



Société d'Énergie  
Explosive du Québec

ÉCOLE DE  
TECHNOLOGIE  
SUPÉRIEURE

Université du Québec

ÉTS

Le génie pour l'industrie

# Influence de la géométrie structurale sur les mécanismes de fracturations évaluée par tirs individuels

---

Par: Jonathan D. Aubertin

46e session d'étude SEEQ

17 novembre 2023

# Contenu de la présentation

---

- Caractérisation par tirs individuels – méthode SHoBI
- Importance de la géologie structurale en sautage
- Études de cas:
  - Massif peu fragmenté et homogène (béton et sel)
  - Différentes orientation de joint (Amphibolite)
  - Massif fortement fragmenté (Calcaire/Schiste)
- Implications et conclusions

# CARACTÉRISATION DES BESOINS EN SAUTAGE

Indice de performance par tirs individuels

Méthode SHoBI

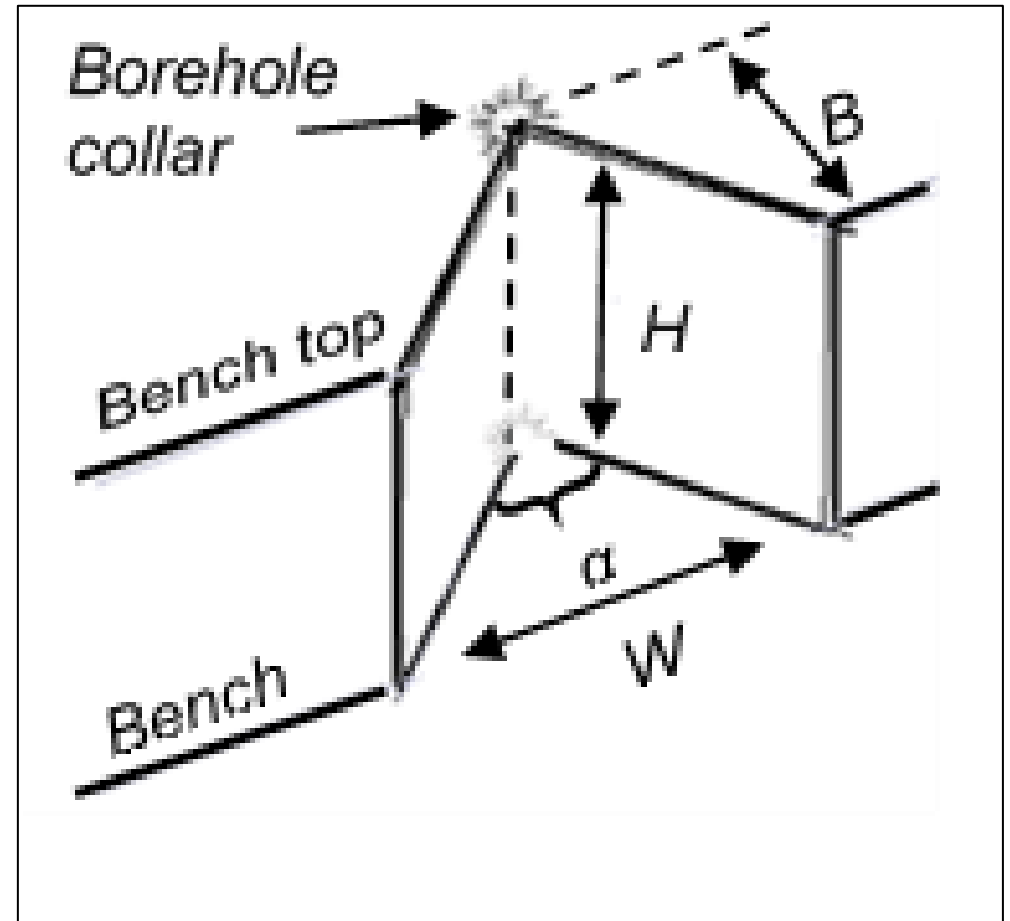
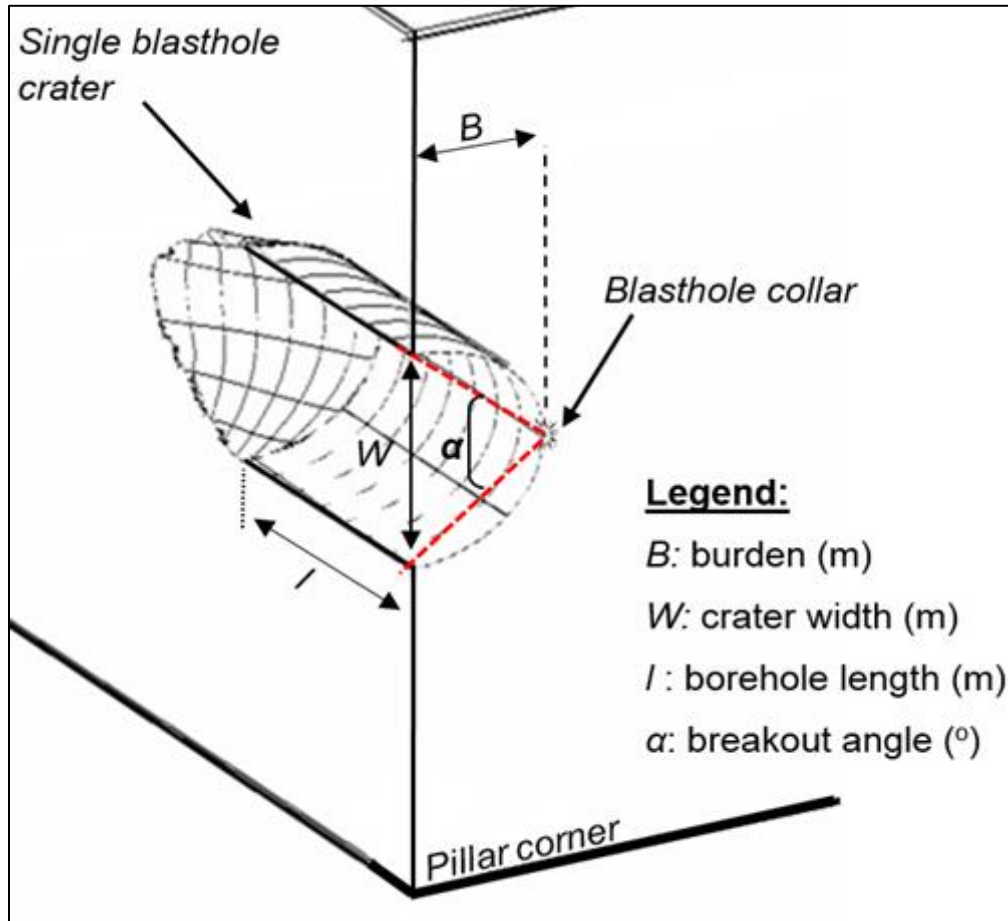
# Méthode SHoBI

---

**Méthode:** Séries de tirs de trous individuels.  
(Single Hole Blastability Indexing)

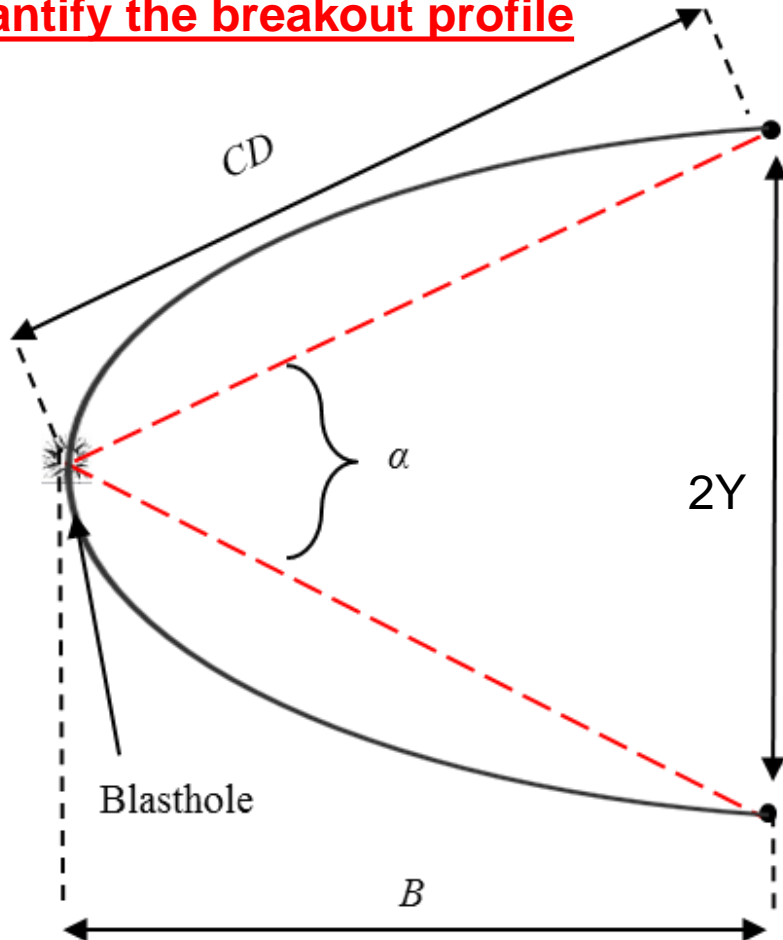
**Analyse:** Relation entre la taille du cratère et le fardeau  $B$ .

