

QUANTIFICATION DE LA TAILLE DES BLOCS IN-SITU ET DE LA FRAGMENTATION ISSUE DE SAUTAGES POUR DES PROJETS ROUTIERS

48^e session d'étude SEEQ

Catherine Bouchard

Octobre 2025

Contexte

Projets de construction routière (MTMD)

Enjeux des blocs surdimensionnés ($> 1 \text{ m}^3$) :

- Coûts additionnels dû à :
 - Fragmentation secondaire
 - Perte de productivité
 - Usure prématurée de l'équipement
 - Utilisation impossible des blocs surdimensionnés comme matériau de construction routière



Contexte

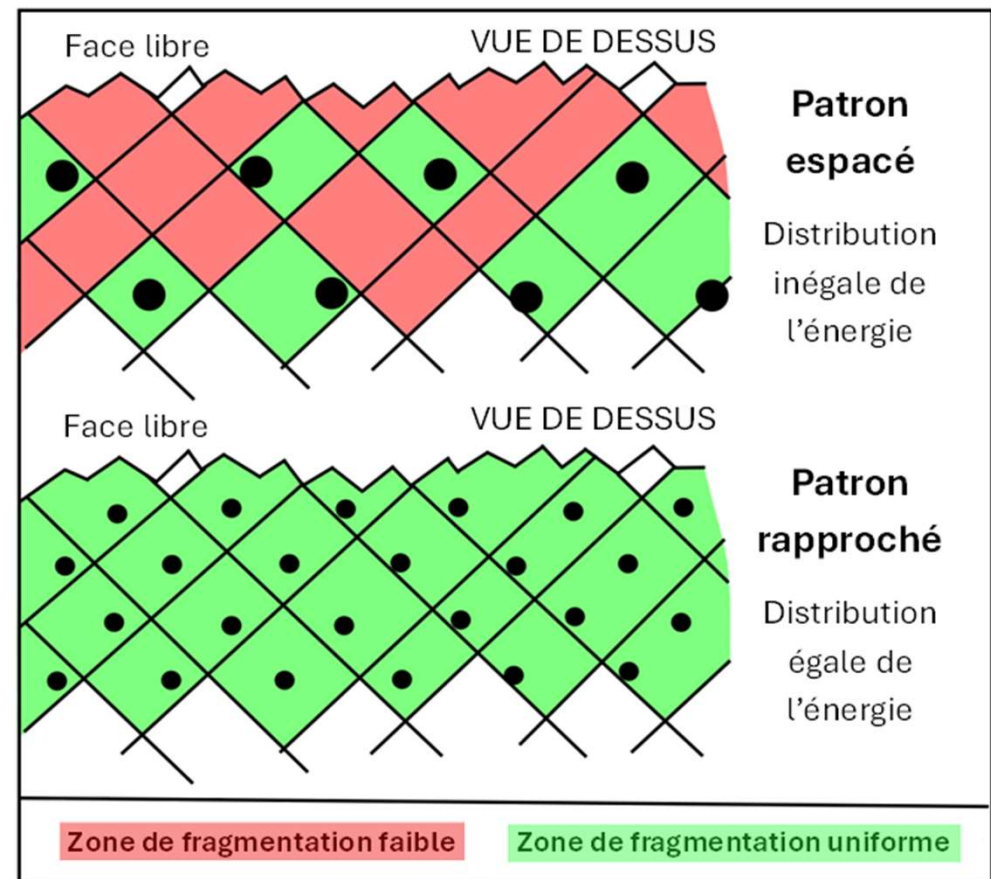
Projets de construction routière (MTMD)

- Les structures présentes dans les massifs rocheux peuvent contrôler la fragmentation du roc par sautage
- Lorsque les patrons de sautage sont très espacés
 - Dislocation vs. fragmentation dans certains secteurs
 - Production de blocs surdimensionnés
- Dans des conditions normales, une fragmentation secondaire est prévue pour 5 à 10 % du matériau rocheux excavé.



Influence des structures sur la fragmentation du roc

- Fractures naturelles = zones de faible résistance
- Diminue l'énergie disponible pour la fragmentation du roc
- Patrons de sautage espacés
 - Distribution inégale de l'énergie
 - Fragmentation inefficace dans certaines zones



Description du projet

Ce projet vise à :

- Développer une méthodologie pour caractériser le réseau de fractures naturelles, permettant d'évaluer la distribution granulométrique des blocs in situ et de la comparer avec la fragmentation post-dynamitage
- Contribuer à l'évaluation de l'influence du régime structural du massif rocheux sur les résultats de sautage
- Contribuer à mieux comprendre la formation de blocs surdimensionnés

Cas d'étude

Côte-Nord

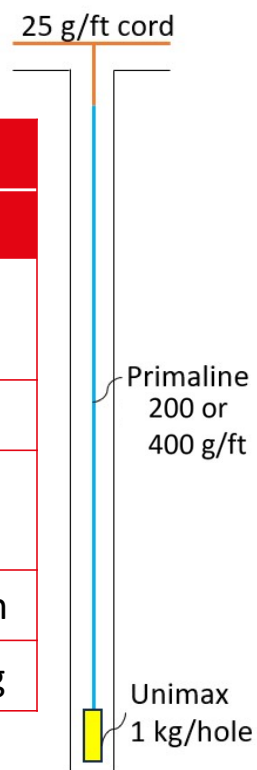
Élargissement des fossés

- 5 sautages analysés

Paramètre	Sautage				
	1	2	3	4	5
Espacement	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm	600 mm
Nb de trous	7	14	4	10	15
Diamètre du trou	90 mm	90 mm	90 mm	90 mm	90 mm
Profondeur	3,5 m	6,5 m	7,5 m	5,0 m	4,0 m
Charge totale	10 kg	17 kg	6 kg	13 kg	19 kg

Transports
et Mobilité durable

Québec



Méthodologie

1. Travaux de terrain

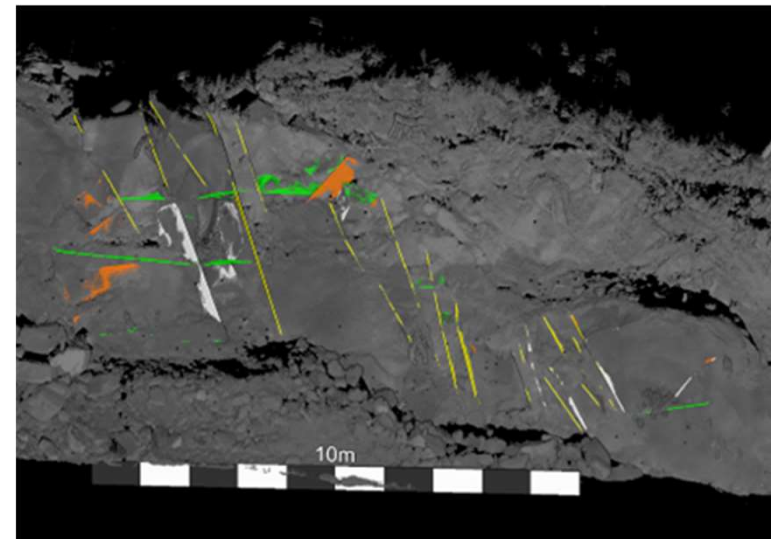
- Scan LiDAR avant le sautage
 - Propriétés des fractures
- Scans LiDAR après le sautage
 - Tailles des fragments

