

Intégration des données opérationnelles dans la prédiction de la performance des chantiers

Benoît McFadyen

Université Laval, Québec, Québec, Canada

Martin Grenon

Université Laval, Québec, Québec, Canada

Yves Potvin

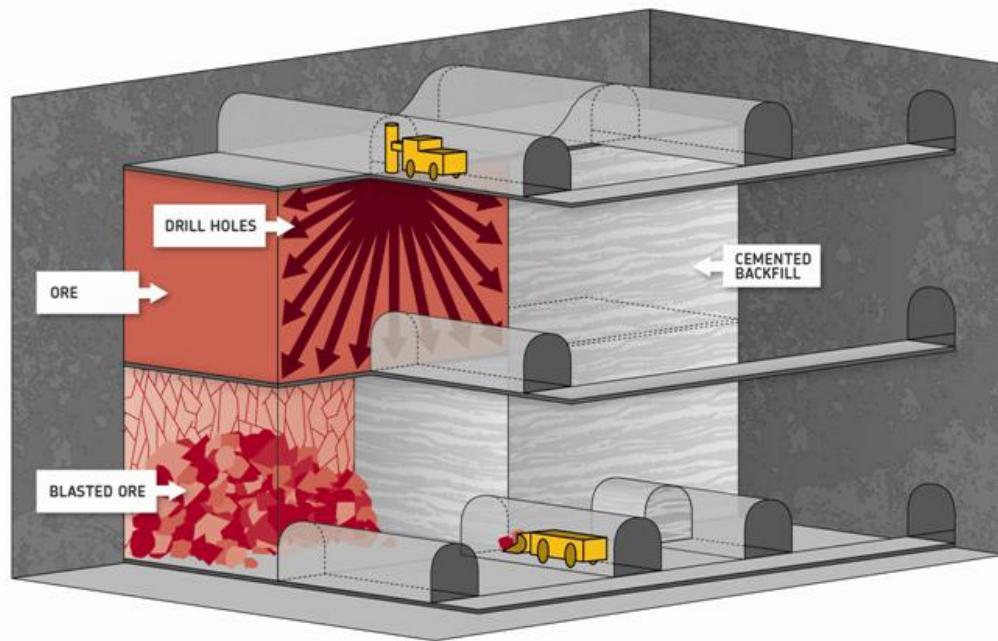
University of Western Australia, Perth, Australia

SEEQ 2022

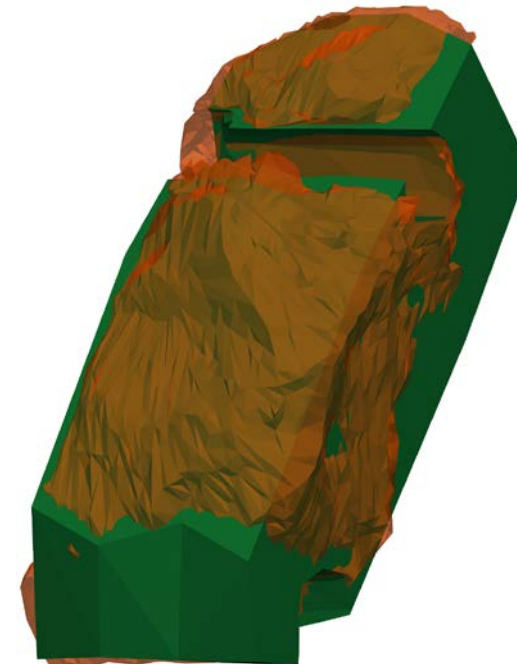


Contexte: L'extraction par chambre ouverte

- Une méthode populaire de minage



[1]



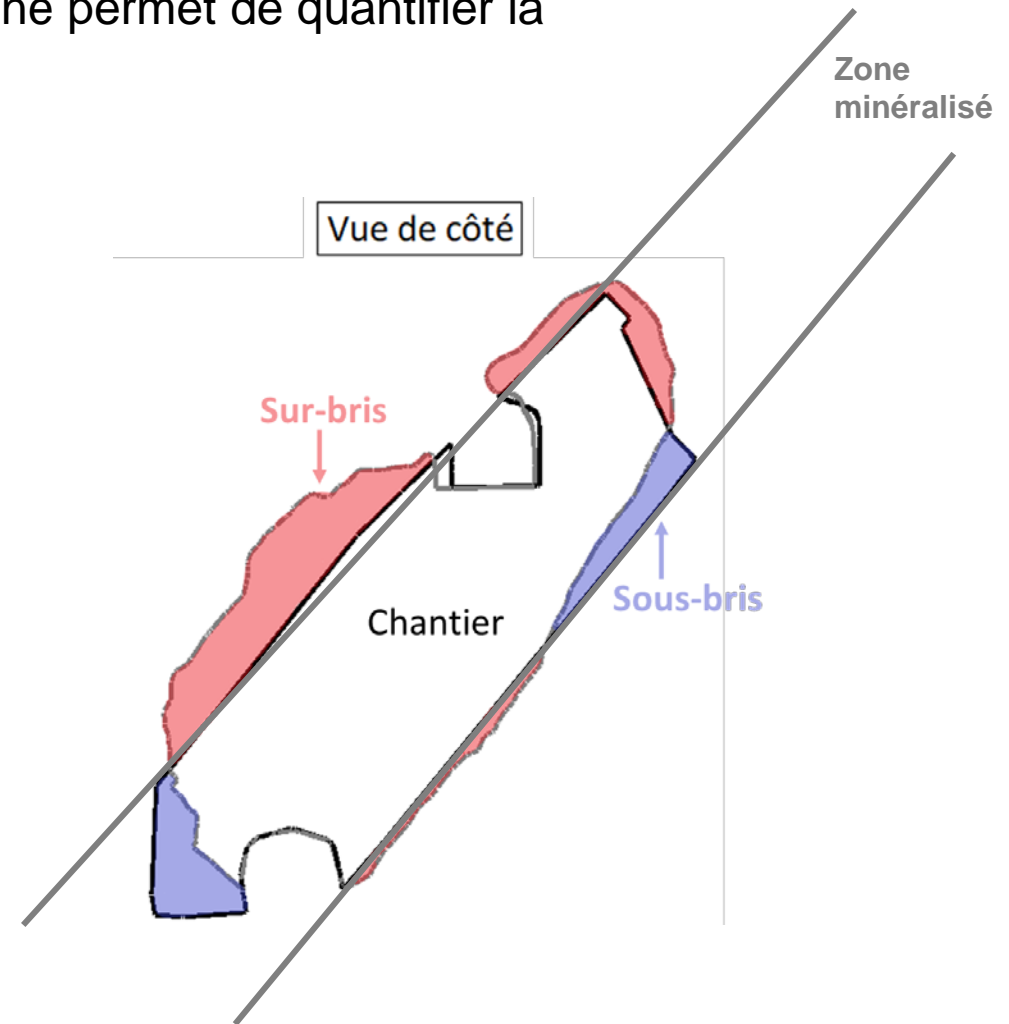
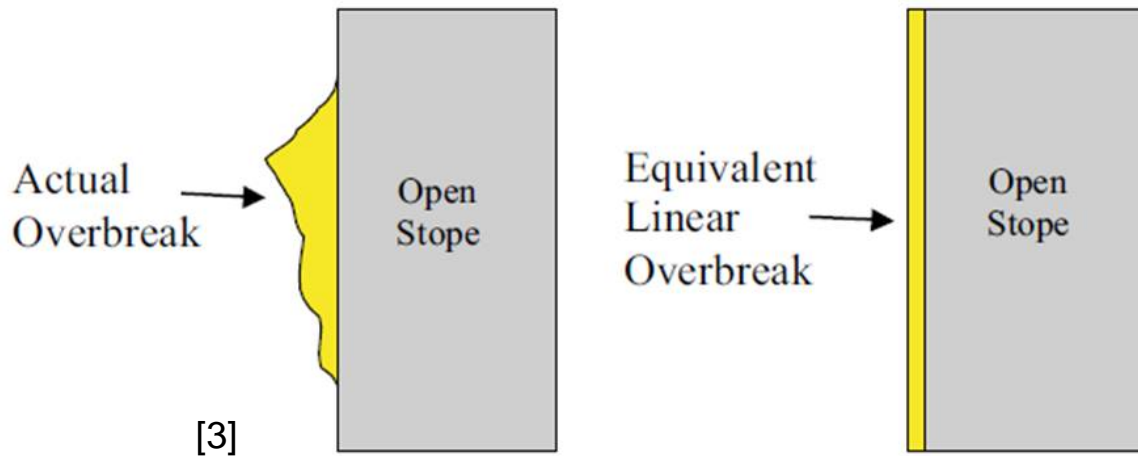
■ Chantier Planifié ■ Chantier Miné

[1] MMG Limited, (2018), <http://www.mmg.com/en/Our-Operations/Historical-Operations/Golden-Grove/Extraction.aspx>

Contexte: Quantification de la performance

- La réconciliation du chantier planifié et miné permet de quantifier la performance:
 - Sur-bris/Sous-bris
 - ELOS/ELLO [2]

Schéma expliquant le paramètre ELOS



[2] Clark, L. (1998). Minimizing dilution in open stope mining with a focus on stope design and narrow vein longhole blasting. University of British Columbia. Vancouver, Canada. Msc.: 316.

