

Évaluation de l'impact du dynamitage avec initiation électronique sur les opérations d'une carrière

1^{ère} Partie – Le dynamitage



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

28^e Session d'étude sur les techniques de sautage
Université Laval
3 Novembre 2005

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

PARTENAIRES DU PROJET

- **Municipal Contracting Limited- Rocky Lake Quarry**  **Municipal Group of Companies**

- **Dyno Nobel Canada Inc. (Blasting services)**



- **DynoConsult (Project management)**



- **CANMET (Ground Control, Mineralogy and Metallurgic processing)**



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Canada

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

OBJECTIFS DU PROJET

- Démontrer la valeur ajoutée associée à l'utilisation des détonateurs électroniques.
- Évaluer l'impact de la précision des détonateurs sur le processus de bris du roc en terme d'économie d'énergie.
- Identifier et valider une méthodologie afin d'évaluer l'efficacité du processus, incluant une qualité d'évaluation de la fragmentation en utilisant une mesure numérique, soit le Reflex et le Momentum de Wipware.
- Évaluer le potentiel de développement du modèle basé sur un processus d'optimisation de la méthodologie intégrant le dynamitage et le concassage.

3

OBJECTIFS DU PROJET

- **Démontrer au cours d'une saison d'opération que l'utilisation de détonateurs électroniques peut mener à:**
 - La réduction du niveau de nuisance environnementale par un meilleur contrôle de la surpression d'air.
 - Une plus grande flexibilité sur les designs de dynamitage et sur la séquence de tir, menant à des dynamitages plus volumineux et ainsi réduire le nombre de dynamitages dans une saison.
 - Une augmentation du tonnage à l'alimentation du concasseur primaire.
 - Une augmentation de l'efficacité du travail de l'excavatrice au niveau du pied du dynamitage.

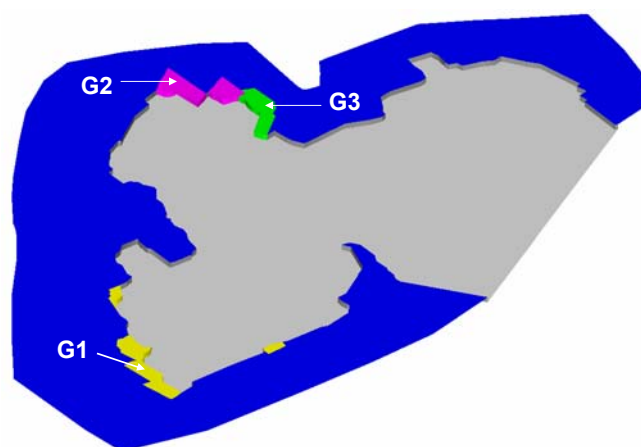
4

MÉTHODOLOGIE

- La production de la carrière est planifiée et distribuée sur trois géologie différentes nommées G1, G2 et G3, pour lesquelles les résultats des dynamitages conventionnels et électroniques sont comparés.
- Deux tirs de chaque secteur géologique sont effectués avec chacun des systèmes d'initiation.
- Détermination d'une solution optimisée de la séquence de tir qui pourrait être applicable à toutes les zones si possible, ou à une zone individuelle.
- Une fois la solution définie, valider et tester la séquence optimale de tir, avec les détonateurs Hotshot® et les détonateurs hybrides Digidet®.

5

REPRÉSENTATION DES ZONES GÉOLOGIQUES



6

MÉTHODOLOGIE - DYNAMITAGE

- Comparaison entre Hotshot[®] et Nonel[®] conventionnel pour chacune des géologies:
 - Aspects:
 - Temps de mise à feu
 - Vibrations et surpression d'air
 - La pile et le déblaiement
 - Mesure de la fragmentation
 - La productivité

7

SYSTÈME HOTSHOT[®]

- Système câblé, auto-programmable
 - Les détonateurs sont programmés à distance, à partir du site d'où le sautage est initié.
 - Établie des délais fixes entre les trous, comme avec le système EZDet, ainsi que des délais variables entre les rangées au besoin.
 - Permet donc à l'utilisateur moins sophistiqué de bénéficier des avantages de sa précision et de sa flexibilité afin de résoudre divers problèmes de design des tirs, ou environnementaux (vibration, surpression, dilution etc).