2. Traitement des données

- Cartographie des fractures in-situ
- Délimitation des fragments post-sautage

3. Analyse des données

- Modélisation DFN (Discrete Fracture Network)
 - Représentation 3D du système de fractures
- Distribution granulométrique in-situ
- Distribution granulométrique post-sautage



Travaux de terrain

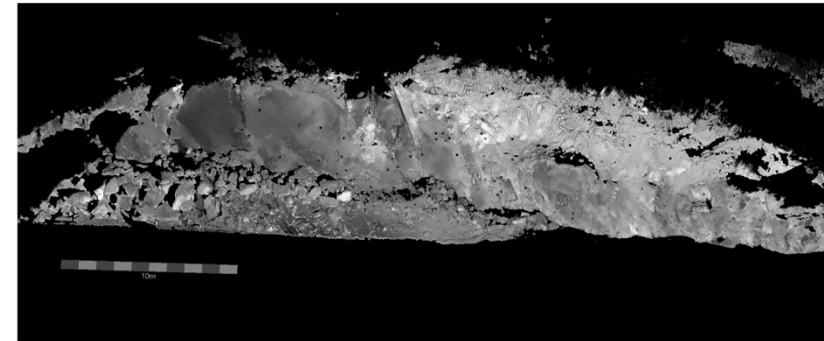
Scans LiDAR



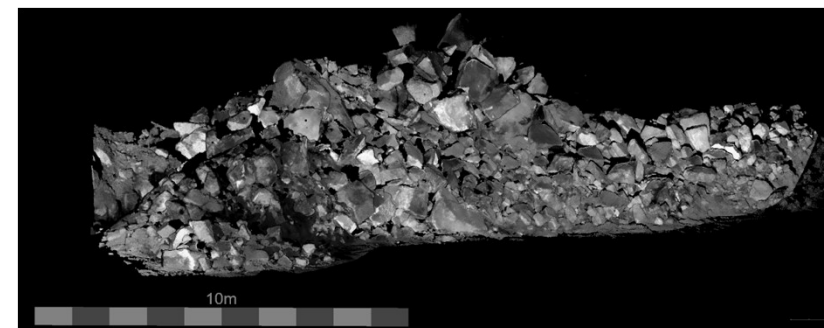
Trimble X9



Avant le sautage

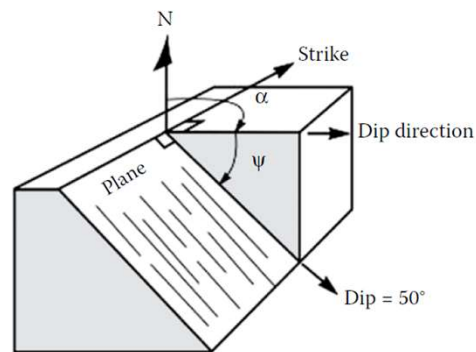


Après le sautage



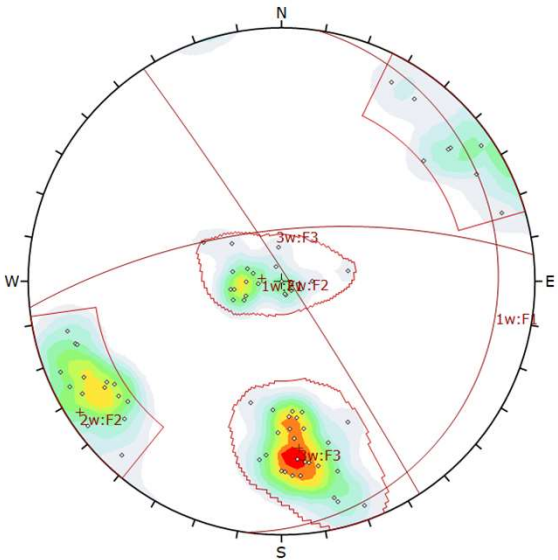
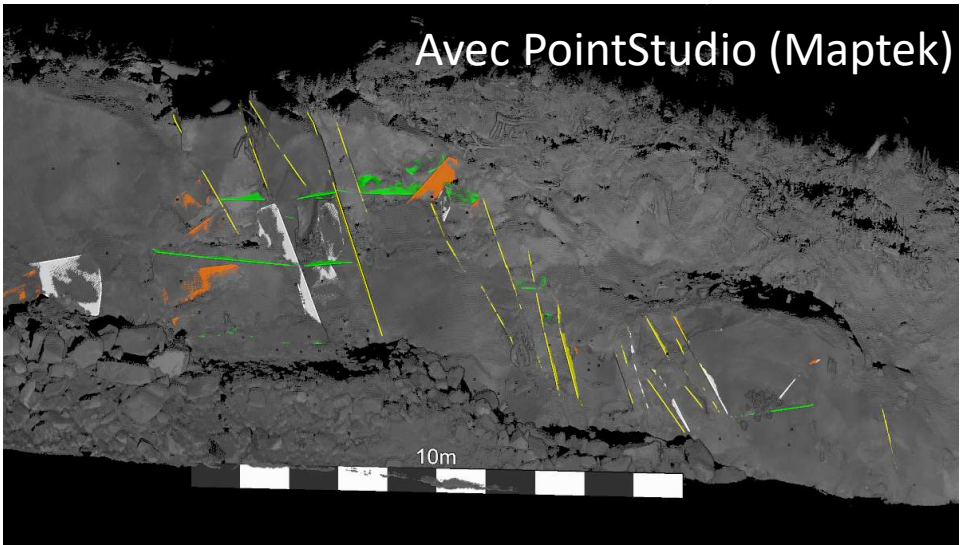
Cartographie des fractures

Orientation des fractures



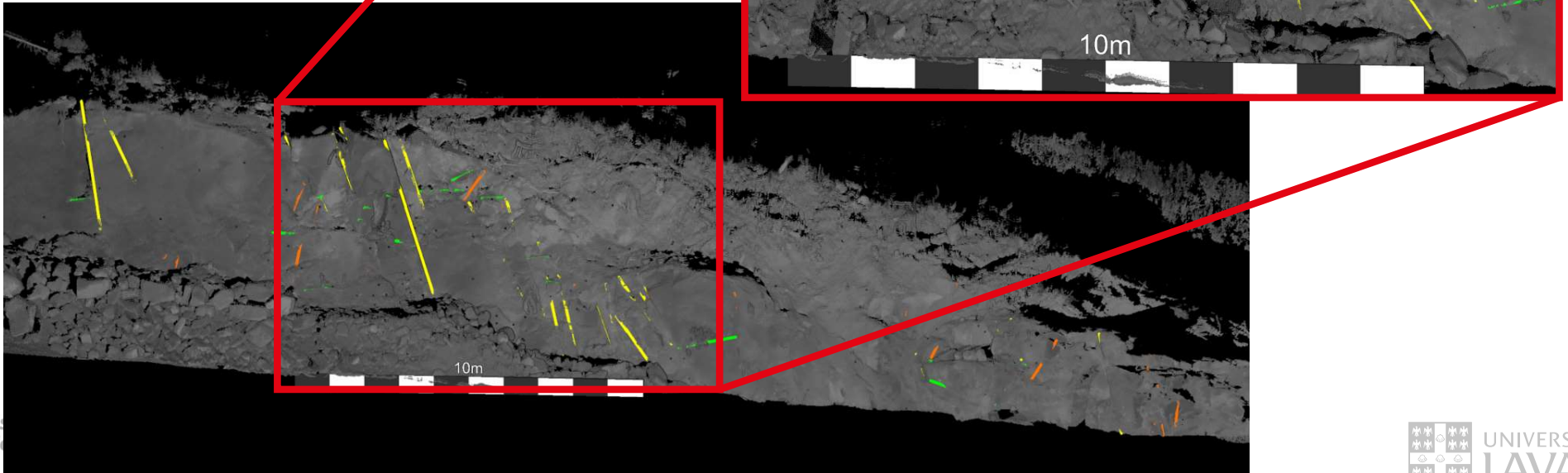
Wyllie, Duncan C. (2017)

