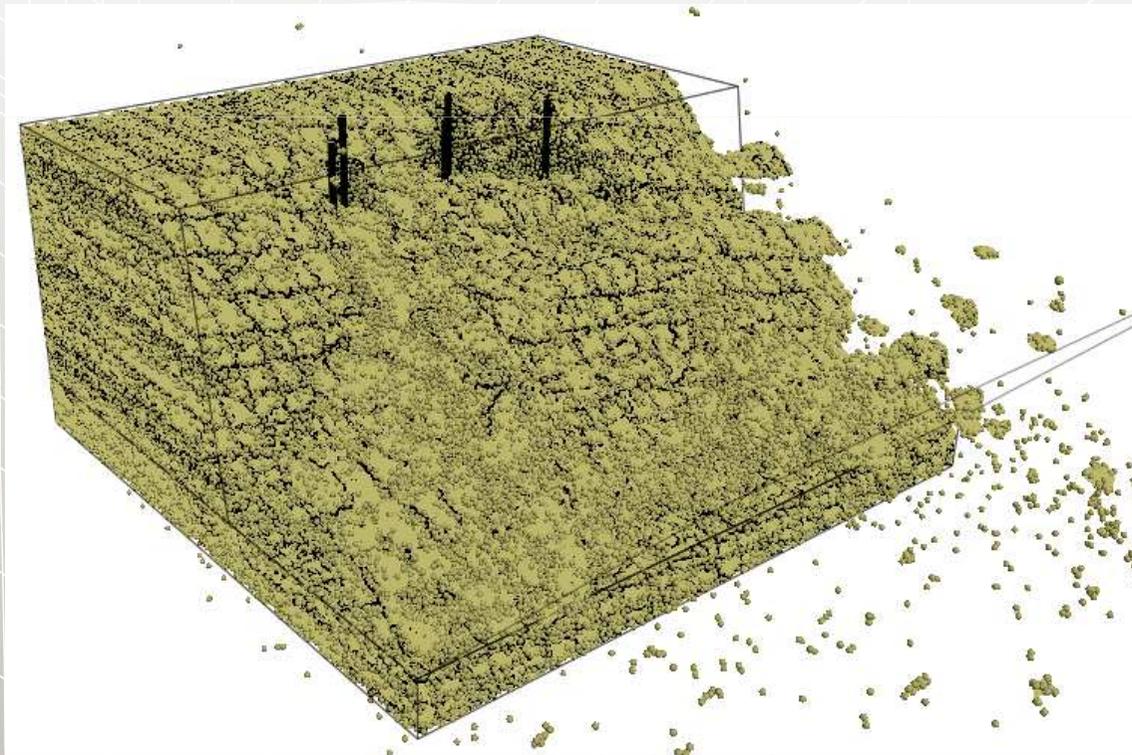




Simulation numérique hybride, continue/discontinue, de l'interaction entre explosif et massif fracturé



Daniel Billaux
Jason Furtney
Peter Cundall

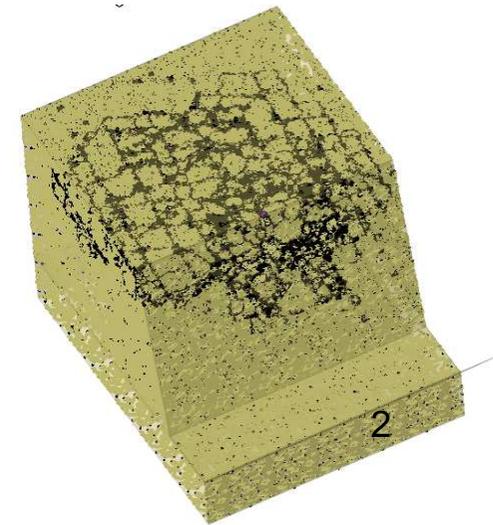
Le projet HSBM

(HSBM: Hybrid Stress Blast Model)

Projet de développement piloté depuis 2001 par un consortium de compagnies minières, de fournisseurs d'explosifs et de matériel

Construction d'un simulateur numérique du processus d'abattage à l'explosif: « Blo-up »