# Tir individuel (hor. ou vert.)



# Modèle analytique du cratère

Quantify the breakout profile



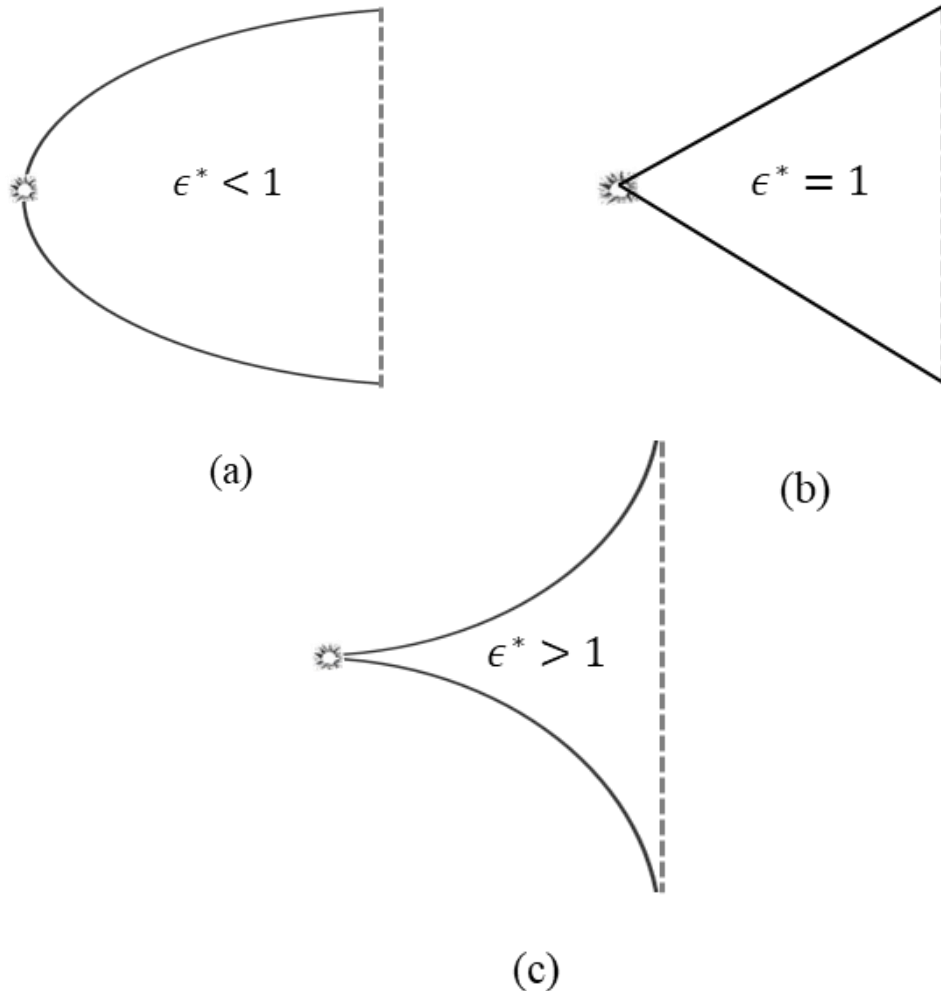
***Calibration de la relation entre le fardeau et le profil du cratère***

Profil du cratère

$$Y(B) = C(B) \cdot b^s$$

# Différentes géométries

L'exposant dicte la géométrie



Profil du cratère

$$Y(B) = C(B) \cdot b^s$$

# Application de SHoBI

March/April 2023

The Journal of Explosives Engineering

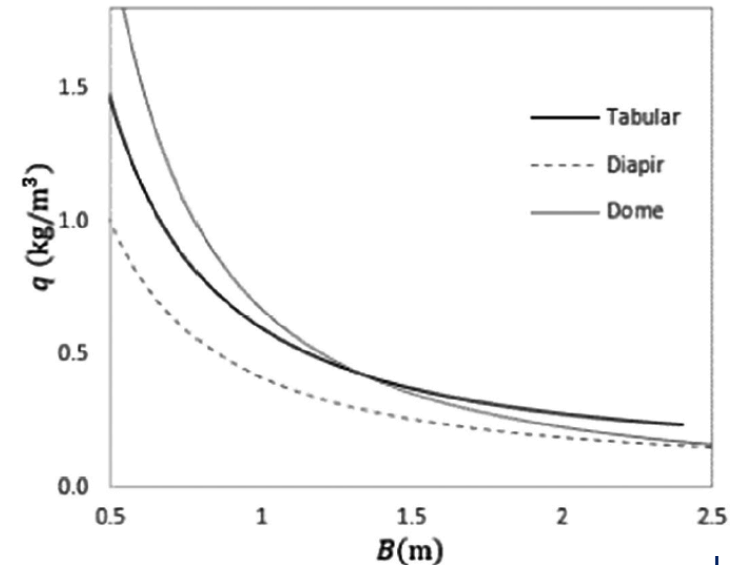
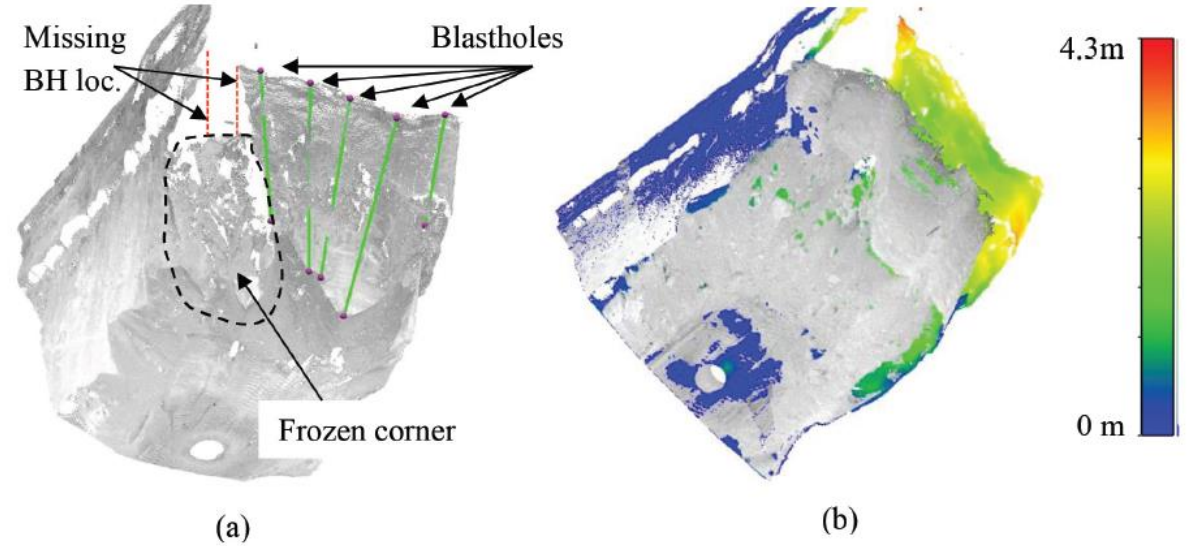
## The Special Nature of Rock Salt Blasting: Theory and Practice

By Jonathan D. Aubertin

## Towards Blast Design Guidelines for Underground Rock Salt Mines

By J. D. Aubertin<sup>1,2</sup>, D. J. Hutchinson<sup>2</sup>, and M.S. Diederichs<sup>2</sup>

Volume 13 Number 2 February 2021  
 ISSN 1937-6359

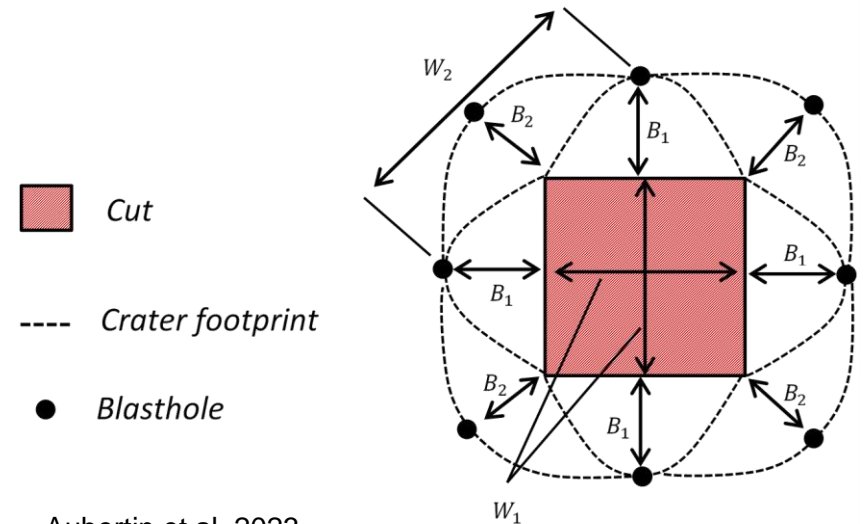
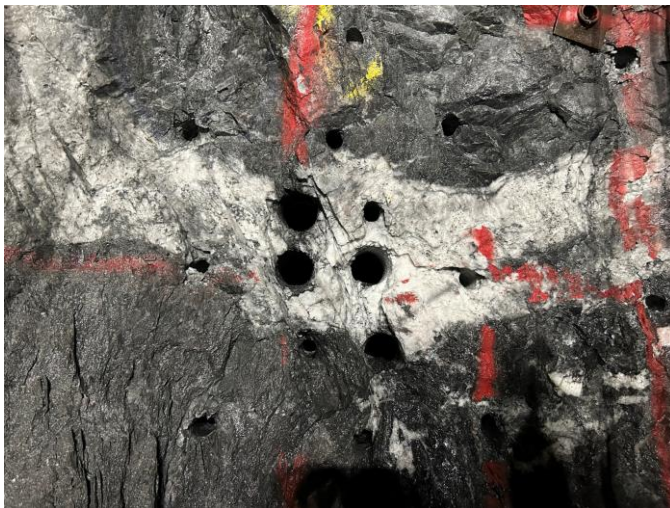
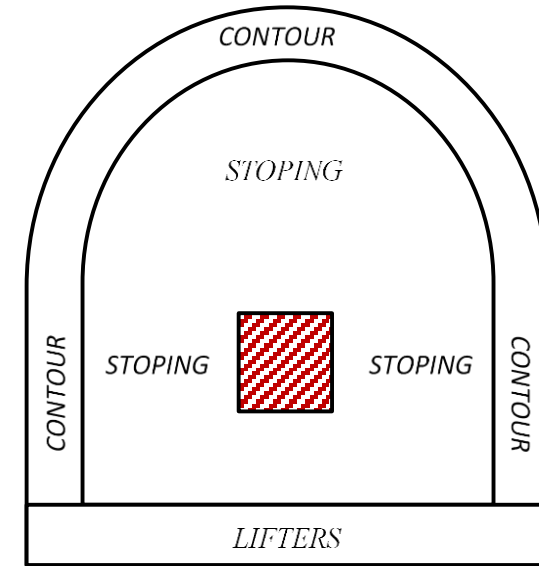
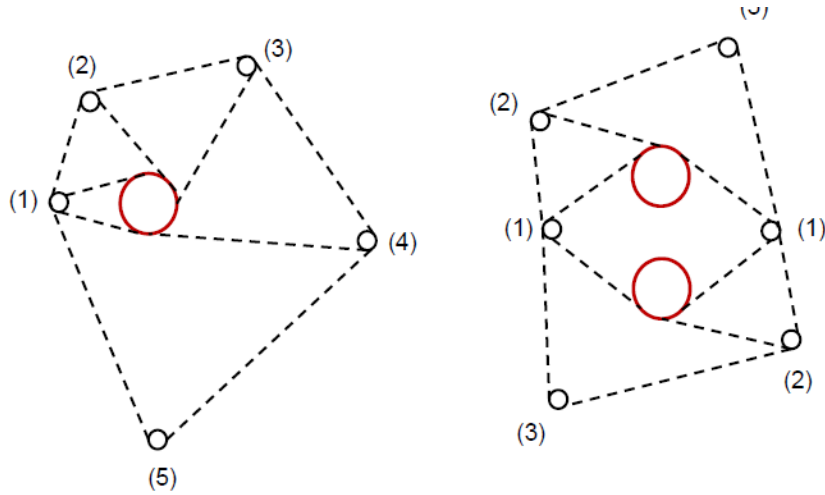




# Application de SHoBI

$$Y(B) = C(B) \cdot b^S$$

## Design de bouchon



# IMPORTANCE DE LA GÉOLOGIE STRUCTURALE

Considérations conventionnelles pour la conception de sautage

# Importance de la géol. structurale

## Influence des résultats d'un sautage

- Blocs et fines
- Projection
- Stabilité géotech.

