

CONTRÔLE OPTIQUE DES PROCESSUS DE FRAGMENTATION DANS L'INDUSTRIE MINÉRALE

Souhaïl OUTAL

Souhail.Outal@ulg.ac.be

Géoressources & Imagerie Minérale



Université de Liège

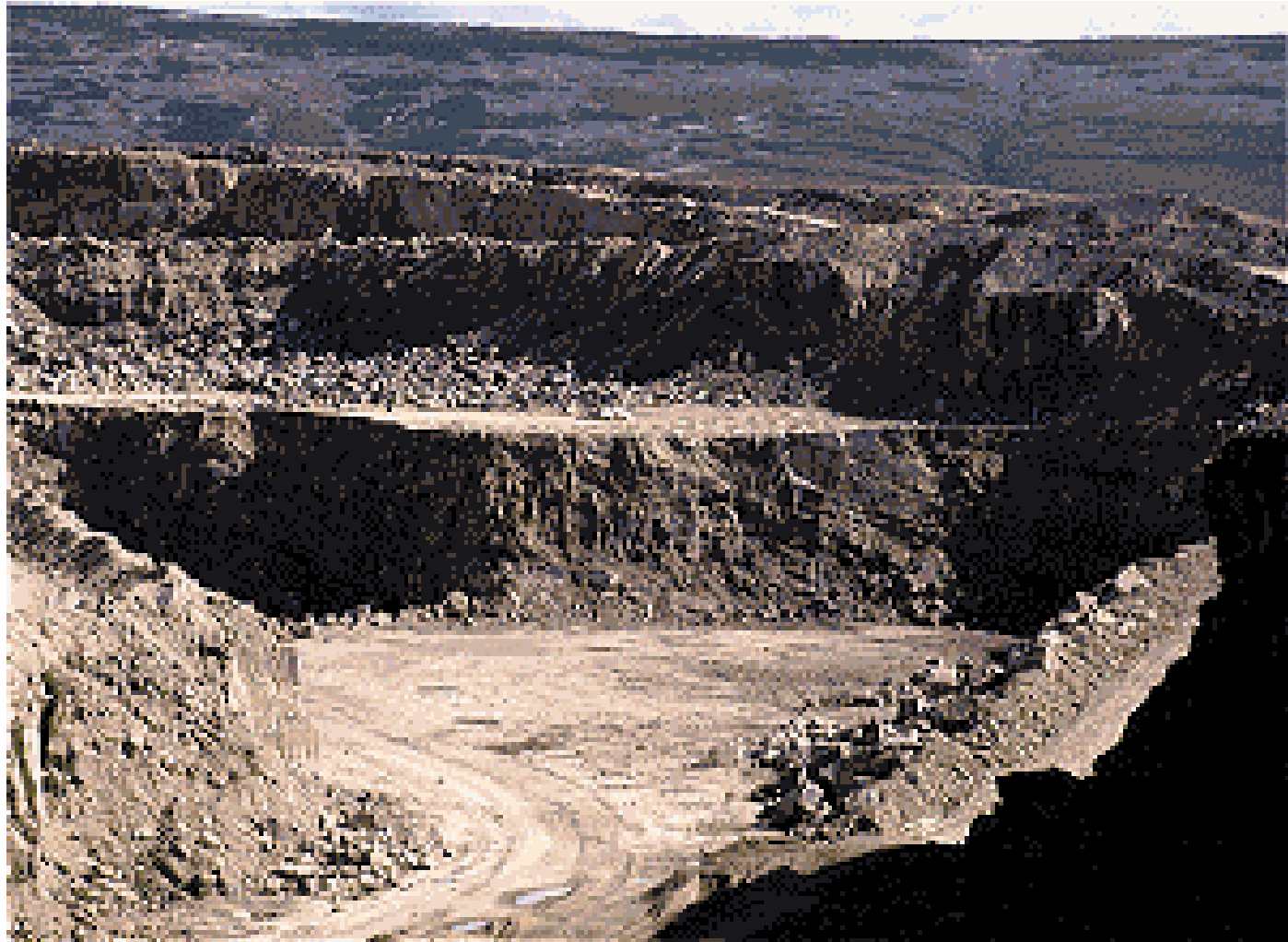


C F M R – 13 Mars 2008

- Processus de fragmentation
- Contrôle optique
- Résultats
- Perspectives

Processus de fragmentation

Tir à l'explosif



Processus de fragmentation

Tir à l'explosif



Endroits intéressants pour le contrôle de la fragmentation

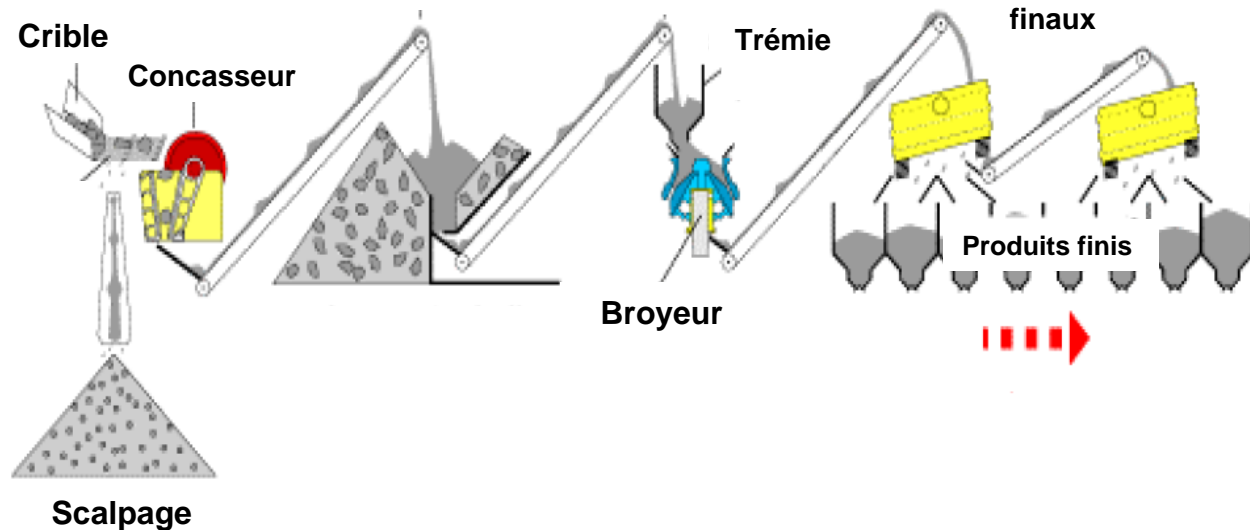
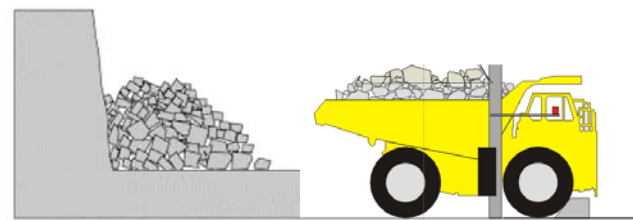
1. Tas abattu