[3] Oddie, M E, Pascoe, M J, (2005). Stope Performance at Olympic Dam Mine, in *Ninth Underground Operators' Conference*, pp 9, Perth.

Contexte: Abaque de stabilité

- Méthodes empiriques des années 80-90
- Prédiction de sur-bris
- Paramètres:

$$N' = Q' * A * B * C$$

Où :

N' = Indice de stabilité

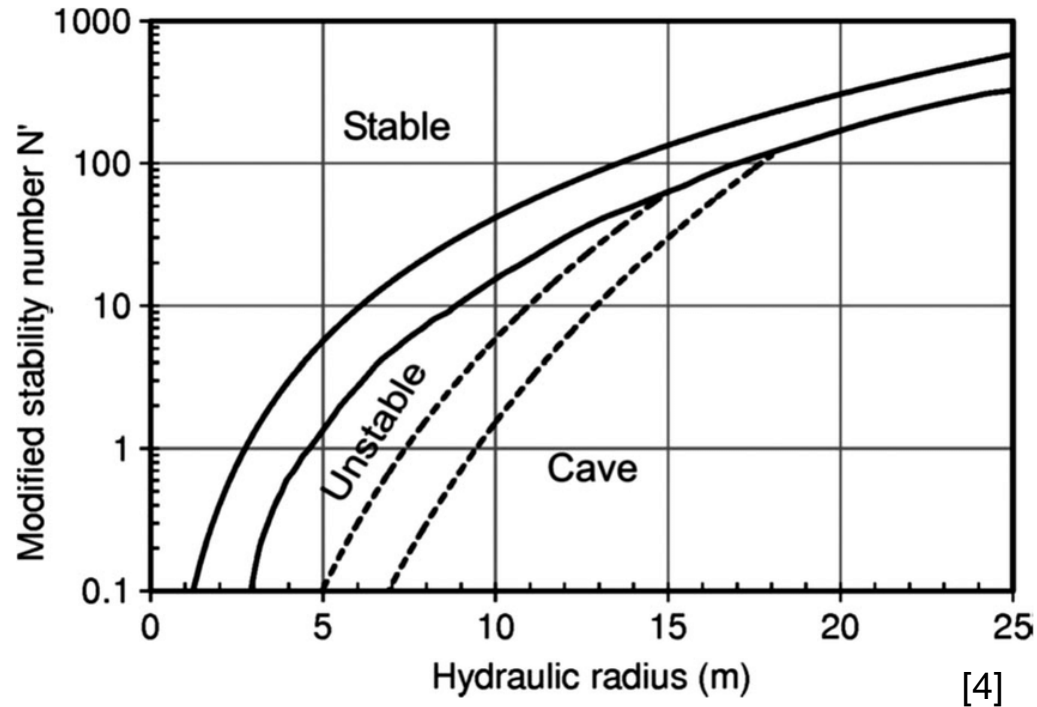
Q' = Indice de qualité du massif rocheux modifié

A = Facteur de contrainte

B = Facteur d'orientation des joints

C = Facteur gravité

$$\text{Rayon hydraulique} = \frac{\text{Aire d'une surface (m}^2\text{)}}{\text{Périmètre de la surface (m)}}$$

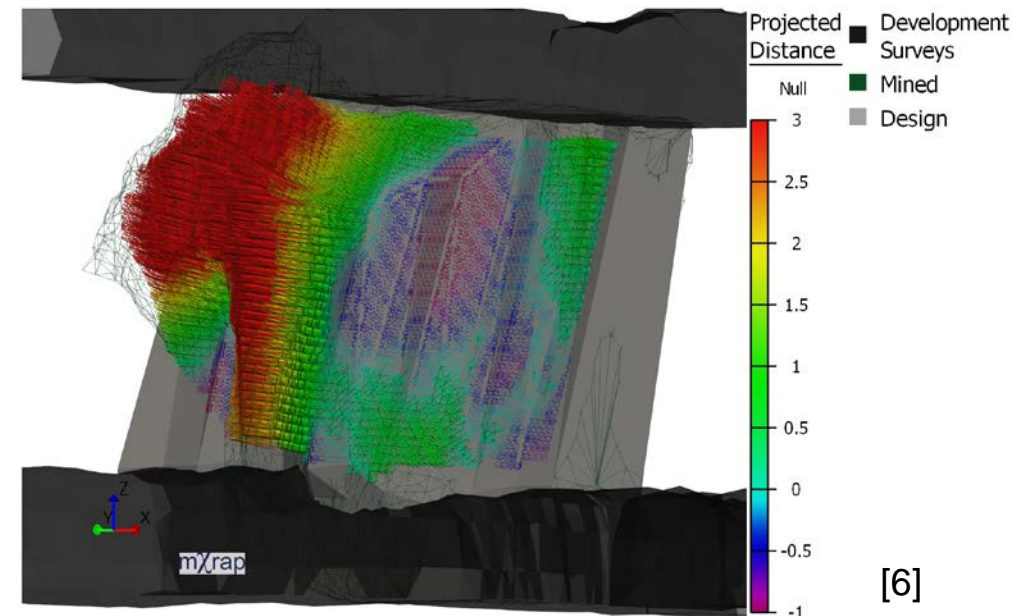
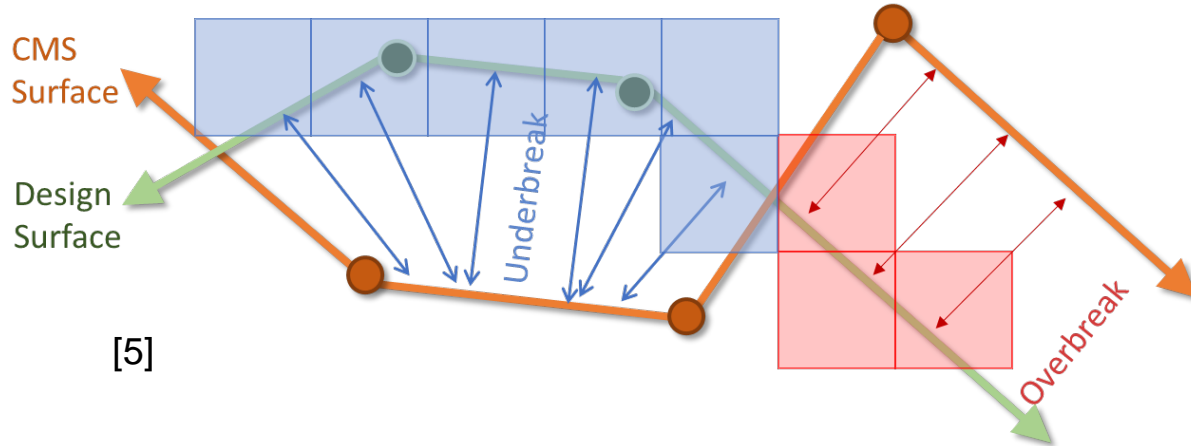


[4]

[4] Nickson, S. D. (1992). Cable support guidelines for underground hard rock mine operations, University of British Columbia. M.A.Sc: 223.

