

Indices empiriques de sautage par trous signatures augmentés

Méthode de caractérisation standard unifiée

Par: Jonathan D. Aubertin, PHD, ing.

47e session d'étude SEEQ

21 novembre 2024

Contenu de la présentation

- Caractérisations de site conventionnelles
- Nouvelle méthode TSA qui combine:
 - Tirs individuels et mesure de cratère
 - Trous signatures
- Exemples d'application
- Balance énergétique et applications avancées

Caractérisation de site pour les sautages

- Propriétés mécaniques
 - Géologies
 - Fractures, fissures, failles, etc.
- Performance des explosifs (et diamètre)
- Relations géométriques et influence du fardeau
- Intrants de départs pour règles de conception

Méthodes de caractérisations

- Géotechnique
- Vibration
- Performance des explosifs
- Fragmentation



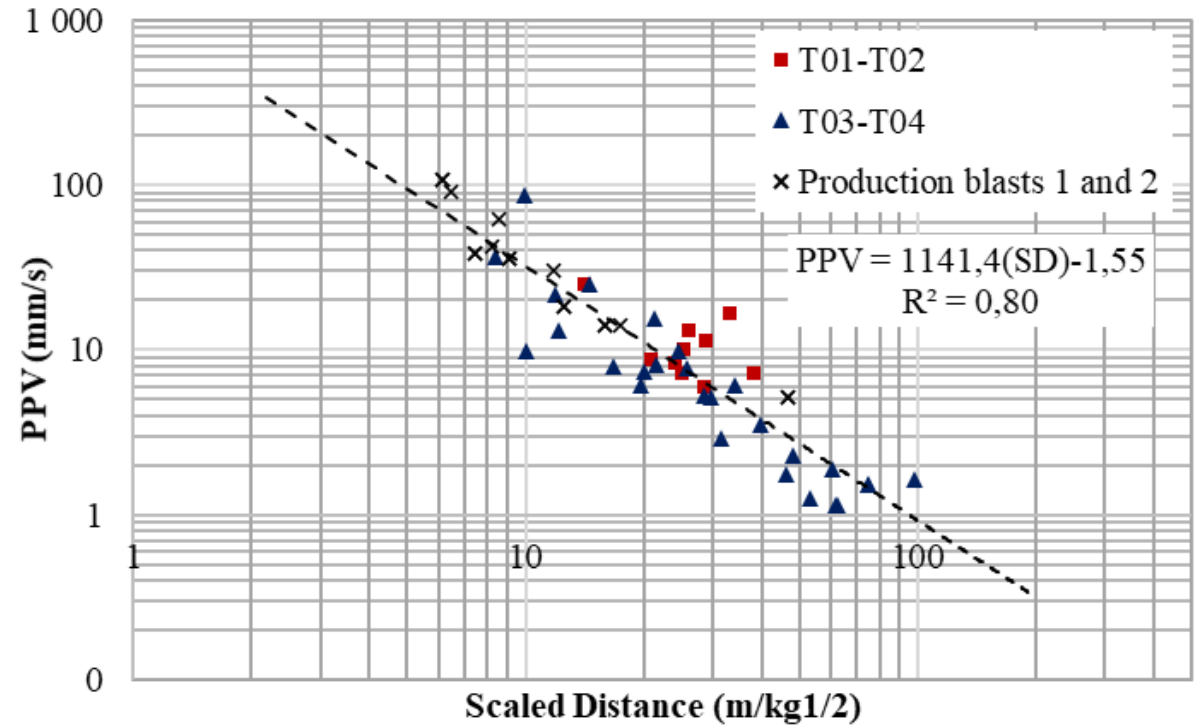
Méthodes de caractérisations

- Géotechnique
 - Résistance mécanique
 - Mapping structurel
- Vibration
- Performance des explosifs
- Fragmentation



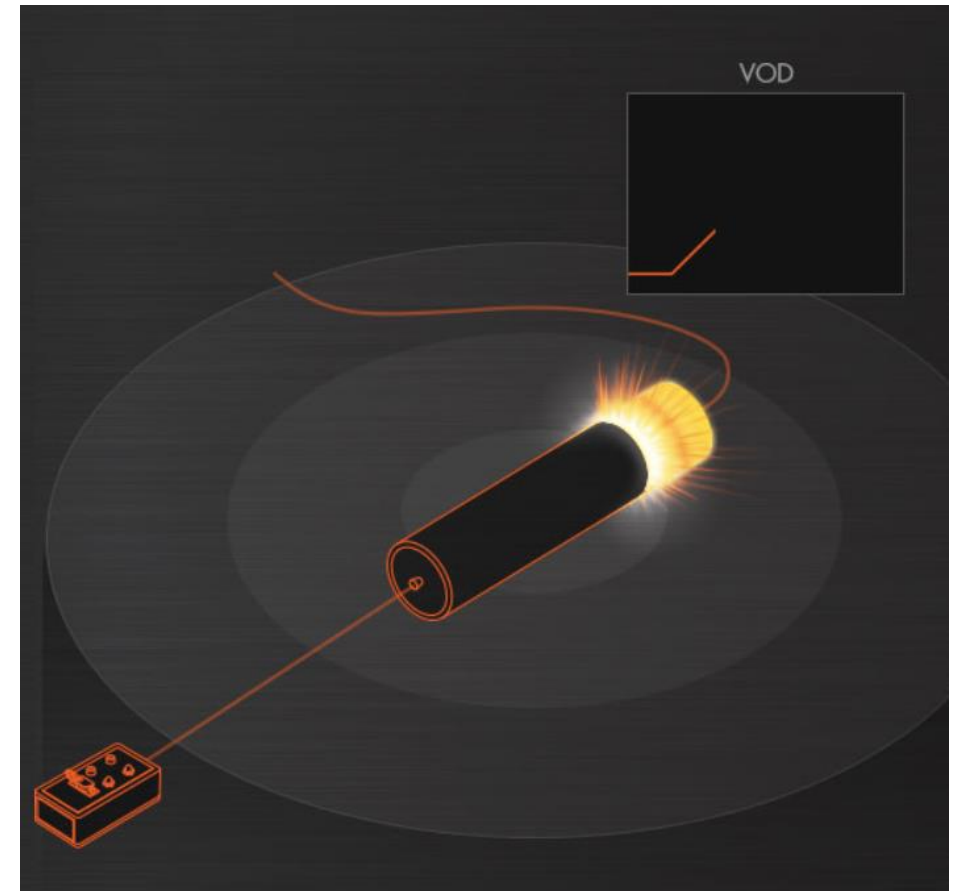
Méthodes de caractérisations

- Géotechnique
- Vibration
 - Trous signature
 - Sismographes
- Performance des explosifs
- Fragmentation



Méthodes de caractérisations

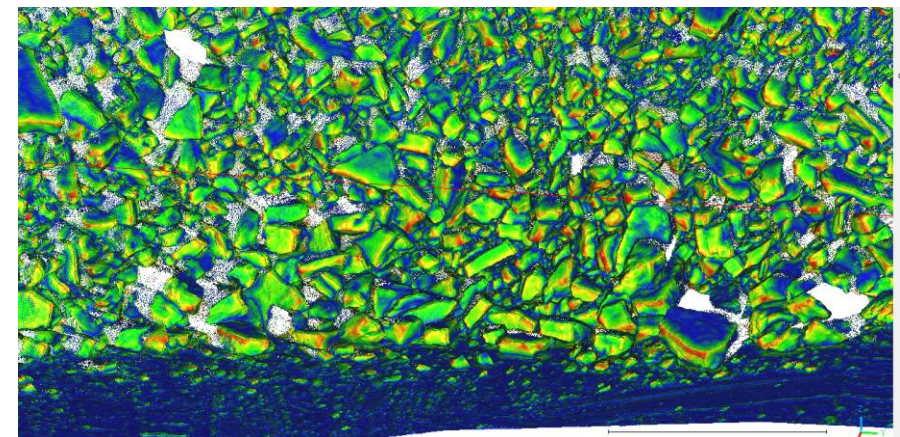
- Géotechnique
- Vibration
- Performance des explosifs
 - Mesures de VOD
 - Profil de bris et cratère
- Fragmentation



https://mrel.com/blasting_instrumentation/handitrap.html

Méthodes de caractérisations

- Géotechnique
- Vibration
- Performance des explosifs
- Fragmentation
 - Relations empiriques (KCO)
 - Calibration par analyse d'image



Défi caractérisation

- Multiples méthodes tests en fonction de l'application choisit
- Difficile transposition des résultats
 - Changement de géologie
 - Logique labo-chantier limitée
- Aucune méthode de caractérisation complète

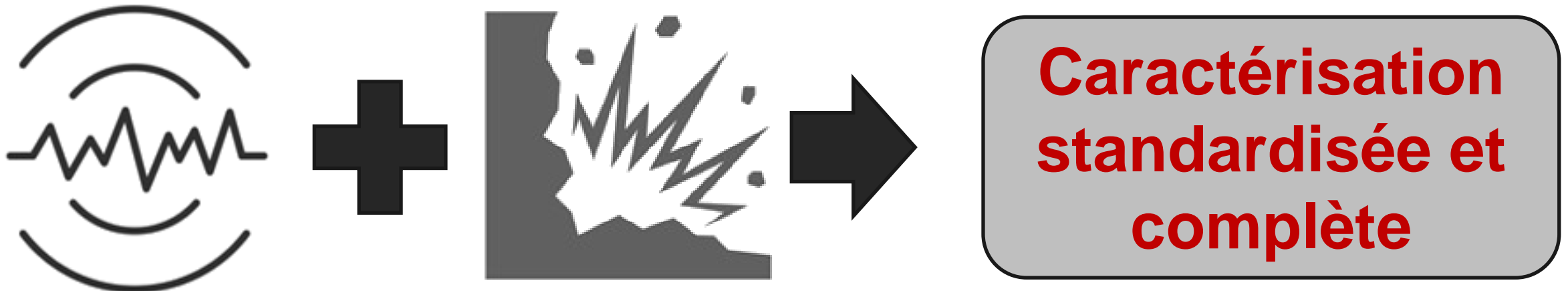
Objectif développement

➤ **Méthode de caractérisation standardisée**

- Vibration, atténuation
 - Fragmentation et granulométrie
 - Bris (hors)profil et direction de la projection
-
- Critères:
 - Faible coût et facile à réaliser
 - Applications variées et complètes
 - Reproductible et comparable

Trous signatures augmentées - TSA

- Combinaison de deux méthodes complémentaires:
 - Trous signatures (séparé du sautage)
 - Cratères par tirs individuels (SHoBI)