Version 2 en phase de validation



Les sponsors HSBM

de Beers,

Debswana Diamond Company,

Anglo American,

Codelco,

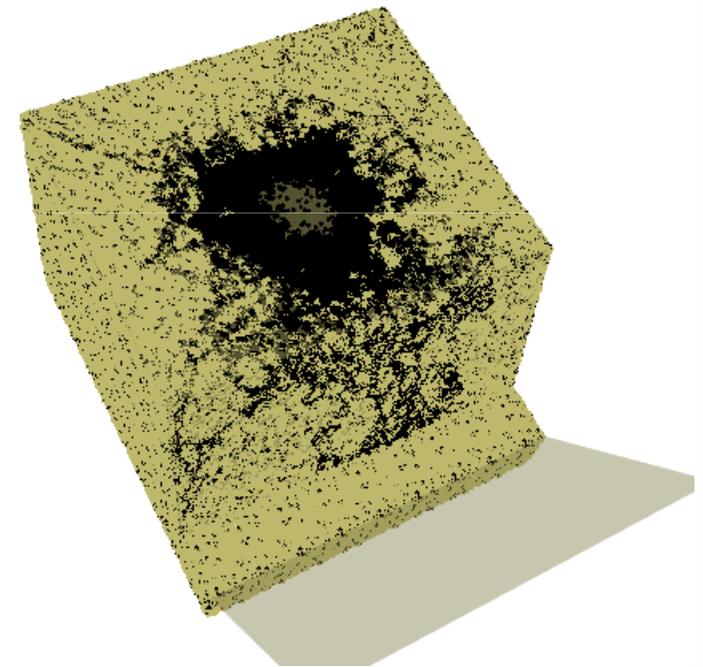
LKAB,

Sandvik Mining and Construction,

Dyno Nobel Asia Pacific,

Rio Tinto,

African Explosives Limited

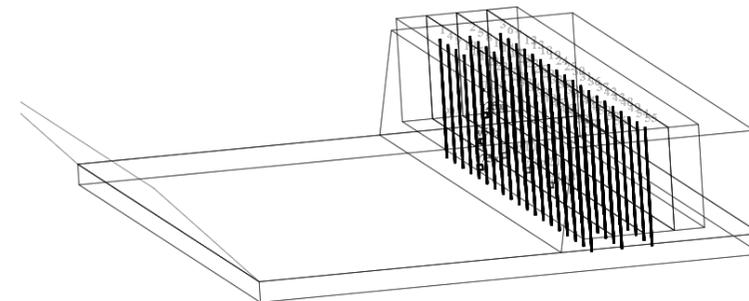
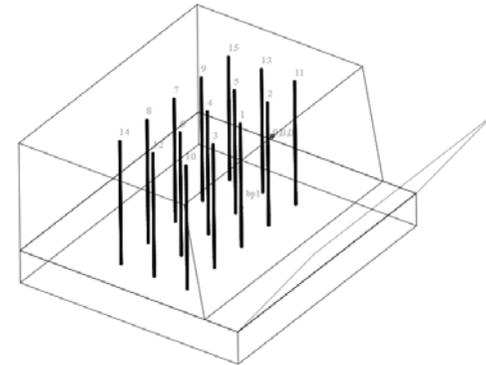


Projet réalisé en collaboration avec:

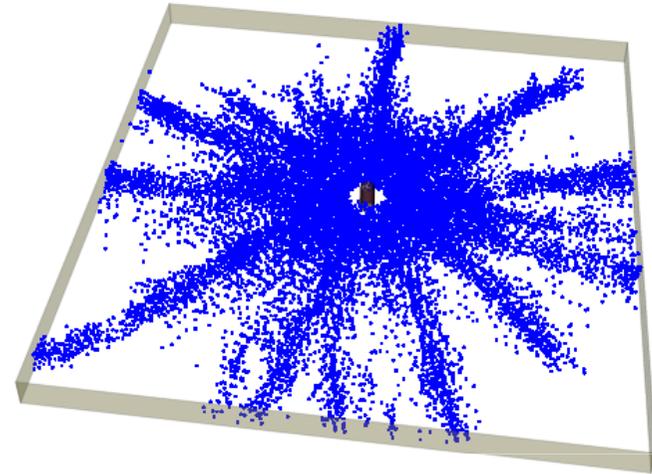
Imperial College, Londres

Université de Cambridge

Université du Queensland
(Australie)



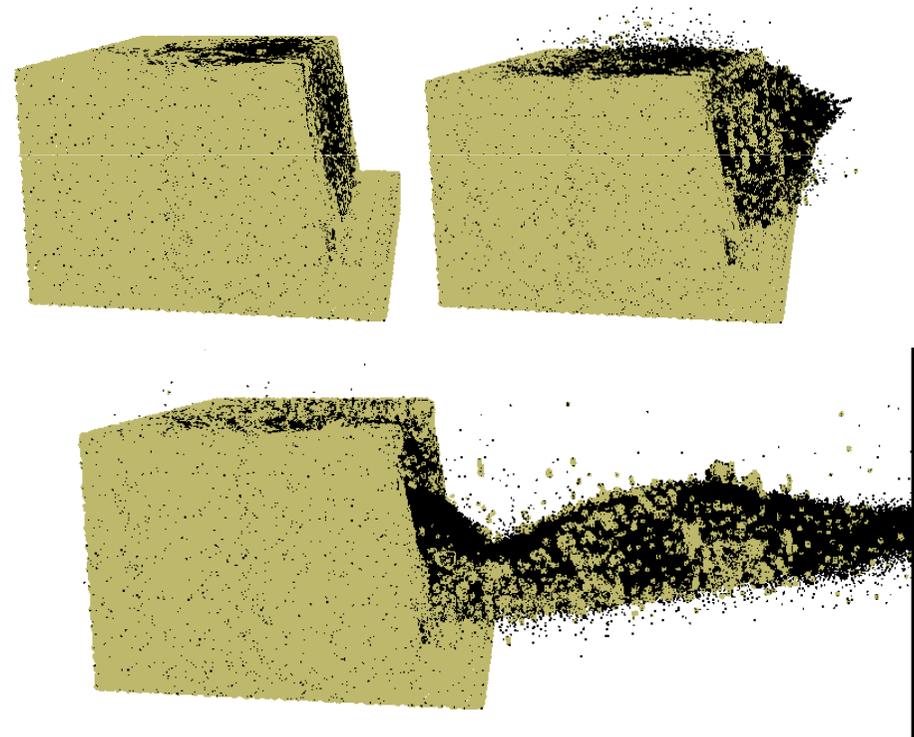
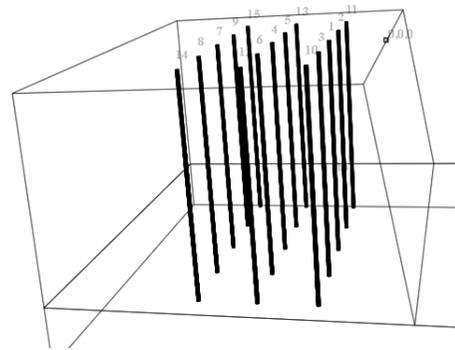
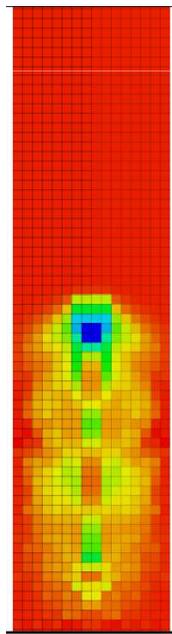
Blo-up



- Qu'est ce que Blo-up ?
- Quelles informations utilise-t-il ?
- Quels résultats produit-il ?
- Sur quelles bases / hypothèses est-il construit ?

Qu'est ce que Blo-up?

Blo-Up utilise une combinaison de techniques discrètes et continues pour simuler le tir : détonation, propagation dynamique, fragmentation, formation du marin.



De quelles informations part-on?