Contexte: Quantification de la performance

- De nouveaux outils permettent de raffiner l'identification de sur-bris et sous-bris par octree (Woodward et al, 2019)
- Ceci permet d'effectuer de nouveaux types d'investigations sur la performance des chantiers et les paramètres critiques

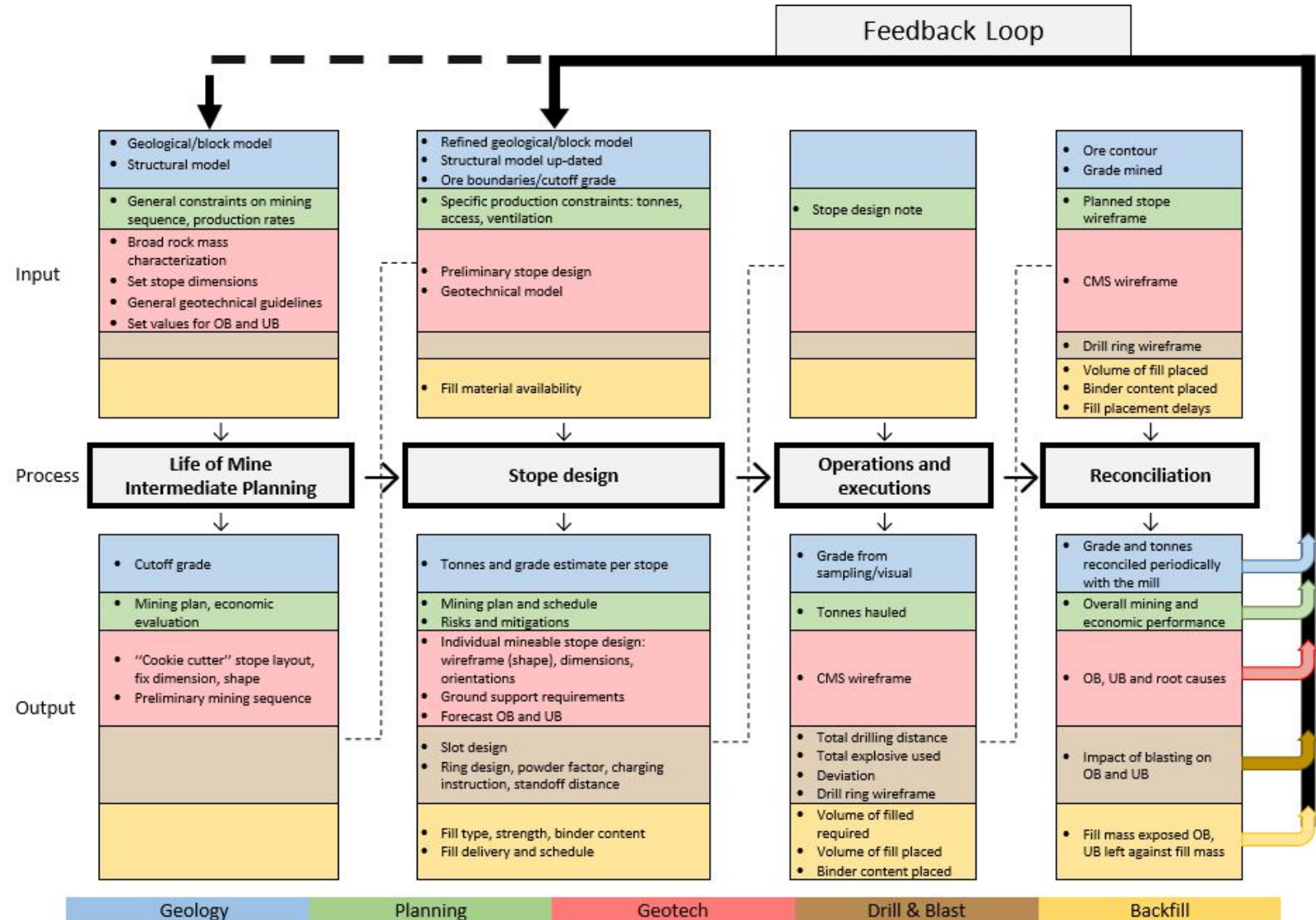


[5] Woodward, K, McFadyen, B, Potvin, Y, (2019). Probabilistic Stope Design. MRIWA, Australian Centre for Geomechanics: 50.

[6] McFadyen, B, Woodward, K and Potvin, Y, (2020). A new stope reconciliation approach, in Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology, pp 16

Contexte : Besoin de l'industrie

- 2 ateliers auprès de l'industrie a permis de conclure:
 - L'industrie collecte beaucoup de données par rapport aux chantiers
 - L'industrie n'a pas de façon efficace pour transformer les données en de l'information utile pour la conception.
 - L'industrie ne transforme pas l'information en connaissances

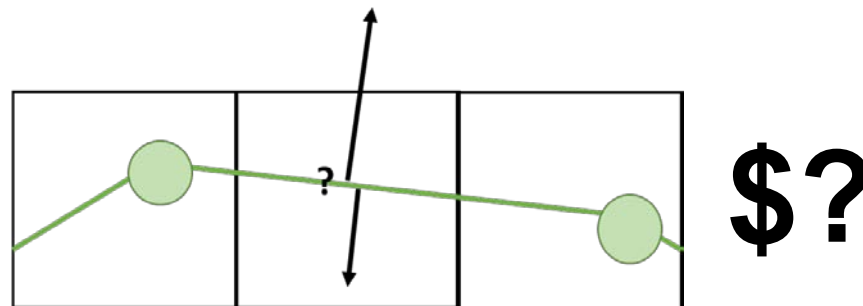


[7]

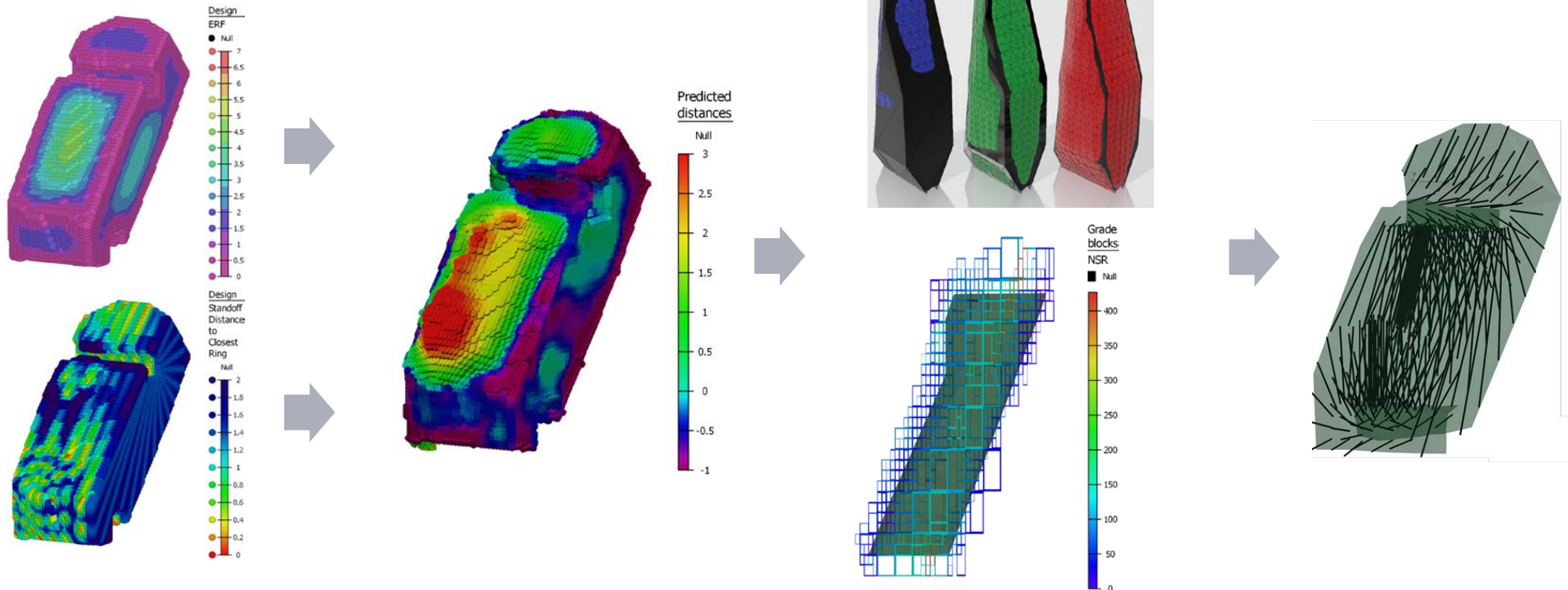
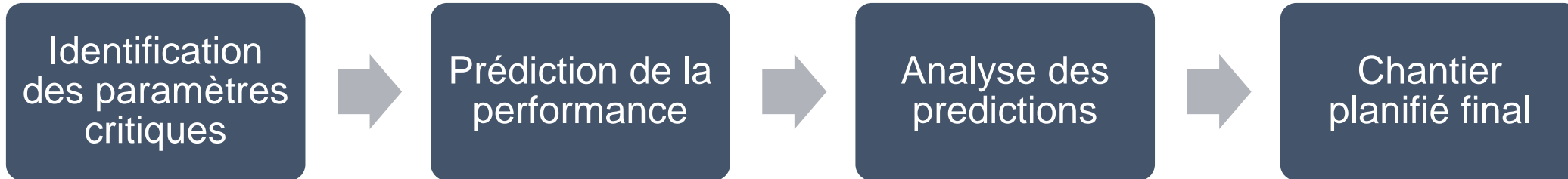
[7] Potvin, Y, Woodward, K, McFadyen, B, Thin, I and Grant, D, (2020). Benchmarking of Stope Design and Reconciliation Practices, in *Proceedings of the Second International Conference on Underground Mining Technology* (ed: J Wesseloo), pp 9 (Australian Centre for Geomechanics: Perth).