Famille	Nb de joints	Pendage	Direction de pendage
1	20	9	98
2	23	87	57
3	26	67	354



Cartographie des fractures

- Longueur trace moyenne
- Intensité de fractures (fréquence linéaire)



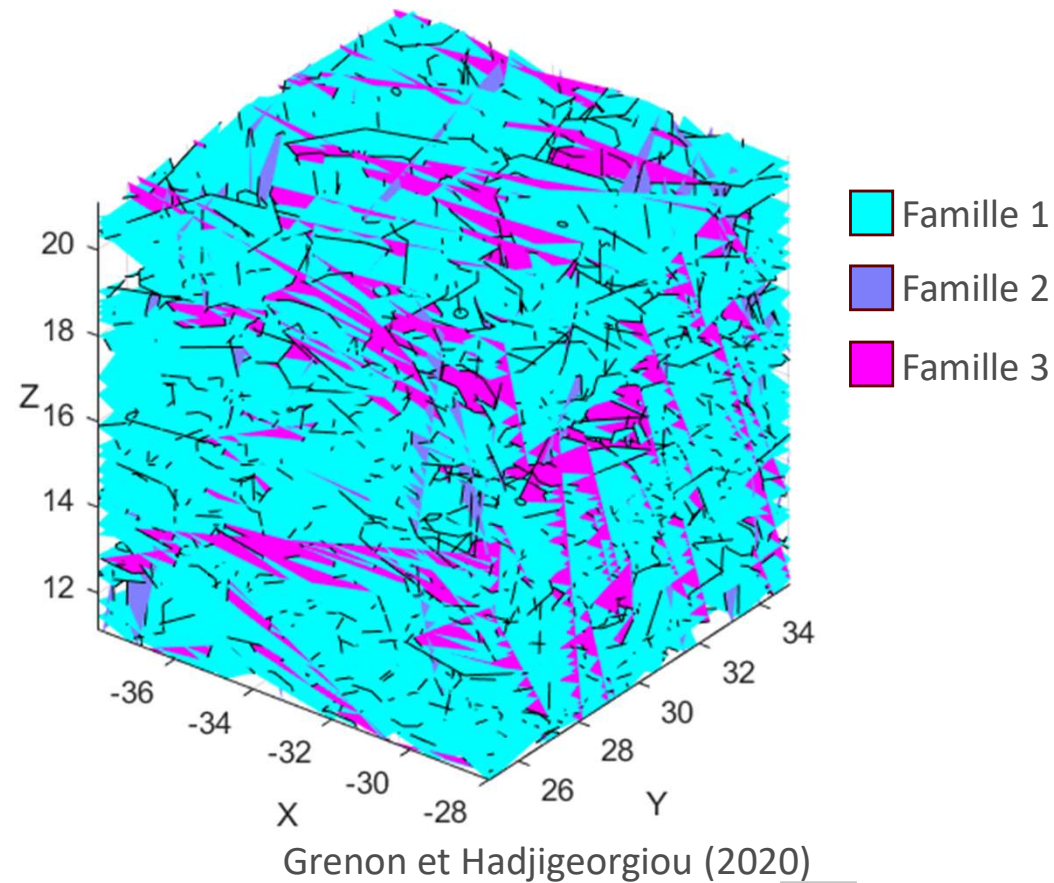
Trans
et M

Quebec

10 Zhang, L., et Einstein, H. (1998)

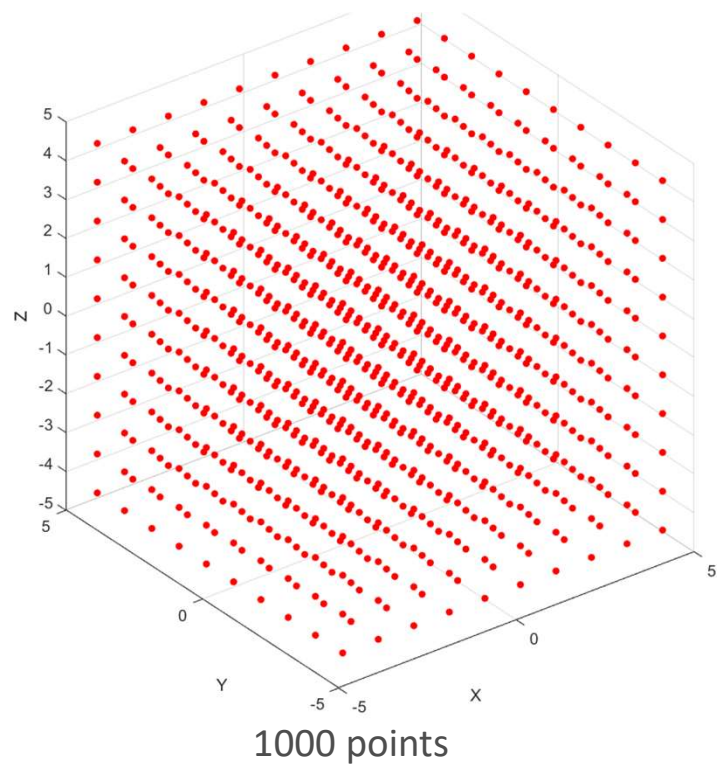
Modélisation DFN

- Représentation 3D des fractures in-situ dans le massif rocheux
- Intrants:
 - Orientation des fractures
 - Longueurs traces
 - Intensités de fractures
- Calibration basée sur les données de terrain



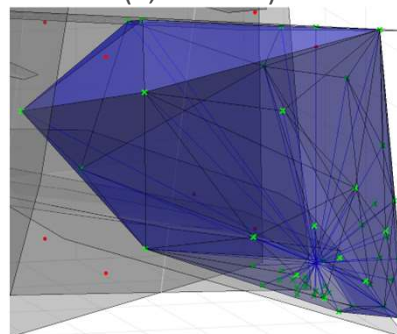
Distribution granulométrique des blocs in-situ

Méthodes



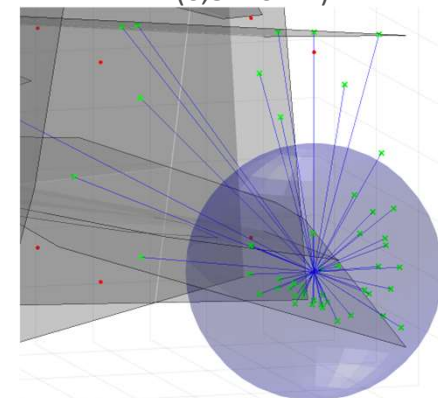
Conv hull

(0,7029 m³)