8

SYSTÈME HOTSHOT

TAGGER



- **Test, identifie, diagnostique les anomalies**
- **Design:**
 - Délai entre les charges étagées,
 - Délai entre les trous
 - Délais entre les rangées
 - V-Cut, Échelon
 - Visionnement du schéma de raccordement à l'écran

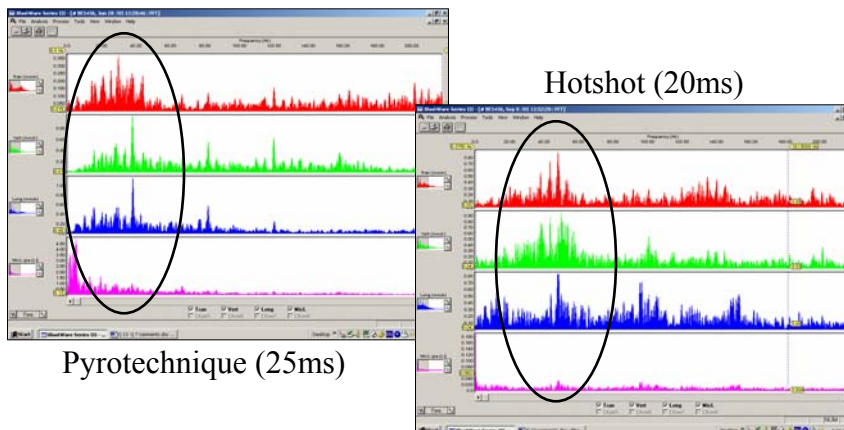
9

TEMPS DE MISE À FEU

- **Conventionnel:**
 - Délais de 25ms entre les trous et de 184ms entre les rangées
- **Hotshot:**
 - Délais de 25ms entre les trous d'une même rangée
 - Délais de 20ms entre les trous d'une même rangée
 - Délais de 17ms entre les trous d'une même rangée
 - Délais de 184ms entre les rangées

10

VIBRATIONS ET SURPRESSION D'AIR



11

OBSERVATIONS

- Transfert des basses fréquences vers les hautes fréquences de façon à éliminer les sources d'énergie nuisibles.
- Réduction de la surpression d'air mesurée dans les secteurs avoisinants. En ce sens, les plaintes des résidents ont presque totalement été éliminées.
- Meilleure interaction entre les trous permettant un meilleur mécanisme de bris du roc.

12

LA PILE ET LE BÉBLAIEMENT

■ Observations



- Différence dans l'angle de la face
- Fragmentation uniforme
- Plan de pelletage aéré
- Facile à déblayer
- Moins de pertes de temps pour les pelles
- Moins de temps d'attente pour les camions de production

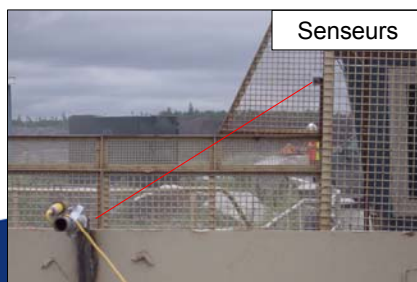
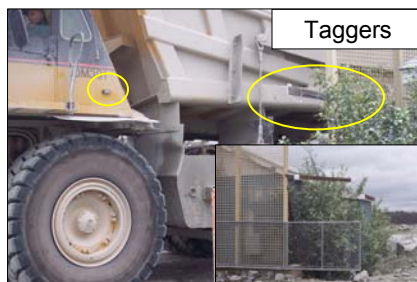
13

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

LA MESURE DE LA FRAGMENTATION

■ Système Reflex



14

LA MESURE DE LA FRAGMENTATION

■ Système Momentum



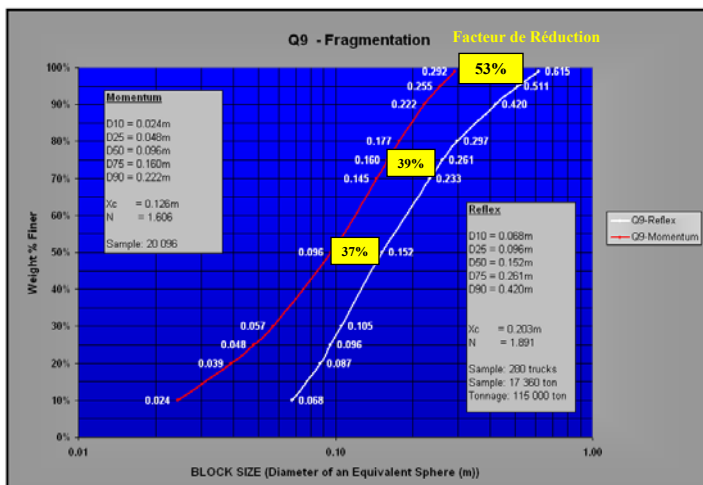
- Une image par seconde
- Enregistre seulement lorsqu'il y a du matériel sur le convoyeur
- Enregistre durant le jour seulement