Objectifs

- L'objectif principal est de développer une nouvelle méthodologie pour comprendre et prédire la performance du chantier
- Les sous objectifs sont:
 - Incorporer des paramètres opérationnels, géométriques, géologiques et géomécaniques qui peuvent influencer significativement le sur-bris et le sous-bris:
 - Forage et sautage
 - Structures géologiques majeures
 - Complexité de la géométrie du chantier
 - Etc.
 - Développer un nouvel outil pour prédire le sur-bris et sous-bris à partir de la base de données et construire un outil interactif pour la conception de chantier
 - Inclure des analyses économiques dans le procédé de conception

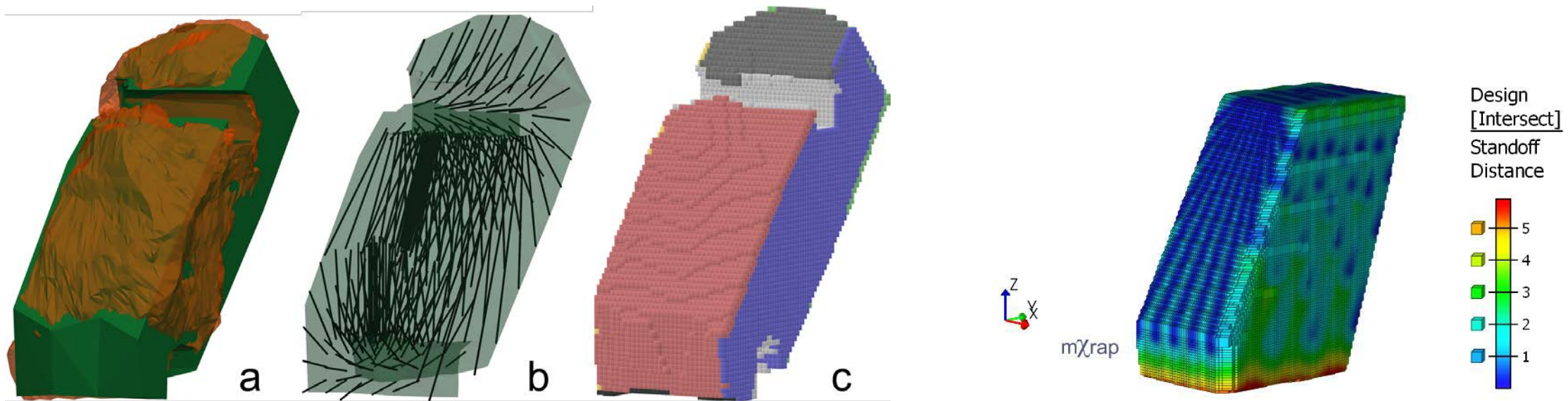


Méthodologie



Méthodologie : 1. Collecte des données

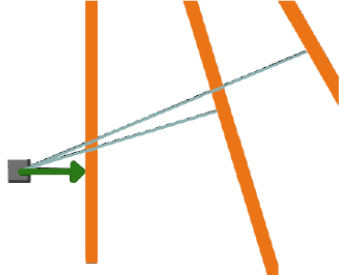
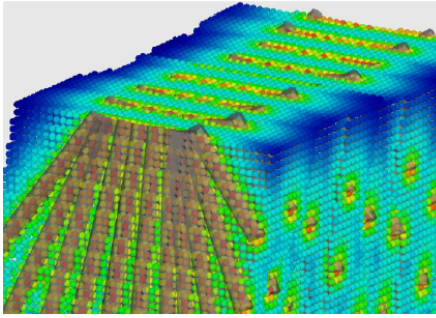
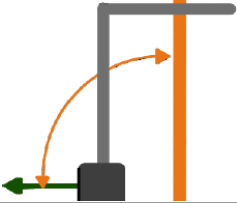
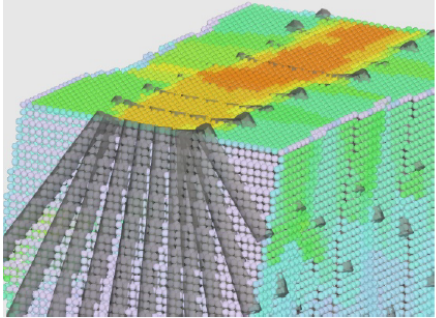
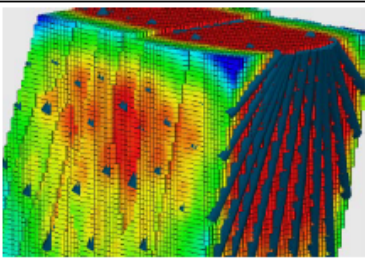
- Quatre types de données :
- Opérationnelle: trou de forage, séquence de minage, données de remblai et de tir à explosif, durée de vie, support de terrain, etc.
- Géomécanique: RQD, structure géologique, modèle géotechnique
- Géométrique: relevé volumétrique des chantiers, arpentage des galeries
- Économique: modèle géologique



[8] McFadyen, B, Grenon M, Morissette P, Woodward, K. (2019). Preliminary assessment of primary stope performance for a seismically active mine. 53rd US Rock Mechanics/Geomechanics Symposium. New York, ARMA: 11.