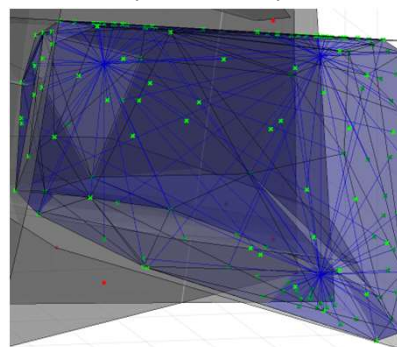
Sphère

(0,3426 m³)



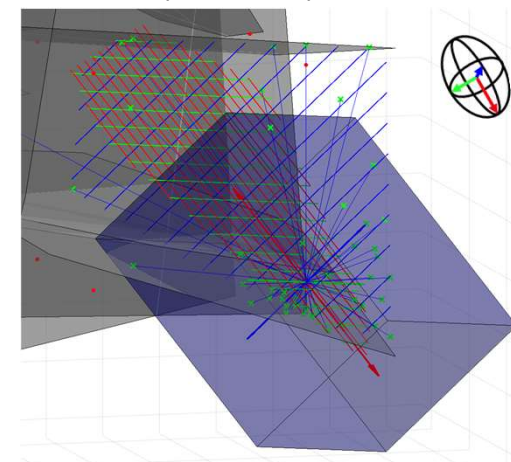
Cluster

(0,9180 m³)



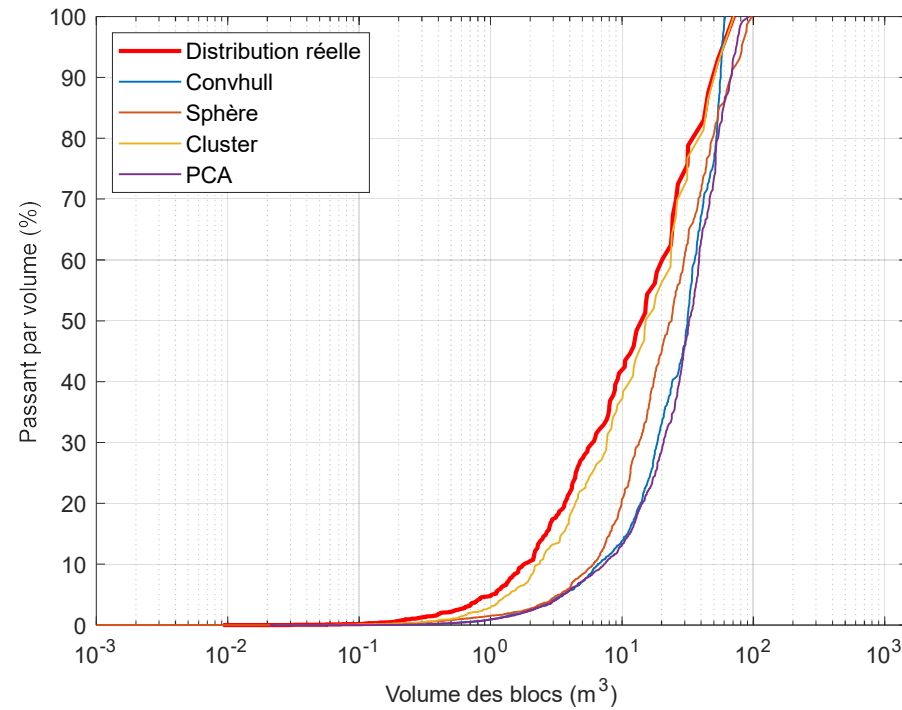
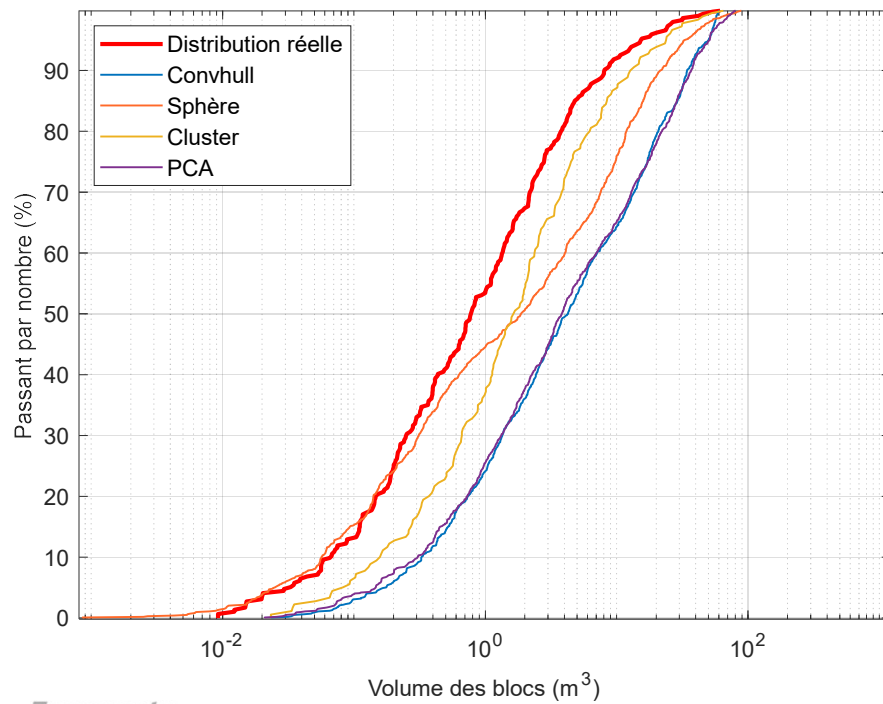
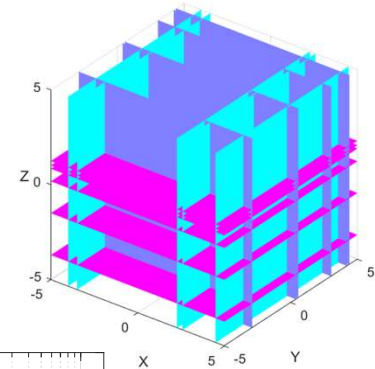
PCA

(0,6142 m³)