2. Sortie du concasseur



3. Sortie des cribles



Contexte du travail

Fragments entre 100 et 800mm

Fragments entre 45 et 100mm



Fragments échantillonnés

Fragments inférieurs à 20 mm

Fragments entre 20 et 45mm

El Alto

Limites

- **Interférence** avec la production :
arrêt avant régulation des machines
- **Onéreux** :
moyens humains et matériels mis en jeu
- Mesure pas assez **représentative** de l'ensemble de la fragmentation :
manipulation d'un échantillon réduit

—————→ Recours à l'utilisation de **l'analyse d'images** pour effectuer la mesure

Analyse d'images

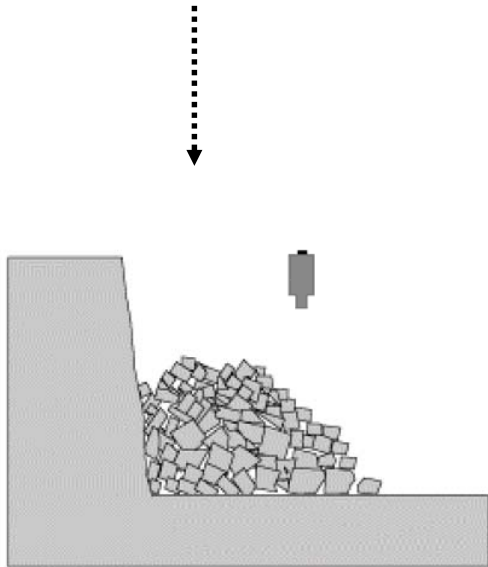
Objectifs

- **Réduction des coûts** de la mesure : traitements informatiques
- **Réduction de l'interférence** avec la production
- Obtention d'une **mesure automatique et continue**
- Possibilité de mesure de grandes quantités de matière : **amélioration de la représentativité** de la mesure

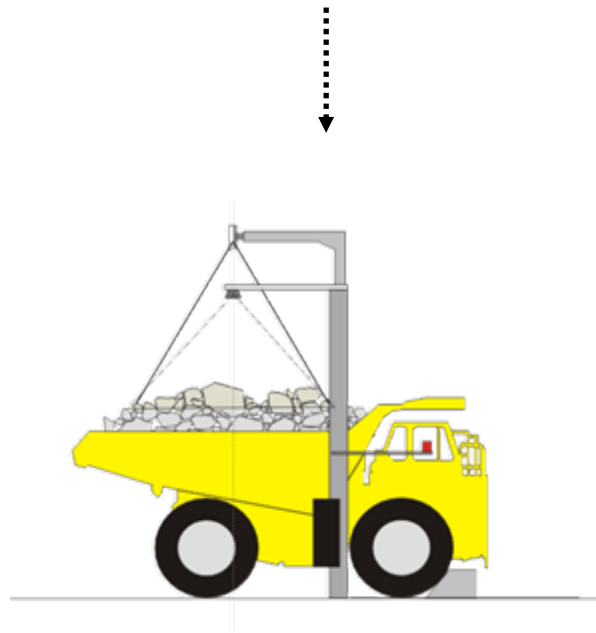
Analyse d'images

Méthode de mesure

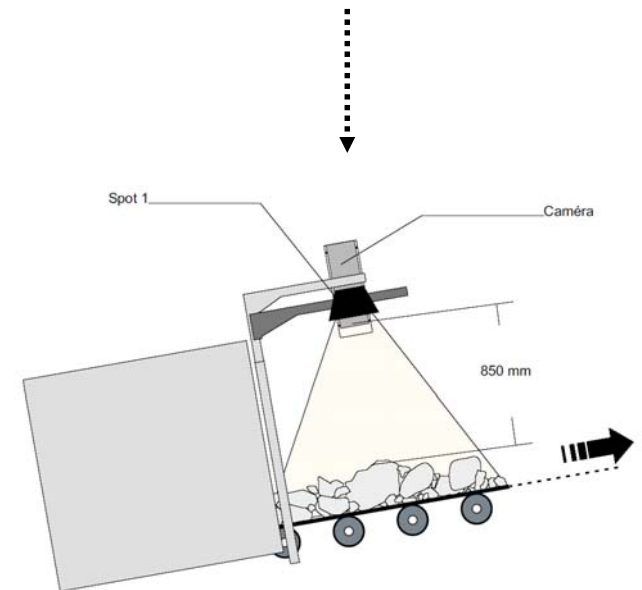
Tas abattu



Acquisition d'images
sur le camion



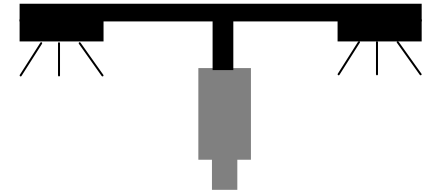
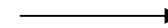
Acquisition d'images sur
le convoyeur à bandes



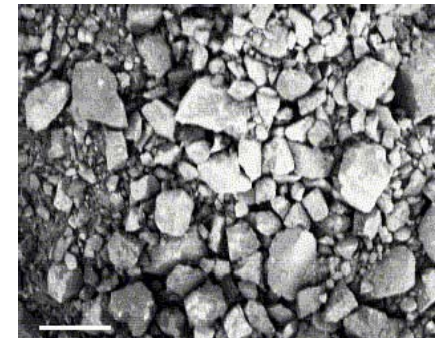
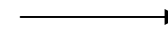
Analyse d'images

Séquence de mesure

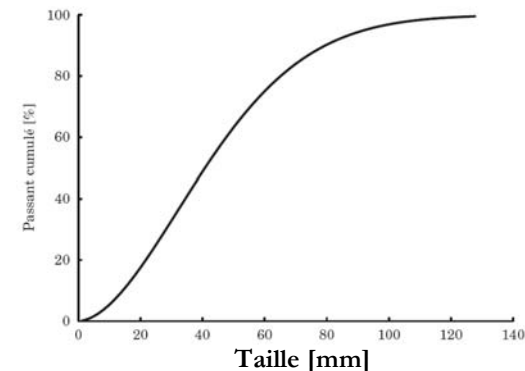
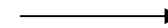
1. Acquisition des images



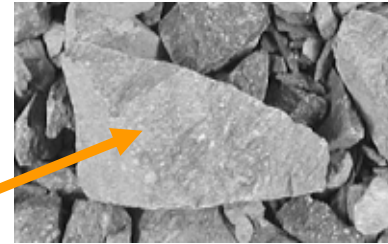
2. Traitement des images à niveau de gris
surfaces, tailles et volumes



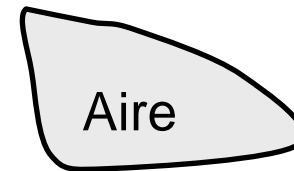
3. Calcul de la courbe granulométrique
à valider en fonction de la référence