[8]

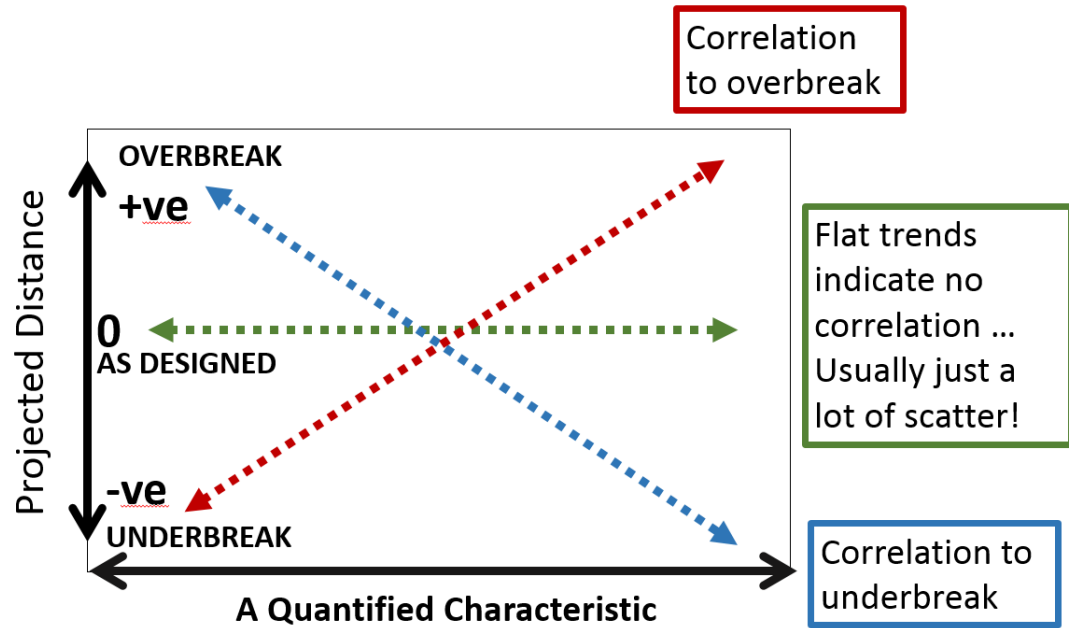
Paramètres de forage et sautage

| Parameter | Concept | Interpretation | Example |
|-----------------------------------|--|-----------------------|--|
| Borehole Standoff distance | Distance from an octree block to nearest designed borehole.  | Blast-induced damage. |  |
| Borehole orientation | Shortest angle between an octree's design normal vector and the borehole. Convention: 90° = Toeing, 0° = Parallel.  | Blast-induced damage. |  |
| Proxy for blast energy | $\approx \sum_0^n \frac{L}{\max(0.5, D)^2}$ Where; L = Length of hole D = Distance to hole Max. distance of 0.5 m to account for stemming near collars. | Blast-induced damage. |  |

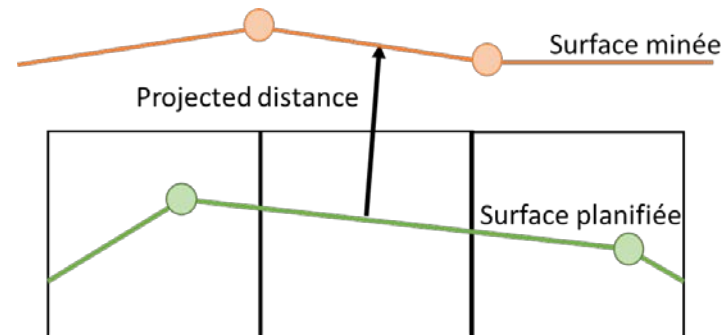
[9]

[9] Woodward, K, McFadyen, B, Potvin, Y, (2019). Probabilistic Slope Design. MRIWA, Australian Centre for Geomechanics: 50.

Méthodologie: 2. Identification des paramètres critiques



[10]



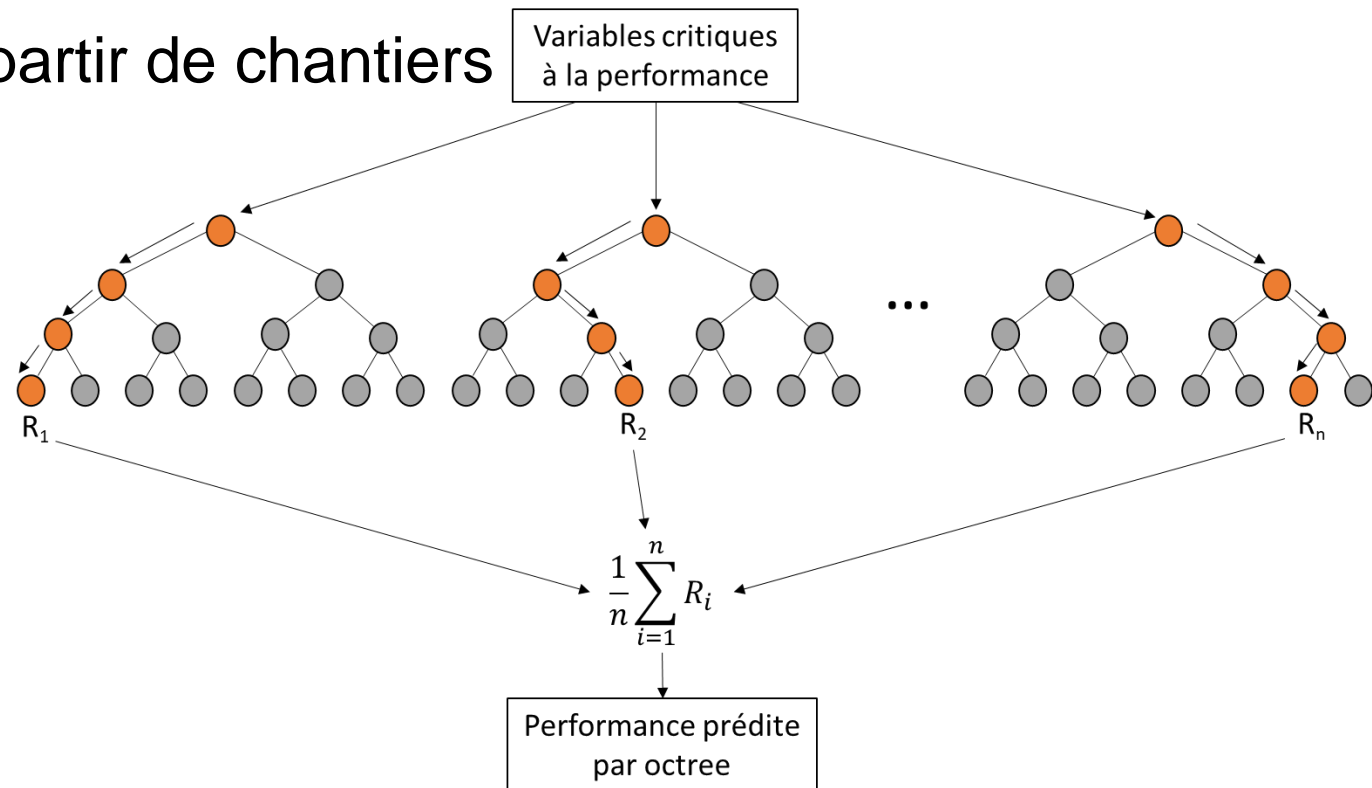
Paramètres analysés:

- Forage et sautage
- Géométrie du chantier
- Structures géologiques majeures
- Propriété géomécanique du massif rocheux
- Surdéveloppement des galeries

[10] Woodward, K, McFadyen, B, Potvin, Y, (2019). Probabilistic Stope Design. MRIWA, Australian Centre for Geomechanics: 50.

Méthodologie: 3. Modèle Statistique Multivariée

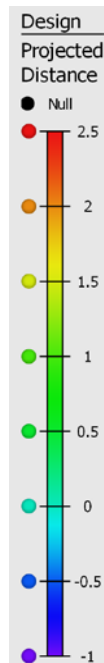
- Modèle construit à partir des données par octree
- Modèle permet de considérer plusieurs paramètres intrants
- La méthode forêts aléatoires est utilisée pour générer les prédictions [11]
- Le modèle est construit à partir de chantiers précédemment minés



[11] Breiman, L. (2001). Random forests, Machine Learning 45: 5–32.

Méthodologie : 4. Prédiction de la performance

- Une prédiction est effectuée pour chaque octree, le long de la surface planifiée donnant la distance de sur-bris ou sous-bris.
- À partir des prédictions, la forme du chantier miné peut être prédite.
- La probabilité est aussi prédite.