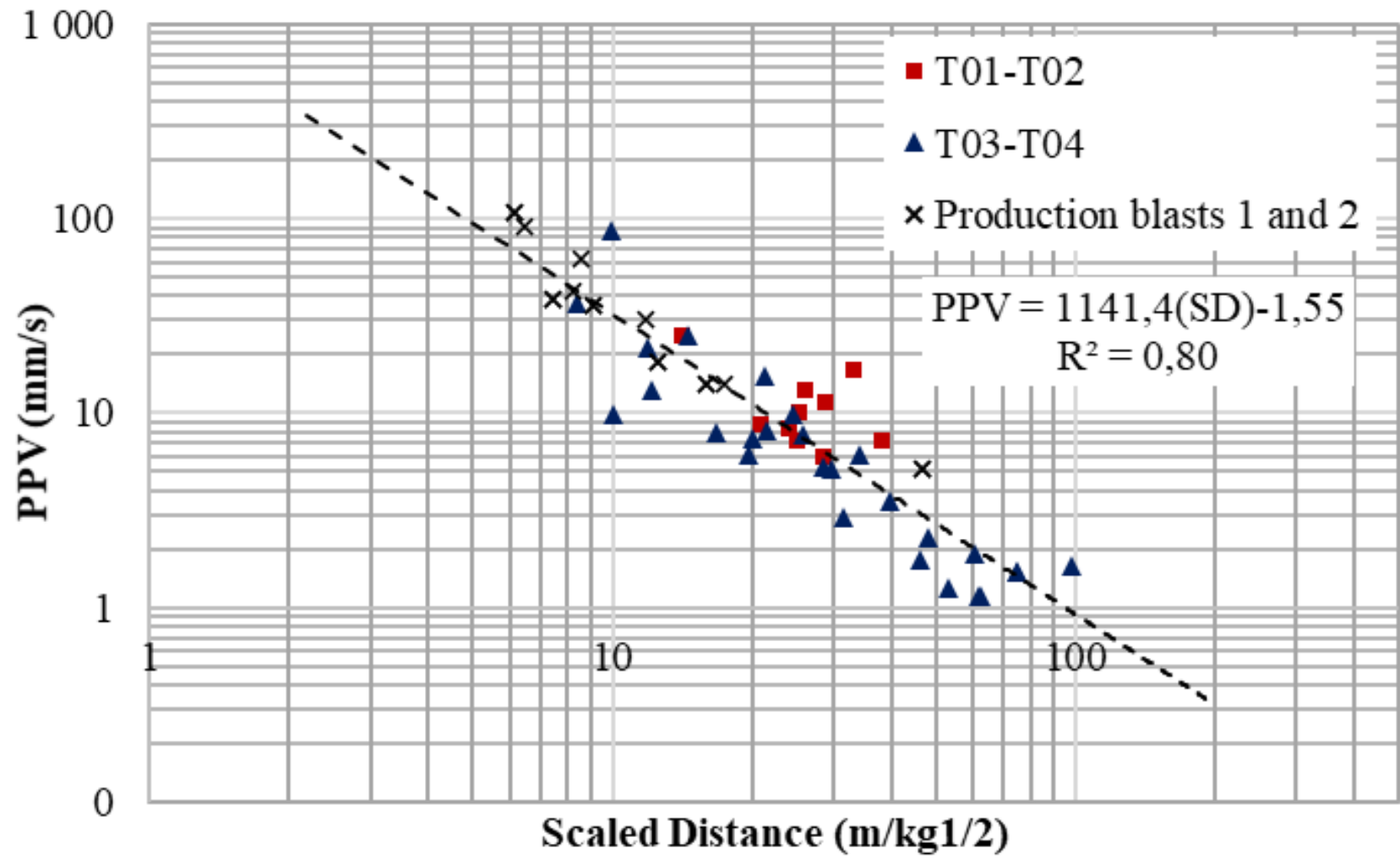
TROUS SIGNATURES AUGMENTÉES - TSA

Protocole de caractérisation in-situ standardisée uniforme

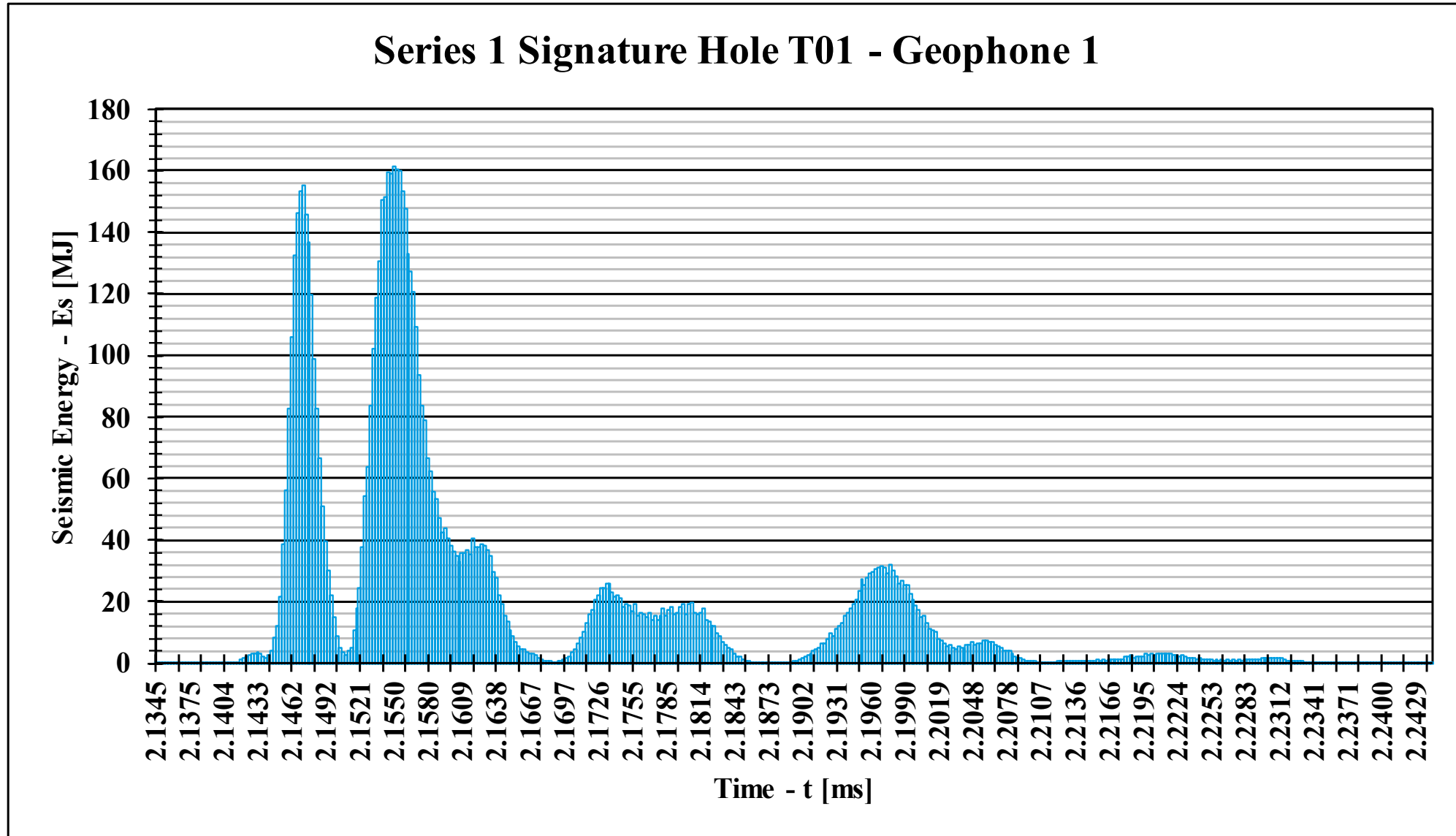
Trous signature

- Protocole test courant
 - Calibrer l'atténuation
 - Définir la relation de charge et distance
 - Génère le profil de vibration
 - Permet d'optimiser les intervalles de sautage
- Voir aussi présentation de [Reid, SEEQ 2022](#)

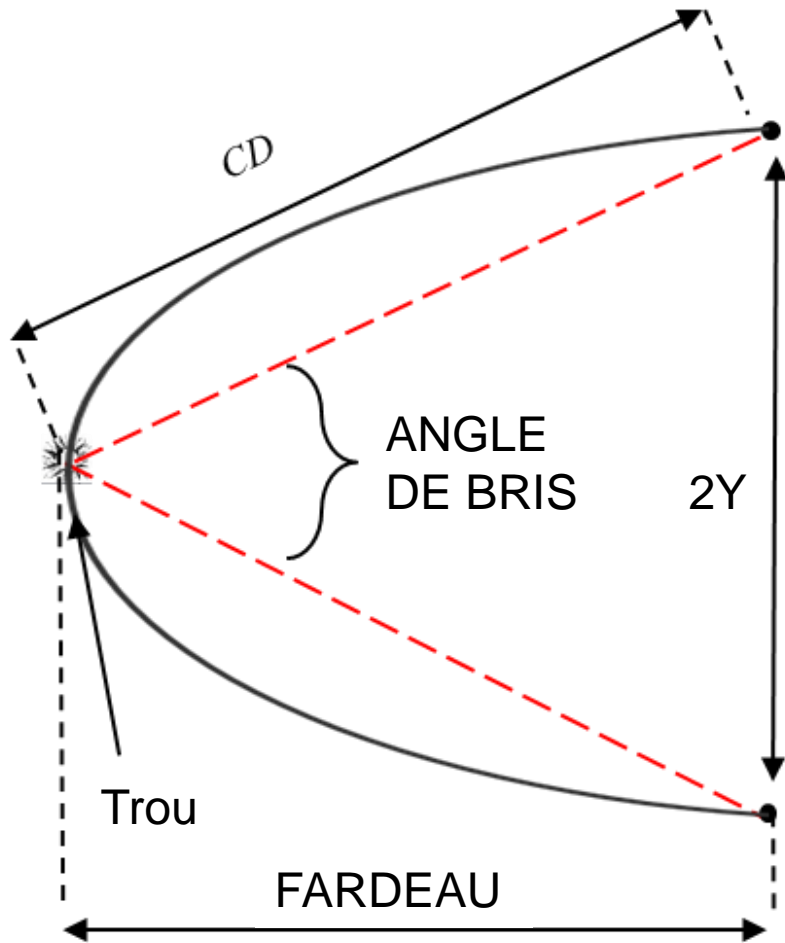
Relation d'atténuation



Profil de l'onde (waveform)



Méthode SHoBI (tiré de [SEEQ 2023](#))



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

Méthode SHoBI (tiré de [SEEQ 2023](#))



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

Protocole TSA

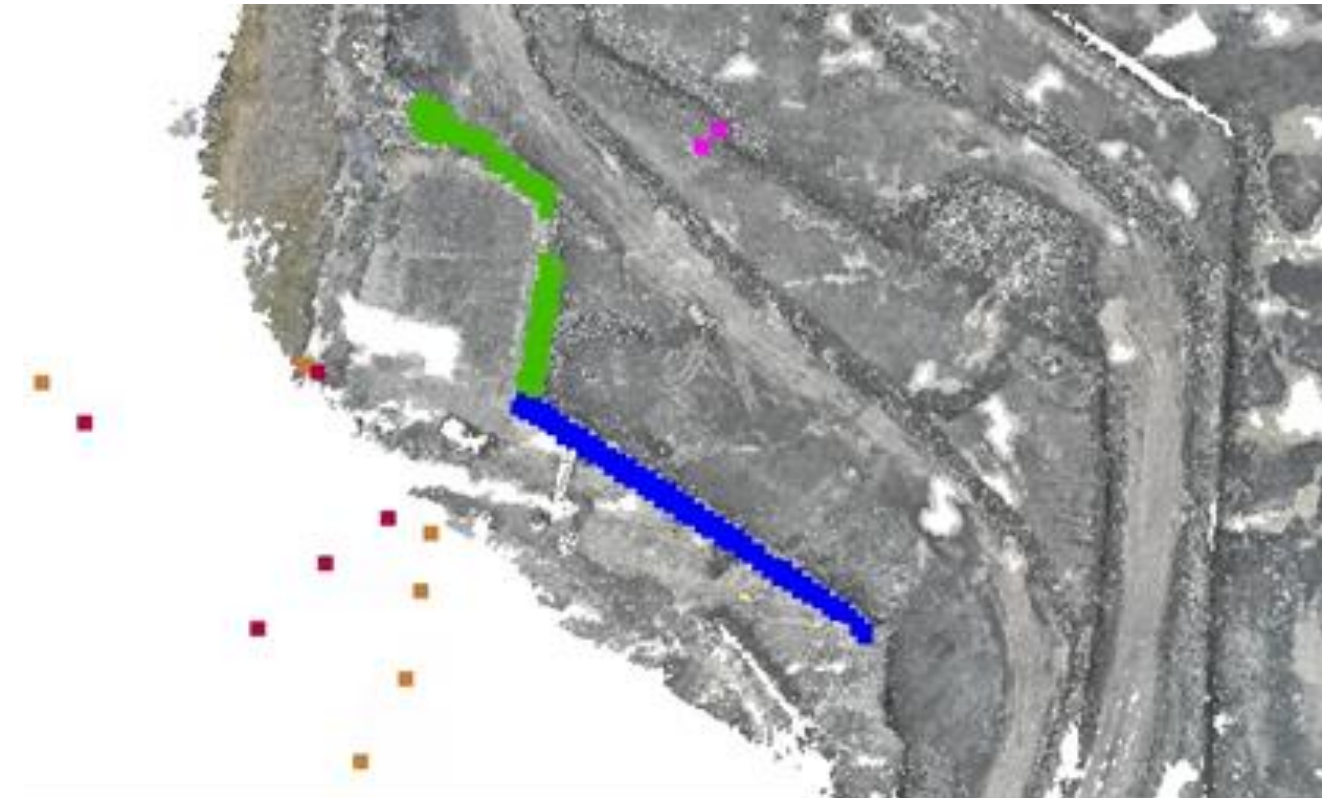
- Combinaison de tirs trou signature et mesure des cratères résultants
- Séparation distincte et physique des tirs de production
- Mesure et calibration complète
 - Vibration
 - Cratère
 - Fragmentation