Explosif

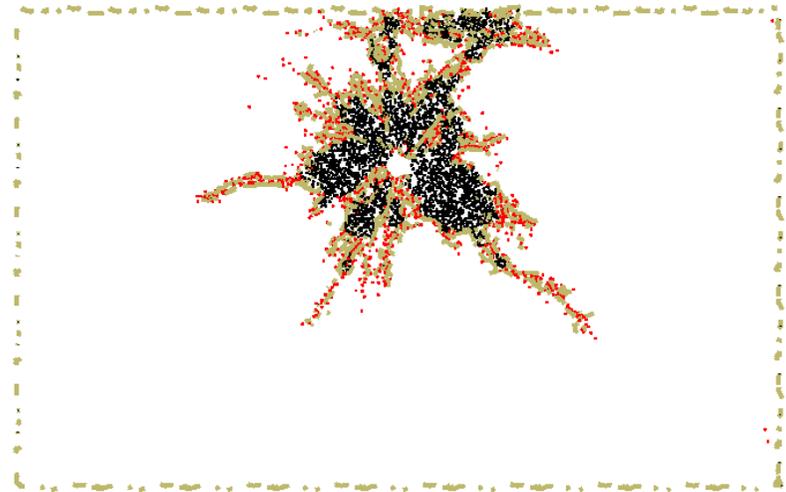
Diamètre de forage(s)

Position et séquence d'amorçage des détonateurs

Schéma de tir, géométrie de la roche

Champ de fracturation naturelle

Propriétés des joints



Quels résultats sont obtenus ?