Traitement des images à niveau de gris



1. Information 2D



2. Reconstruction 3D

Image de fragments de roches

Fragment = élément contrasté

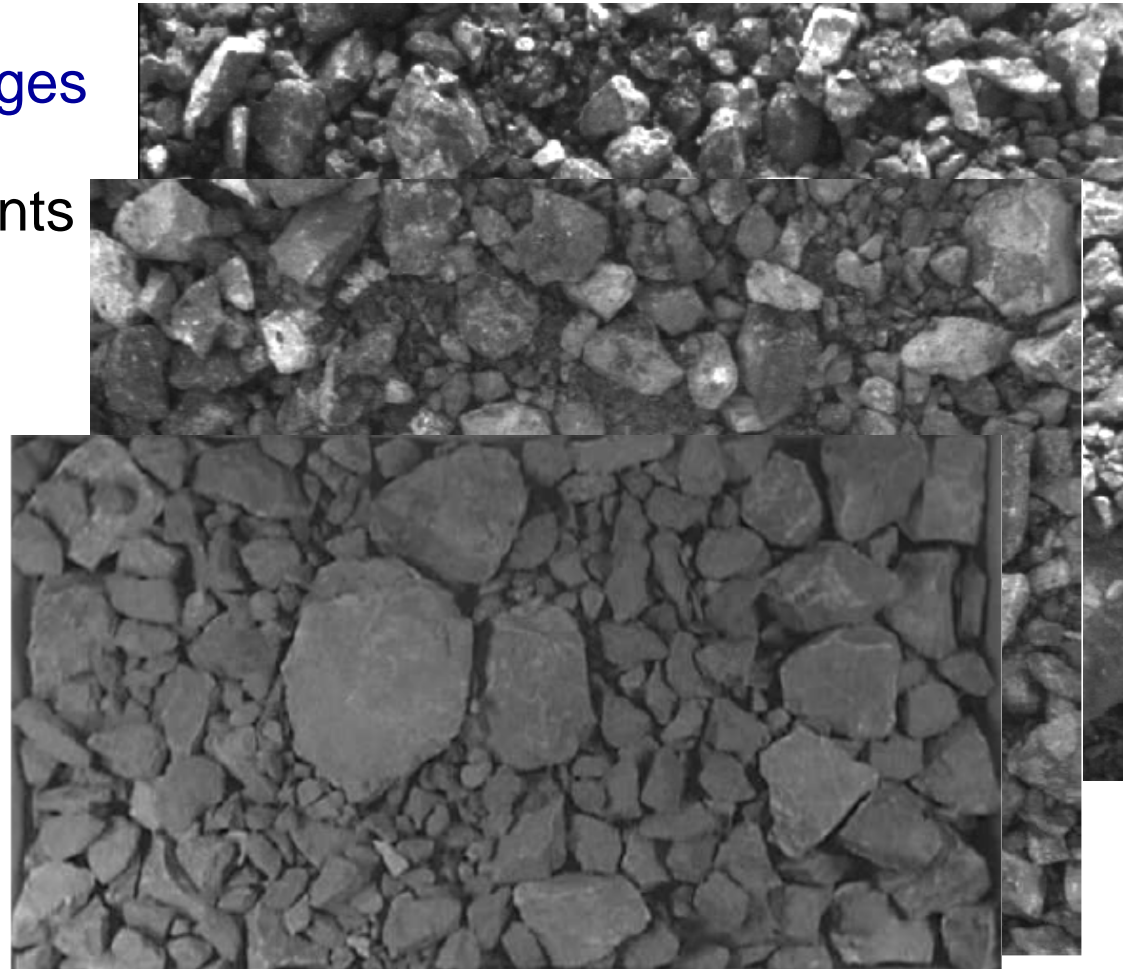
Taille + Volume

Information 2D : extraction des aires des fragments

Problèmes inhérents à la mesure

- Bruit présent dans les images

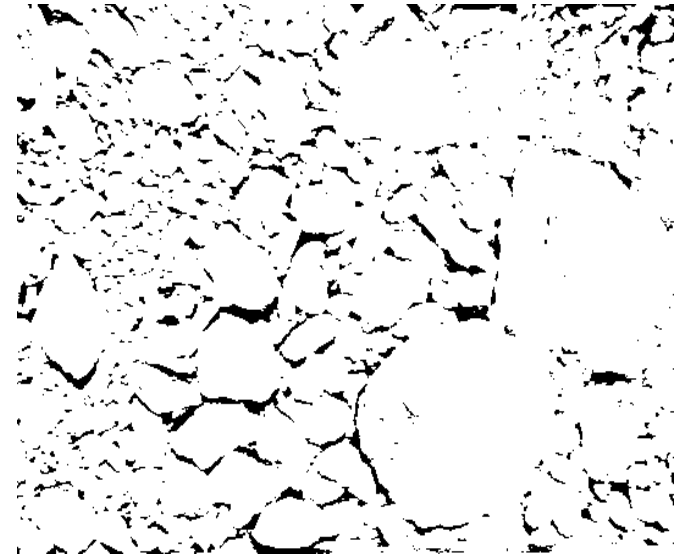
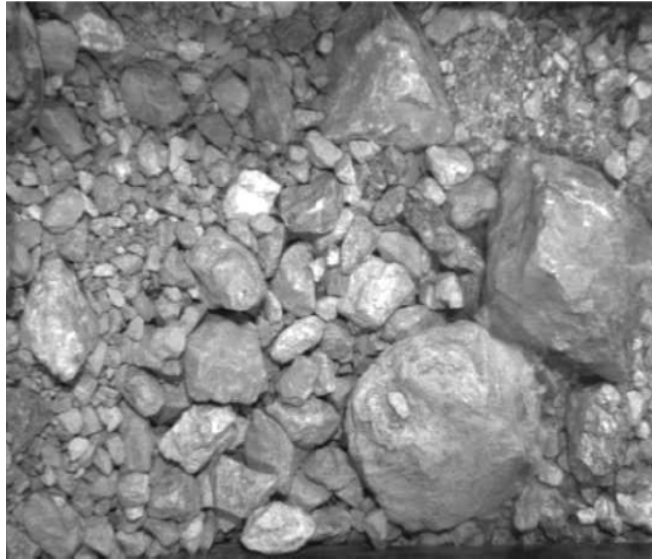
- Textures sur les fragments claires et sombres
- Contraste non-uniforme
- Fines regroupées



→ **Bruits très difficiles à filtrer**
Surfaces extraites biaisées

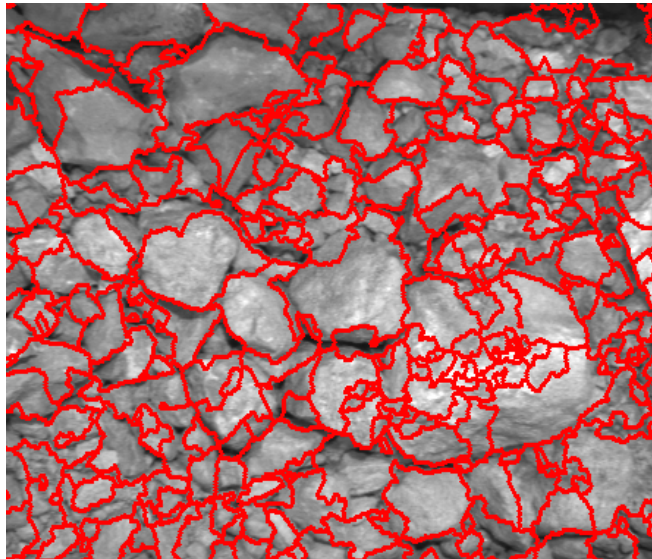
Problèmes inhérents à la mesure

Seuillage
Contours partiels
(Cas de *FragScan*)