15

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

RÉSULTATS DE LA FRAGMENTATION PAR DYNAMITAGE

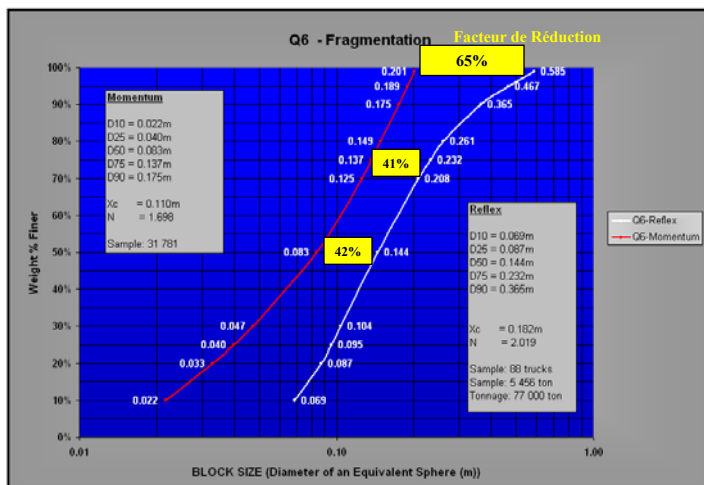


16

DYNO
Dyno Nobel

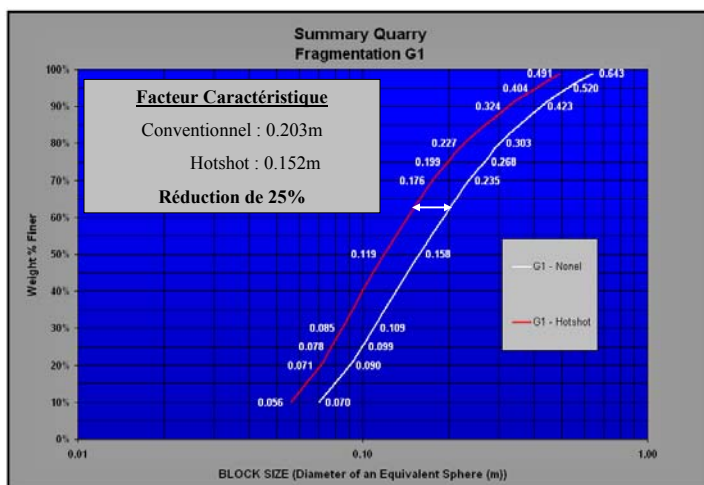
Groundbreaking Performance

RÉSULTATS DE LA FRAGMENTATION PAR DYNAMITAGE



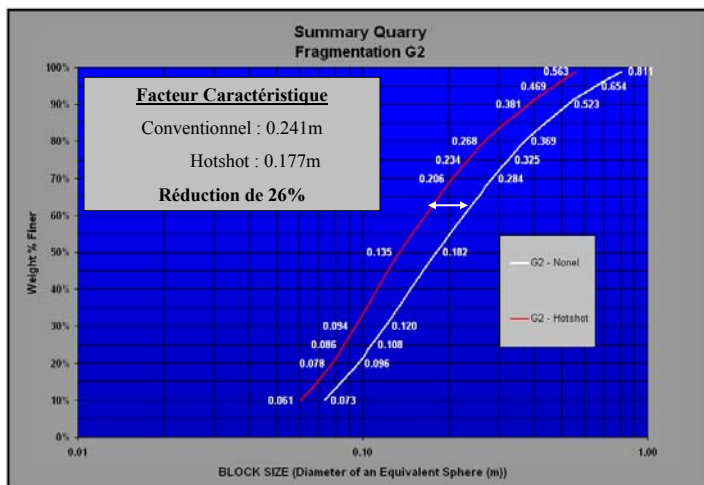
17

RÉSULTATS DE LA FRAGMENTATION PAR ZONE



18

RÉSULTATS DE LA FRAGMENTATION PAR ZONE

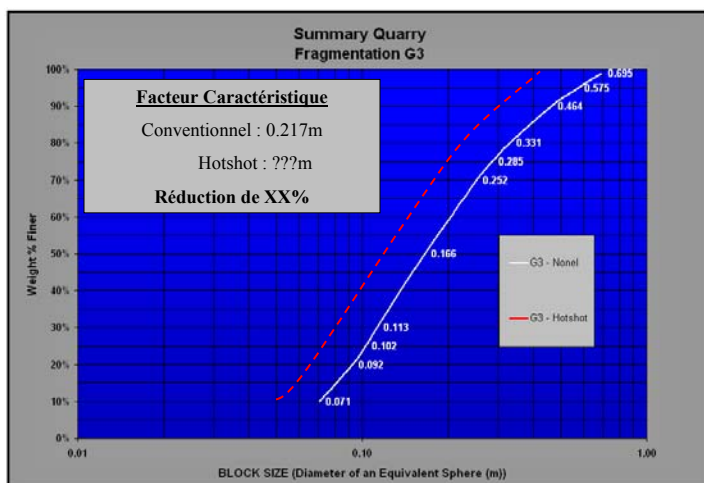


19

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

RÉSULTATS DE LA FRAGMENTATION PAR ZONE

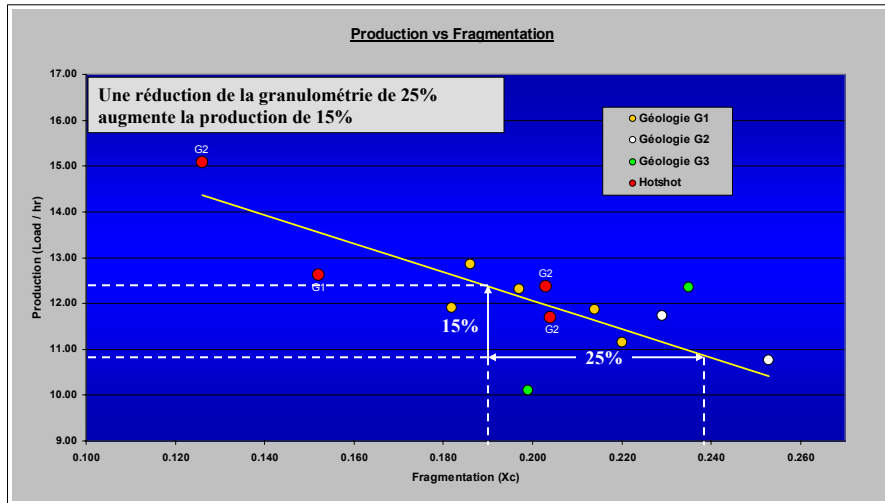


20

DYNO
Dyno Nobel

Groundbreaking Performance

PRODUCTIVITÉ



21

À VENIR...

- Compléter le processus d'Autorisation d'utilisation des produits Hotshot au Canada afin de le rendre disponible à tous.
- Exécution de 2 dynamitages électronique avec utilisation du système hybride Digidet[®] afin de valider sa capacité à reproduire les mêmes gains.
- Comptabilisation et analyse des dernières données afin de les intégrer au programme d'étude de CANMET et définir les gains énergétiques pour une opération de carrière.
- Entrevoir, prédire ceux qui seraient applicables pour une opération minière d'envergure, dans le cadre du programme de Changement Climatique (CCTII).