EXEMPLES D'APPLICATIONS ET ANALYSES

Sommaire de différents tests et résultats

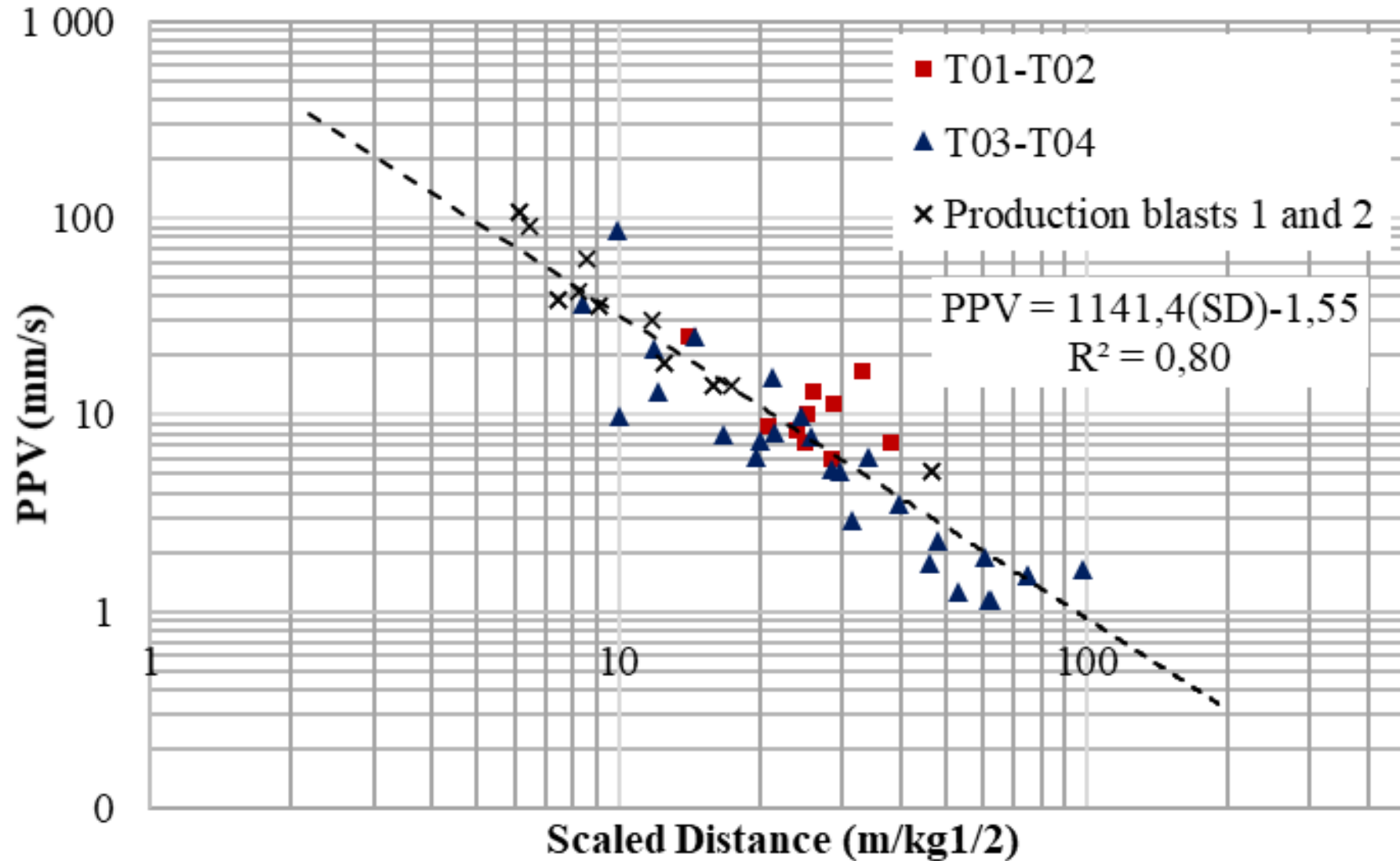
Carrière L - configuration

- 6 géophones
 - 2 connectés ensemble pour vitesse des ondes
- 4 trous signatures
 - 2 trous signatures avec production
 - 2 trous signatures augmentées



- Production blast #1
- Production blast #2
- Signature holes
- Geophones
- Geophones

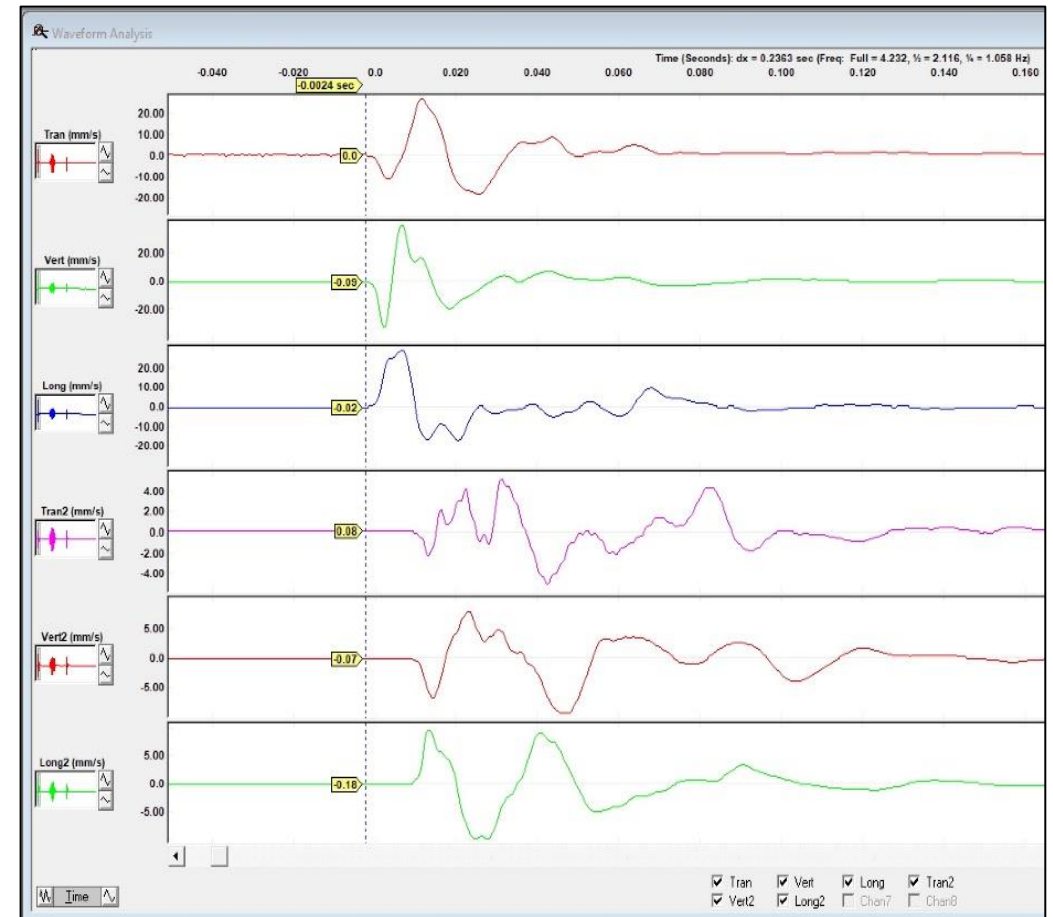
Constantes d'atténuation



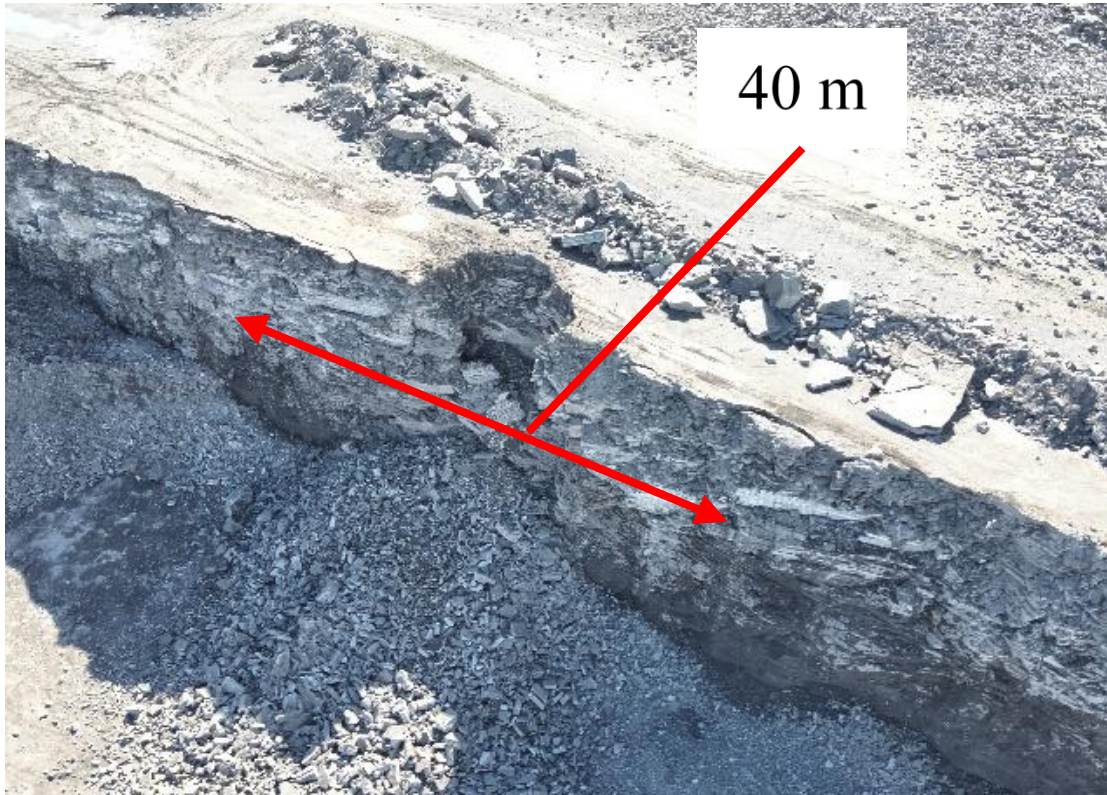
Profils de vibration

- Pics des vibrations
- Directions et vitesse des ondes
- Fréquence et longueur d'onde en fonction de la direction
- Permet de séquencer le sautage pour limiter la superposition (dans une certain mesure)