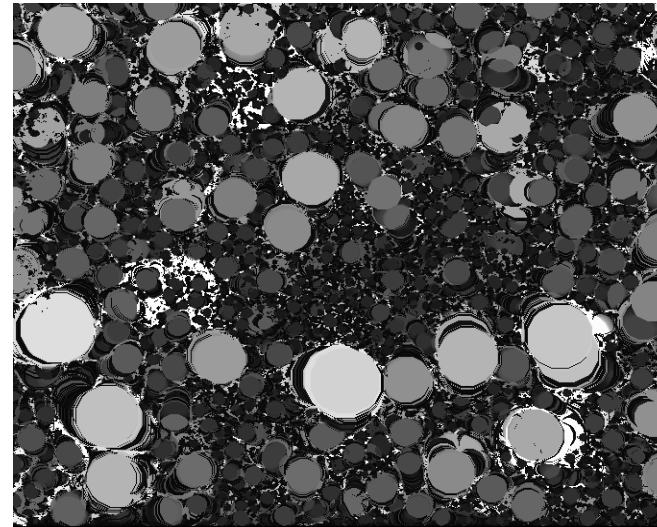
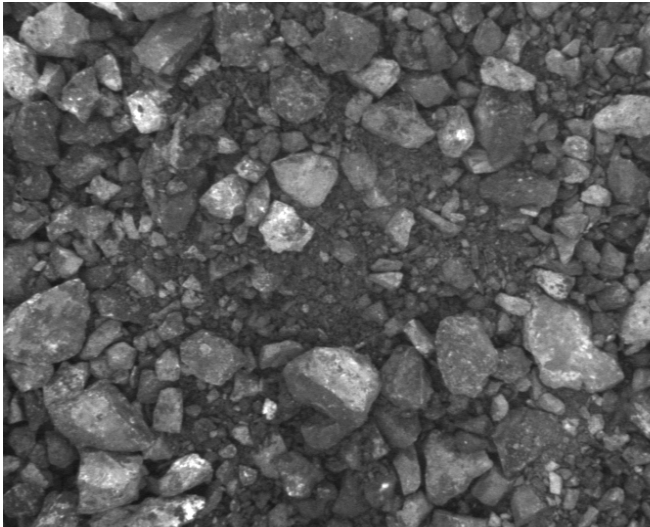


Sur-segmentation
et fusion
(correction
manuelle)

(Cas de *Split*,
WipFrag)

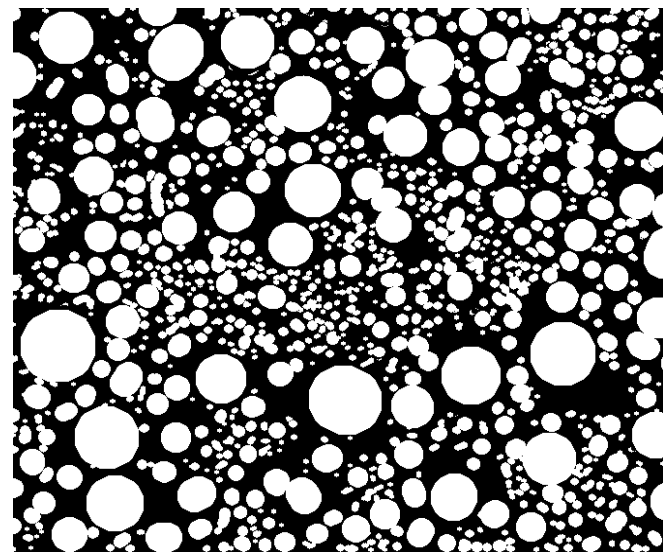


Sup des résidus des ouvertures :
élimination des **textures claires**



→ **Contrôle des Sup** ;
critère géométrique de tri :

élimination des textures sombres



S. Outal & S. Beucher, 2006

Segmentation automatique - ligne de partage des eaux

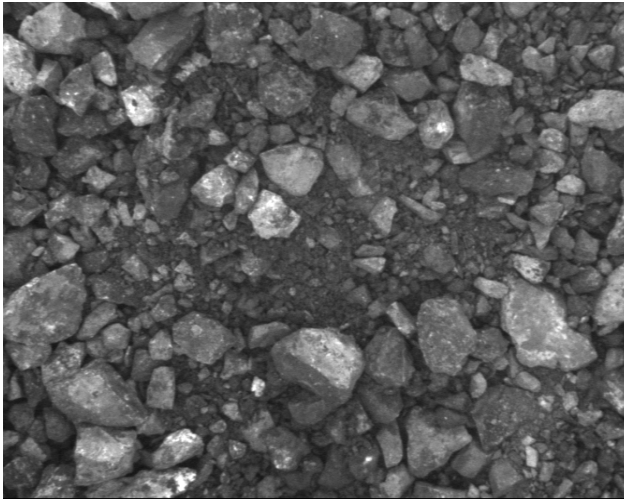
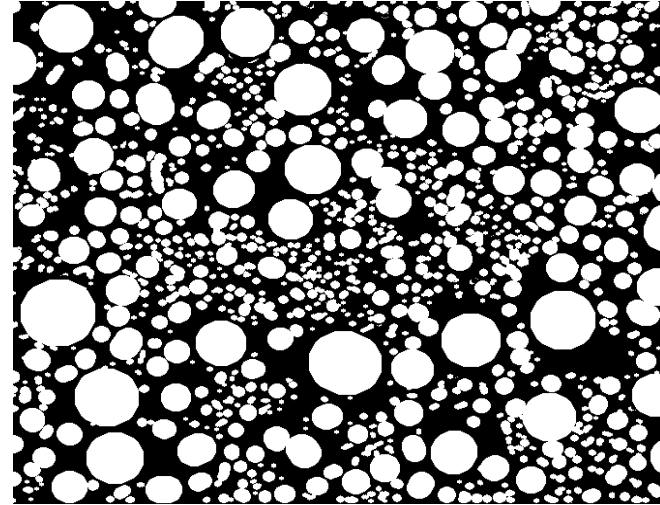
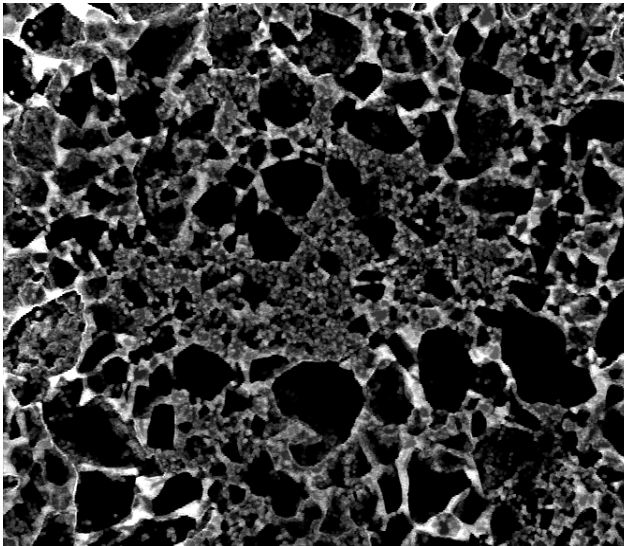