## Considérations complémentaires

- Déviation du forage
- Perte de la colonne et du produit
- Résistance du massif rocheux

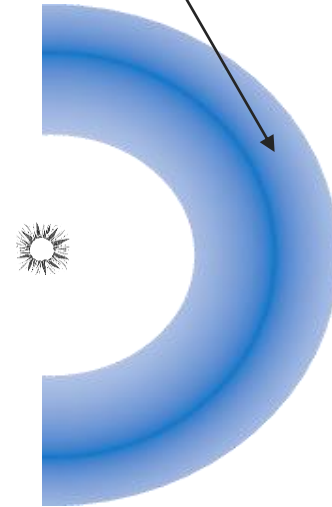


# Influence de la géol. structurale

Influence la propagation des ondes

- Amortissement
- Réflexion partielle des ondes

Onde de compression



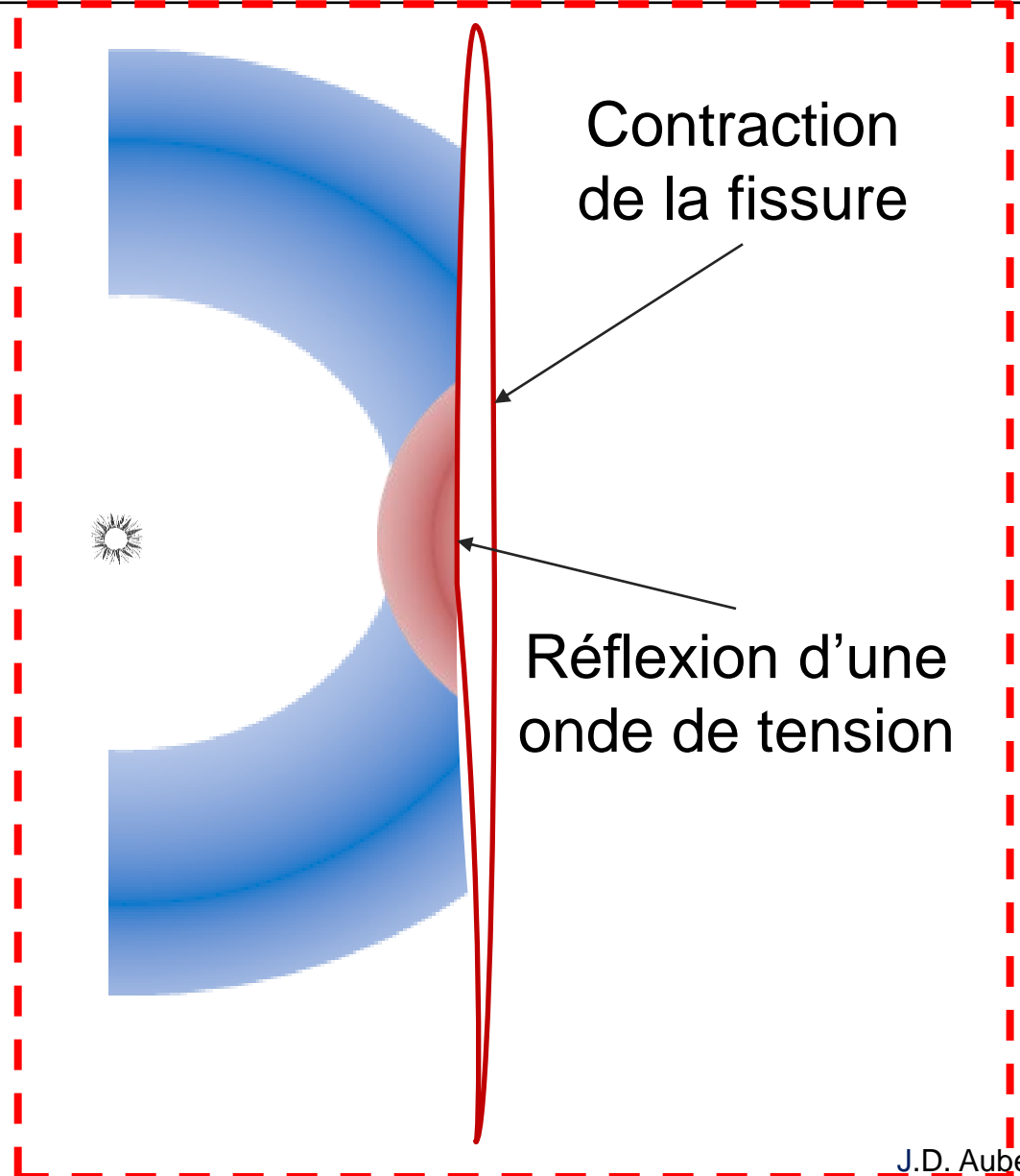
Fracture/joint



# Influence de la géol. structurale

Influence la propagation des ondes

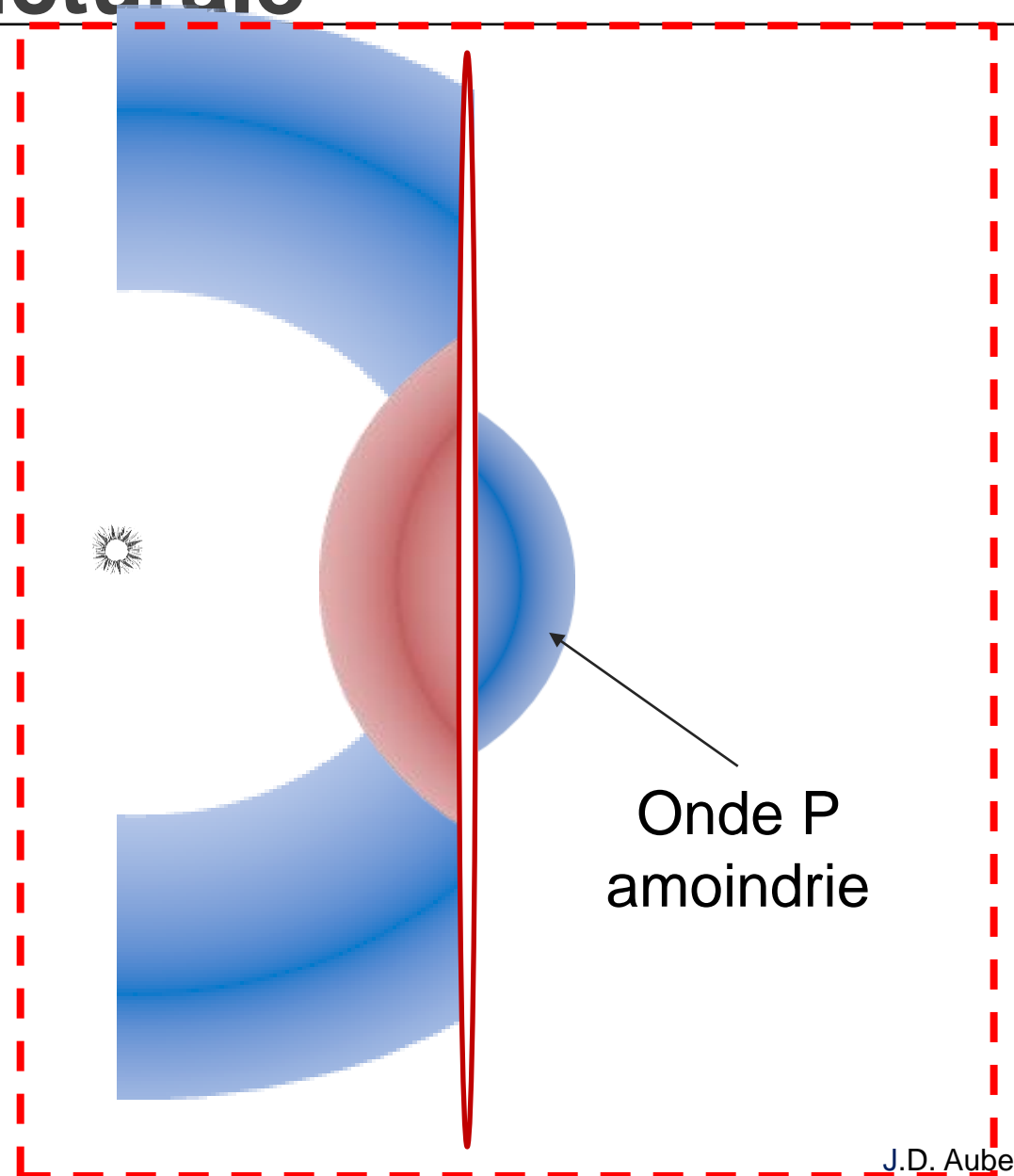
- Amortissement
- Réflexion partielle des ondes



# Influence de la géol. structurale

Influence la propagation des ondes

- Amortissement
- Réflexion partielle des ondes



Voir aussi Cai et Zhao, 2000

[https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(00\)00013-7](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(00)00013-7)