Visuel via BLASTWARE Gracieuseté de M-A Prince



Profils des cratères

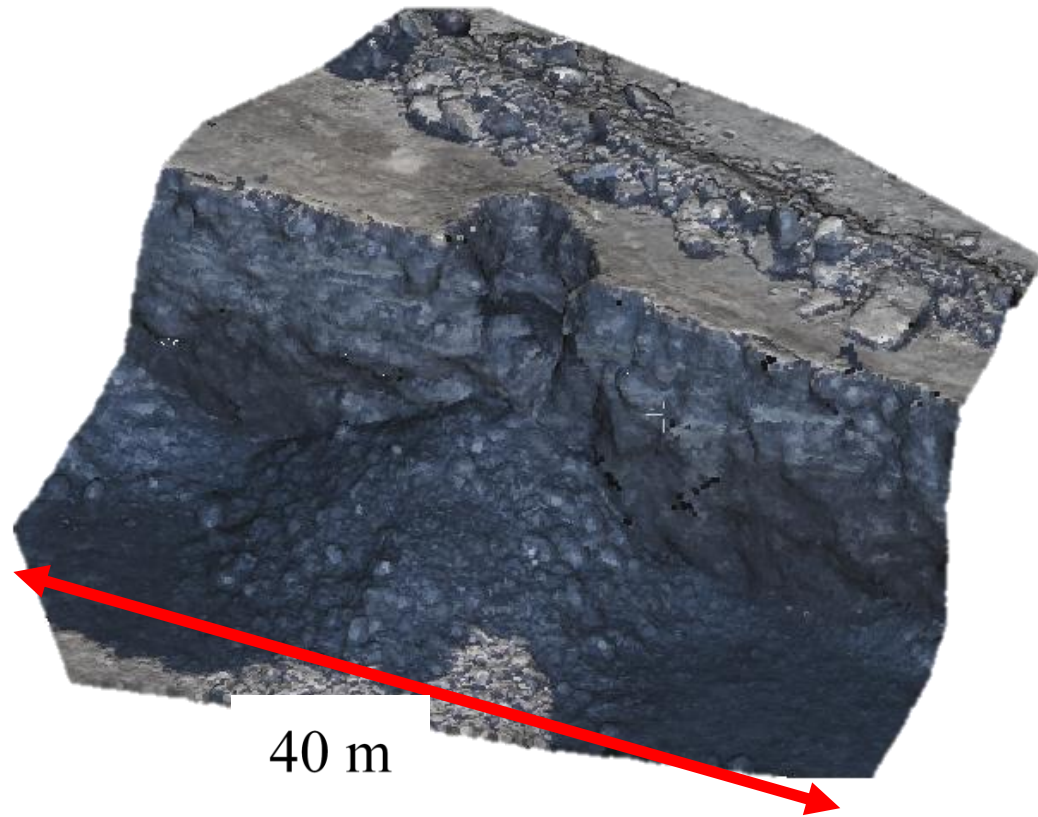


(a)

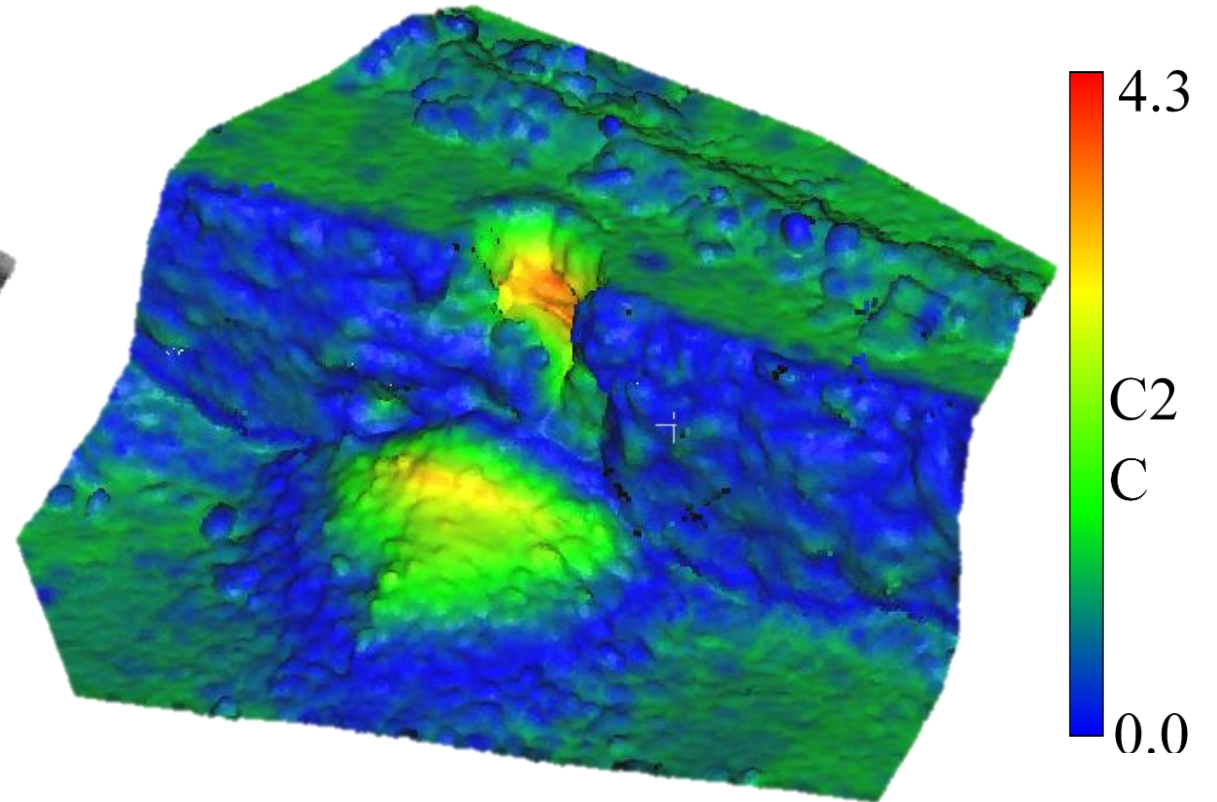


(b)

Modèle 3D TSA

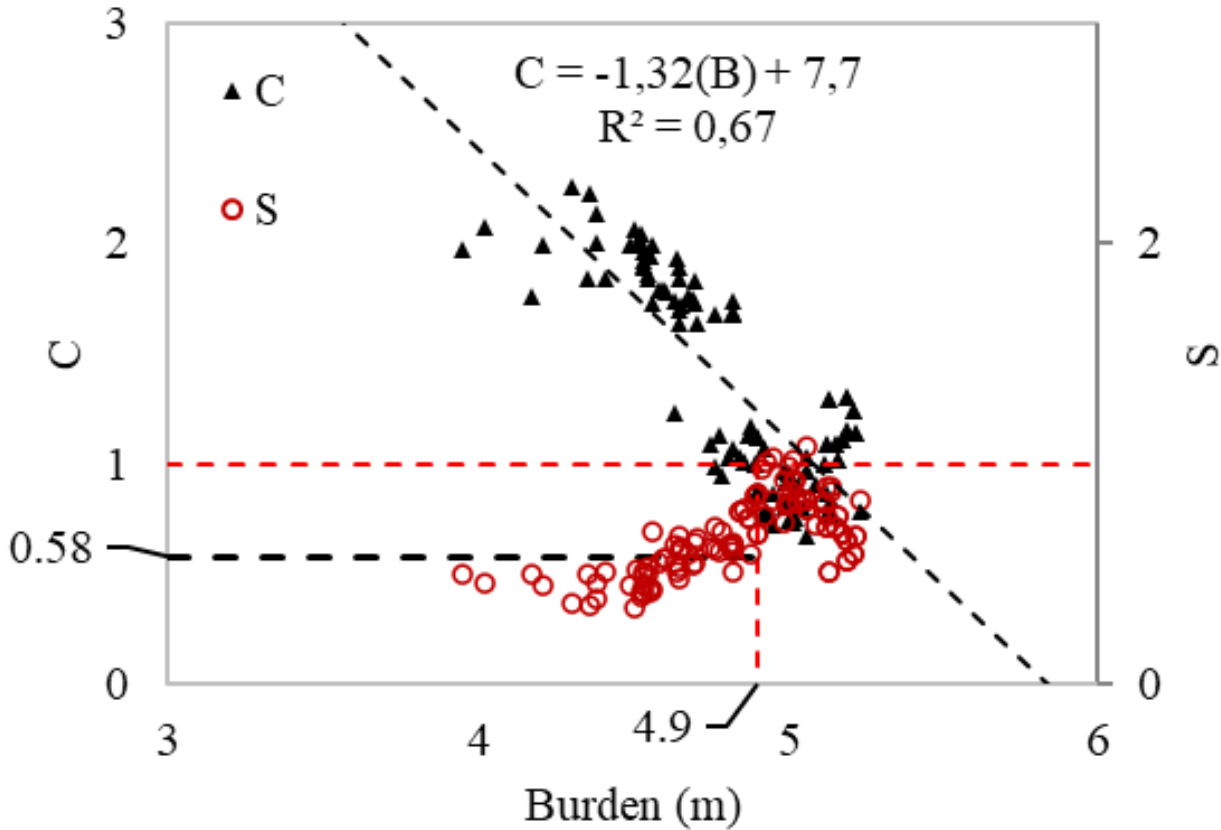


(a)



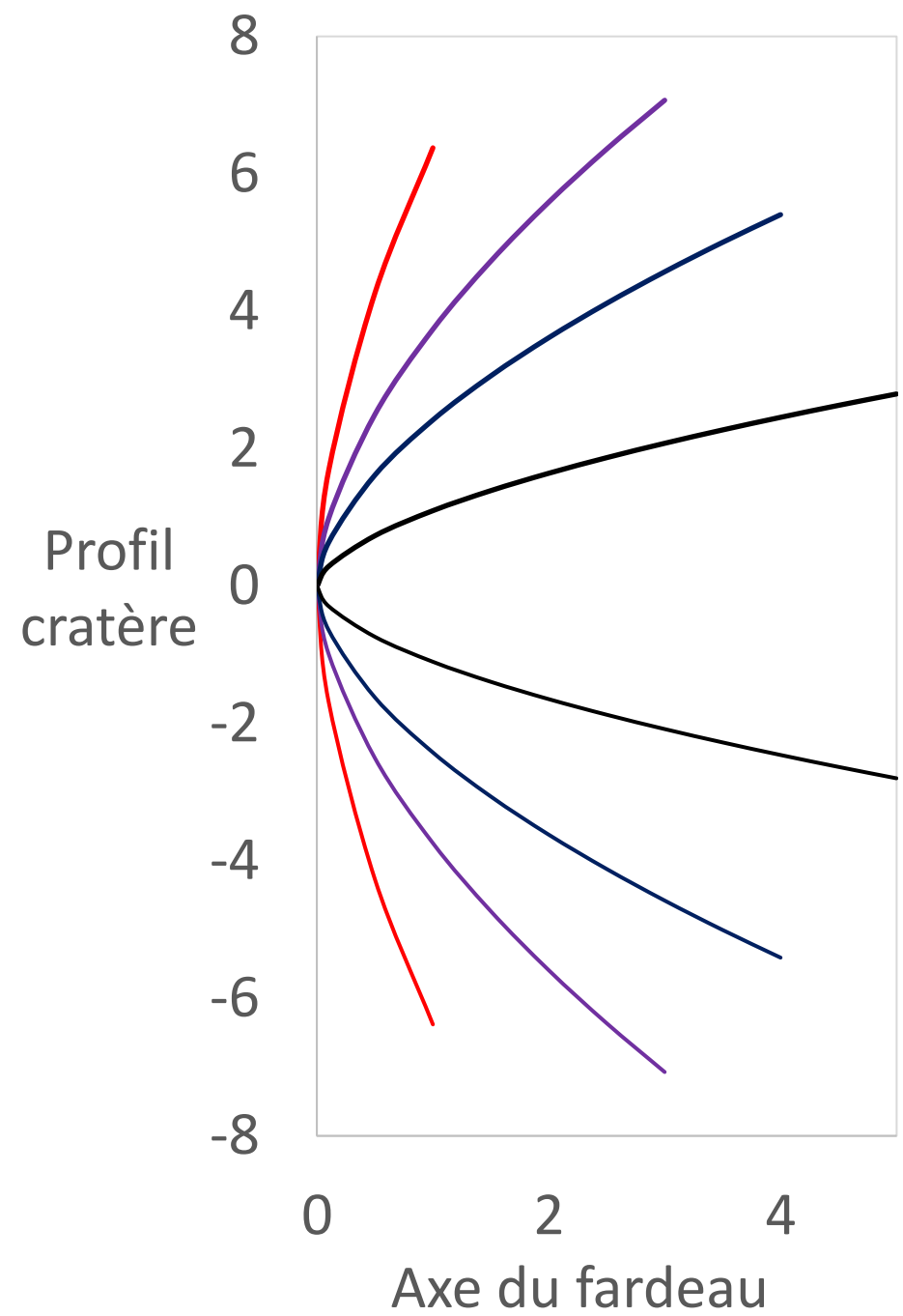
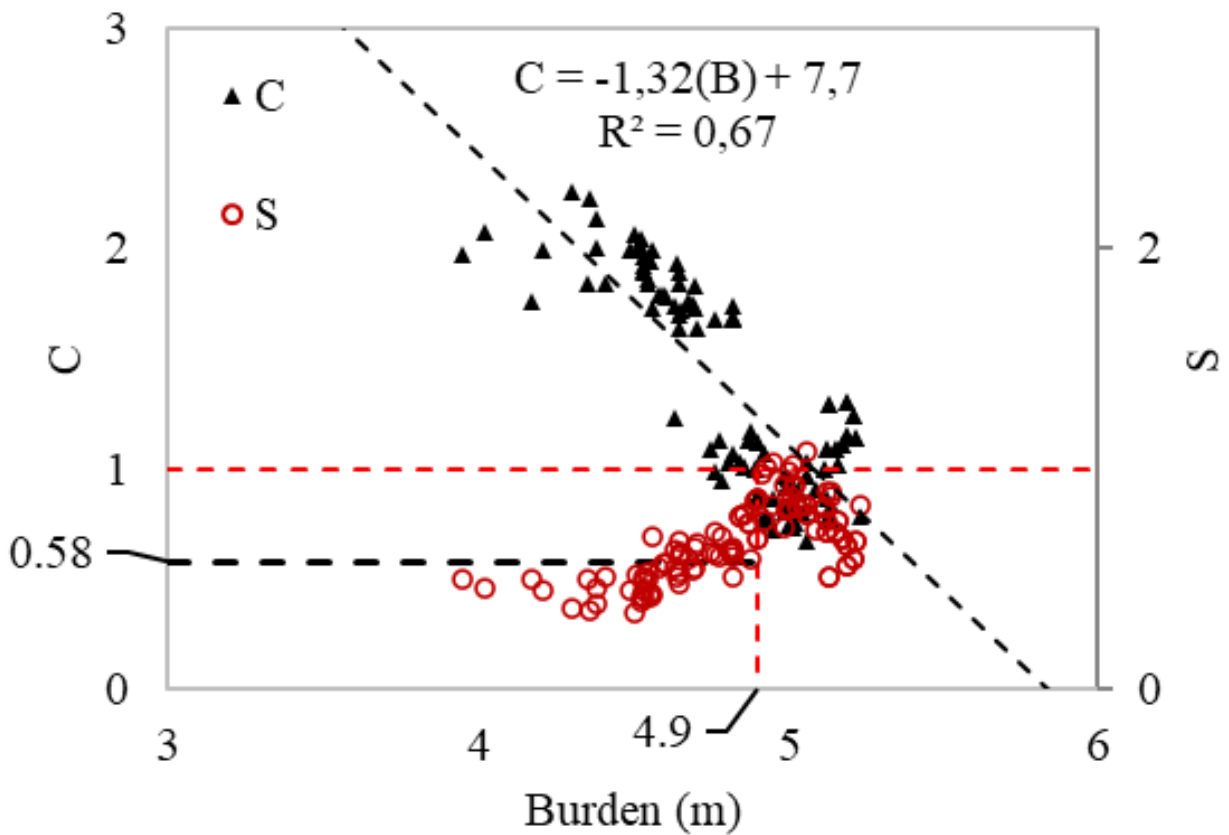
(b)