Fracturation induite,

Endommagement,

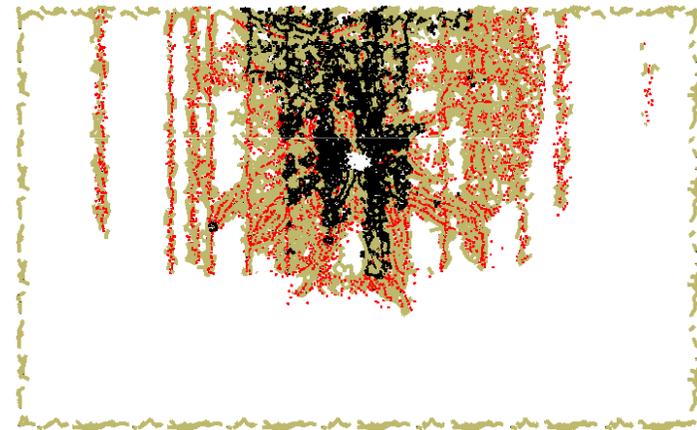
Pression dans le(s) forage(s),

Distribution des tailles de blocks,

Vitesses (vibrations, et projections),

Position des matériaux abattus,

Contraintes et déformations,



En fonction du temps, dans l'espace

Bases du développement

Représentation des sondages

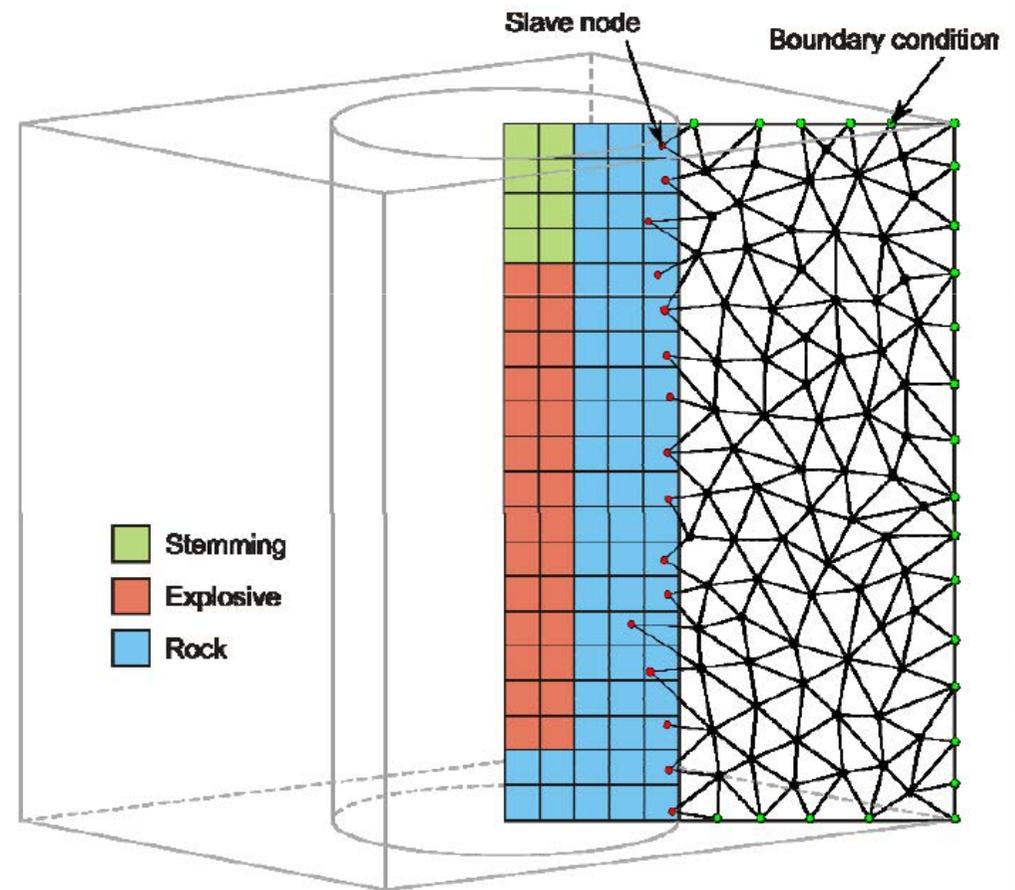
Modèle d'explosif

Représentation de la masse
rocheuse

Conditions aux limites

Propriétés de la roche

Modèle d'écoulement des
gaz

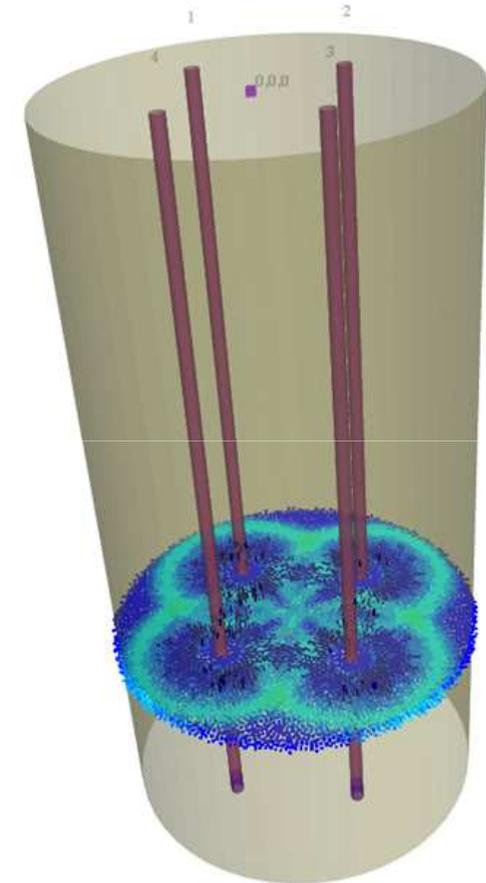


Le sondage et le champ proche

Milieu continu axisymétrique:

- Bonne représentation de la rupture en compression
- Obtention de la pression d'équilibre (entre gaz explosifs et roche)

La zone continue fait 2,5 fois le rayon du forage.

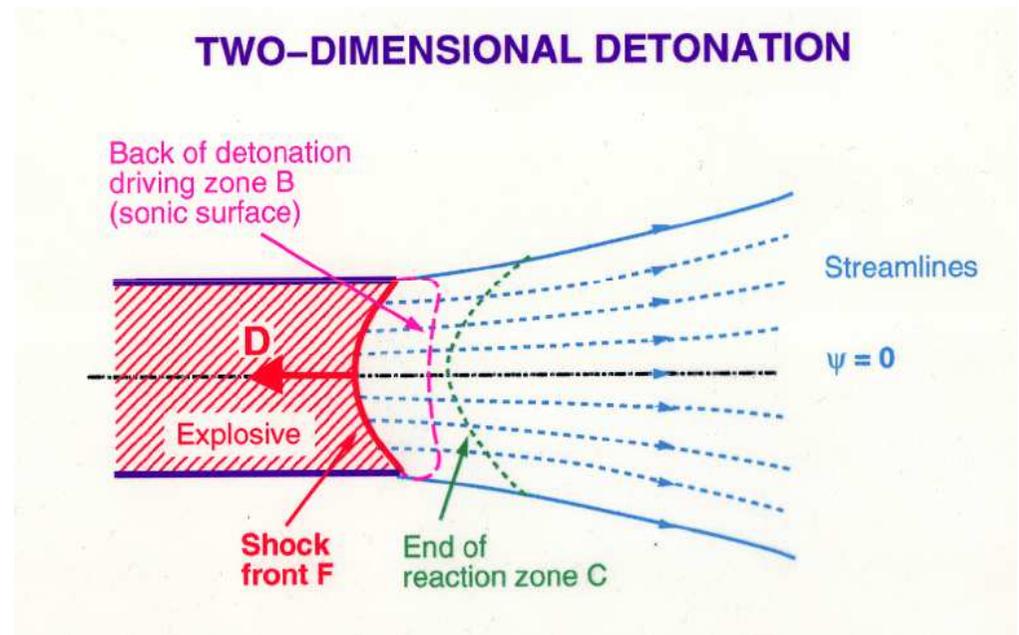


L'explosif: simulé un code séparé, *Vixen*

- Mélanges hétérogènes
- La vitesse de détonation dépend du confinement et du diamètre
- Réaction incomplète
- Front courbe

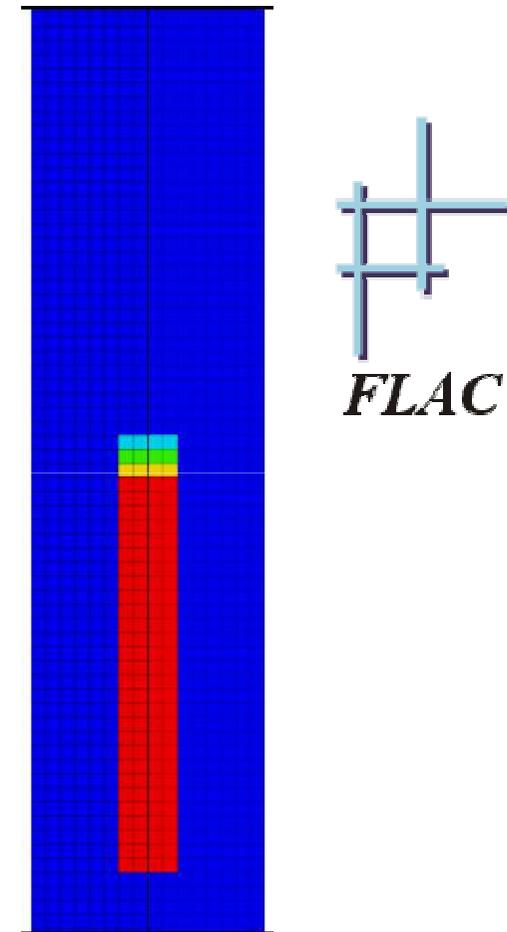
Vixen (2009) fournit à Blo-up:

- la vitesse de détonation,
- les paramètres de l'équation d'état,
- le taux de réaction final,
- la densité initiale et
- un état de référence



L'explosif:

Blo-up utilise un algorithme de réaction programmée
(testé en comparaison avec une
approche de simulation numérique
directe)