# Structures complexes



---

# COMPARAISON DE CONDITIONS STRUCTURALES

Étude de cas par la méthode SHoBI

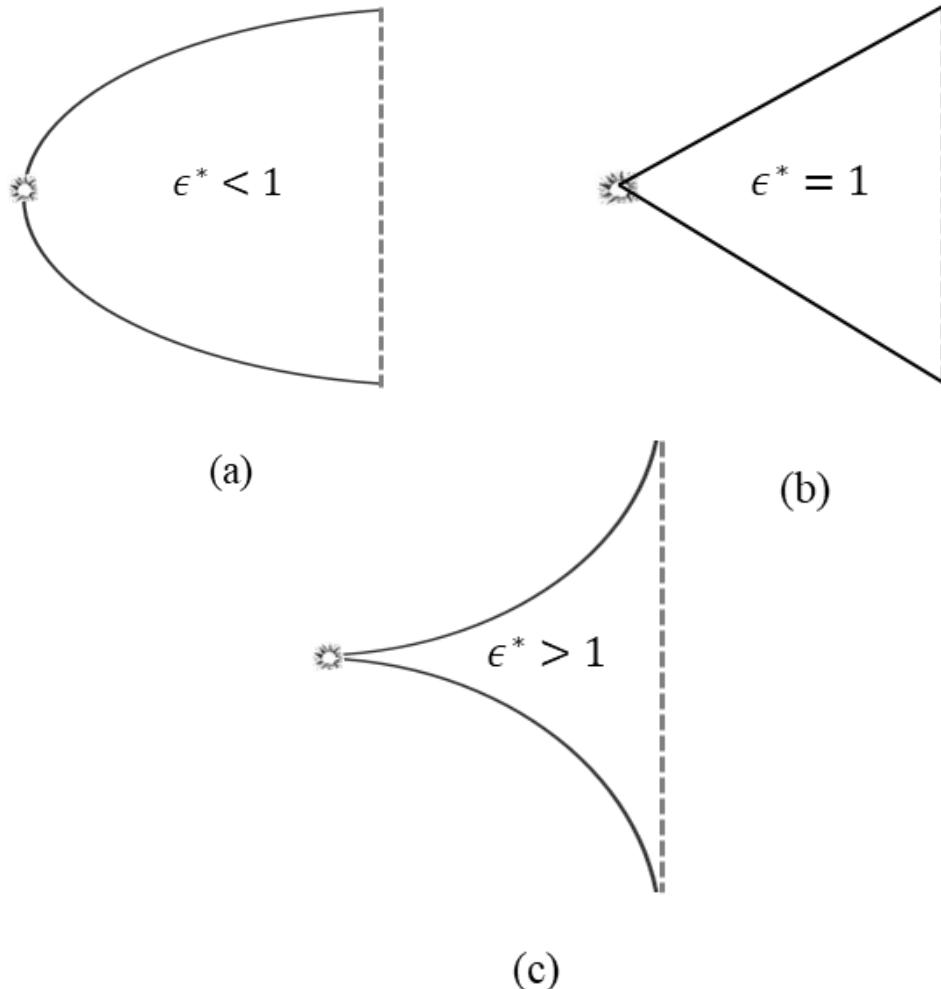


# Calibration par méthode SHoBI

L'exposant dicte la géométrie

Profil du cratère

$$Y(B) = C(B) \cdot b^s$$

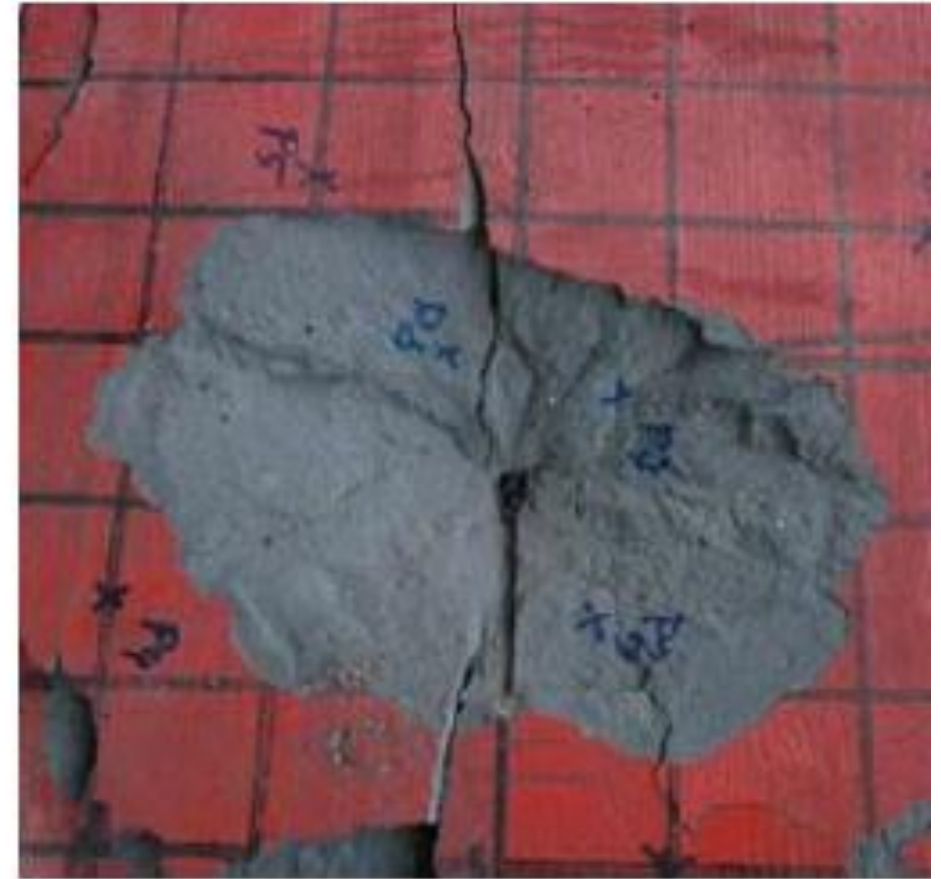


***Les résultats de la méthode SHoBI permettent de calibrer le modèle***

***C et s sont caractéristiques (signature)***

# Tests en blocs de bétons

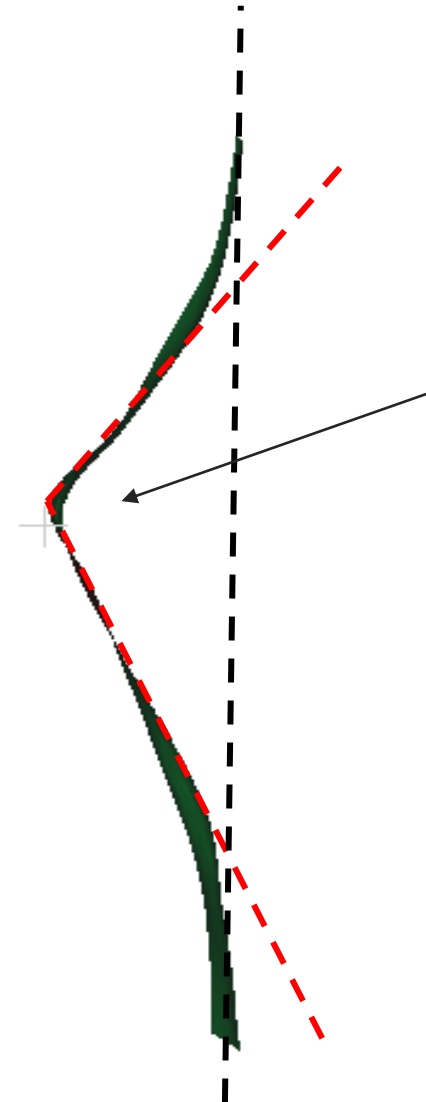
- Conditions
  - Homogène
  - Faible résistance mécanique
  - Rigidité modérée
- Fracturation prismatique dominante



Gracieuseté de M. Wimmer (LKAB)

# Tests en blocs de bétons

- Conditions
  - Homogène
  - Faible résistance mécanique
  - Rigidité modérée
  
- Fracturation prismatique dominante



Fracturation  
prismatique

$$Y(B) = C(B) \cdot b^s$$

$$s \approx 1$$

# Tests en blocs de bétons

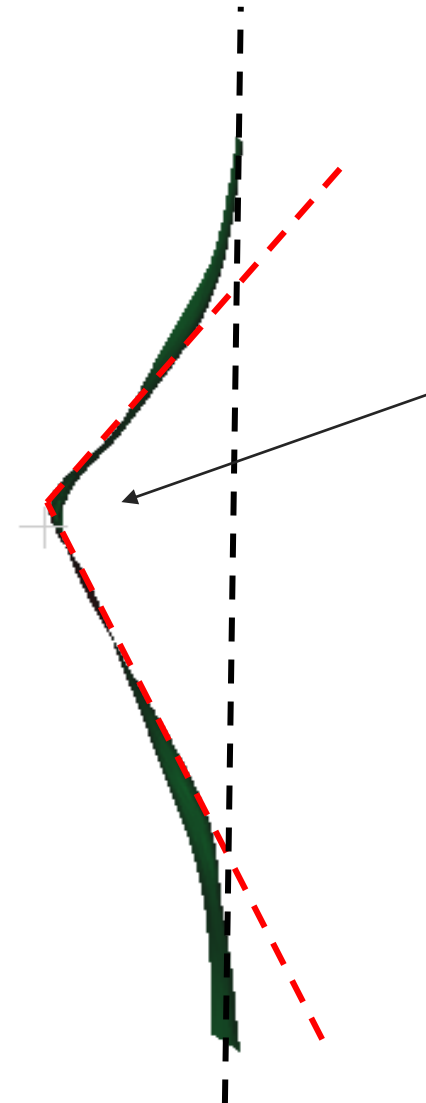
Conséquent avec théorie  
de fracture radiale



Nie et al. 1988

Voir aussi Field & Ladegaard Pedersen 1970

[https://doi.org/10.1016/0148-9062\(71\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0148-9062(71)90020-9)