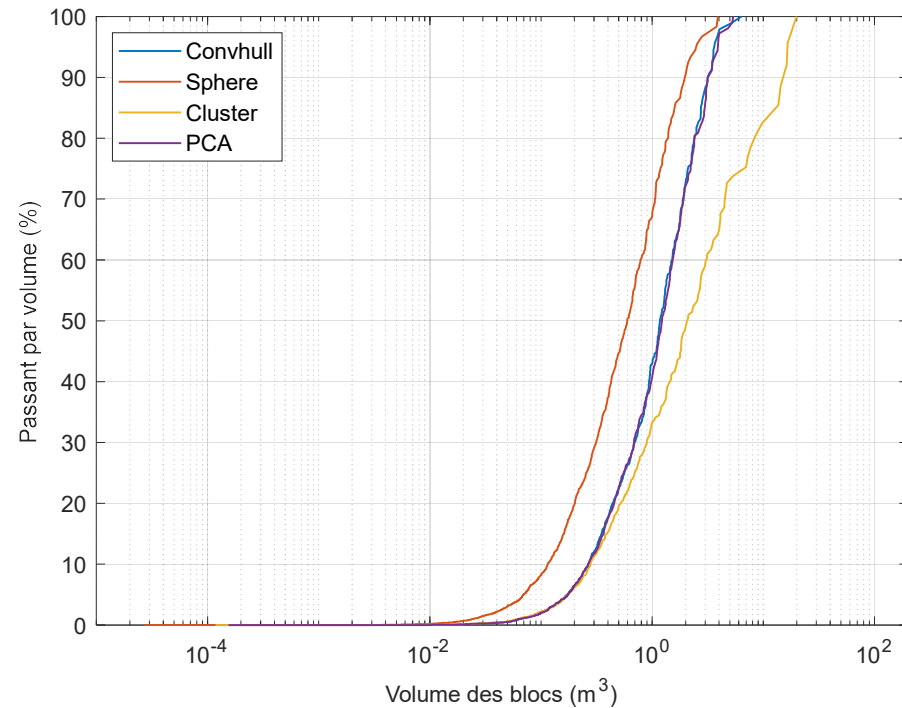
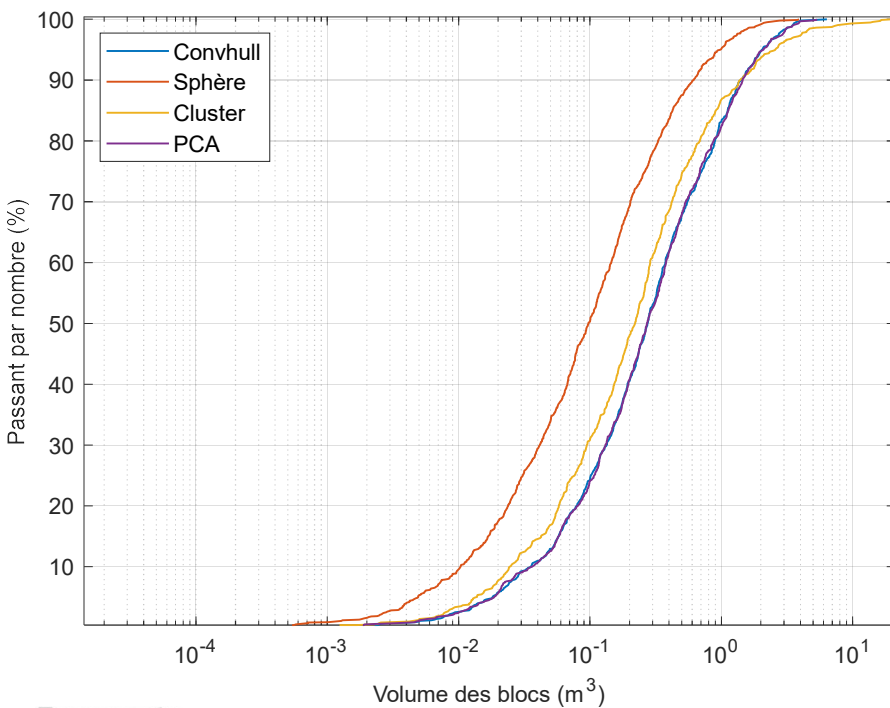
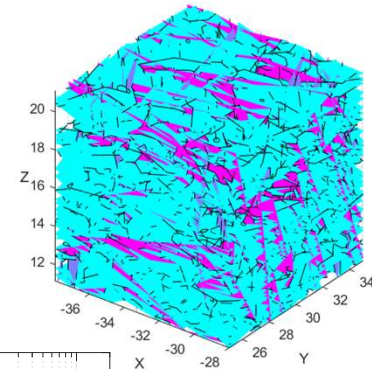
Distribution granulométrique des blocs in-situ

Validation des méthodes sur un DFN théorique



Distribution granulométrique des blocs in-situ

Application des méthodes sur le DFN de terrain

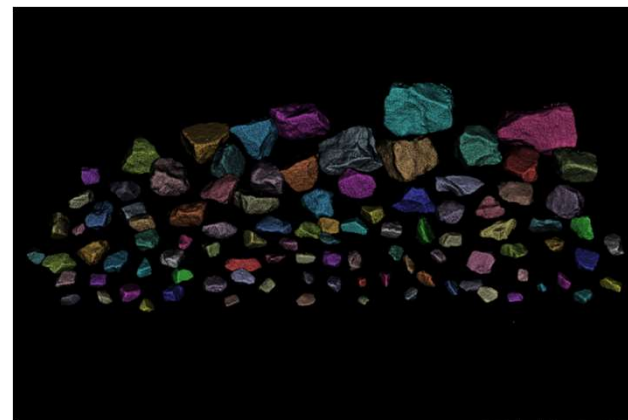
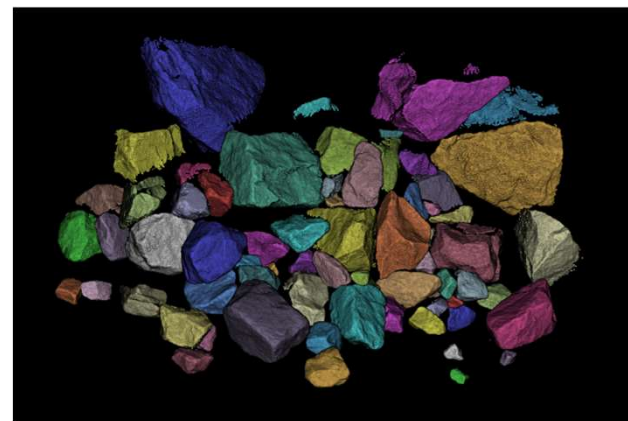