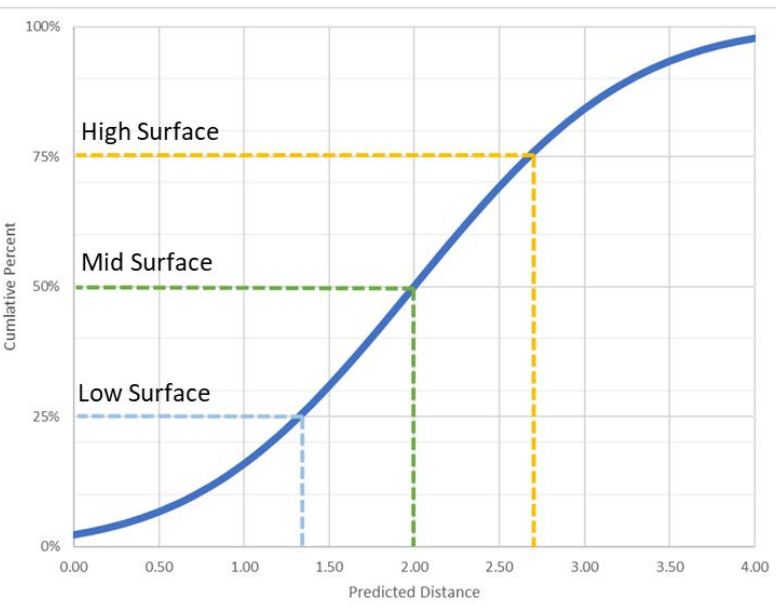
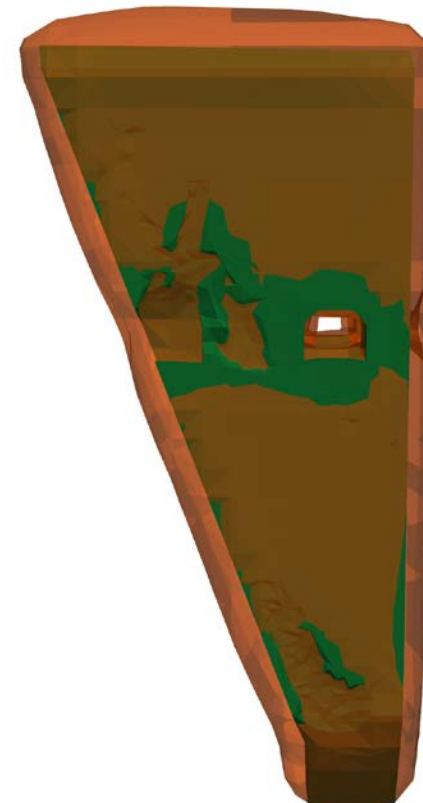
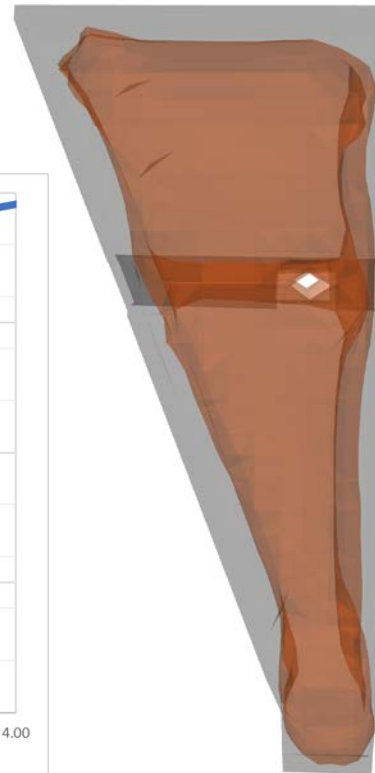
Méthodologie : 5. Analyses des prédictions

- Utilisant l'écart-type, différents scénarios peuvent être générés pour déterminer la stabilité et la profitabilité du chantier.

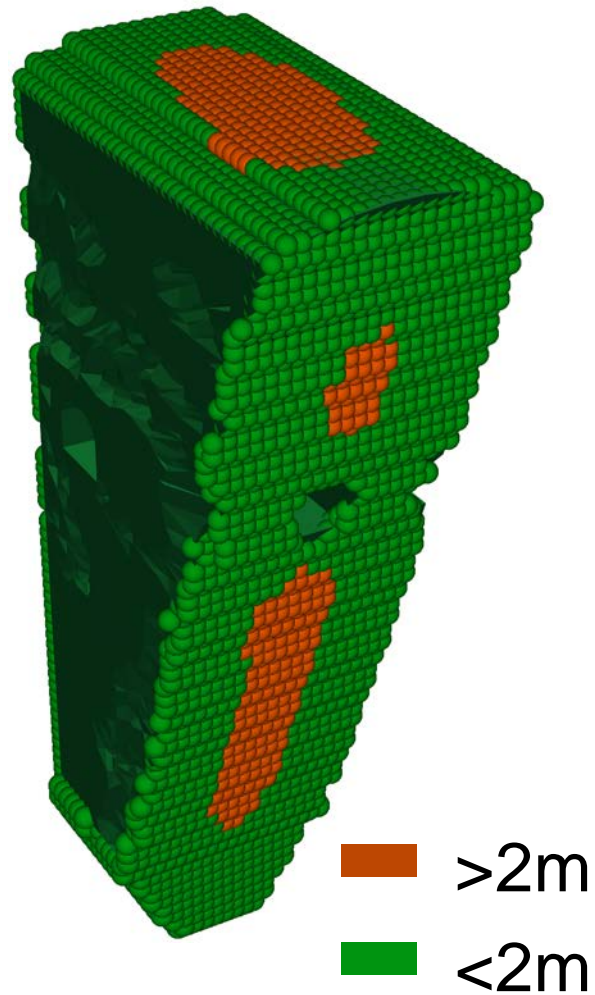
25 %

50 %

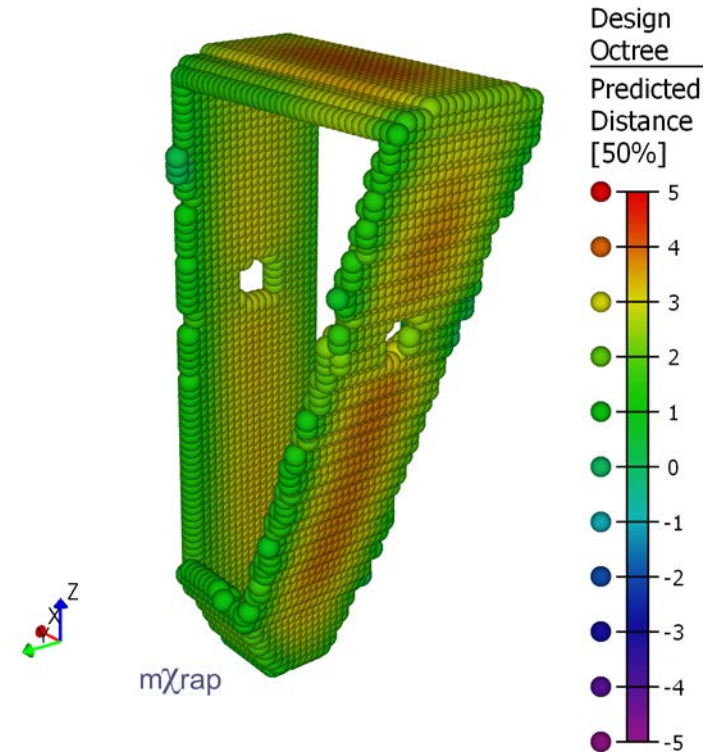
75 %



Sommaire stabilité

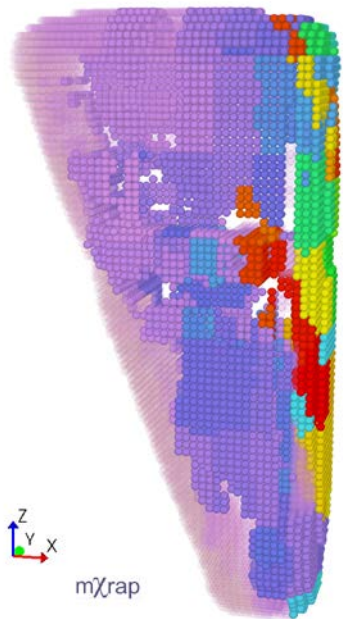


| | Value |
|--------------------|---------|
| --- Overbreak --- | _____ |
| OB Total | 10 954 |
| OB % | 35,46 % |
| --- Underbreak --- | _____ |
| UB Total | 181 |
| UB % | 0,59 % |
| --- Rock --- | _____ |
| Rock OB | 10 954 |
| Rock OB % | 35,46 % |
| Rock UB | 181 |
| Rock UB % | 0,59 % |
| --- Fill --- | _____ |
| Fill OB | 0 |
| Fill OB % | 0 |
| Fill UB | 0 |
| Fill UB % | 0 |