Image initiale



Marqueurs



Gradient

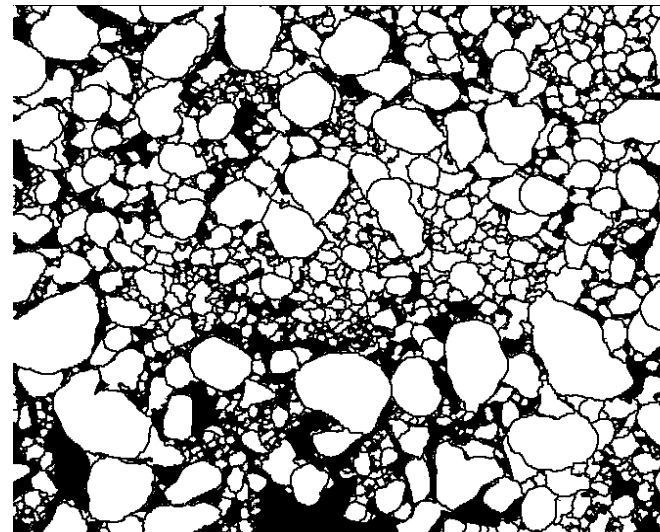
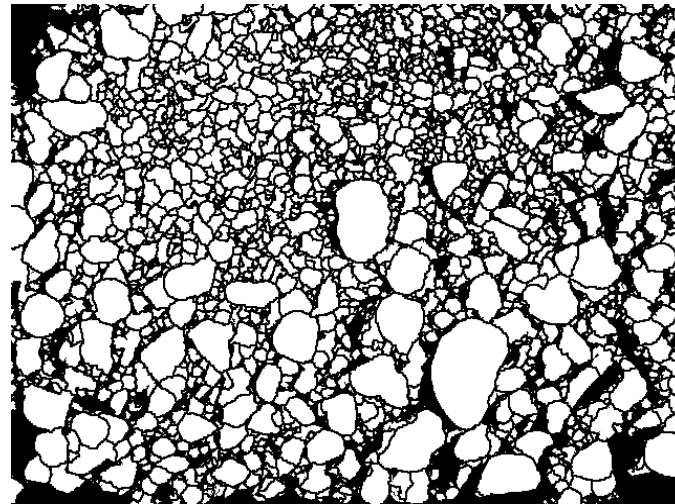
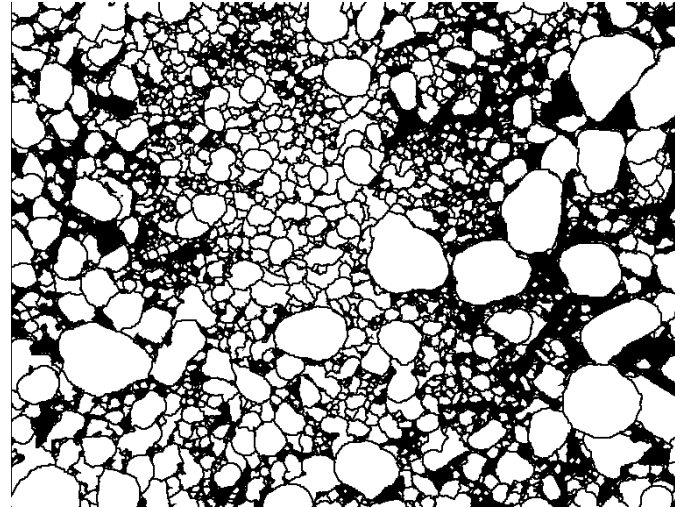
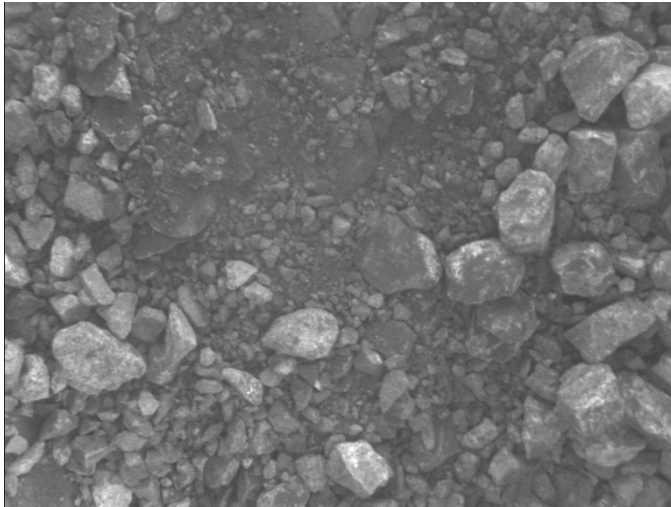