Relation du cratère

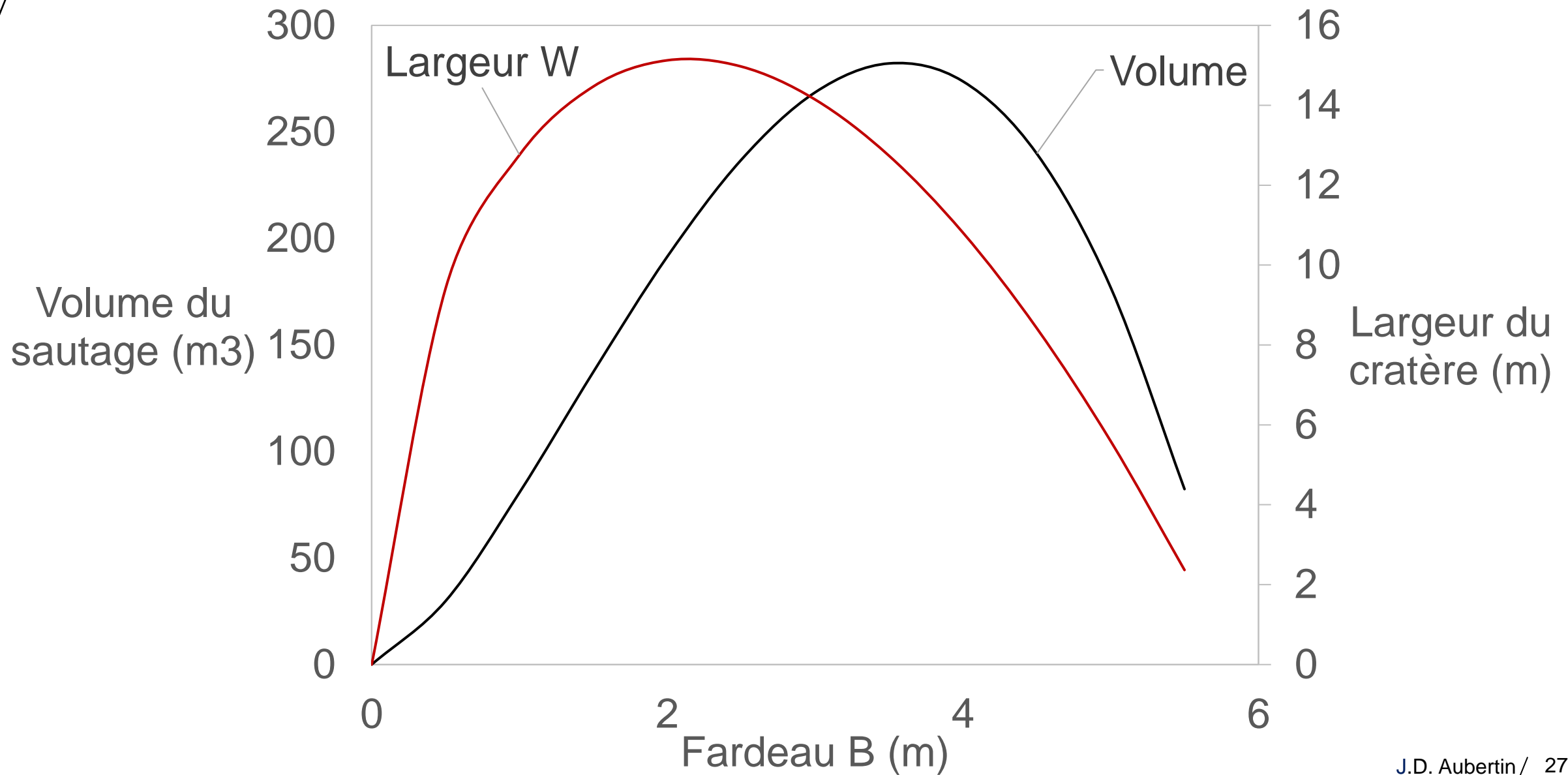


**Relation calibrée du profil
de cratère vs fardeau**

Relation du cratère

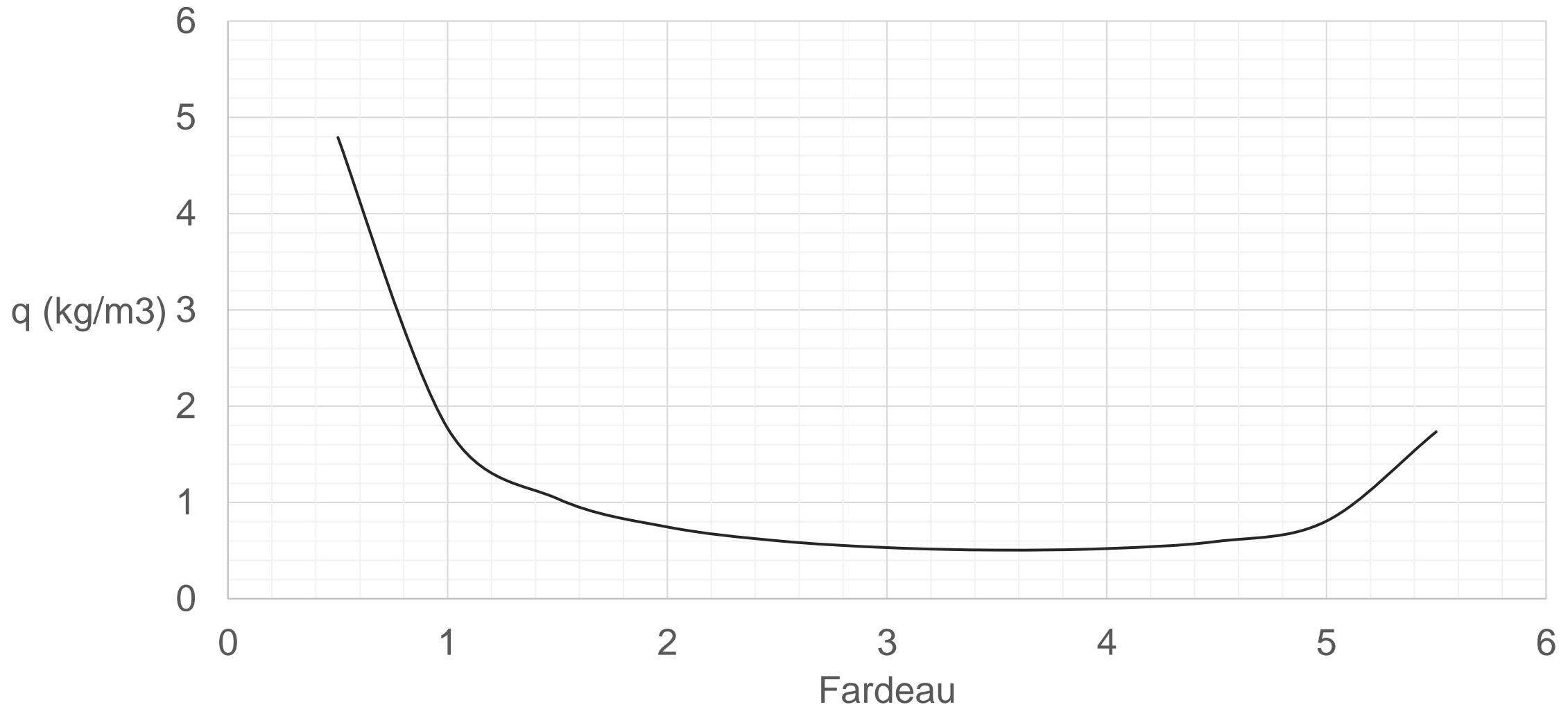


Relations de charge

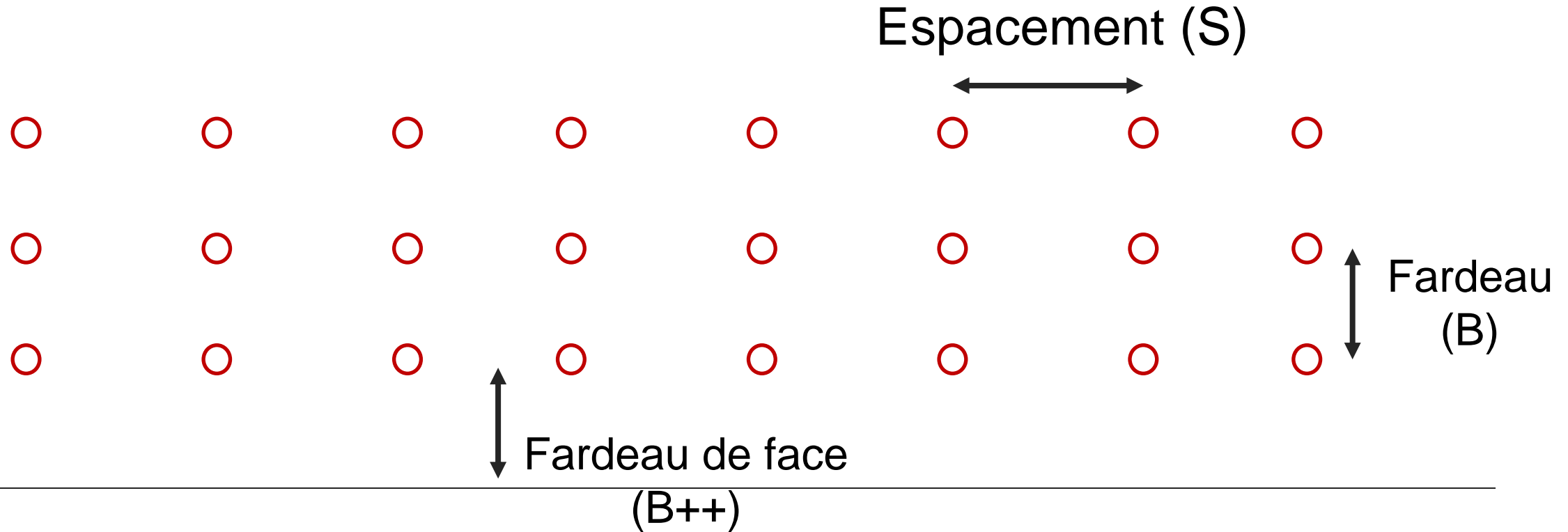


Relations de charge

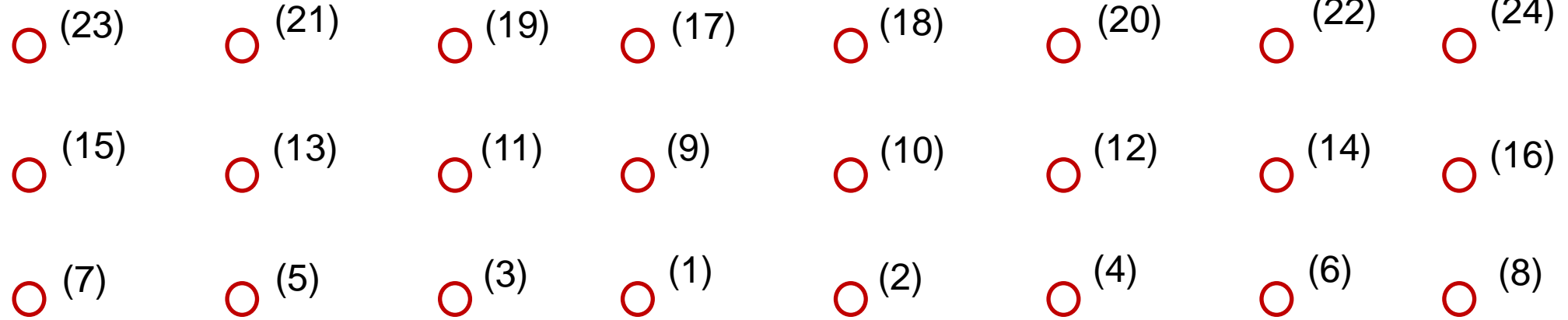
Charge spécifique



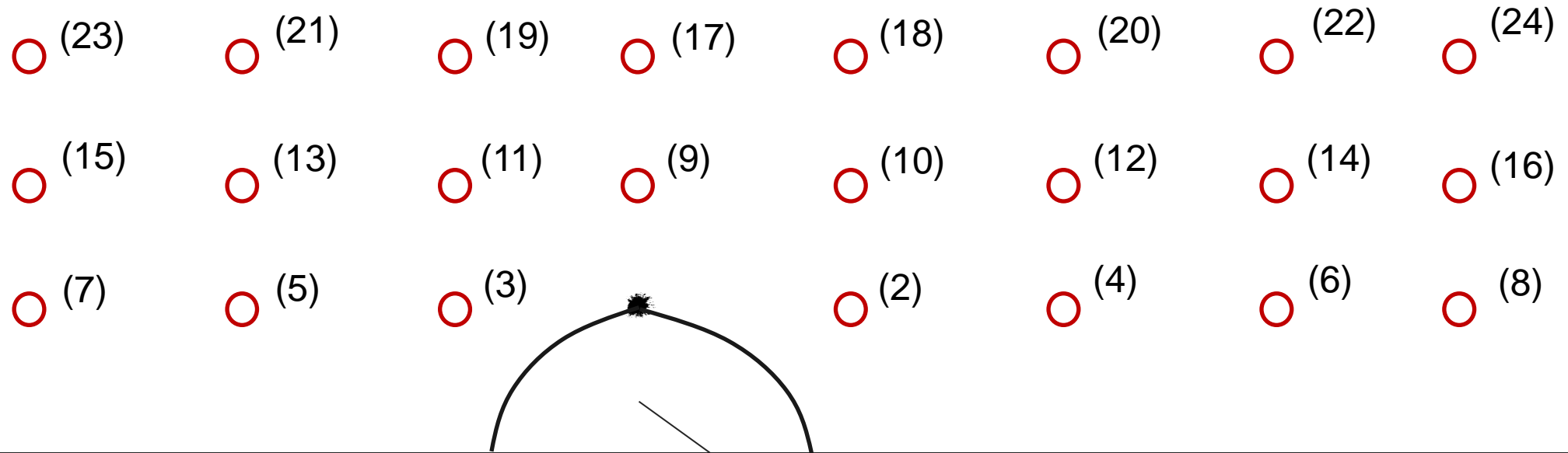
Séquence des cratères



Séquence des cratères

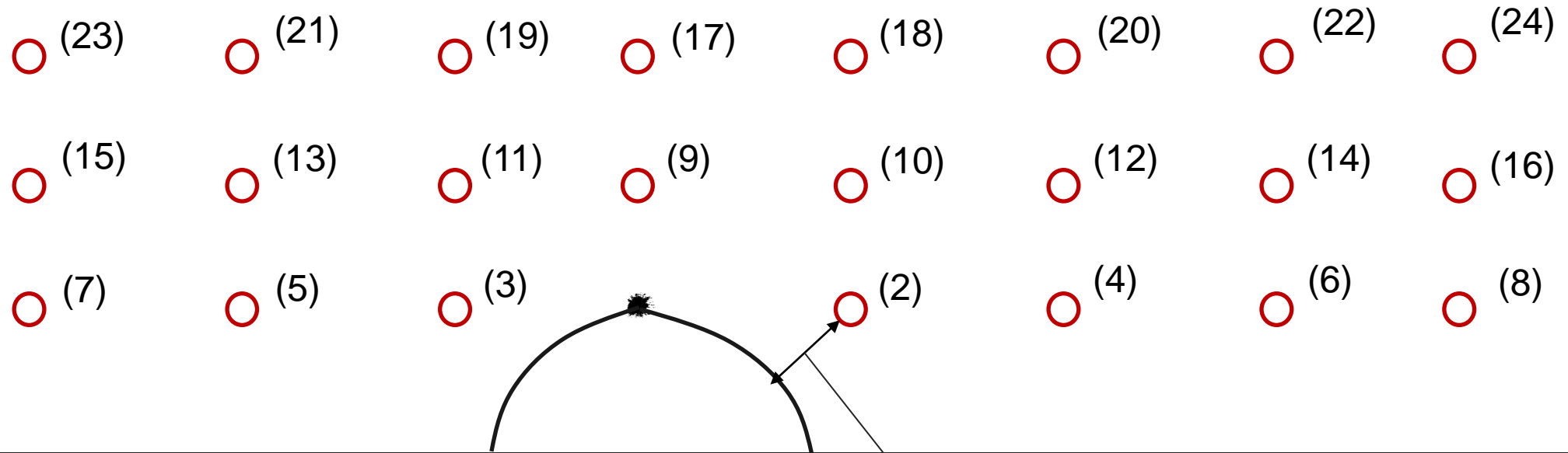


Séquence des cratères



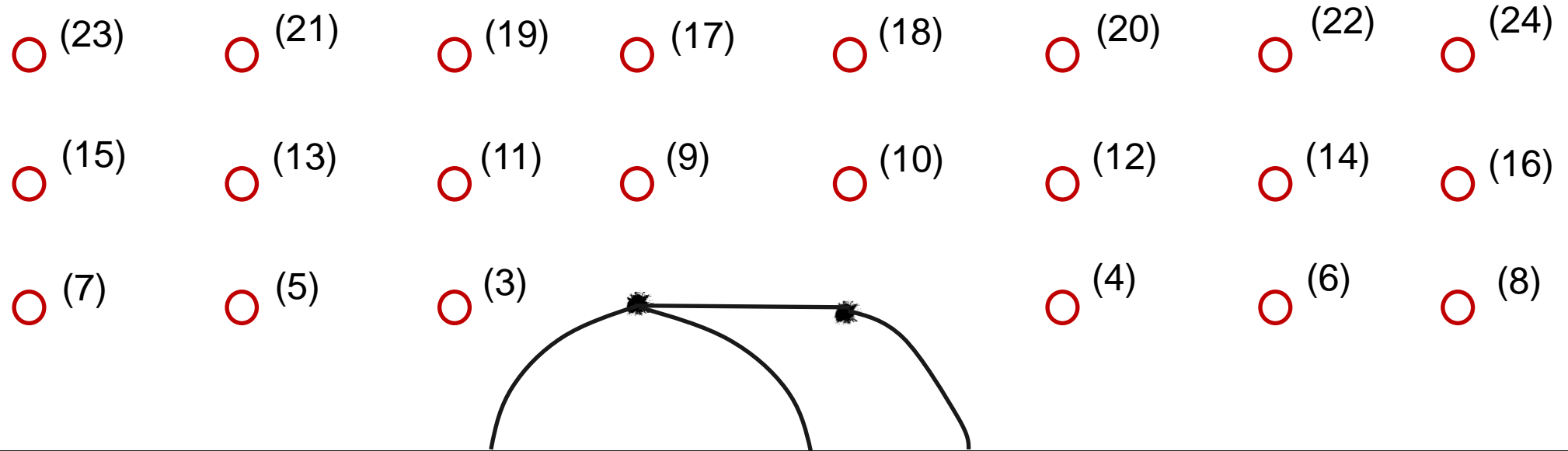
Relation calibrée
cratère vs fardeau

Séquence des cratères

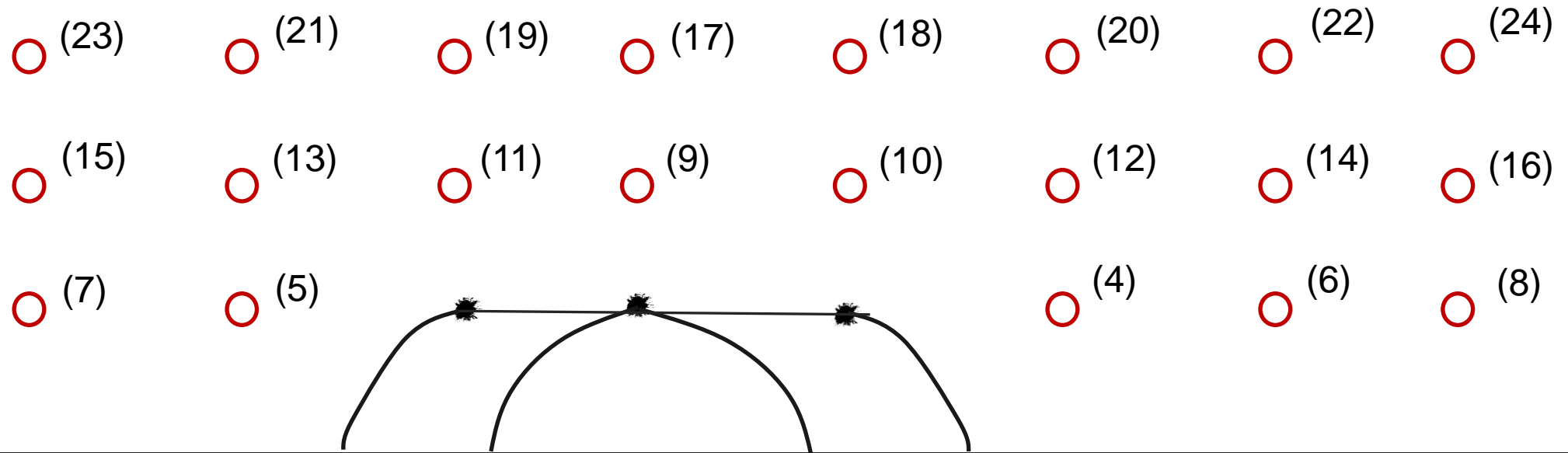


Fardeau
effectif

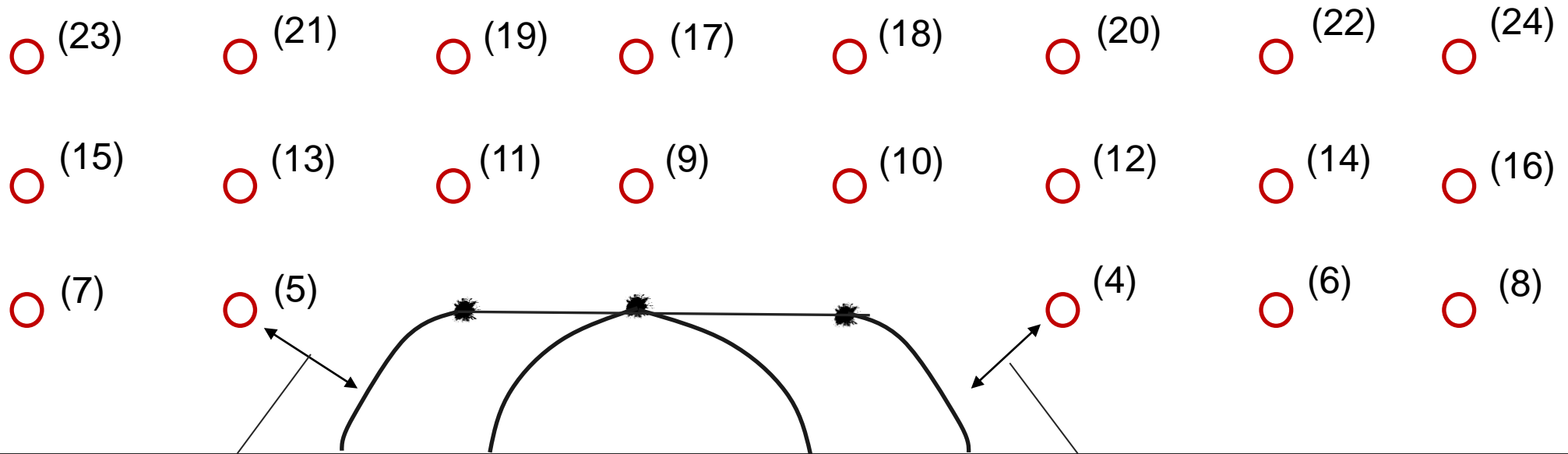