22



28^e Session d'étude sur les techniques de sautage

***Évaluation de l'impact du dynamitage
avec initiation électronique
sur les opérations d'une carrière
(2^{ième} partie – le circuit de concassage)***

Programmes de Minéralogie, Procédés Métallurgiques et Contrôle de Terrain
Laboratoires des Mines et des Sciences Minérales (CANMET, MTB, MMS), NRCan
Novembre, 2005



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Plan de la Présentation (2^{ième} partie)

- ☐ Introduction
- ☐ Problématique d'une optimisation intégrée des procédés de dynamitage, concassage et broyage
- ☐ Objectifs de la phase I
- ☐ Méthodologie
- ☐ Résultats préliminaires
- ☐ Conclusions



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Membres de l'équipe:

D. Roy, R. Beaudoin, G. Caron (Dyno Consult)

M. Bilodeau, M. Boisclair, A. Orumwense, T. Negeri (Minéralurgie)

J. M. Fecteau, D. Labrie, B. Conlon, T. Anderson (Contrôle de terrain)

R. Lastra, G. Poirier (Minéralogie)

R. Bouchard (Laboratoire de la technologie des métaux)

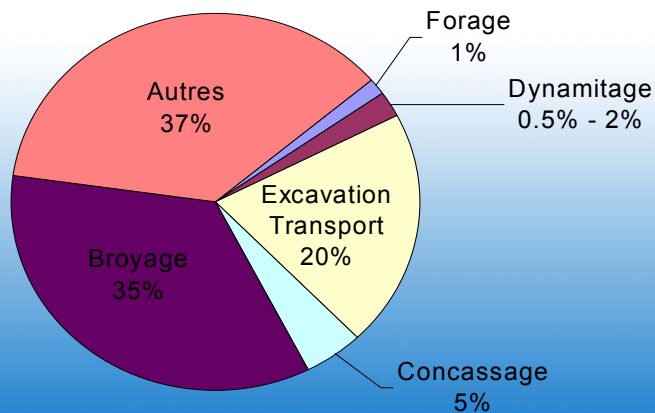


Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Consommation d'énergie dans une mine à ciel ouvert (MAC)



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Introduction

- ❑ Broyage consomme 83% de l'énergie de comminution
 - Fragments fins sont moins fissurés
 - Énergie utile à la fragmentation - 1%
- ❑ Stratégie – Redistribution de l'effort de comminution
 - Augmenter la fragmentation au dynamitage
 - Optimiser l'impact dans les circuit de concassage et de broyage
 - ❖ Macro et une microfissuration plus importantes
 - ❖ Distribution granulométrique plus fine et plus homogène
- ❑ Travaux de la phase 1
 - Mesurer et comprendre l'impact des détonateurs électroniques
 - ❖ Circuit de concassage d'une carrière
 - ❖ Circuit de broyage simulé en laboratoire



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Problématique

- ❑ Capteurs industriels
 - Coûteux (\$40k-\$70k , granulomètre optique)
 - Non disponible (Dureté, résistance à la fragmentation)
 - Calibrage déficient (Débitmètres – Précision de 5% à 20%)
- ❑ Échantillonnage coûteux et souvent peu représentatif
- ❑ Contraintes de production nuisent aux études comparatives en usine
- ❑ Essais de caractérisation
 - ✓ Peu représentatifs de la dynamique du procédé (30%)
 - ✓ Coûteux



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Objectifs

- ☐ Mesurer et mieux comprendre l'impact des détonateurs électroniques sur un circuit de comminution complet (broyage)
- ☐ Proposer et valider une méthodologie simplifiée et améliorée pour une évaluation et une optimisation intégrée des procédés de dynamitage, concassage et broyage
- ☐ Évaluer l'impact potentiel de cette technologie sur les réductions de gaz à effet de serre à la grandeur du pays dans le cadre du Plan d'action 2000 du gouvernement du Canada sur les changements climatiques



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Méthodologie: Caractérisation du matériel

- ☐ Validation de la qualité des échantillons (basée sur les granulométries)
- ☐ Évaluation de la résistance des blocs à la fracturation en fonction de:
 1. Provenance géologique (G1, G2, G3)
 2. Méthode de dynamitage
 3. Dimension des blocs
 4. Stress accumulé (dynamitage, concassage primaire etc.)
- ☐ Quatre méthodes de mesure seront comparées:
 1. Tension et compression
 2. Chute de poids instrumenté (Granulométrie-Énergie)
 3. Indice de concassage (Béton)
 4. Essais contrôlés de concassage et de broyage (Indice de Bond)
 - Impact du dynamitage sur un circuit de broyage



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Méthodologie: Caractérisation du matériel

❑ Progression des fractures après dynamitage, concassage et broyage

1. Microscopie optique et électronique
2. Méthode Brunauer Emmet Teller (BET – Absorption N₂)
3. Cat-Scan – Tomographie aux rayons X