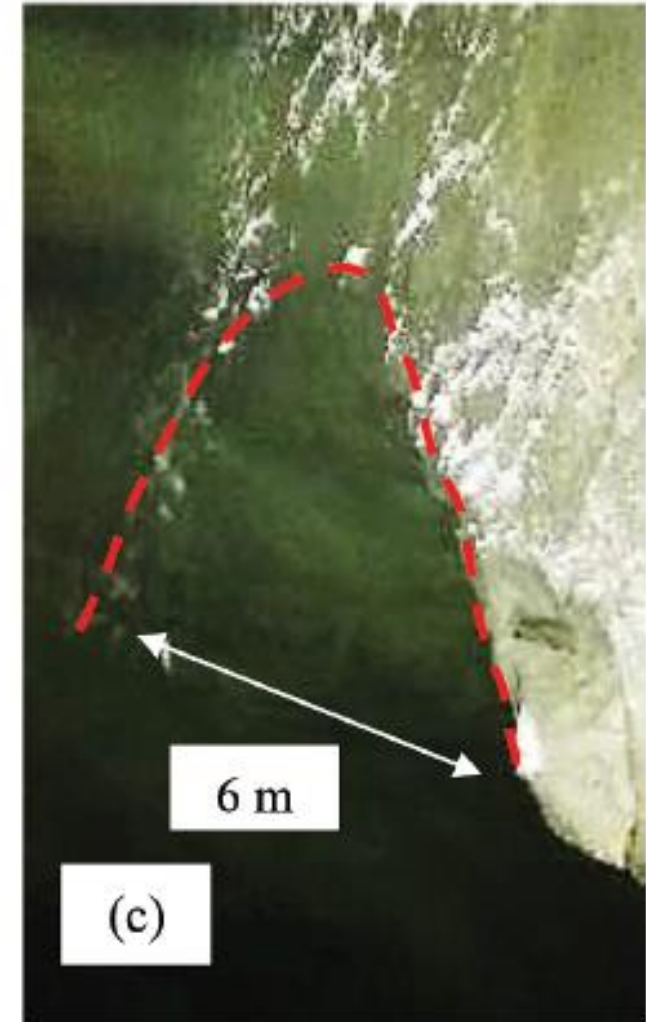
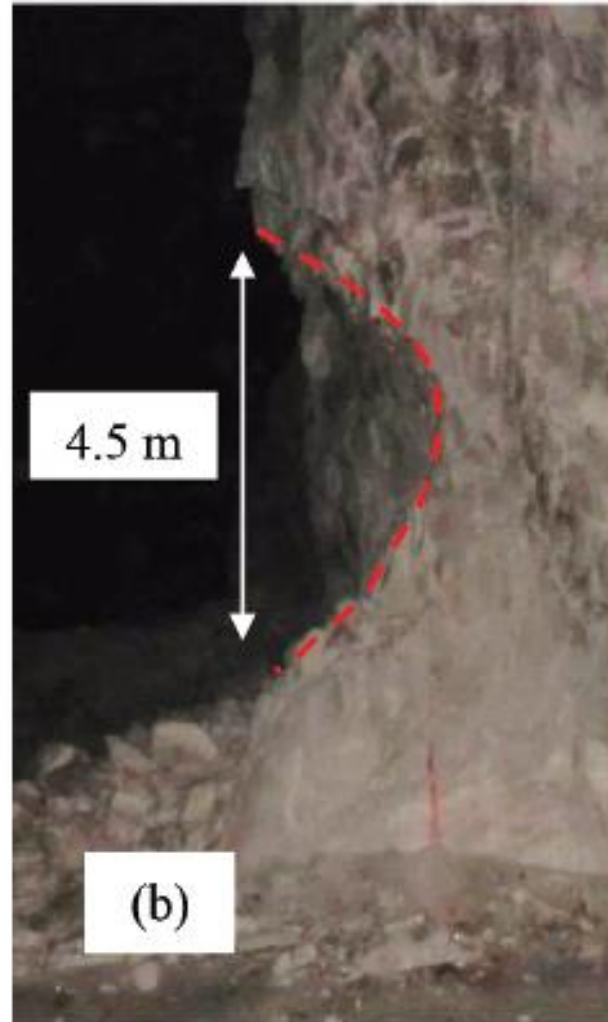
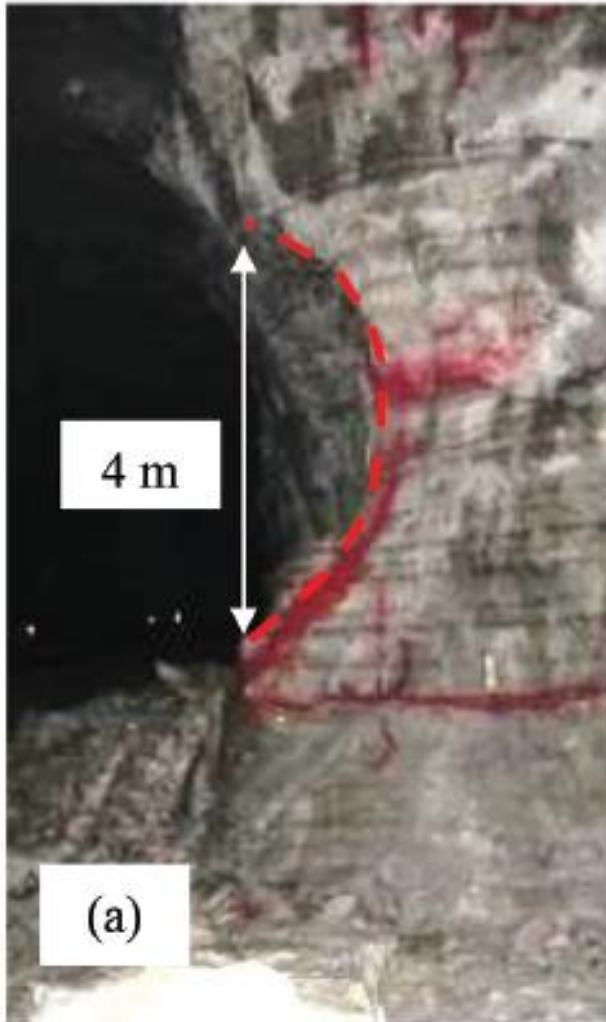


Fracturation  
prismatique

$$Y(B) = C(B) \cdot b^s$$

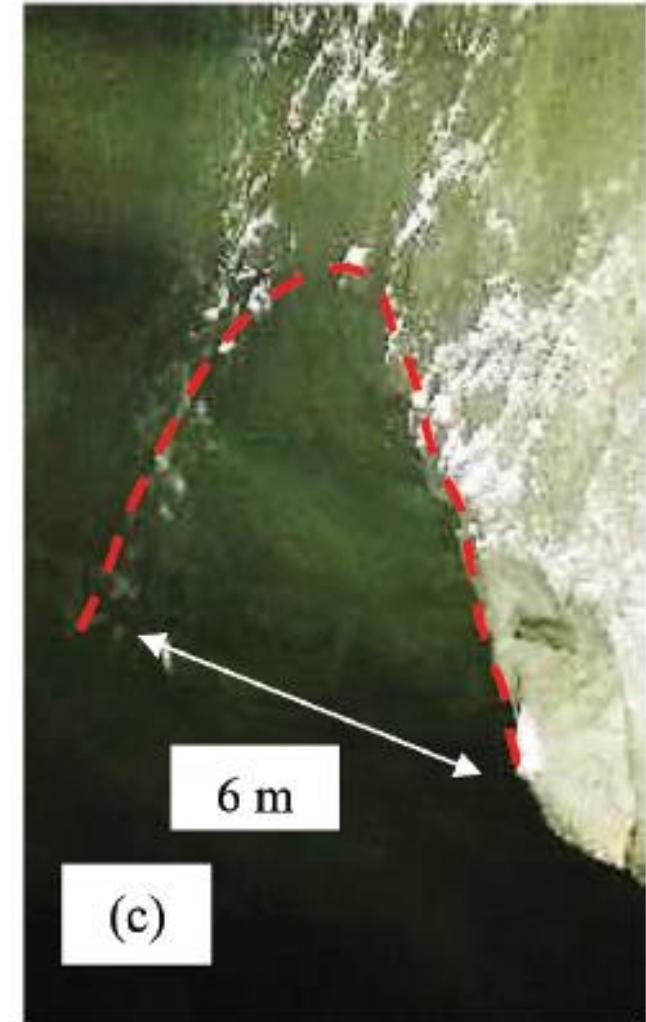
$$s \approx 1$$

# Roches tendres (sel et potasse)



# Roches tendres (sel et potasse)

- Massif très homogène
- Faible intensité de fracture
- Faible résistance mécanique
- Fortes pertes énergétiques près du trou de forage

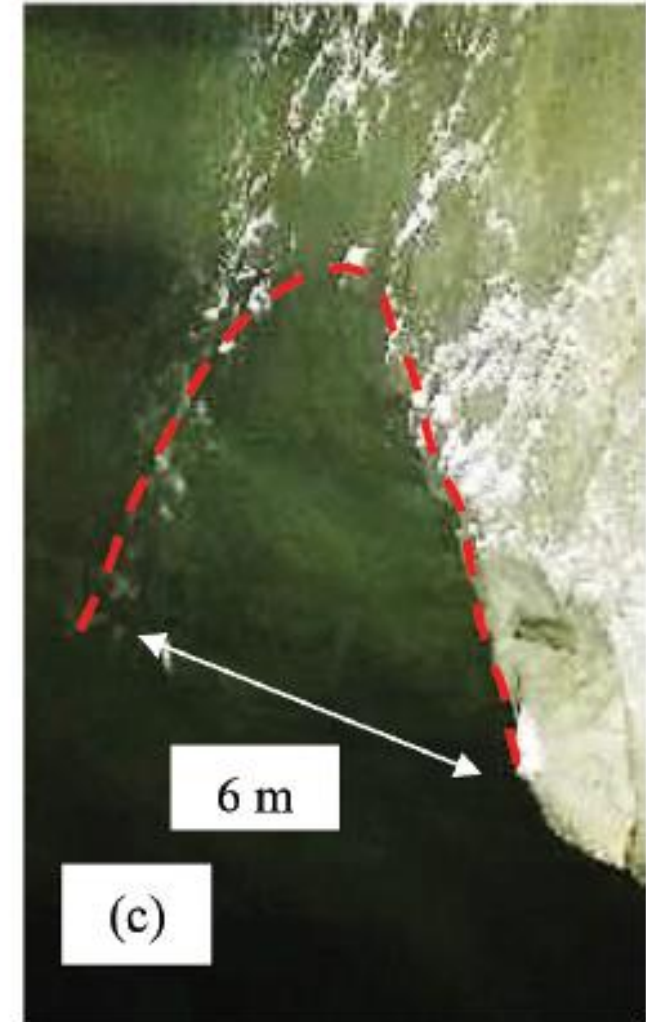




# Roches tendres (sel et potasse)

## Caractérisation par SHoBI

- Profil elliptique
  - $s \ll 1$  ( $\sim 0.4 - 0.6$ )
  - Forte corrélation du fardeau



# Influence de l'orientation du joint

- SHoBI dans une mine de Tungsten
- Roche mère : Amphibolite
- Caractérisation de l'influence de l'orientation des joints
  - Série 1 : Perpendiculaire à la face
  - Série 2 : Parallèle à la face