Séquence des cratères



Séquence des cratères



Séquence des cratères



Nouveau Fardeau effectif

Nouveau Fardeau effectif

Séquence des cratères

La séquence des cratères dicte:

- La projection
- Le fardeau effectif
- L'interaction entre les ondes
- Le profil de bris potentiel



Nouveau
Fardeau effectif

Nouveau
Fardeau effectif

Séquence des cratères

La séquence des cratères dicte:

- La projection
- Le fardeau effectif
- L'interaction entre les ondes
- Le profil de bris potentiel

Jusqu'à 5 fardeaux effectifs différents dans un sautage typique

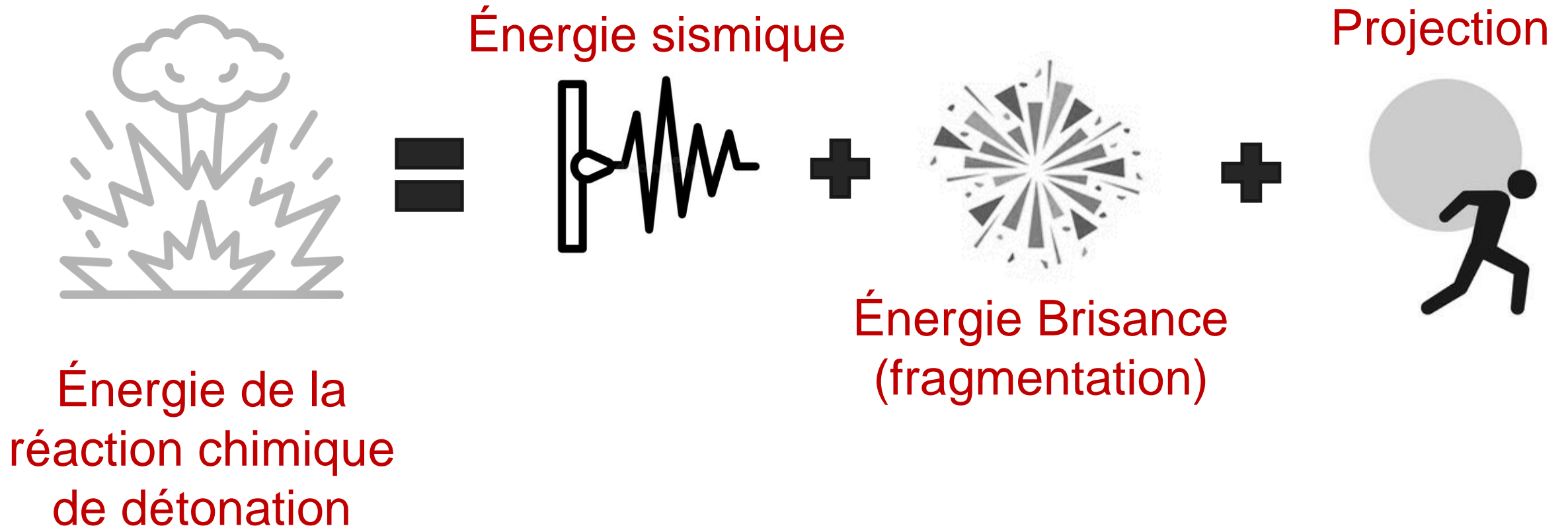
Nouveau
Fardeau effectif

Nouveau
Fardeau effectif

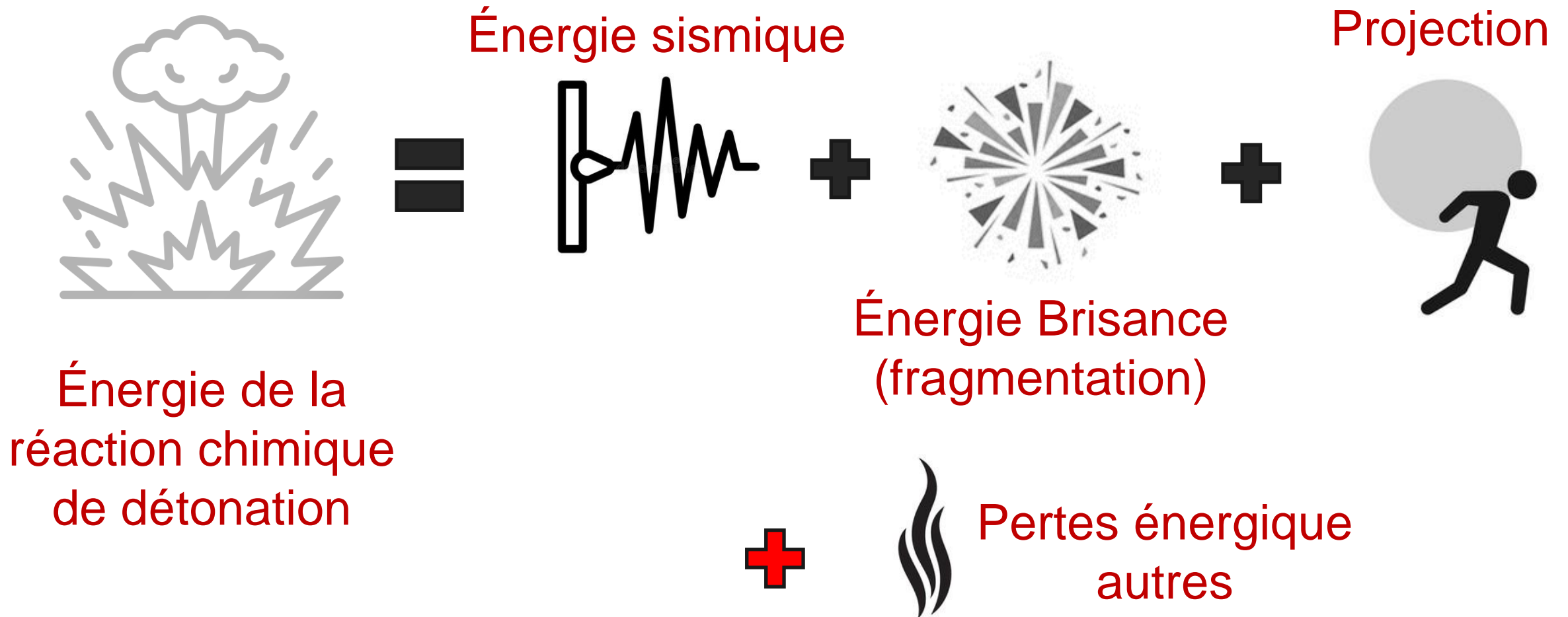