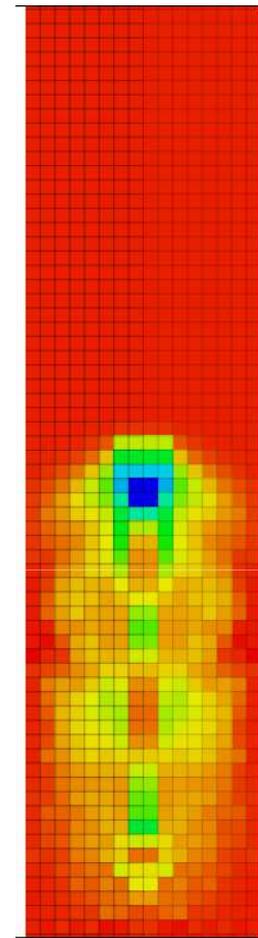


Taux de réaction

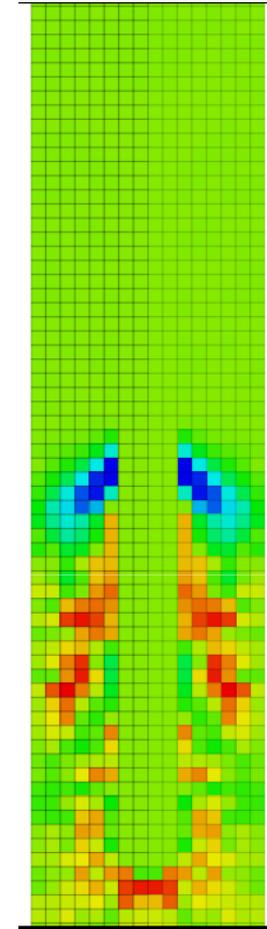
La roche en champ proche

Matériau de Mohr-Coulomb,
couplé aux produits de réaction
représentés par l'équation d'état
de Williamsburg:

- Augmentation de pression
dans la chambre
- expansion du matériau de
champ proche
- nouvelle contrainte isotrope
dans la chambre



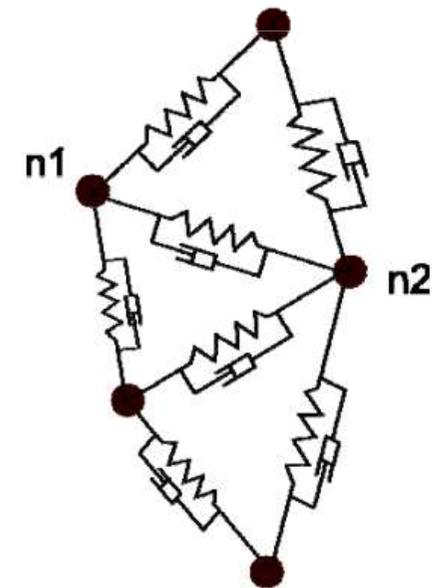
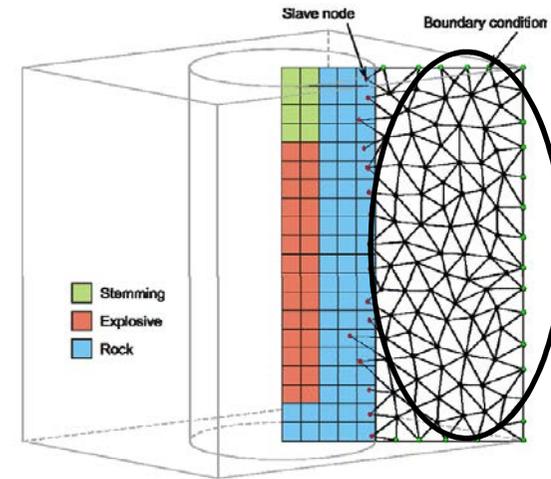
Pressions



Contrainte de
cisaillement

La masse rocheuse

- Modèle granulaire 3D simplifié
- Basé sur la méthode des éléments distincts
- Prend en compte les degrés de liberté en translation uniquement – mais un “bloc” de particules peut tourner!
- Les liens entre particules sont élastiques – plastiques en compression/traction



La masse rocheuse

Module d'Young

Coefficient de Poisson

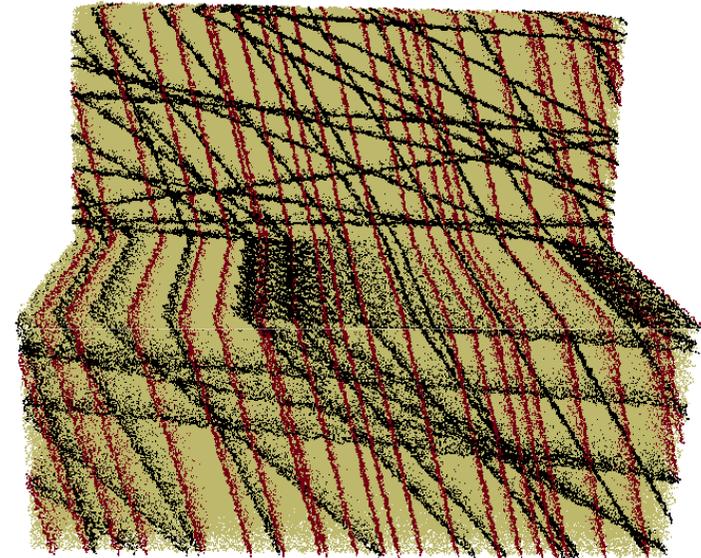
Masse volumique

RC, Résistance en Compression simple

Résistance en traction

Angle de frottement

Coefficient d'amortissement

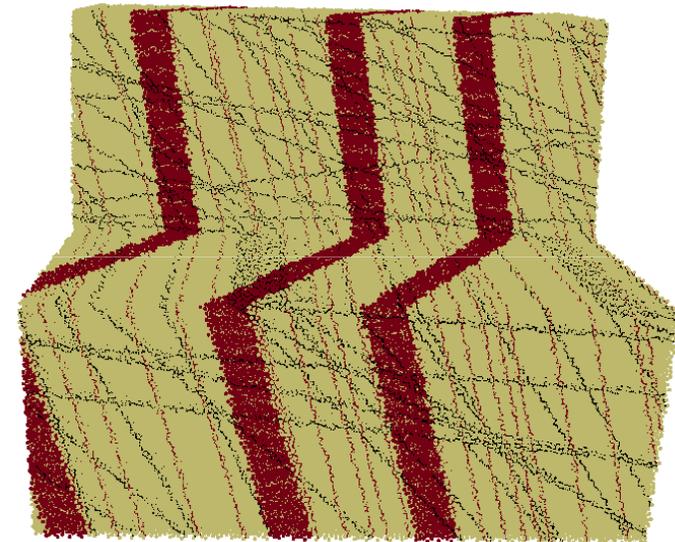


$$K_{Ic} = \sigma'_t \sqrt{\pi \alpha R}$$

Compatible avec la mécanique de la rupture

La masse rocheuse

Le réseau de fractures est représenté de façon explicite par des liaisons particulières, qui agissent dans les directions normales et parallèles aux fractures