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Méthodologie: Analyse des données industrielles

- ❑ Capteur industriel de résistance à la fragmentation (Indice de Bond)
- Indice de dureté qui définit l'énergie spécifique de fragmentation
 - Calculé à partir du débit, du rapport de réduction et de la consommation énergétique mesurés au concasseur primaire

$$W = \frac{10 * W_i}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{10 * W_i}{\sqrt{F_{80}}}$$

W_i = Indice de Bond (kwh/t)

W = Puissance (kwh/t)

F_{80} = D₈₀ à l'alimentation

P_{80} = D₈₀ au produit



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Méthodologie: Analyse des données industrielles

- ❑ Avantages de mesurer en ligne l'impact du dynamitage sur la dureté
 - ❖ Échantillon complet de tous les camions
 - ❖ Rapide et peu coûteux par rapport aux essais de laboratoire
 - ❖ Indice de dureté dans une boucle de contrôle par anticipation
- ❑ Analyse multivariable des séries temporelles (PCA & PLS)
 - Pattern - fracturation, temps de résidence, tonnage, énergie
- ❑ Évaluation de la précision des granulomètres optiques
- ❑ Modélisation du procédé (fonctions de broyage et de sélection)
 - Différencier les impacts au concassage et au broyage
 - ❖ Fissuration plus intense
 - ❖ Granulométrie plus fine et plus homogène



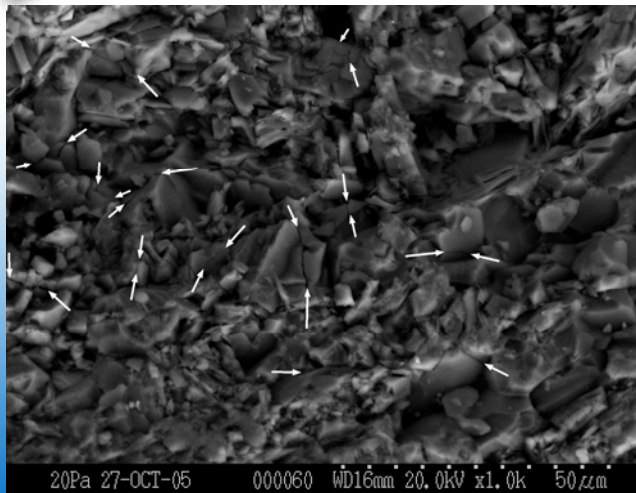
Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Mesure des microfractures (après dynamitage)

- Visibles (difficilement) sous microscope électronique



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Résultats préliminaires

❑ Les microfractures:

- Visibles (difficilement) sous microscope électronique
- Dimensions sont de l'ordre de 10 à 40 μm
- Intensité devrait théoriquement influencer l'efficacité au broyage
 - ❖ Vérifier si leur intensité et dimension sont augmentées au concassage
- Intensité n'a toujours pas été corrélée à la méthode de dynamitage
- Premiers résultats suggèrent qu'elles s'intensifient au dynamitage



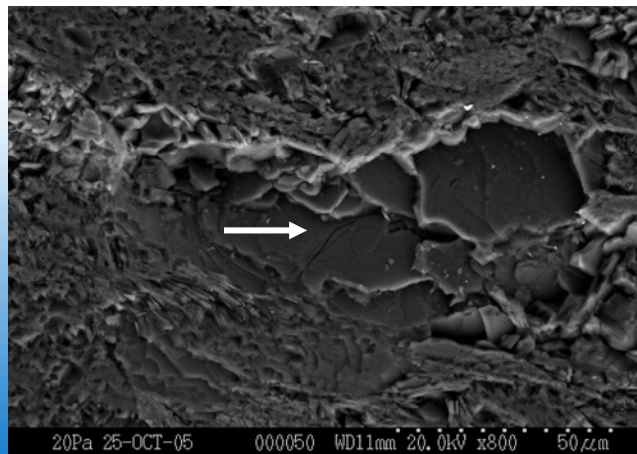
Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Mesure des microfractures (avant dynamitage)