Distribution granulométrique des fragments post-sautage

Reproduction en laboratoire



Creaform HandySCAN 3D



Distribution granulométrique des fragments post-sautage

Reproduction en laboratoire

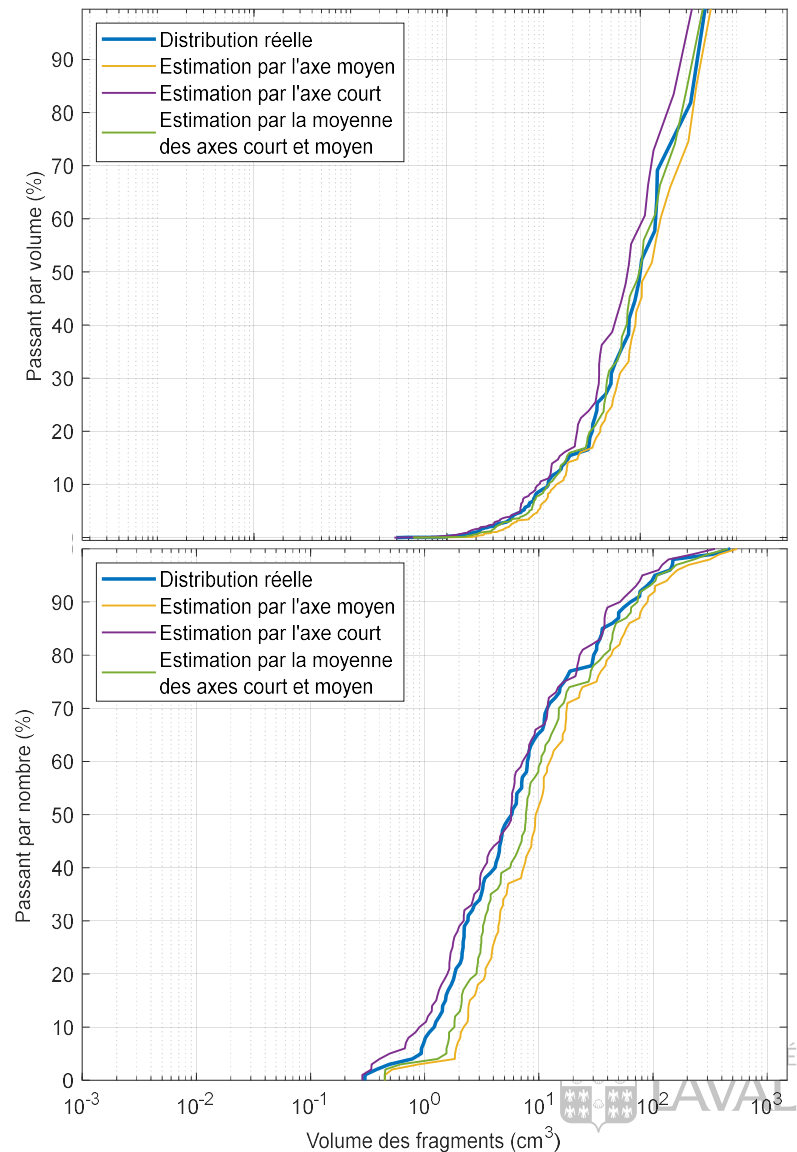
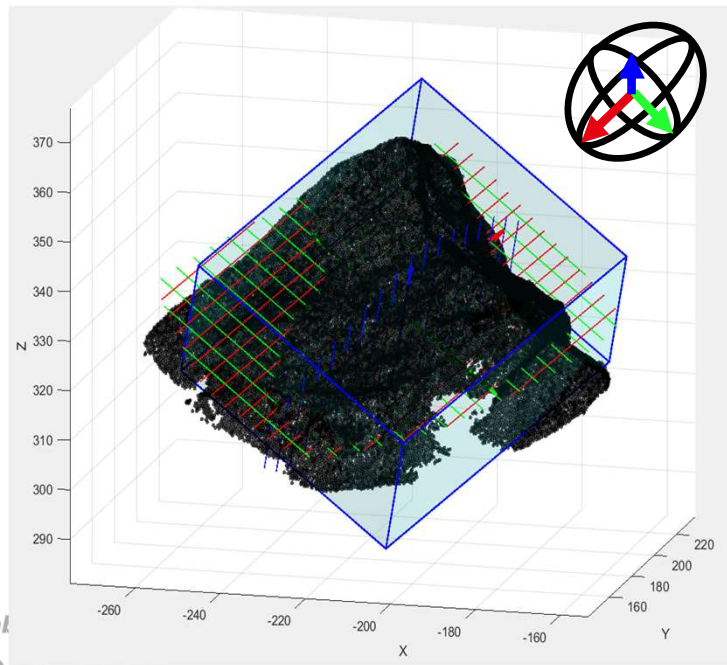
- Distribution réelle : Poussée d'Archimède
 - Masse du fragment sec
 - Masse volumique de l'air
 - Masse du fragment immergé dans l'eau
 - Masse volumique de l'eau
 - Température de l'eau
 - Facteur de correction



Distribution granulométrique des fragments post-sautage

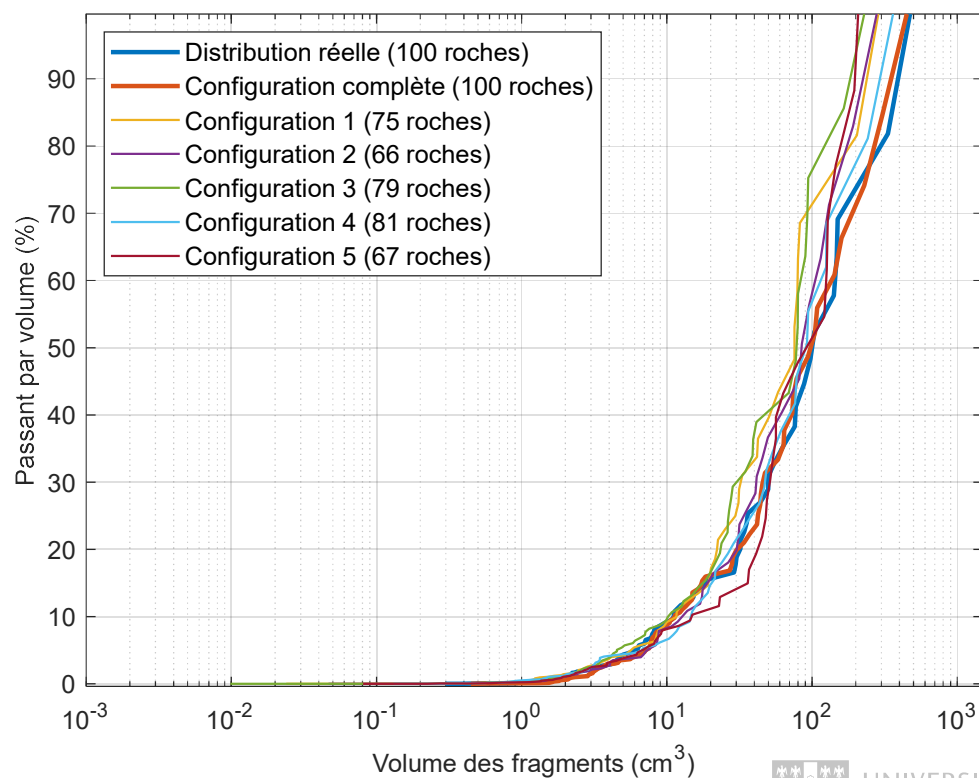
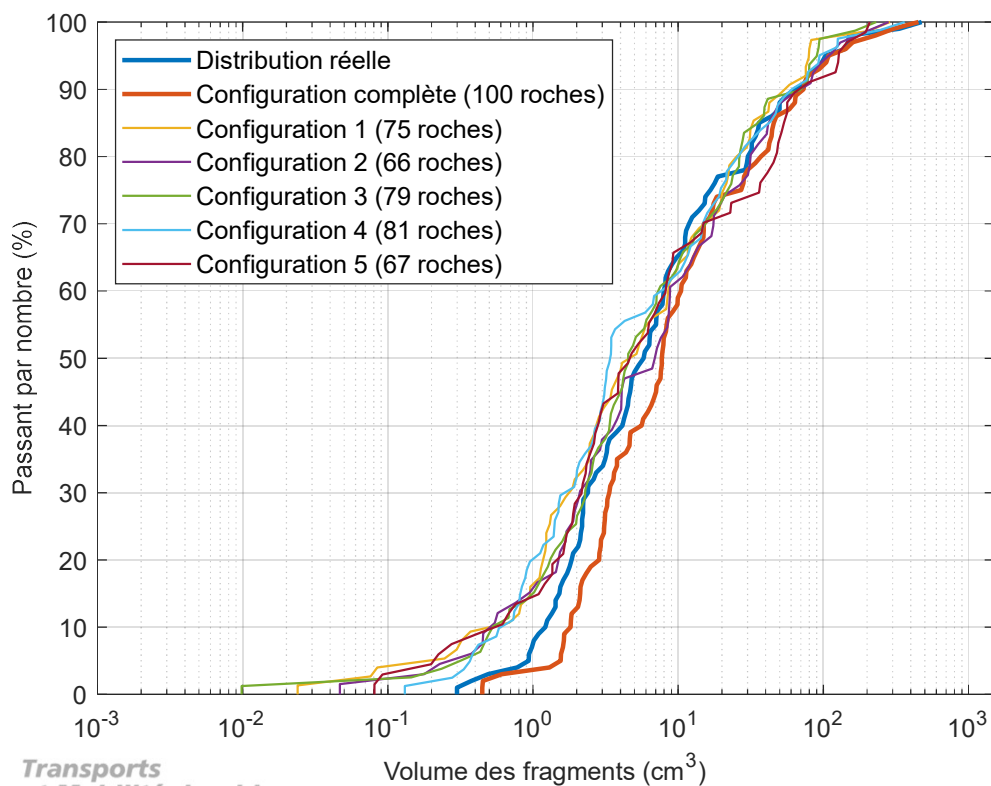
Reproduction en laboratoire