MINING TECHNOLOGY  
<https://doi.org/10.1080/25726668.2023.2219128>

**I·M3**  
Institute of Materials,  
Minerals & Mining

**AusIMM**  
THE MINERALS INSTITUTE



**Taylor & Francis**  
Taylor & Francis Group

Research Article

Check for updates

**Development of site specific blasting index parameters based on single hole blast test cratering**

Jonathan D. Aubertin <sup>a</sup>, Matthias Wimmer <sup>b</sup> and Masoud Sedghi <sup>a</sup>

<sup>a</sup>École de Technologie Supérieure, ÉTS, Montréal, Canada; <sup>b</sup>LKAB, Kiruna, Sweden

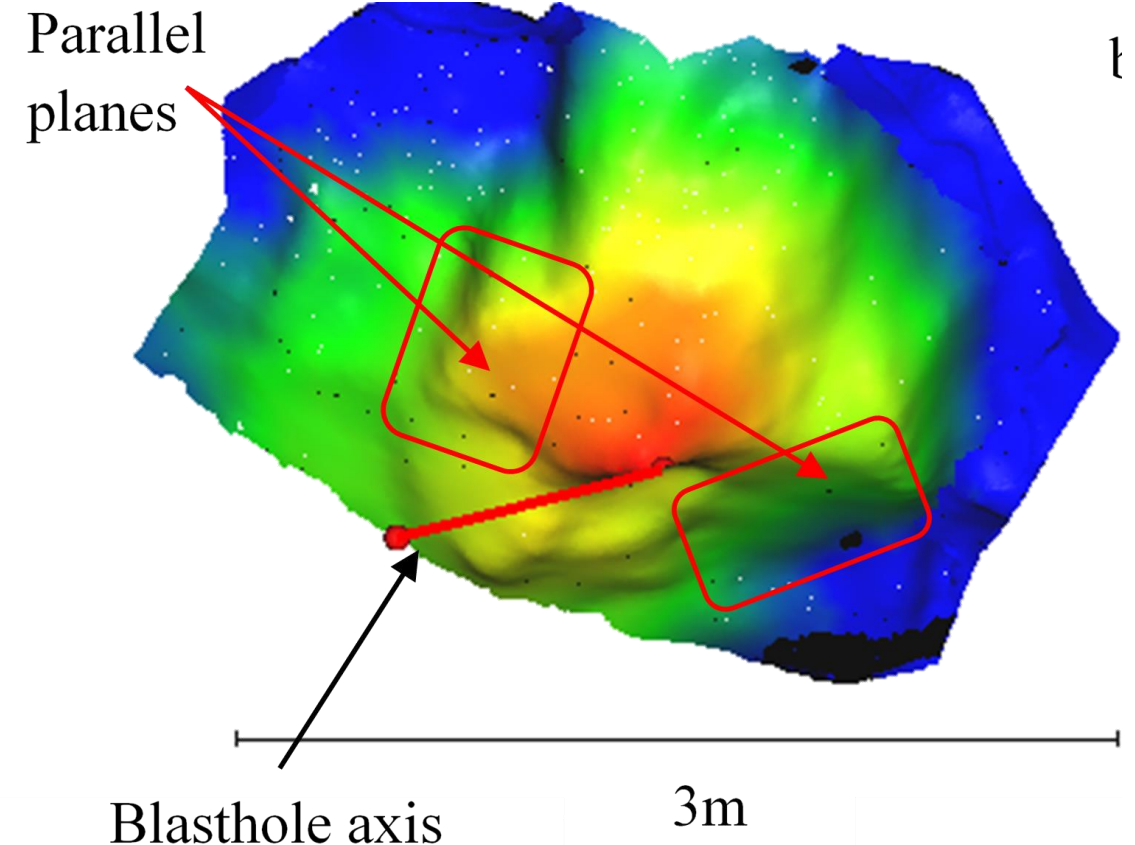
<https://doi.org/10.1080/25726668.2023.2219128>



# Influence de l'orientation du joint

## Structures parallèle à la face

- Cratère élargi
- Incidence progressive des fractures avec la face
- $s \sim 0.8 - 0.9$   
(comportement légèrement concave)



Aubertin et al., 2023  
<https://doi.org/10.1080/25726668.2023.2219128>

# Influence de l'orientation du joint

---

## Structures perpendiculaires à la face

- Échelonnage de la fracturation
- Cratère en forme de boîte
- Fortement concave  $\longrightarrow s \ll 1$



# Essais en massif fracturé





# Essais en massif fracturé

- Calcaire (et schiste) en Montérégie
- 3 à 5 familles structurales distinctes
- Tests SHoBI
  - Phase 1 – Tirs individuels
  - Phase 2 – Compléments + corrélation 2 trous



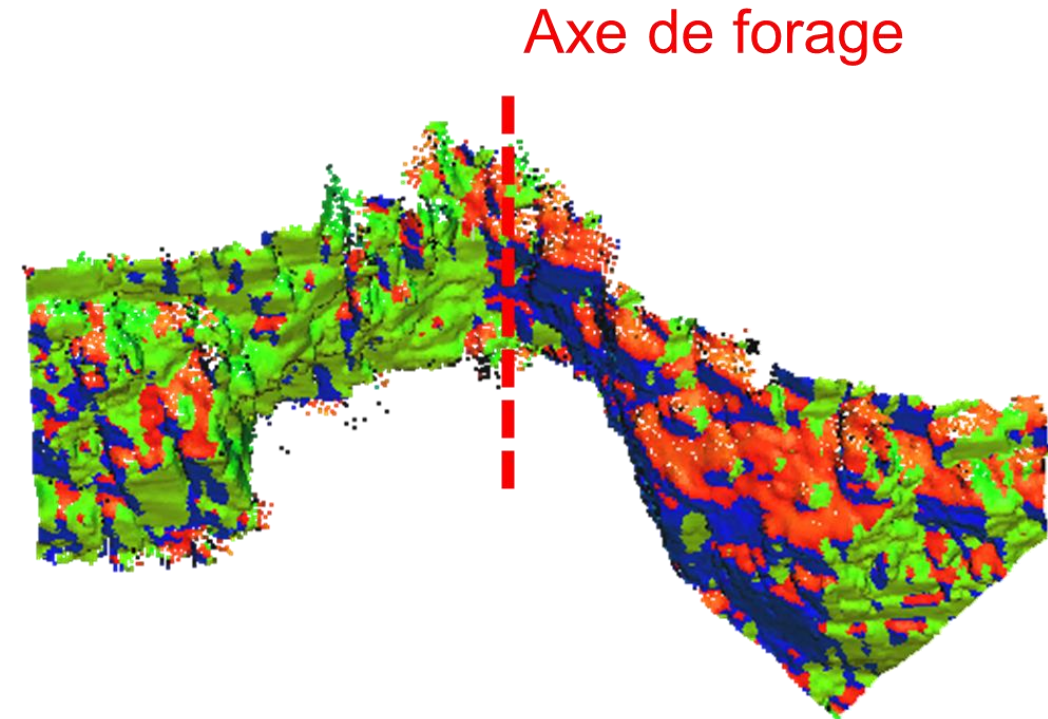
# Essais en massif fracturé

- Calcaire (et schiste) en Montérégie
- 3 à 5 familles structurales distinctes
- Tests SHoBI
  - Phase 1 – Tirs individuels
  - Phase 2 – Compléments + corrélation 2 trous



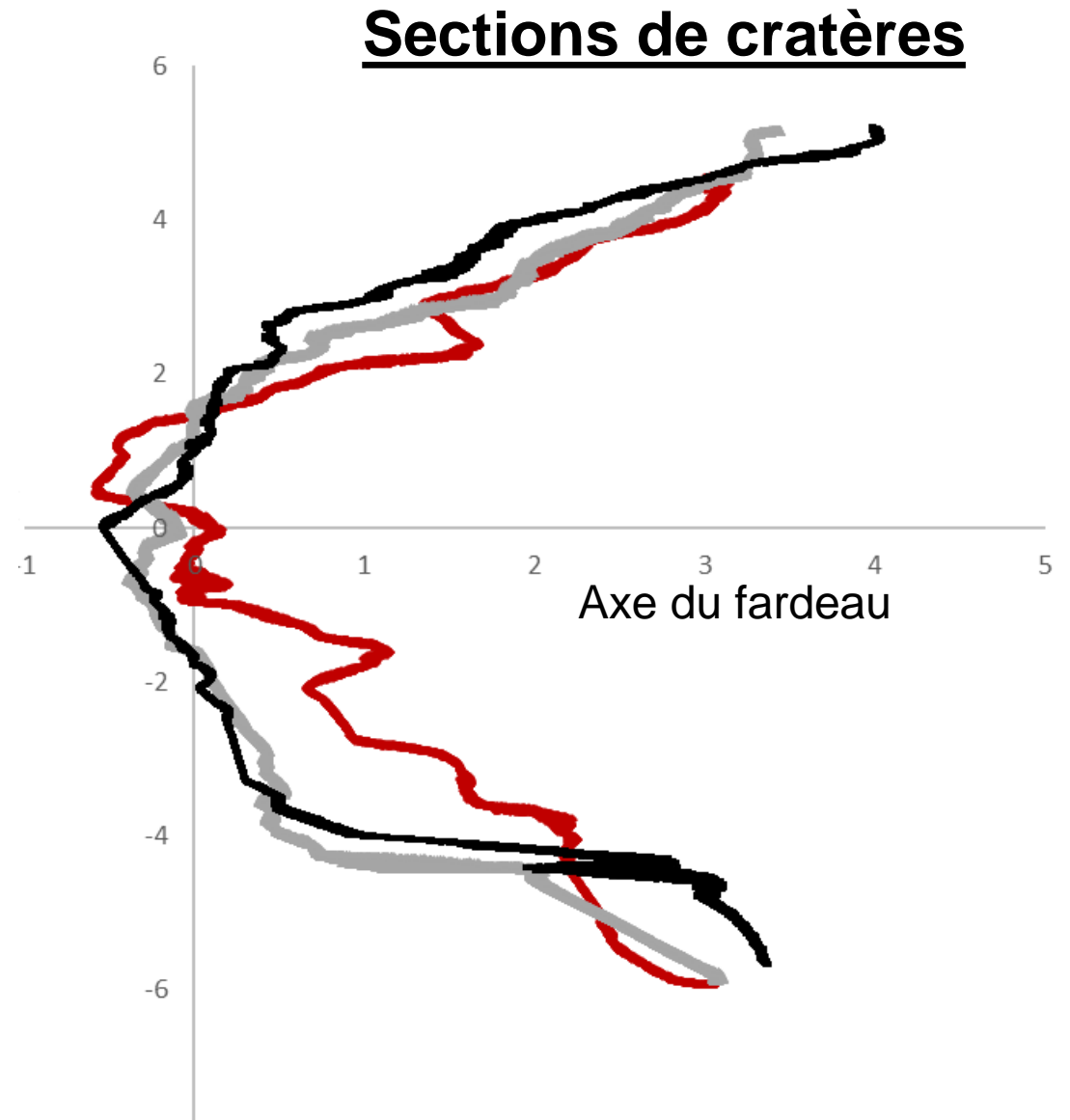
# Observations qualitatives

- Rupture en forme de marche
- Alternance de joint dominant le profil de cratère
- Profil asymétrique en fonction de l'orientation des joints



