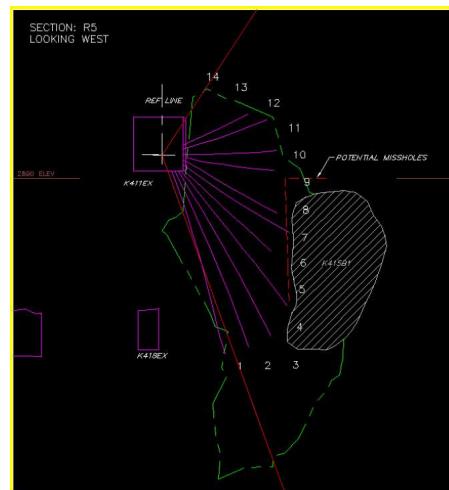
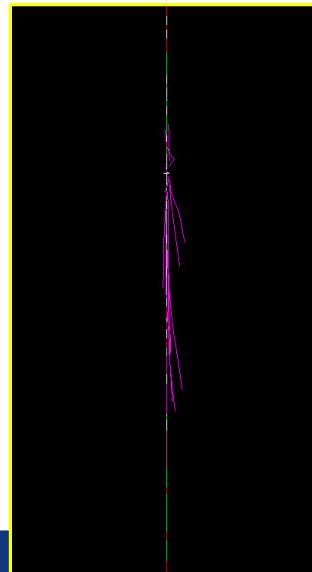


30

DYNO
Dyno Nobel

G r o u n d b r e a k i n g P e r f o r m a n c e

Section 5: Analyse des positions réelles des trous de production vs celles planifiées



31

DYNO
Dyno Nobel

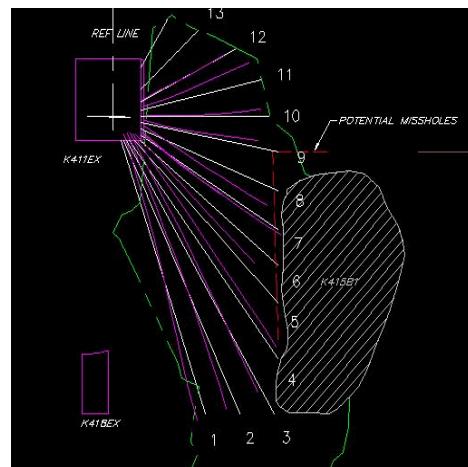
Groundbreaking Performance

Section 5: Analyse des positions réelles des trous de production vs celles planifiées



- Tous les trous furent arpentés afin de représenter leur position réelle en 3D.
- La figure nous démontre des anomalies importantes, lesquelles vont affecter la qualité de la distribution des énergies explosives employées.

Planifiée
Réelle

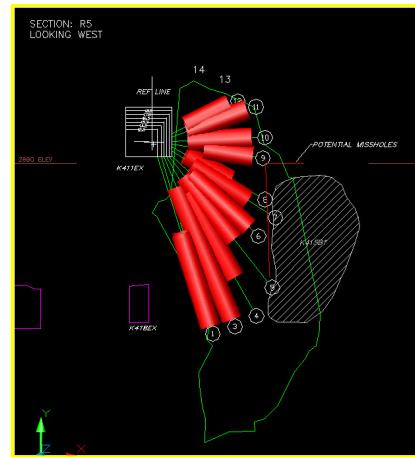
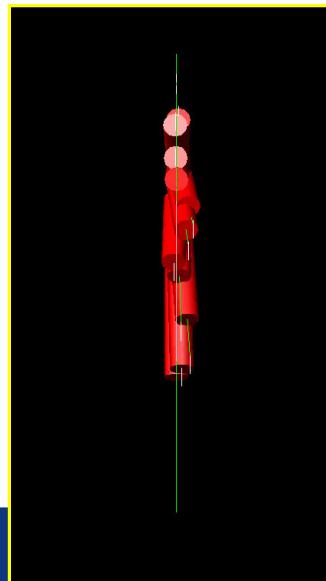


32

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Distribution des rayons de bris associées aux positions réelles des charges de RU-SX



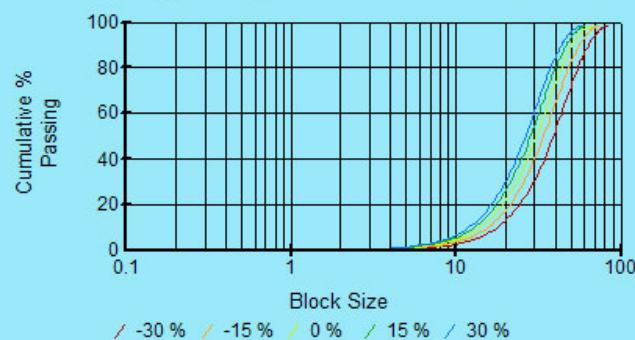
DYNO
Dyno Nobel
Groundbreaking Performance

33

Section 5: Prediction de Fragmentation selon la distribution réelle des charges de RUSX, tel que chargé ($d_{80}=45''$)



iRing Fragmentation Report



DYNO
Dyno Nobel
Groundbreaking Performance

34

Conclusion:

- Les représentations graphiques nous montrent que les trous ne sont tous vraiment bien alignés sur la section, ayant pour effet d'affecter le fardeau effectif.
- De plus, leur espace ment est inégal ce qui aura pour effet de mener à des problèmes importants de fragmentation.
- Tous les trous devraient être arpentés de façon à constater ces déviations, quantifier leurs effets et intervenir pour les corriger.
- Il n'existe malheureusement pas de substitut miracle à un forage de qualité et par le fait même, une distribution optimale des charges et énergies explosives utilisées.
- On obtient malheureusement pas de deuxième chance lorsque l'on effectue un tir de masse dans un chantier de production.
- Dans de tel cas, on générera des excès de particules fines et de grandes quantités de blocs sur-dimensionnés.
- Des situations non-sécuritaires peuvent aussi être engendrées: des résidus de charges émulsions explosives et amores non-détonées risquent de se retrouver au travers des piles de minerai abattu.



35

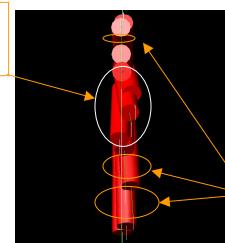
DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

Conclusion:

- Les prédictions de fragmentation nous indiquent des % très élevés de particules très fines.
- Historiquement, avec de telles conditions de forage, les charges explosives risquent de se désensibiliser, étant trop rapprochées les unes des autres, ce qui pourrait générer des ratés.
- Les secteurs **non-couverts** produiront des pertes de minerai, celui-ci ne pouvant être récupéré.
- Des correctifs auraient du être apportés au forage avant le chargement des explosifs.
- D'où l'importance de procéder à ces vérifications avant de procéder au chargement...on a qu'une seule chance de réussir....

Zone potentielle de désensibilisation des charges, ratés...



Réserves non-récupérées