- Estimation du volume des fragments : PCA (Principal Component Analysis)



Distribution granulométrique des fragments post-sautage

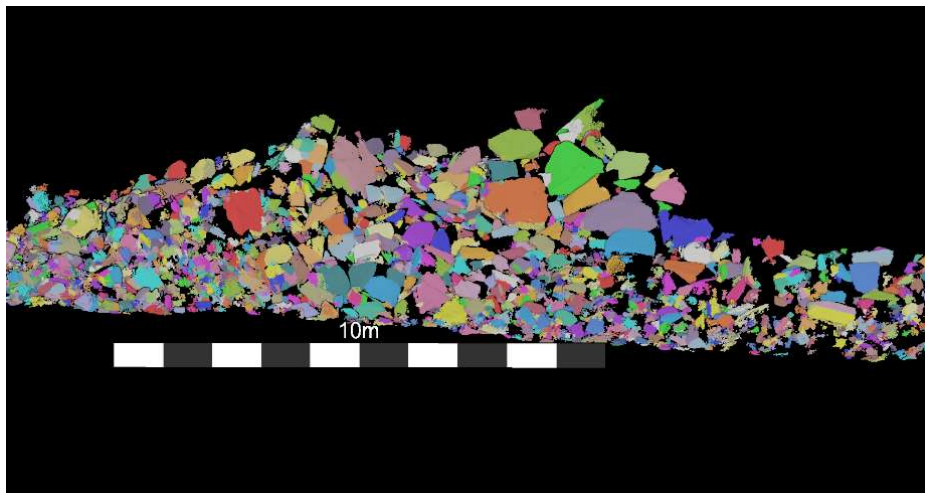
Reproduction en laboratoire



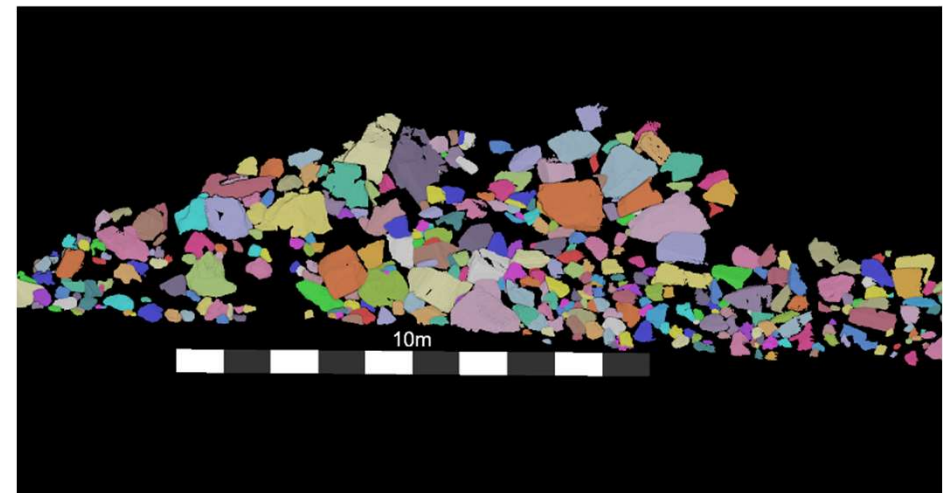
Distribution granulométrique des fragments post-sautage

Délimitation des fragments post-sautage – PointStudio (Maptek)

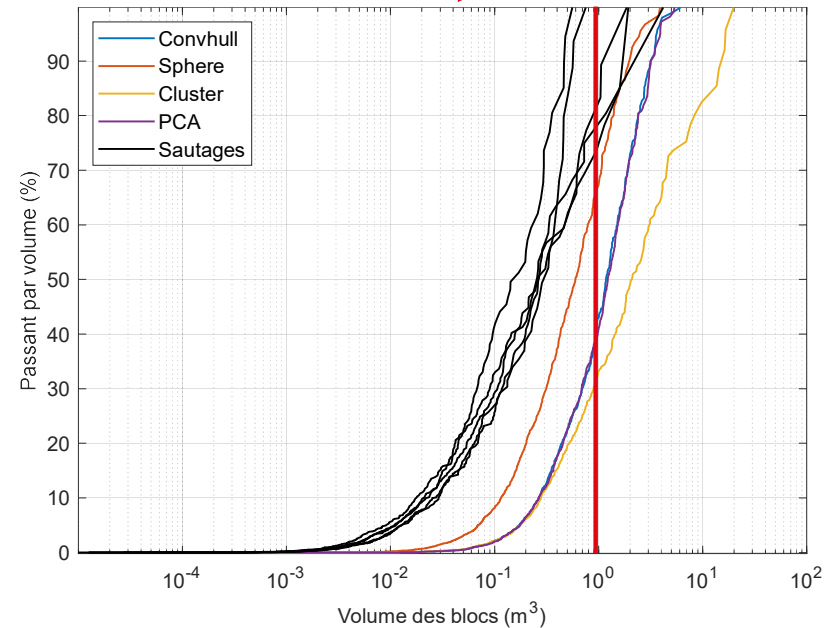
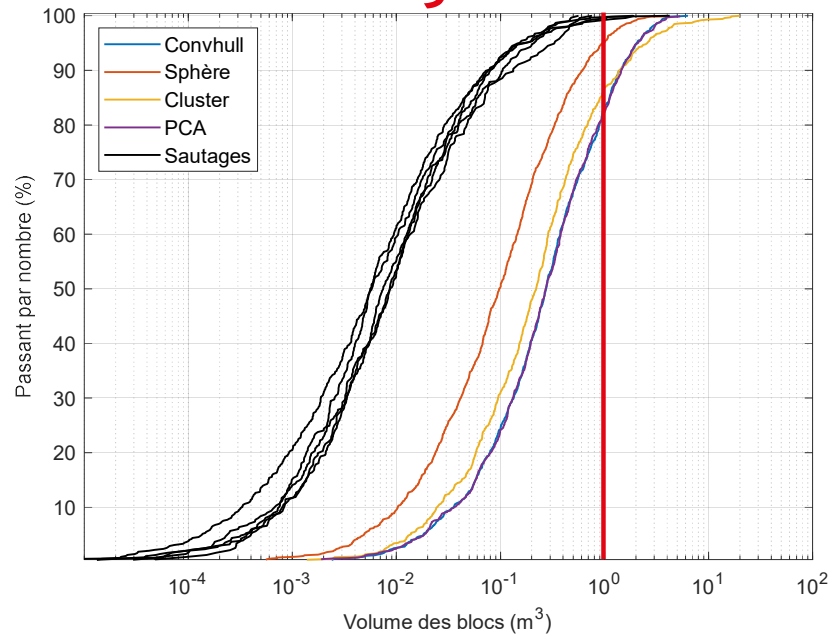
Après la délimitation automatique