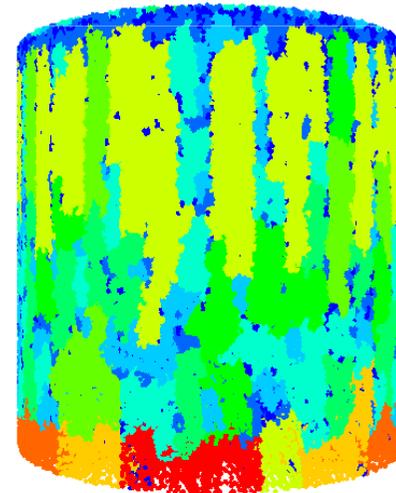
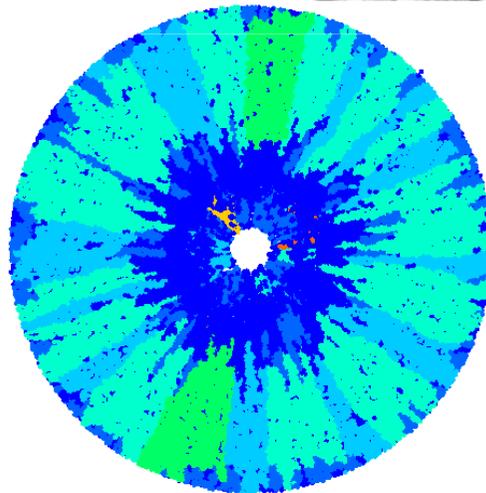
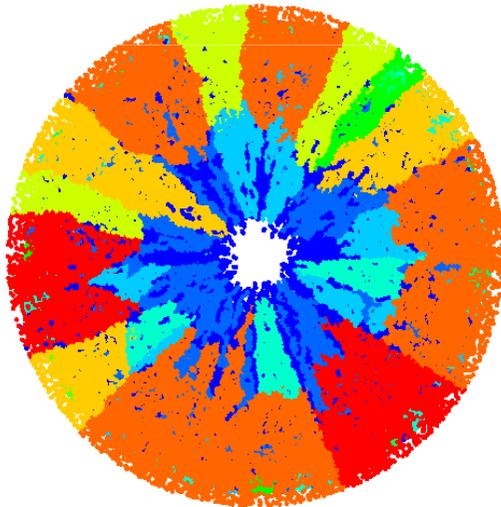
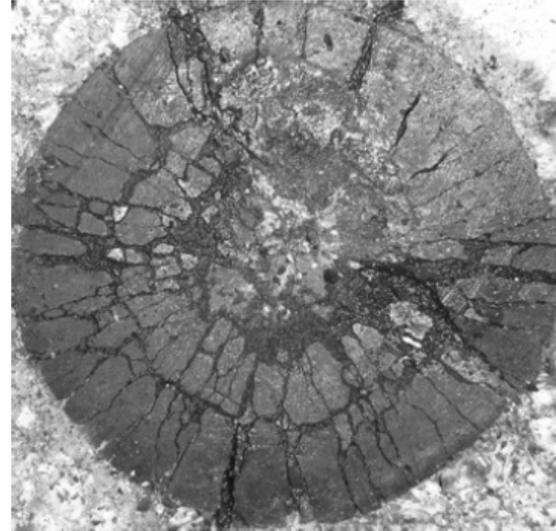
Conditions aux limites

- Libres (*réflexions*)
- Absorbantes ou semi-absorbantes
(*masse rocheuse « continue » ou
avec contraste de propriétés*)
- « flexibles » (*limite entre masse
rocheuse intacte et roche déjà
fracturée – en souterrain*)

Modèle de gaz

- Une fois la détonation complète, le sondage est rempli de gaz à haute pression. La roche est imperméable au gaz, au départ
- Rapidement, des fractures radiales se propagent et créent des chemins d'écoulement pour le gaz
- L'écoulement des gaz est simulé par une méthode d'homogénéisation sur les « micro-cracks »
- Les gaz exercent une pression sur les blocs de matériau, contribuant à la vitesse de projection