# Observations qualitatives

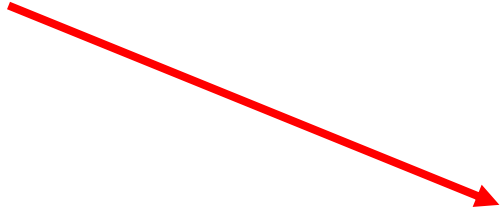
- Rupture en forme de marche/dents de scie
- Alternance de joint dominant le profil de cratère
- Profil asymétrique en fonction de l'orientation des joints



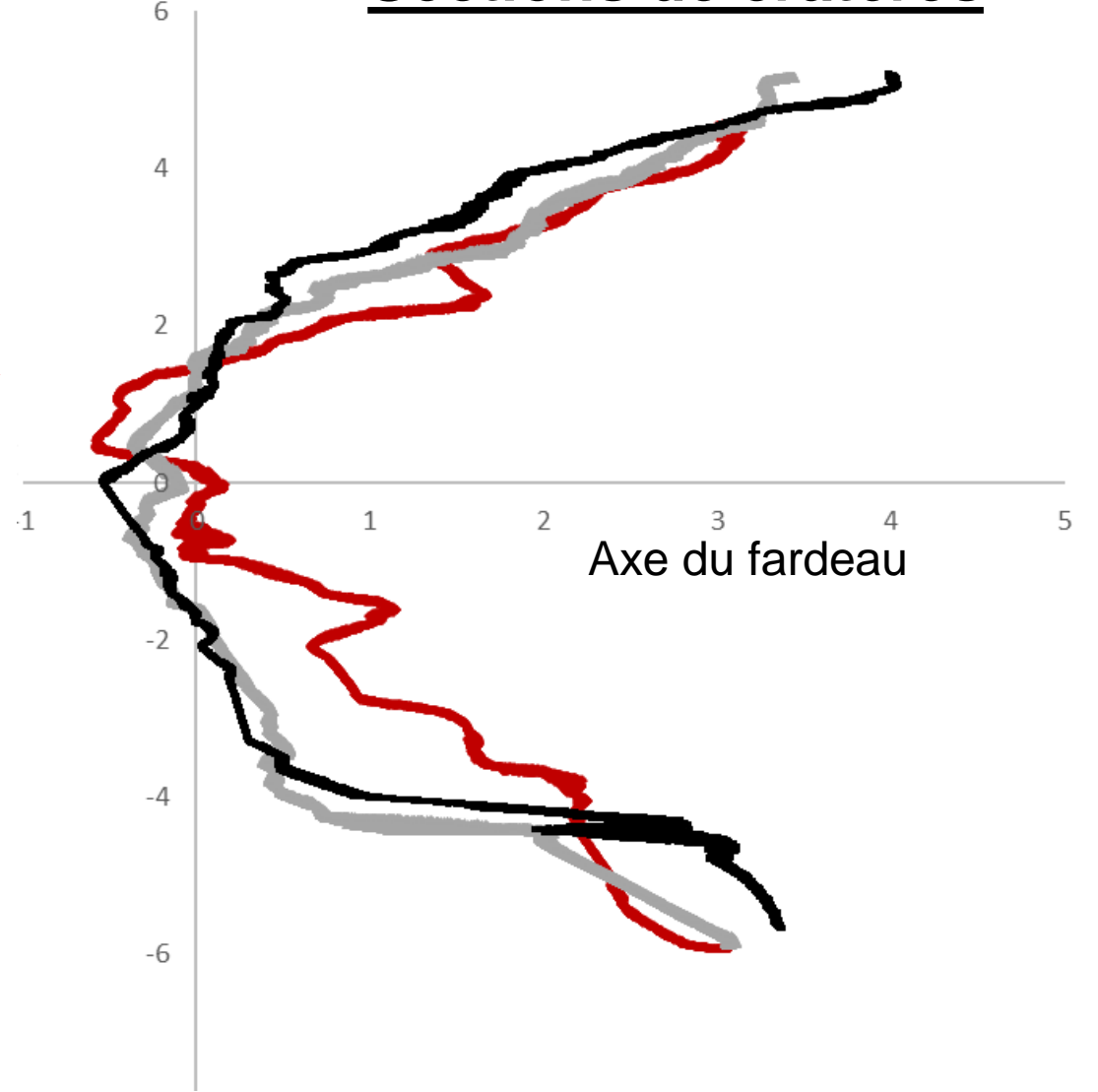


# Observations qualitatives

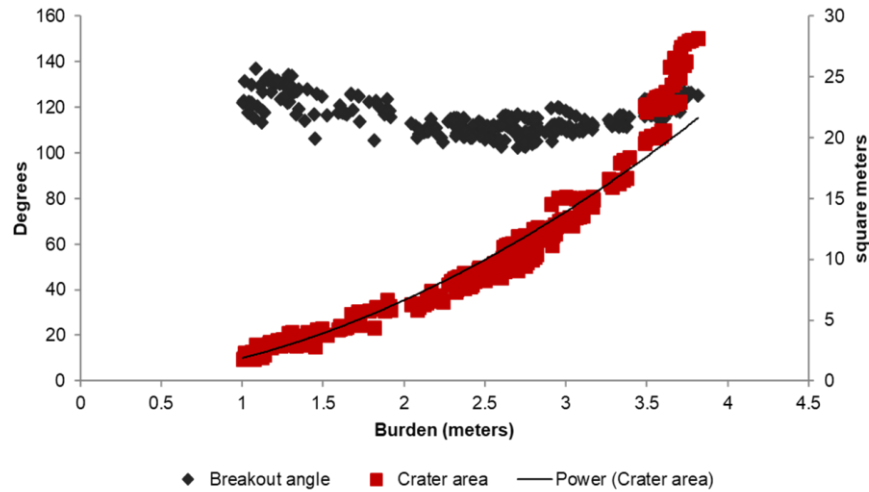
$S \approx 0.5$



## Sections de cratères



Breakout angle and crater area with respect to burden distance





# Observation qualitative et implication au niveau de la conception

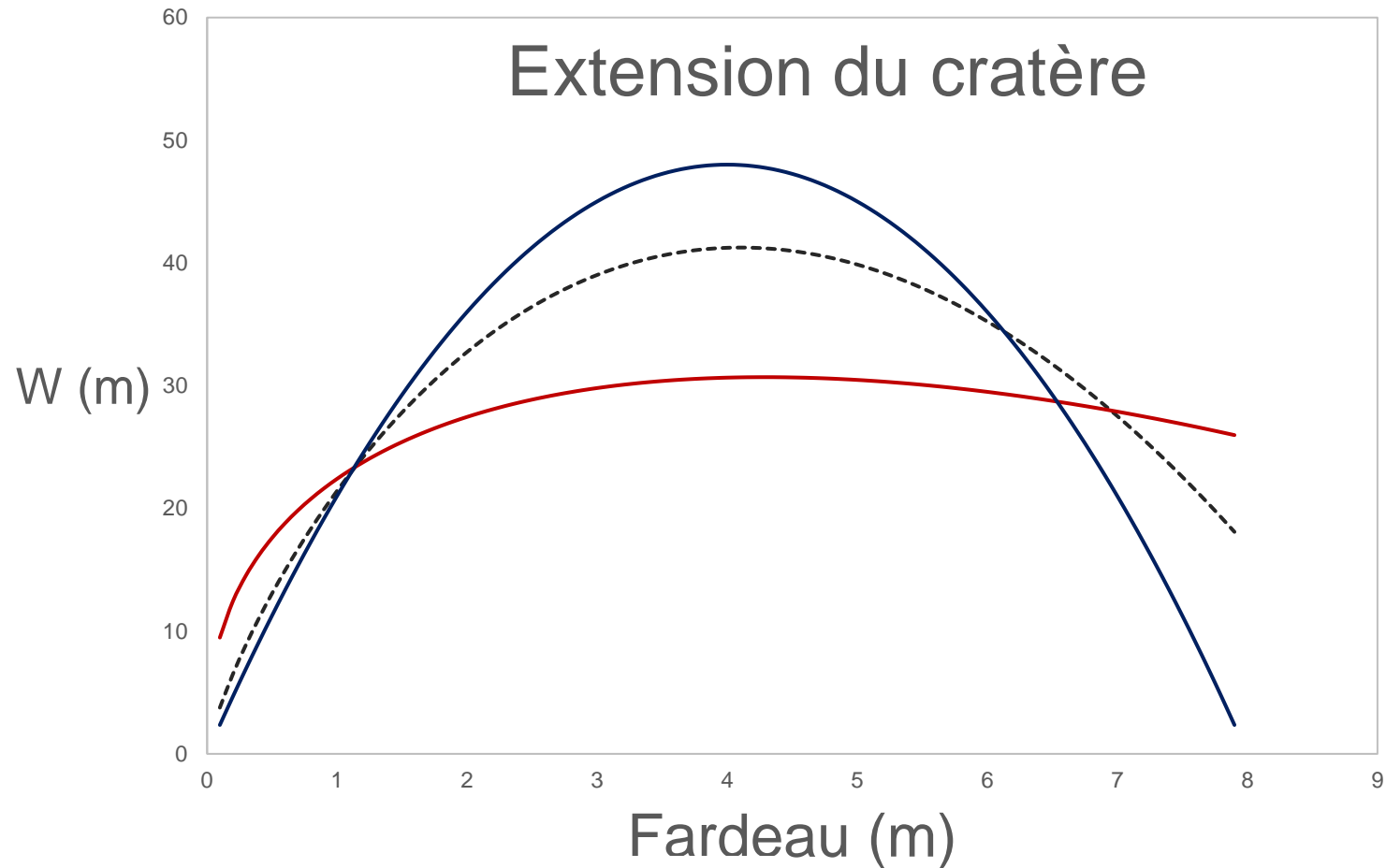
# Conclusion préliminaire

- Pour une faible intensité de fracture:
  - Fracturation prismatique pour les roches dures → **S = 1**
  - Fracturation elliptique pour les roches tendres/faible → **S ≈ 0.4**
  