ANALYSE AVANCÉE

Potentiel de la méthode TSA

Relation énergétique (balance)



Relation énergétique (balance)



Relation énergétique (balance)



Énergie de la
réaction chimique
de détonation

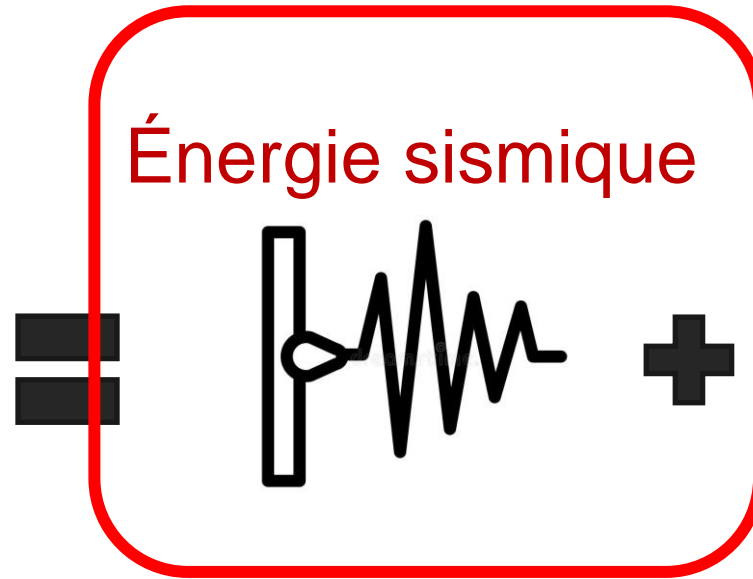
Total explosive energy per unit length of blasthole
(Jimeno, et al., 1995):

$$W_e = \frac{Q}{L} \cdot \eta \cdot Q_e = \frac{\pi}{4} \eta Q_e \rho_e \phi^2$$

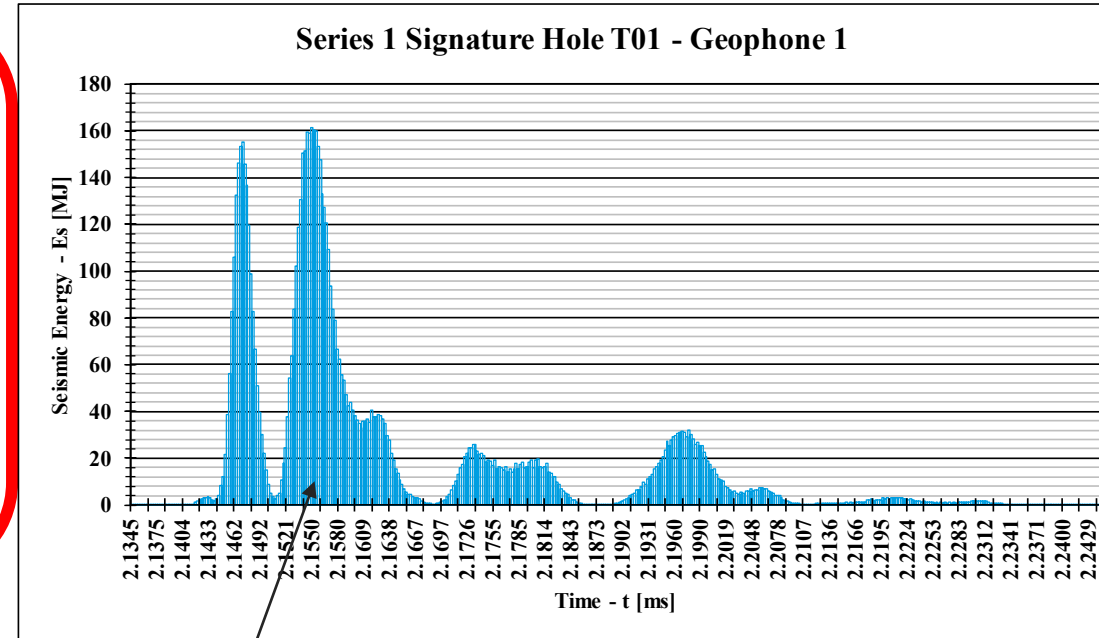
Equation 28.

where η is an explosive efficiency factor, set at 20% for this work (Mosinets, 1966; Udy & Lownds, 1990). Q_e is the energy output of explosives, $Q_e = 3.7 \times 10^6$ J/kg for ANFO (Orica Mining Services, 2017).