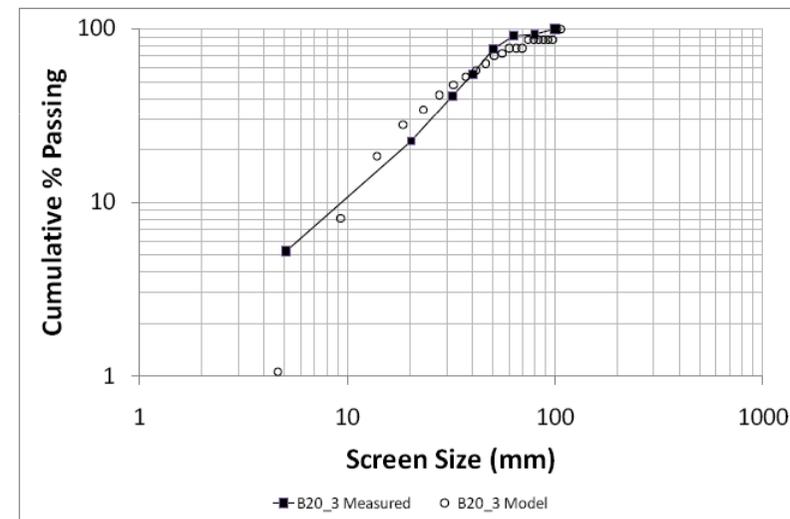
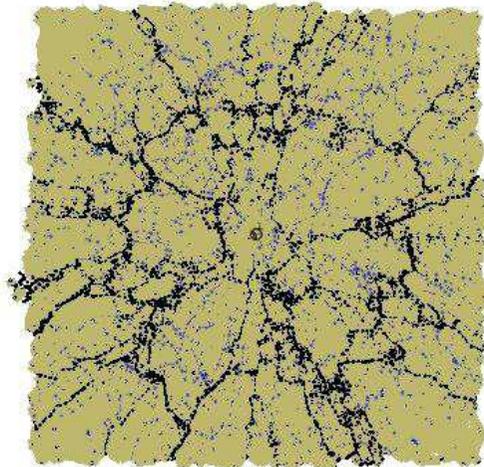
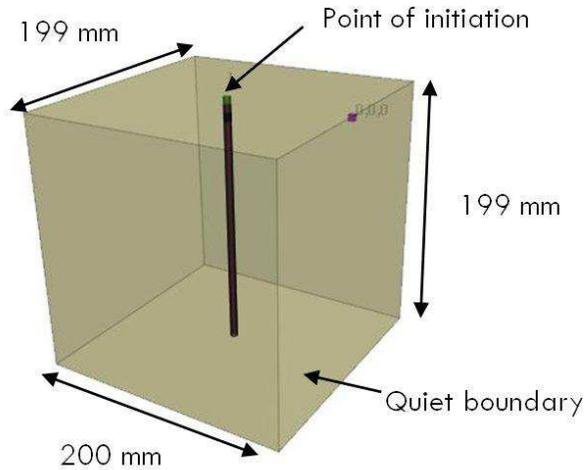
Validation: petite échelle



Expérience menée à l'université de Lulea

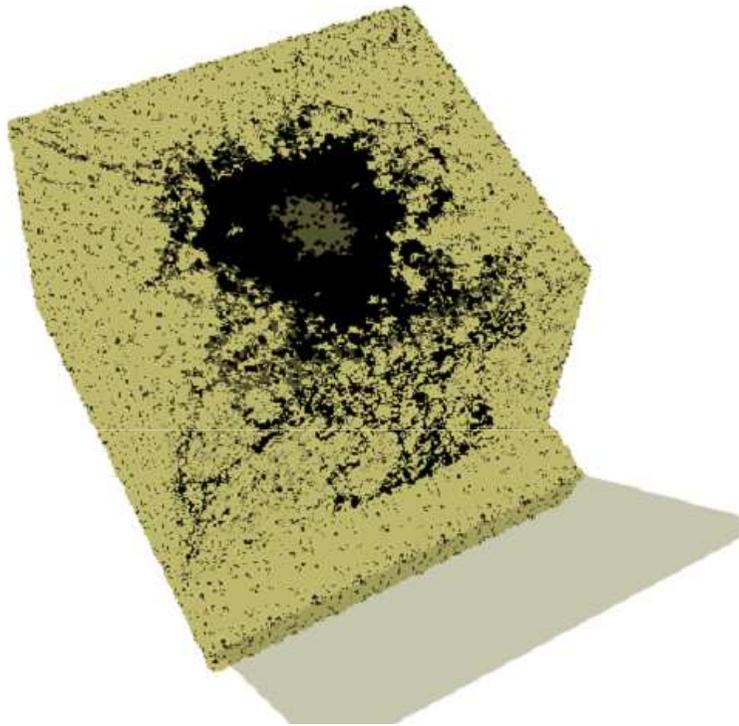
Validation: petite échelle

Italo Onederra, University of Queensland

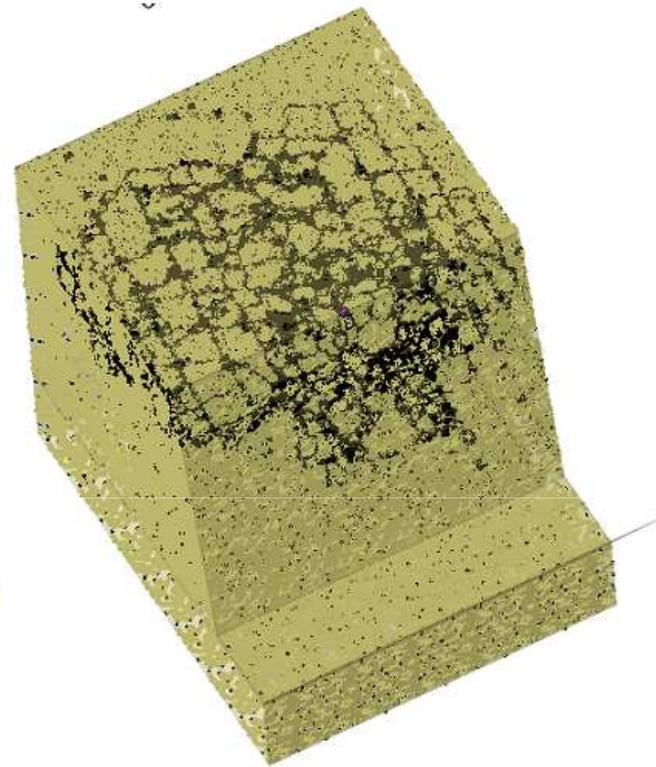


University of Leoben (Reichholf 2003)