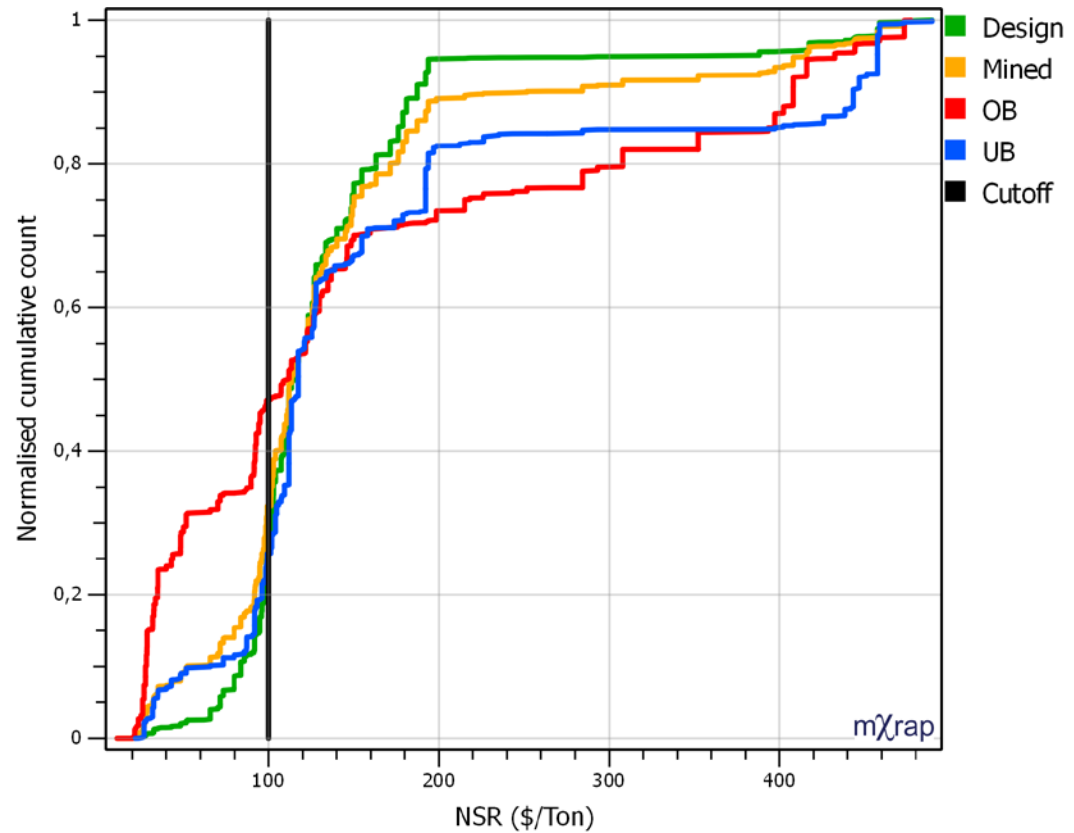
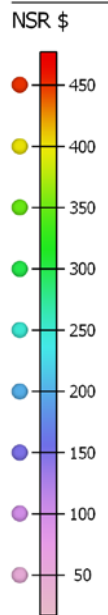
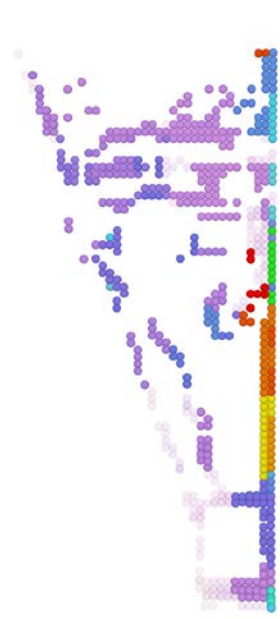


Résultats: Analyses économiques

Sur-bris

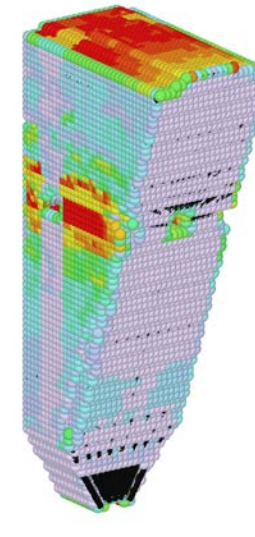
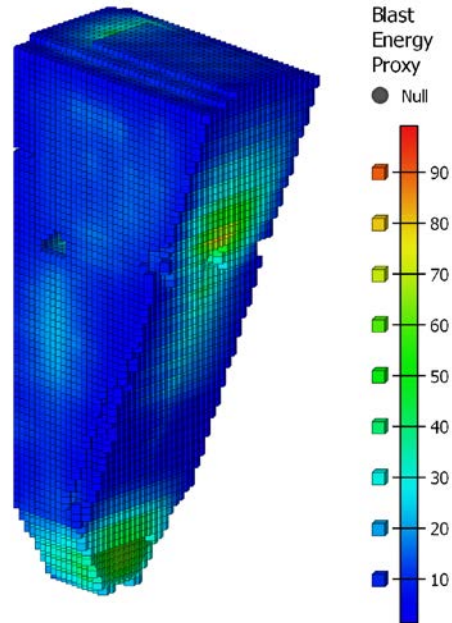
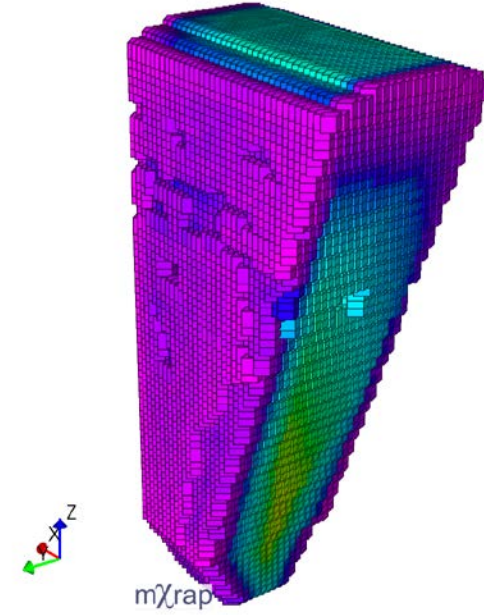
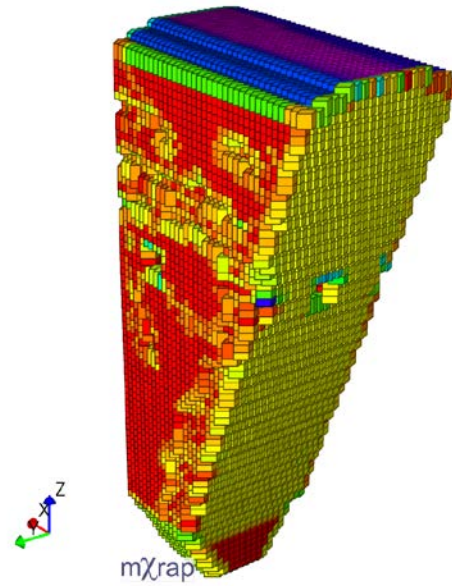
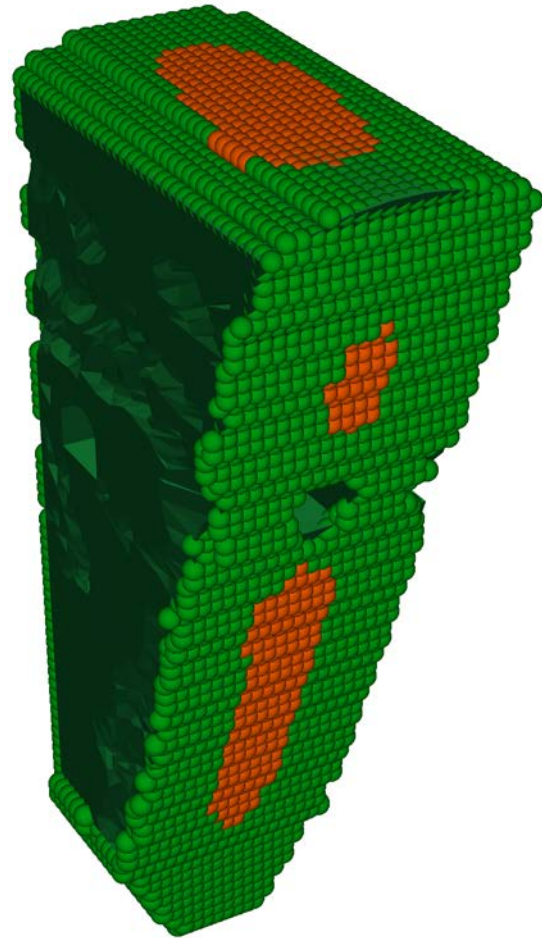