Relation énergétique (balance)



Énergie de la réaction chimique de détonation



Aire sous la courbe

Relation énergétique (balance)

Relation physique impliquant:

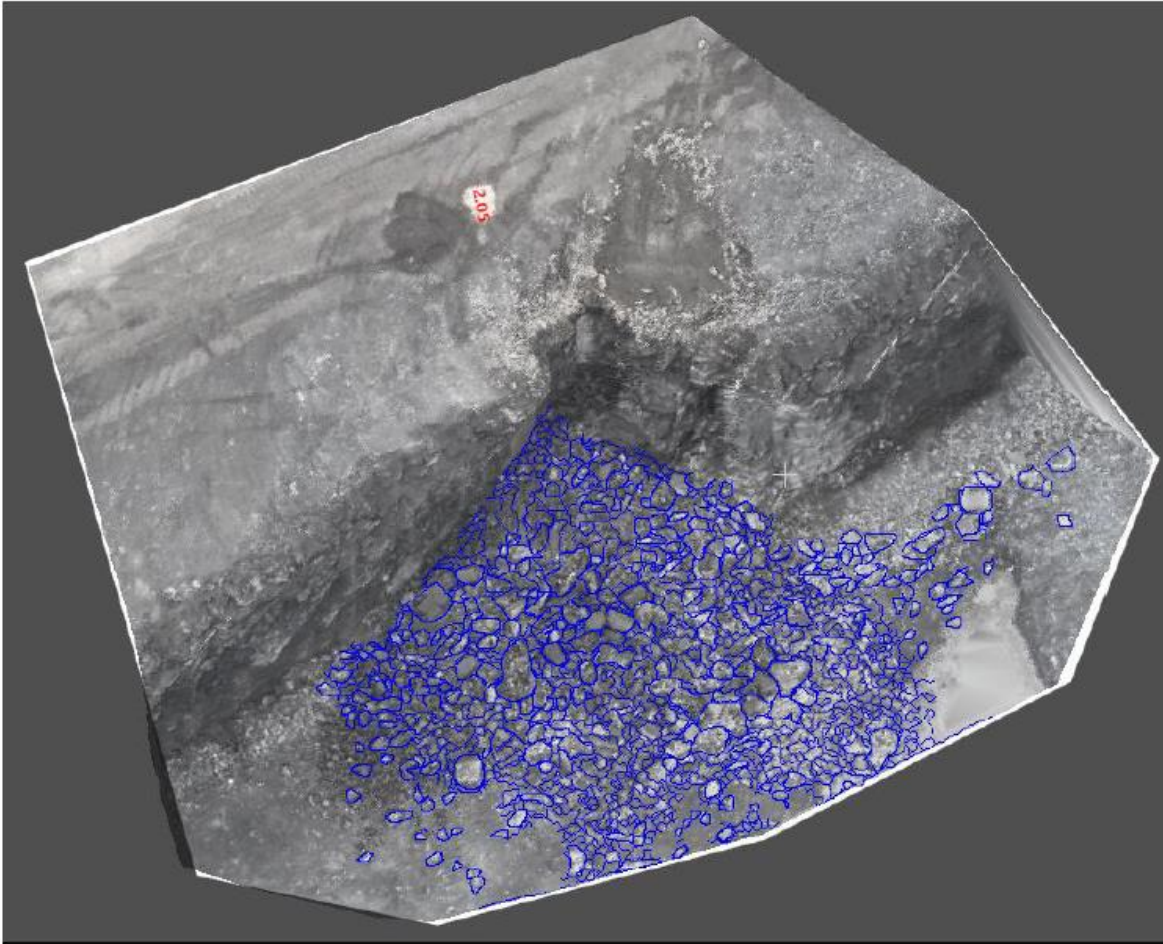
- La taille du sautage
- Le centre de gravité
- La distance projetée moyenne
- (la vitesse)



Projection



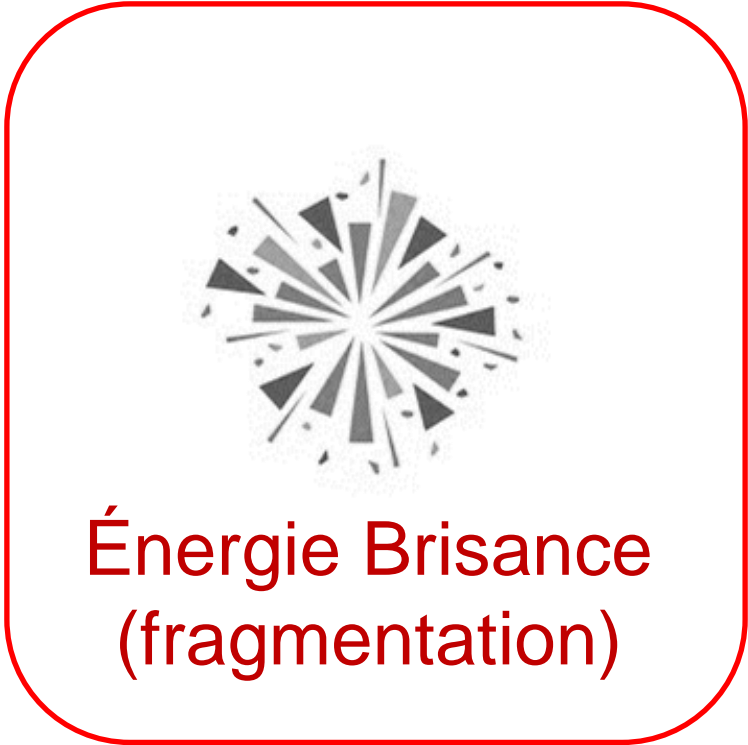
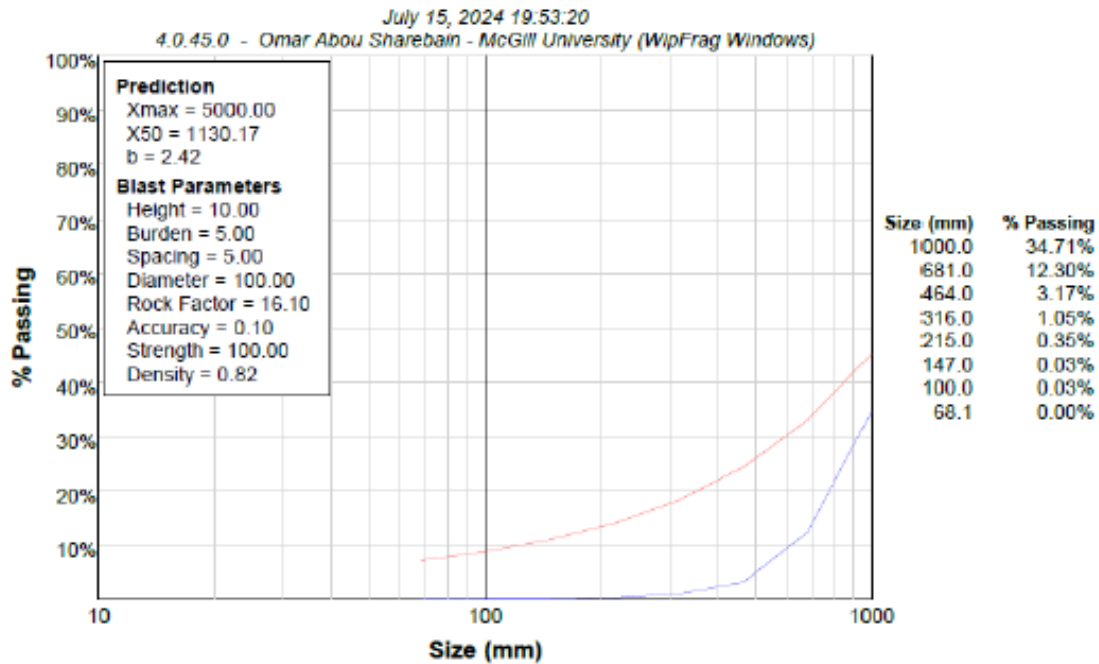
Relation énergétique (balance)



**Énergie Brisance
(fragmentation)**

**Énergie en fonction des
surfaces générées**

Relation énergétique (balance)



Énergie en fonction des surfaces générées

Analyse et calibration

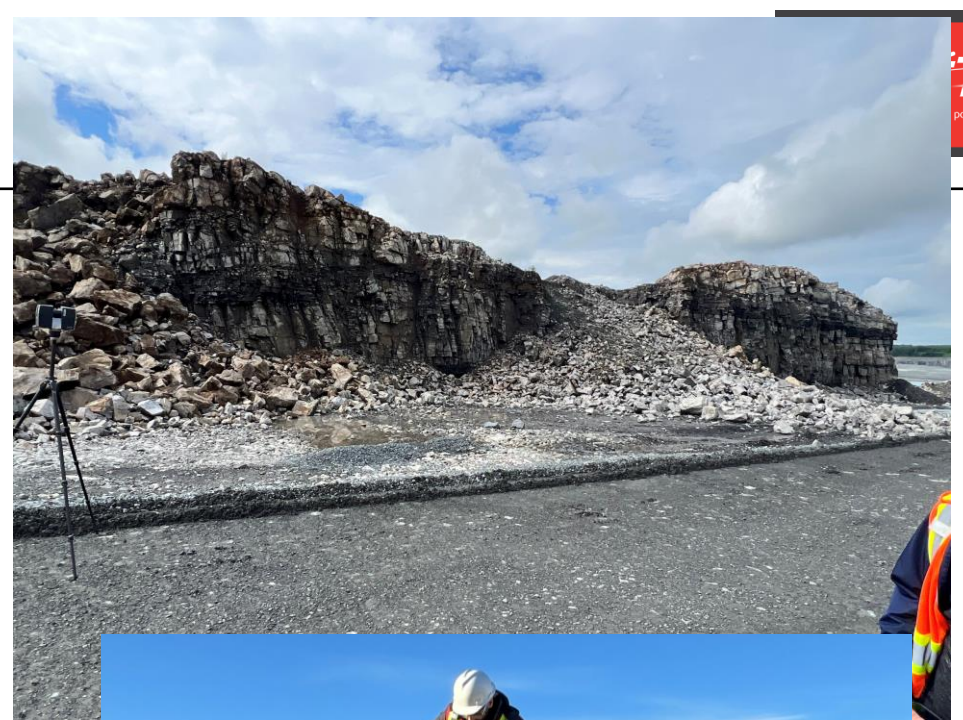
- Balance énergétique complète permet de
 - Définir l'énergie de brisance disponible
 - Les pertes énergétiques
- Calibration en fonction du fardeau
 - Balance entre sismique et brisance
 - Influence sur la projection (et capacité)
- Projection de la fragmentation relative en fonction du fardeau effectif

Sommaire

- Méthode de trous signatures augmentées permet de quantifier via 2-4 trous individuels:
 - Constante d'atténuation
 - Direction de la projection en fonction de la géométrie
 - Relations de fardeau:
 - Profil et ampleur du bris
 - Relations charge spécifique
 - Énergie de brisance disponible

Prochaines étapes

- Tests deux trous
 - Fragmentation très dépendante du fardeau pour les délais utilisés
- Tests à petite échelle
 - Valider les relations physiques
- Tester plus de géologie!



Remerciements

- Guy Latour, Jimmy Grandmont, William Hardy (Demix/CRH)
- Daniel GrosJean et Paul Kuznic (Dyno Nobel)
- Marc-Antoine Prince, Evomine
- Masoud S. et Omar A., ÉTS