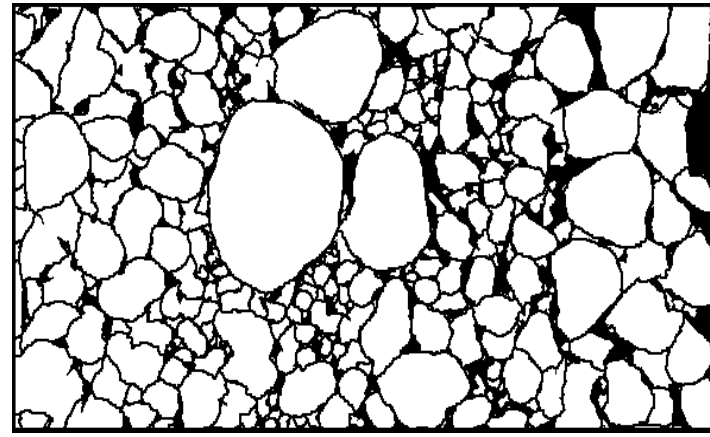
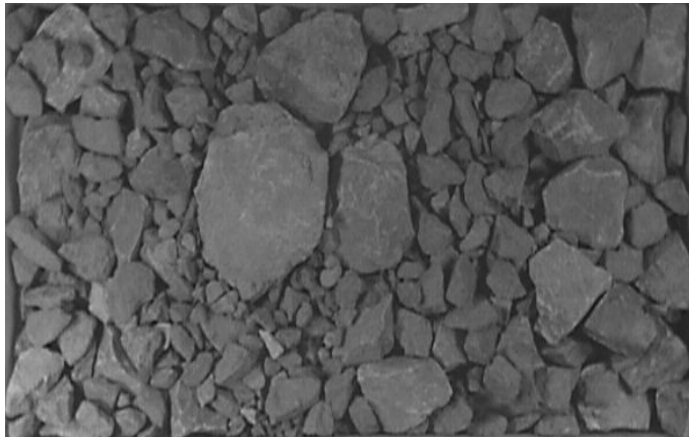
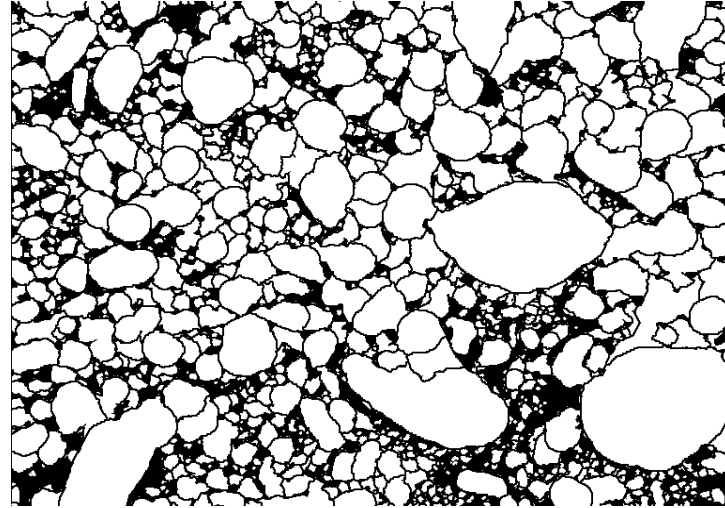
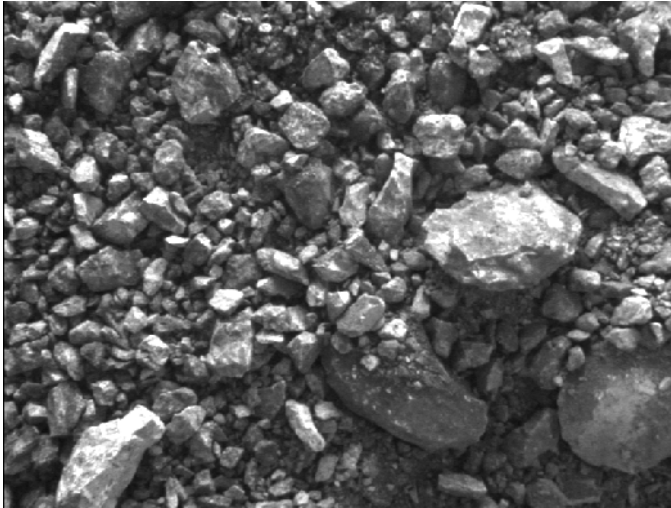
Image segmentée (binaire)

Segmentation automatique - validation : différents types d'images



Pas de problèmes de sur-segmentation ou de fusion

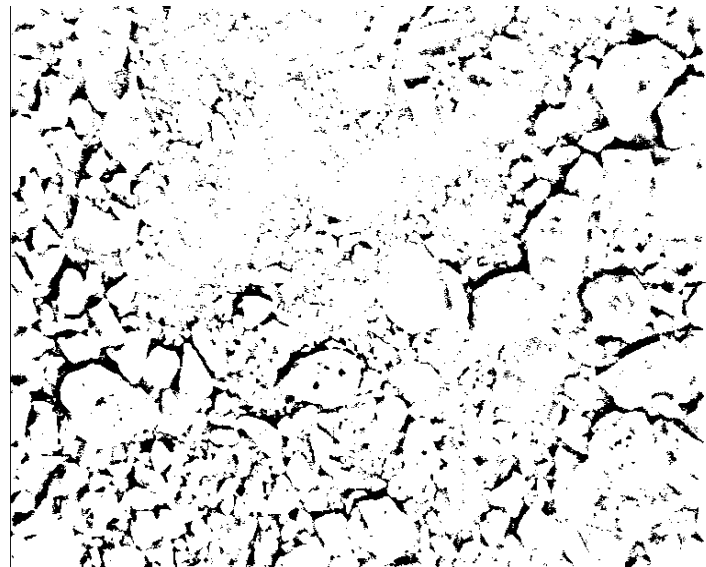
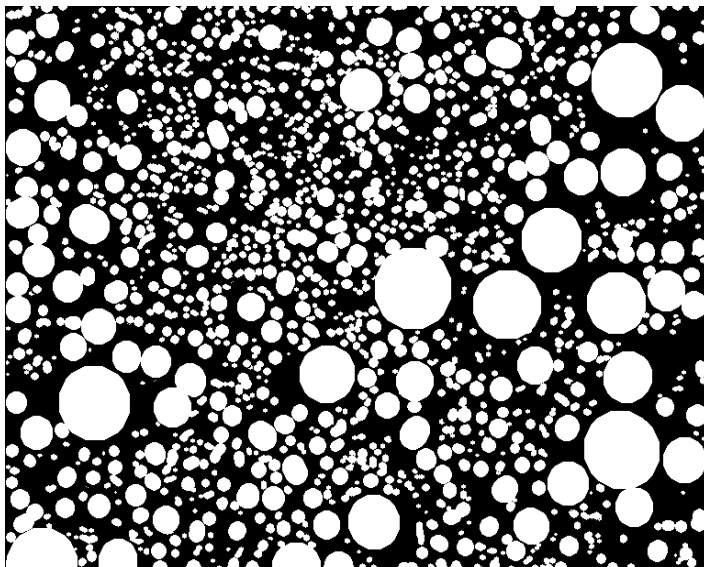
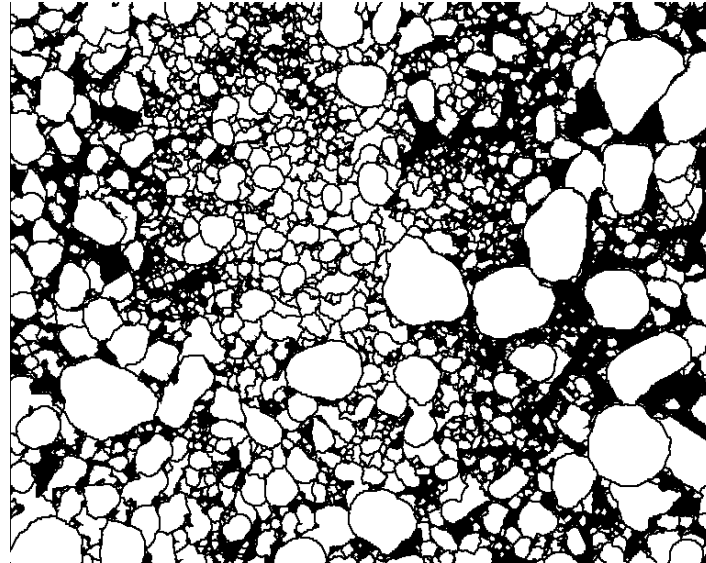
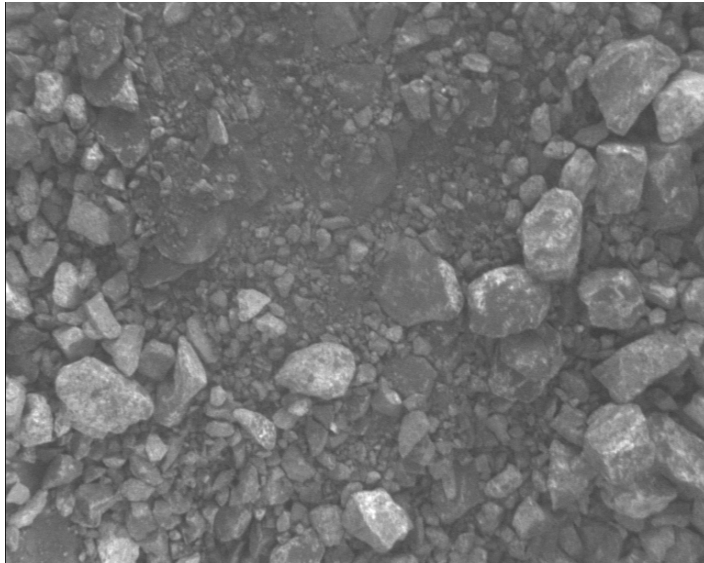
Segmentation automatique - validation : différents types d'images