- Un plan de rupture espacé peut dominer ponctuellement la fracturation
  - Plan parallèle à la face élargit le cratère → **S ≈ 0.85**
  - Plan perpendiculaire crée une boîte concave → **S ≈ 0.6**

# Conclusion préliminaire

- Massif fracturé
  - Profil de fracturation en marches
  - Asymétrie par orientation du joint
  - Profil global concave  $\longrightarrow S \approx 0.6 - 0.9$
  - Intensité de la fracturation  
inversément proportionnel à  $S \longrightarrow RQD \propto 1/s$

# Implications – Extension du cratère

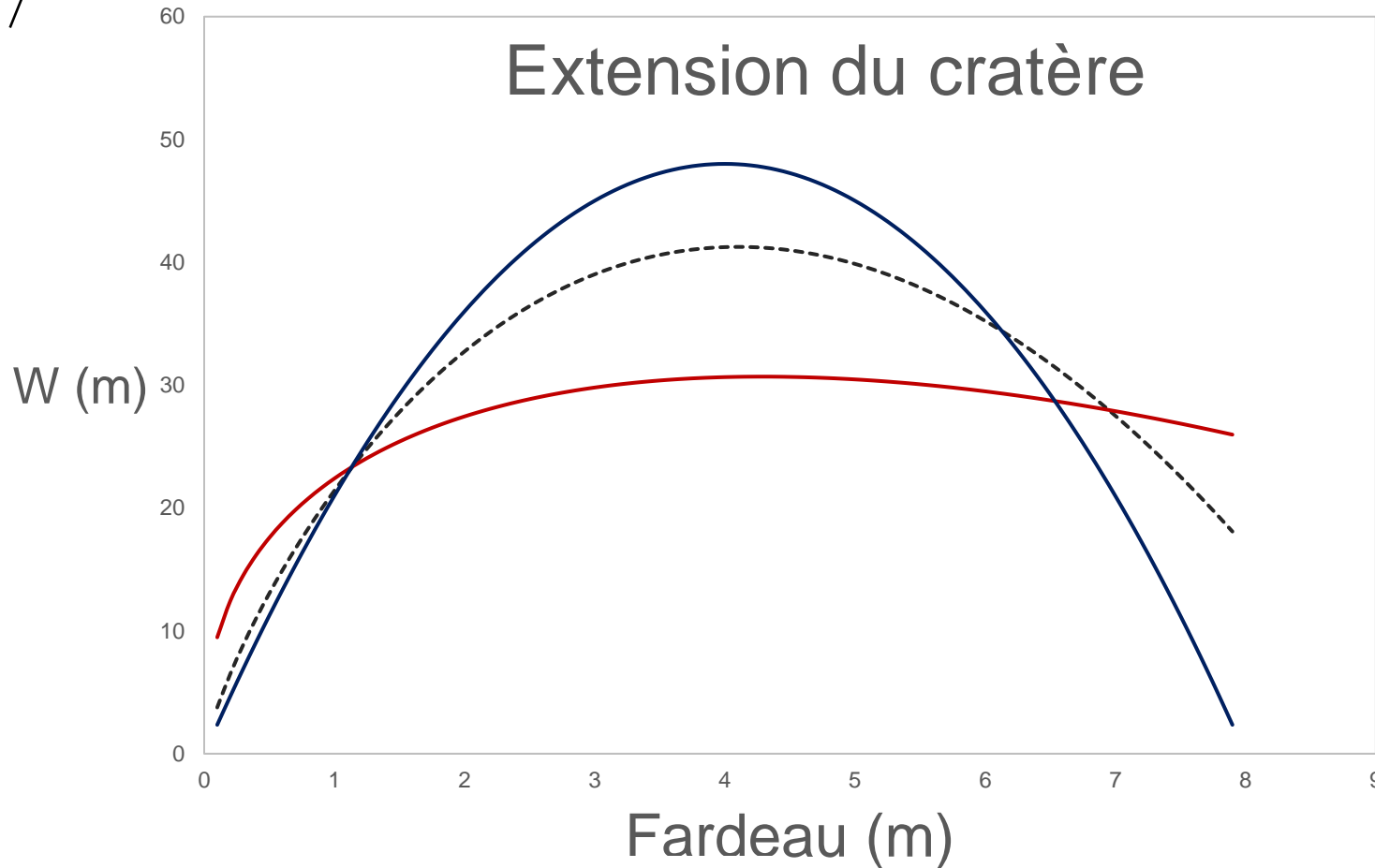


----- Massif fracturé

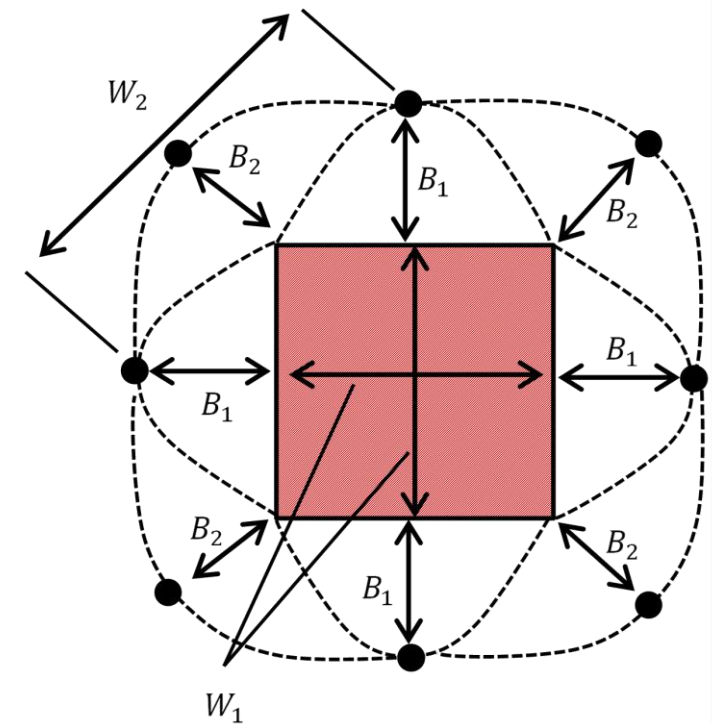
— Roche tendre (sel) et plan structural perpendiculaire

— Béton homogène

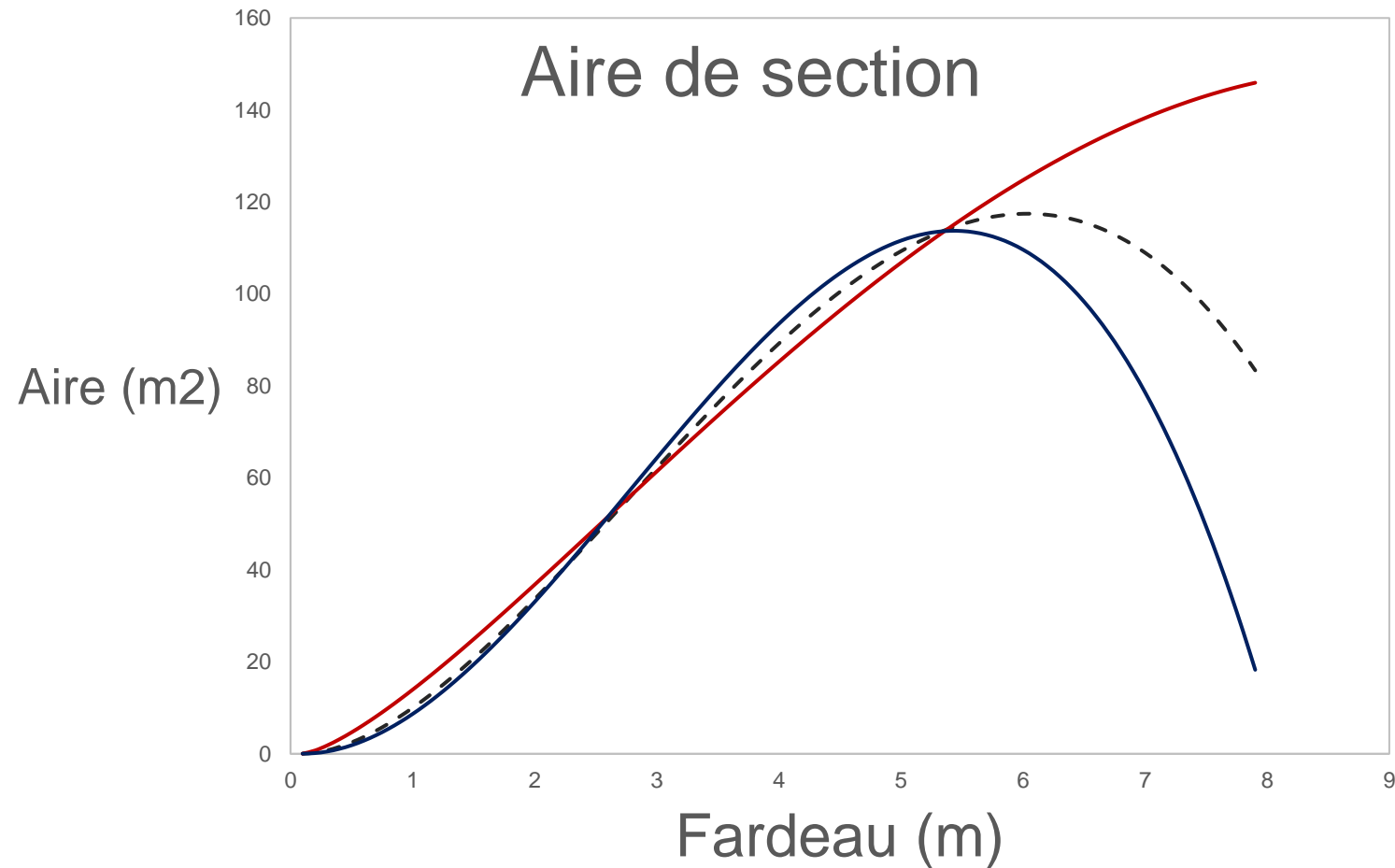
# Implications – Extension du cratère



- Massif fracturé
- Roche tendre (sel) et plan structural perpendiculaire
- Béton homogène



# Implications – Facteur poudre (aire du profile)



--- Massif fracturé

— Roche tendre (sel) et plan structural perpendiculaire

— Béton homogène

# Remerciements

**DYNO**  
**Dyno Nobel**



Merci aux partenaires et  
agences subventionnaires