- Nombre de microfractures semble moindre avant dynamitage



Natural Resources
Canada

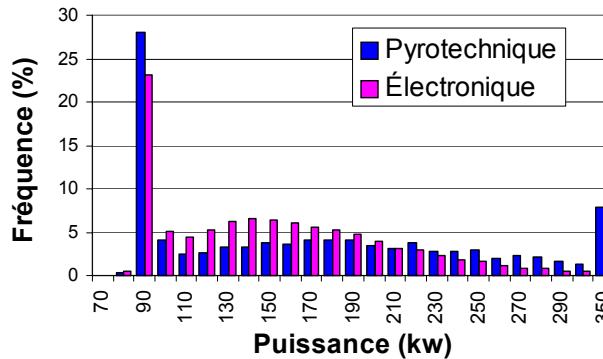
Ressources naturelles
Canada





Distribution de la consommation d'énergie au primaire dans G2 (dureté moyenne)

- Périodes de consommation élevée sont réduites
- Économie d'énergie potentielle de 15%
- Variations du rapport de réduction sont à vérifier



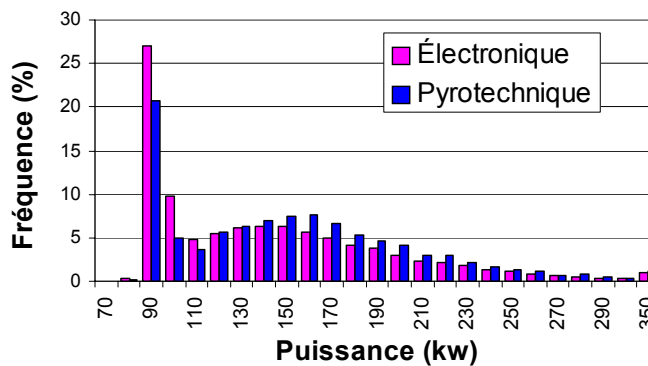
Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Distribution de la consommation d'énergie au primaire dans G1 (dureté minimum)

- Périodes de consommation élevée sont courtes dans les 2 cas
- Économie d'énergie réduite à 7%
- Période de fonctionnement à vide (90-100 kw) croît de 10%



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Résultats préliminaires (suite)

❑ Impact des détonateurs électroniques sur la consommation d'énergie

- Augmente proportionnellement à la dureté de la roche
- Génère des économies d'énergie (7%-15%) \geq à celles de G2 à G1
- Réduit les périodes de consommation élevée qui sont plus dommageables pour le concasseur

❑ Capteur industriel de résistance à la fragmentation

- Dynamitage influence significativement l'indice de dureté
- Rapport de réduction est mesurable au granulomètre optique



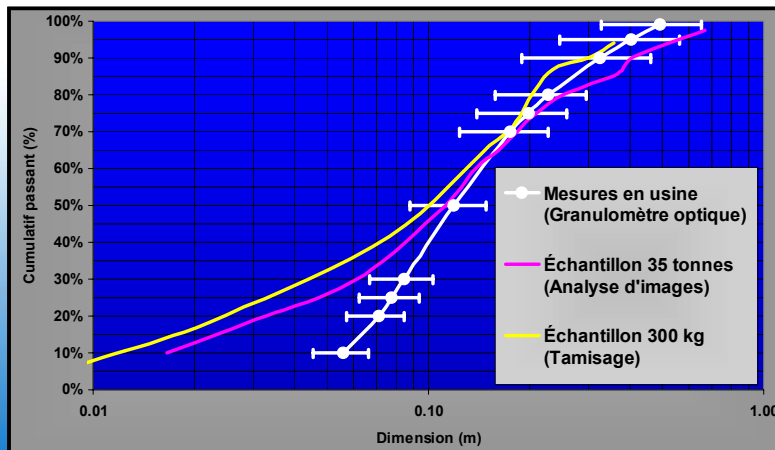
Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada



Comparaison des distributions granulométriques

- Mesures cohérentes dans les dimensions $> D_{50}$ (12 cm)
- Les échantillons de laboratoire sont représentatifs
- Méthode de correction de la mesure des fines



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada





Livrables

- ☐ Mesure de la relation ***Énergie appliquée et Fragmentation résultante***
 - Provenance des échantillons
 - Méthode de dynamitage utilisé
 - Stress accumulé dans l'échantillon dans le circuit de comminution
- ☐ Mesure de l'impact du dynamitage au concassage et au broyage en fonction de la dureté initiale de la roche
- ☐ Évaluation des 2 capteurs proposés pour mesurer en-ligne la granulométrie et la dureté de la roche après dynamitage



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