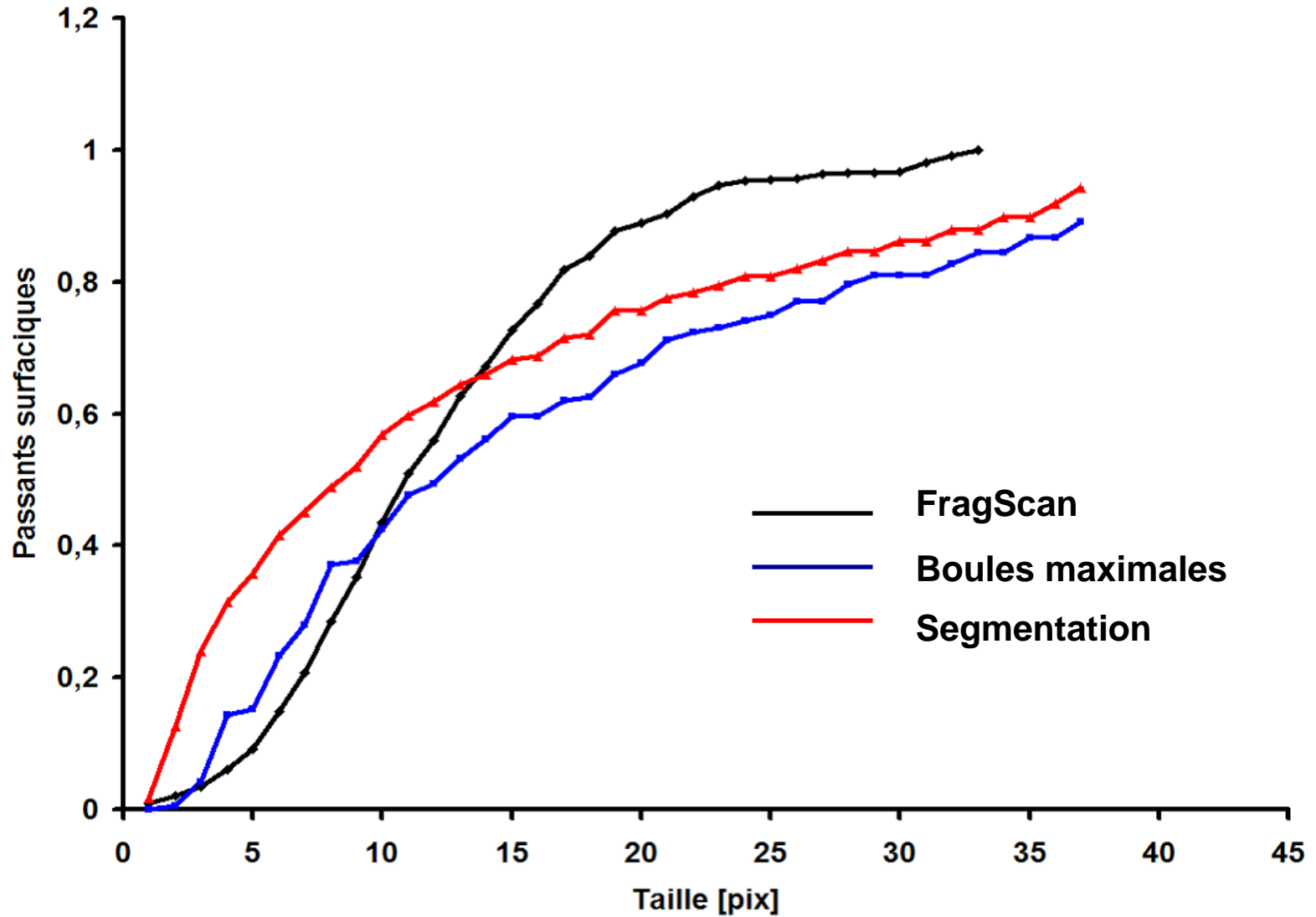


Contours assez fidèles aux contours « réels »

Filtrage et segmentation automatique des images

Segmentation automatique - validation : différents types d'informations

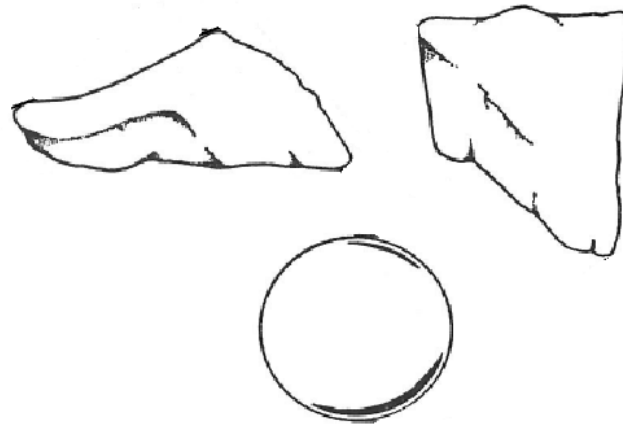




Information 3D : reconstruction de la courbe granulométrique

Problèmes inhérents à la mesure

Accès seulement aux aires projetées

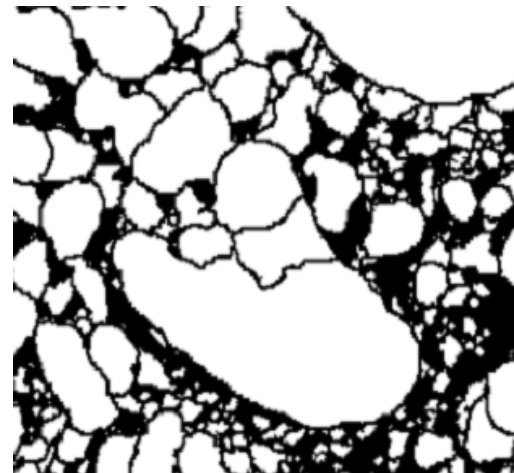


Aires non représentatives de la forme des fragments :
méthodes stéréologiques traditionnelles ne marchent pas

→ Difficulté lors de la reconstruction de la granulométrie
en volumes

Problèmes inhérents à la mesure

Une partie des surfaces subie un masquage



Approche adoptée



information 2D



Stéréologie (3D)

