

## RÉSUMÉ

### **Quantification par analyse d'images de la granulométrie des roches fragmentées : amélioration de l'extraction morphologique des surfaces, amélioration de la reconstruction stéréologique**

Souhaïl OUTAL

*Centre de Géosciences, Centre de Morphologie Mathématique  
Mines Paris*

Cette recherche s'inscrit dans le cadre général du contrôle de qualité des processus utilisés en production minière, tels que le tir à l'explosif, le broyage et le concassage. Elle s'intéresse plus particulièrement à la quantification par traitement d'images de la granulométrie des roches fragmentées. Globalement, les développements menés portent sur l'amélioration des deux étapes les plus déterminantes de la mesure : l'extraction des contours des fragments de roches dans l'image (2D) et la reconstruction de la courbe granulométrique en volume (étape de stéréologie, 3D). Actuellement, le tamisage (ou plus généralement le criblage) est le moyen le plus utilisé pour la mesure de la granulométrie des roches fragmentées. Il constitue la **référence actuelle** de la mesure. En conséquence, toute mesure établie par traitement d'images sera validée sur la base des résultats du tamisage.

En ce qui concerne l'étape d'extraction des contours des fragments, le problème majeur qui se pose est celui du filtrage correct du bruit présent dans l'image. Dans un premier temps, de **nouveaux outils de filtrage**, basés sur les transformations morphologiques résiduelles, assez puissants et adaptés au cas des images de fragments de roches sont introduits et évalués. Dans un second temps, les **surfaces** des fragments sont extraites grâce à une segmentation de l'image, basée sur une **ligne de partage des eaux** contrôlée par les marqueurs extraits des filtrages. La **robustesse** et l'**automatisation** de la démarche sont validées sur plusieurs cas d'images de fragments de roches.

Le second problème abordé dans cette recherche est celui de la **reconstruction de la courbe granulométrique en volume** à partir des surfaces extraites par traitement d'images. Afin d'éviter l'occurrence de nombreux biais liés à cette étape, nous proposons un découpage en deux sous-problèmes, et ce, en fonction de la disposition des matériaux analysés (tas abattu, camion, convoyeur à bande) :

- dans le cas de faible recouvrement et chevauchement : un **modèle expérimental de reconstruction volumique** mettant en jeu les données des refus matériels (surface et volumes), et basé d'emblée sur les résultats de référence est développé. Les **deux lois des tailles et des épaisseurs** (lois de reconstruction) permettant d'attribuer une taille et un volume aux surfaces sont validées expérimentalement.
- dans le cas complexe de présence de masquage entre fragments : nous commençons par **émettre des hypothèses essentielles** à l'adaptation de la théorie des modèles de structures aléatoires à notre cas de fragments de roches. L'analyse des limites d'une application

directe du **modèle aléatoire de feuilles mortes** (hypothèse du schéma booléen) nous a amené à **élaborer une nouvelle méthode d'acquisition** basée sur une incidence à éclairage variable. S'inspirant de la technique du «shape-from-shading», elle permet d'obtenir une information supplémentaire sur le recouvrement (ombre portée entre fragments) pour l'application de la **statistique des grains intacts**.

Enfin, les résultats obtenus dans cette recherche pour les fragments en vrac mais aussi pour d'autres types d'images d'éléments granulaires, nous ont permis d'envisager d'ores et déjà une **valorisation** aussi bien auprès de l'industrie minière et aussi dans d'autres domaines tels que l'agroalimentaire, pharmaceutique, cimenteries,...

**Mots clefs** : mesure granulométrique, analyse d'images, morphologie mathématique, sur-segmentation, fusion, particules fines, filtrage, opérateurs résiduels numériques, marquage, boule maximale inscrite, reconstruction volumique, passants cumulés, histogrammes, ségrégation, recouvrement et chevauchement, modèle de feuilles mortes, statistique des grains intacts.