Sous-bris



| NSR Average OB | NSR Average UB | ↓ NSR Average Design | NSR Average Predicted | NSR Average Recovered | NSR Total OB | NSR Total UB | NSR Total Design | NSR Total Predicted | NSR Total Recovered |
|----------------|----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|------------------|---------------------|---------------------|
| 157,5 | 167,8 | 136,4 | 141,8 | 136,3 | 5 695 652 | 101 407 | 13 848 479 | 19 442 725 | 13 747 072 |

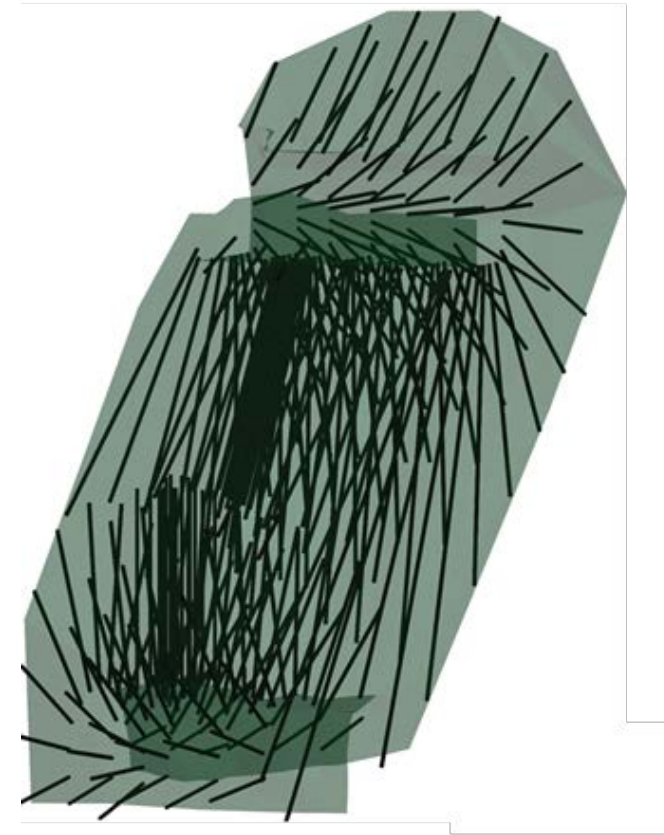
Résultats: Analyse paramétrique



+ paramètres non pris en compte

Méthodologie : 6. Chantier planifié final

- Si nécessaire, la forme du chantier planifié où les trous de forage planifiés peuvent être modifiés pour minimiser les bris hors-profil
- Les prédictions obtenues peuvent par la suite être utilisées pour planifier le processus de minage du chantier.

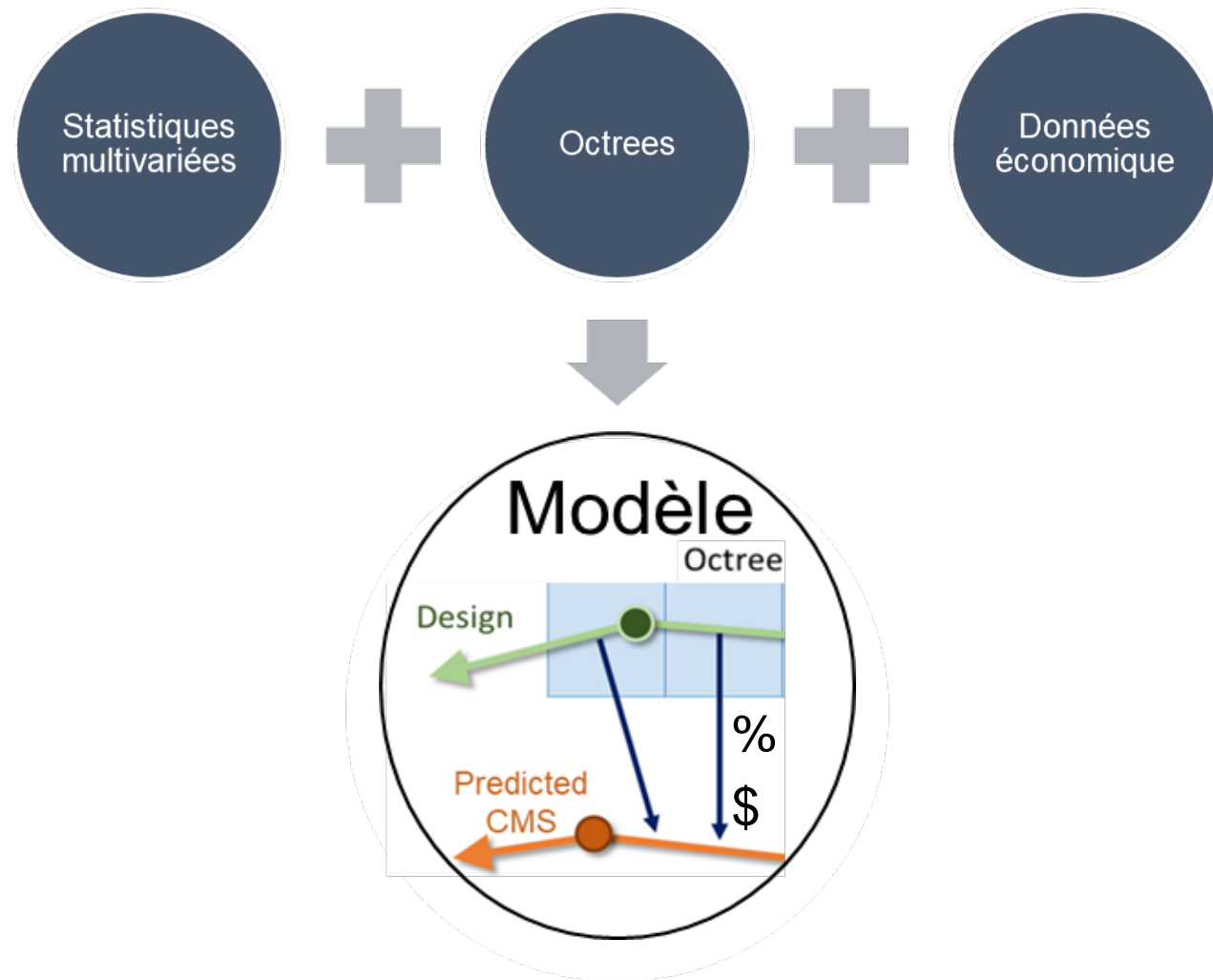


Est-ce que ça fonctionne?

- Autour de 800 chantiers ont été analysés pour le développement de la méthode
- L'analyse et les paramètres par octree ont été testés à 9 sites miniers répartis au Canada et en Australie et l'application est actuellement utilisée par une dizaine de sites.
- L'approche prédictive est actuellement développée et testée chez 6 sites miniers.

Conclusions

- Meilleure compréhension des bris hors-profil et prédiction de la performance.
 - Approche probabiliste
 - Analyse économique
- Améliore la conception
- Améliore la planification du processus de minage, du tir à l'explosif au remplissage.
- Maximise la viabilité économique des projets miniers.



REMERCIEMENTS



CSIRO | The University of Western Australia | Joint Venture



Newmont™





Merci pour votre attention