Validation: effet des joints



Massif

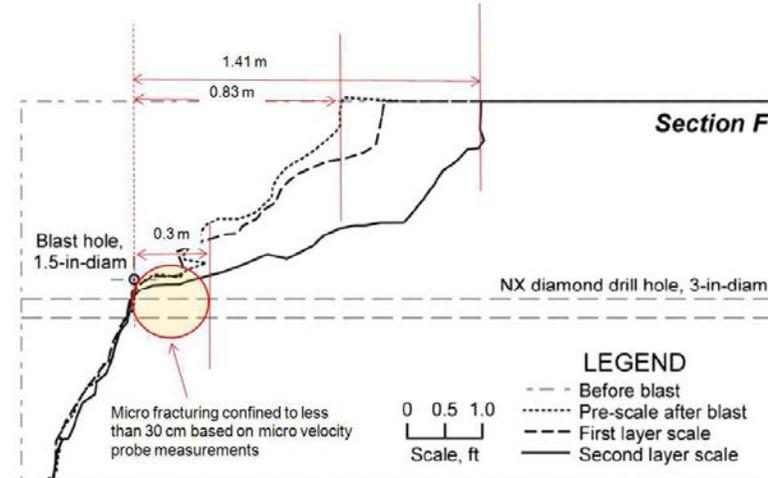
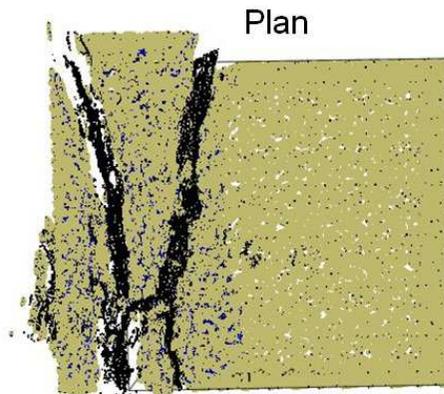
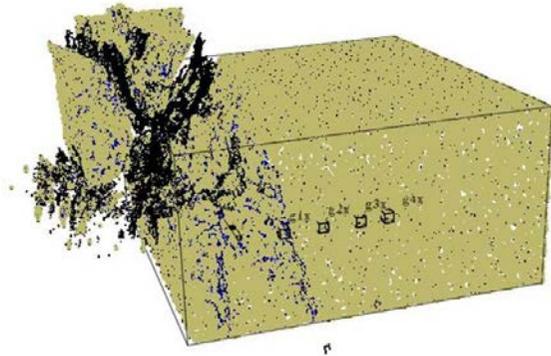


Fracturé

Validation: “grande” échelle

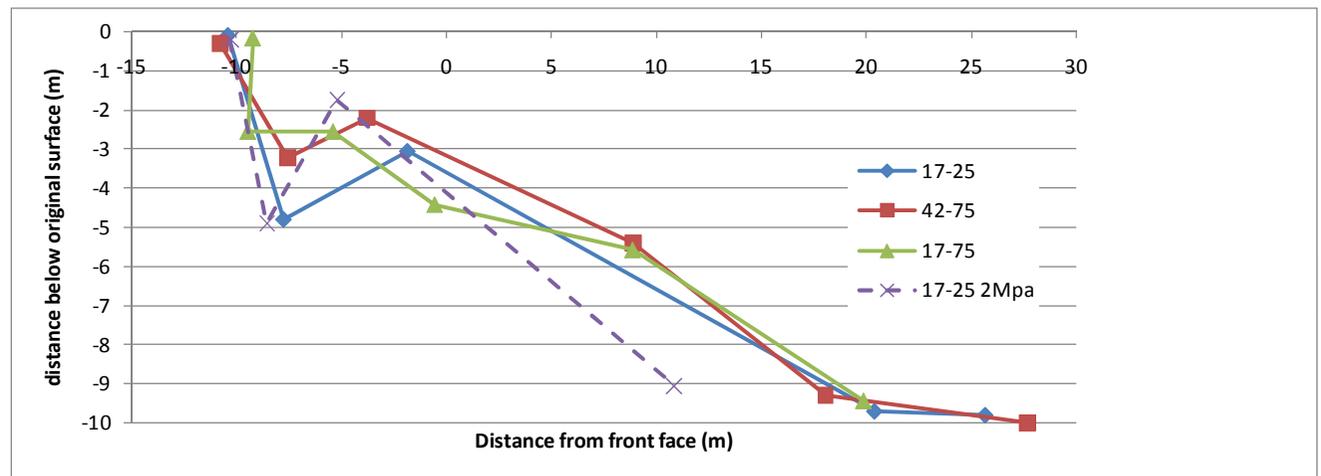
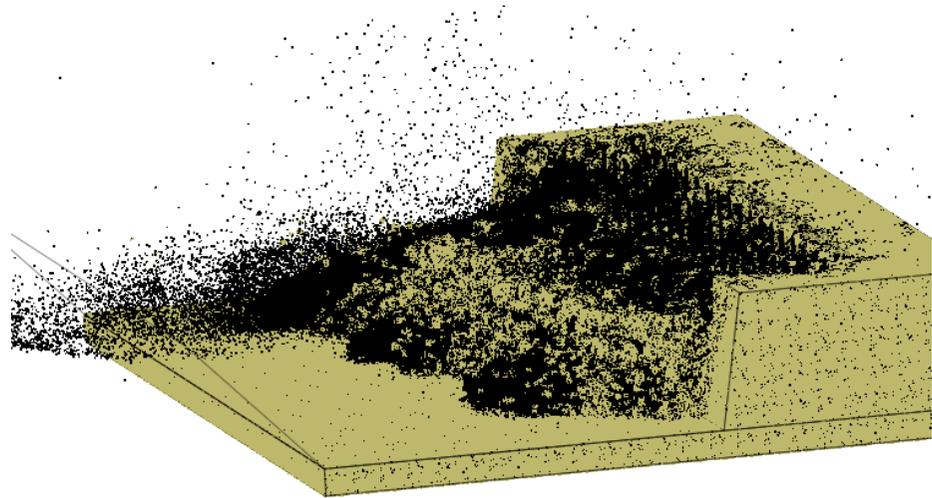
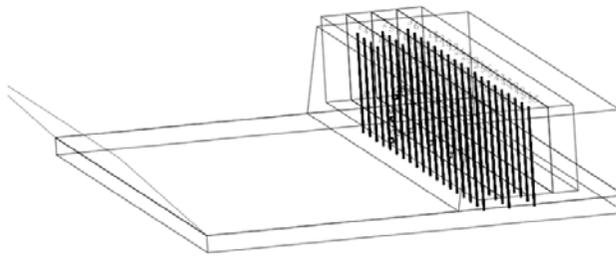
Steve Iverson et Bill Hustrulid

University of Queensland



Validation: grande échelle

Tir à 60 forages



Merci pour votre attention