Après la délimitation manuelle



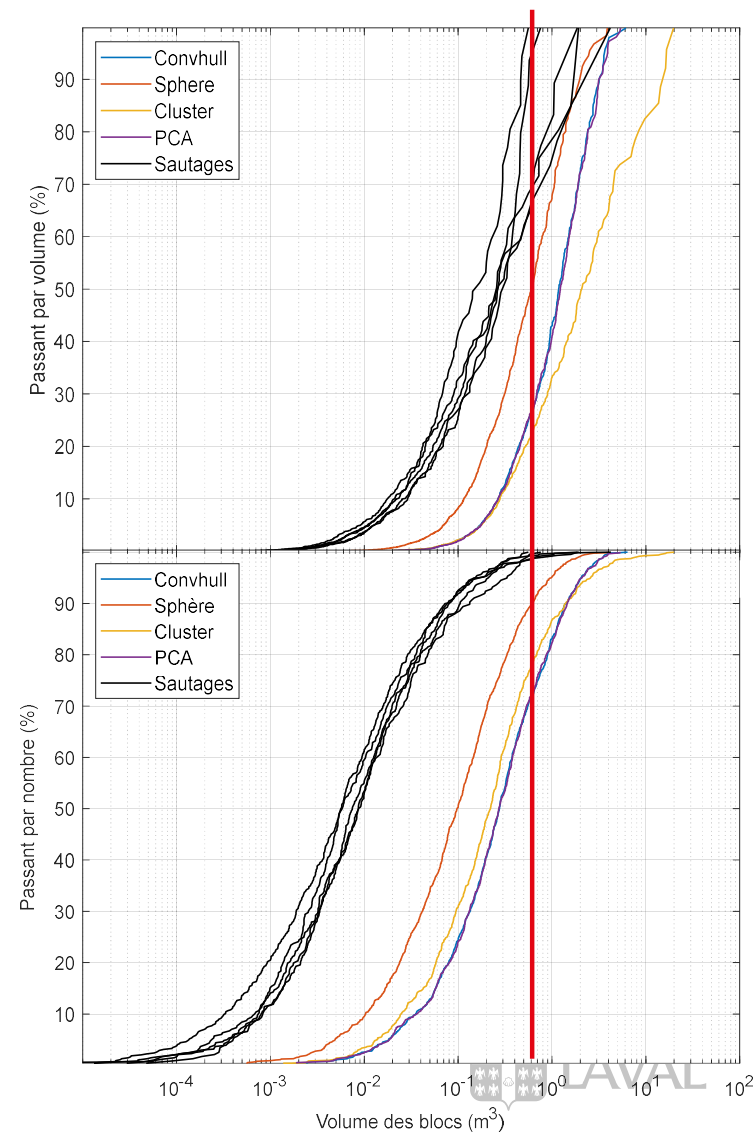
Distributions granulométriques in-situ et post-sautage



Volume de bloc (m³)	Proportion volumique (%)					
	In situ (Conv hull)	Sautage 1	Sautage 2	Sautage 3	Sautage 4	Sautage 5
< 0,6	26	65	100	66	69	94
0,6 – 1	17	17	0	9	9	6
> 1	57	18	0	25	22	0
Max (m³)	6,36	1,88	0,56	1,93	4,23	0,76

Conclusions

- Développement d'une méthodologie pour évaluer la taille des blocs in situ et des fragments post-dynamitage à partir de nuages de points
- Tous les sautages présentent une distribution similaire du volume des fragments
- Comparaison entre la taille des fragments après dynamitage et la distribution de la taille des blocs in situ
- Environ 20% du volume total des blocs correspond aux blocs surdimensionnés



Futur du projet

1. **Validation** avec d'autres sites au Québec
2. **Influence des propriétés géomécaniques** sur la fragmentation du roc
 - Échantillonnage et essais sur des carottes de roc
3. **Influence du patron de sautage** sur la fragmentation du roc



Remerciements

***Transports
et Mobilité durable***

Québec



**UNIVERSITÉ
LAVAL**

Références

Baecher, G. B., & Lanney, N. A. (1978). *Trace length biases in joint surveys*. 56-65.

Baecher, G. B., Lanney, N. A., & Einstein, H. H. (1977). *Statistical Description of Rock Properties and Sampling*. 1, 1-8.

Dershowitz, W. S., & Herda, H. H. (1992). *Interpretation of fracture spacing and intensity*. 33rd U.S. Symposium on Rock Mechanics (USRMS), Santa Fe, NM, USA.

DIPS - Graphical and Statistical Analysis for Orientation Data (Version 8.027). (2024). [Logiciel]. Rocscience inc. <https://www.rocscience.com/>

Fisher, R. (1953). Dispersion on a Sphere. *Proceedings of the Royal Society of London*, 217, 295-305.

Grenon, M., & Hadjigeorgiou, J. (2008). *Fracture SG - a fracture system generator software* [Logiciel].

Grenon, M., & Hadjigeorgiou, J. (2012). Applications of fracture system models (FSM) in mining and civil rock engineering design. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 26(1), 55-73. <https://doi.org/10.1080/17480930.2011.639190>

Références

Grenon, M., & Hadjigeorgiou, J. (2020). Implications of DFN Model Selection in Open Pit Bench Stability Analyses. *BOLETÍN GEOLÓGICO Y MINERO*, 131(3), 387-400.

<https://doi.org/10.21701/bolgeomin.131.3.004>

Grenon, M., Hadjigeorgiou, J., & Liu, Q. (1998). Quantifying in-situ rock block size and resulting fragment size distributions due to blasting. *Fragblast*, 2(2), 205-218.

<https://doi.org/10.1080/13855149809408886>

Hastings, W. K. (s. d.). *Monte Carlo sampling methods using Markov chains and their applications*.

Kolyukhin, D., & Tveranger, J. (2014). Statistical Analysis of Fracture-Length Distribution Sampled Under the Truncation and Censoring Effects. *Mathematical Geosciences*, 46(6), 733-746.

<https://doi.org/10.1007/s11004-013-9517-7>

Metropolis, N., Rosenbluth, A. W., Rosenbluth, M. N., Teller, A. H., & Teller, E. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. *The Journal of Chemical Physics*, 21(6), 1087-1092.

<https://doi.org/10.1063/1.1699114>

Références

PointStudio—Pointcloud processing and analysis (Version 2024.1). (2024). [Logiciel]. Maptek. <https://www.maptek.com/>

Read, J., & Stacey, P. (2009). *Guidelines for open pit slope design*. CSIRO. <http://site.ebrary.com/id/10619875>

Terzaghi, R. D. (1965). Sources of Error in Joint Surveys. *Géotechnique*, 15(3), 287-304.
<https://doi.org/10.1680/geot.1965.15.3.287>

Zhang, L., & Einstein, H. H. (1998). Estimating the Mean Trace Length of Rock Discontinuities. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 31(4), 217-235. <https://doi.org/10.1007/s006030050022>

Zhang, L., & Einstein, H. H. (2000). Estimating the intensity of rock discontinuities. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 37(5), 819-837. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(00\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(00)00022-8)

Zhang, Z.-X. (2016). *Rock fracture and blasting : Theory and applications*. Elsevier, Butterworth-Heinemann, an imprint of Elsevier.

Zou, D. (2017). *Theory and Technology of Rock Excavation for Civil Engineering*. Springer Singapore.
<https://doi.org/10.1007/978-981-10-1989-0>