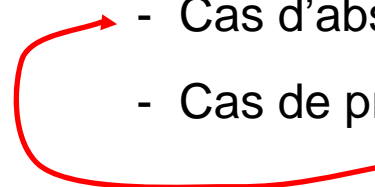
Taille + Volume
(courbe granulométrique)



Manipulation de notions matérielles
- Histogrammes des refus

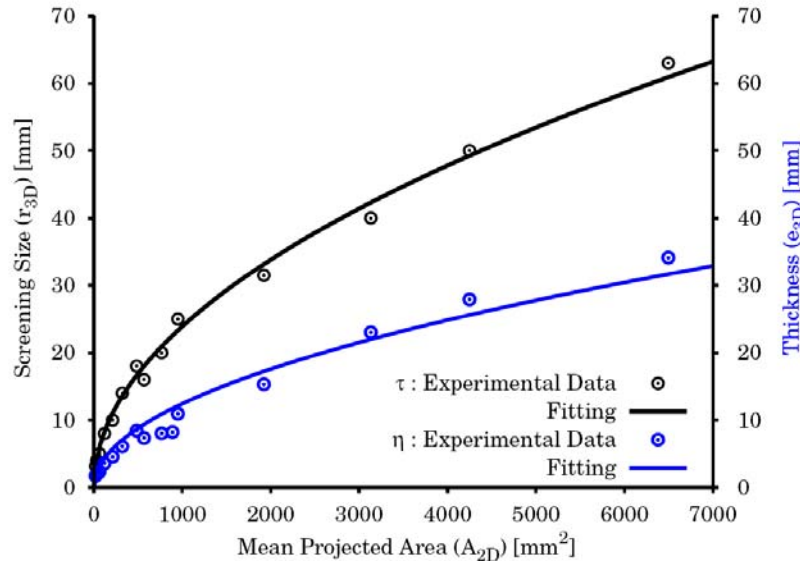
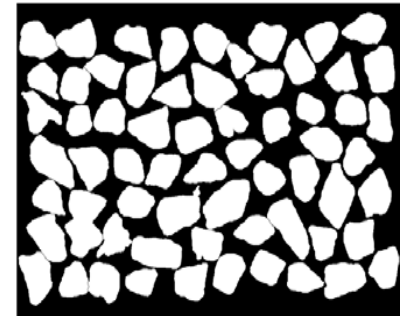
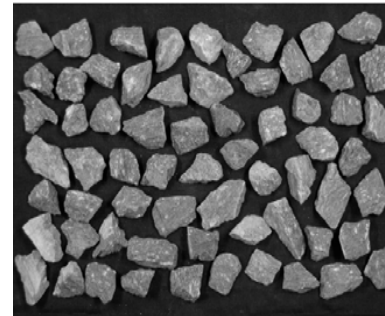
Découpage du problème :

- Cas d'absence de masquage
- Cas de présence de masquage



1. Absence de masquage

Étude de classes de tailles individuelles de fragments



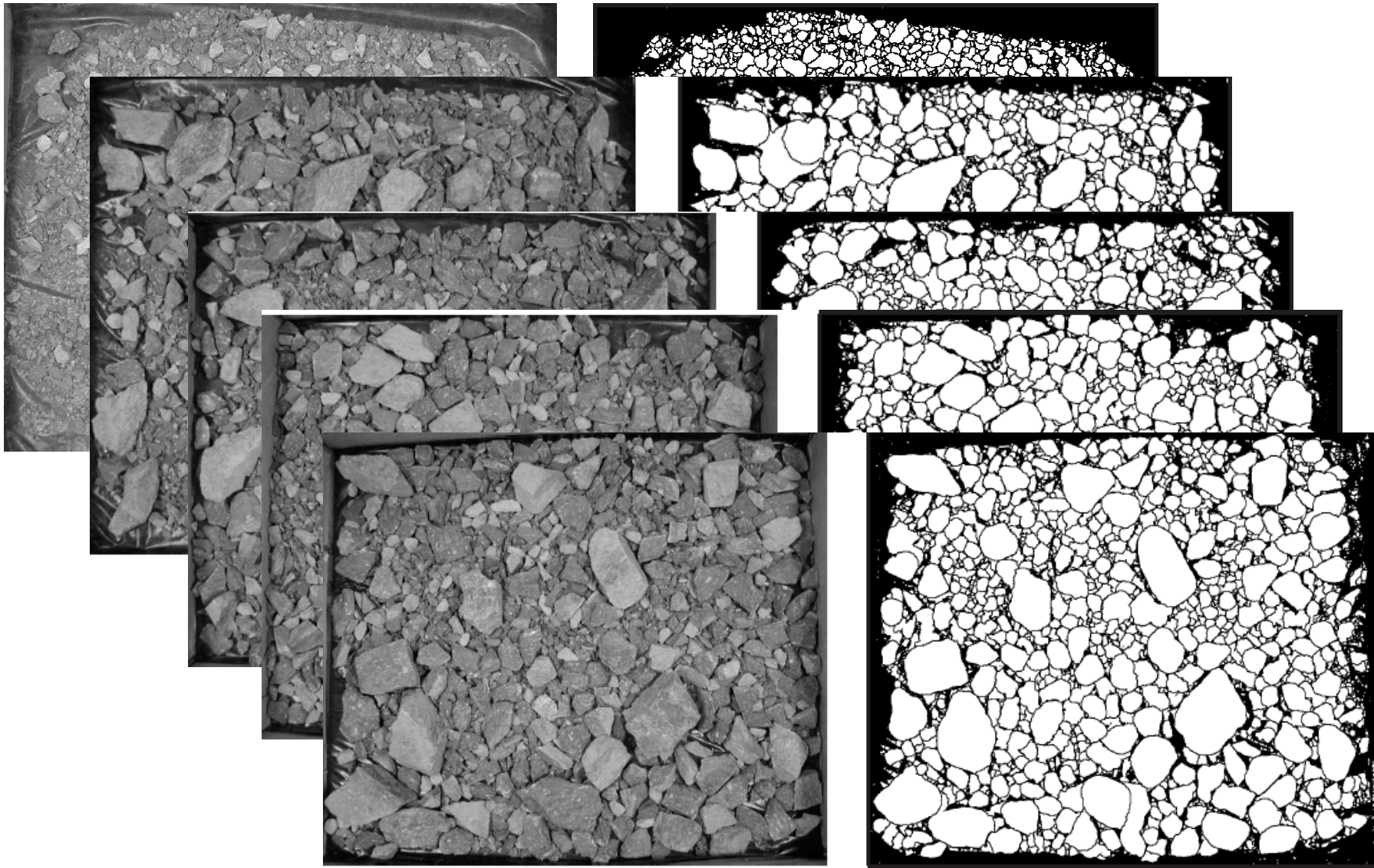
*S. Outal, D. Jeulin
& J. Schleifer, 2006*

1. Loi des tailles
[taille-3D = $f(A)$]

2. Loi des épaisseurs
[épaisseur = $f(A)$]

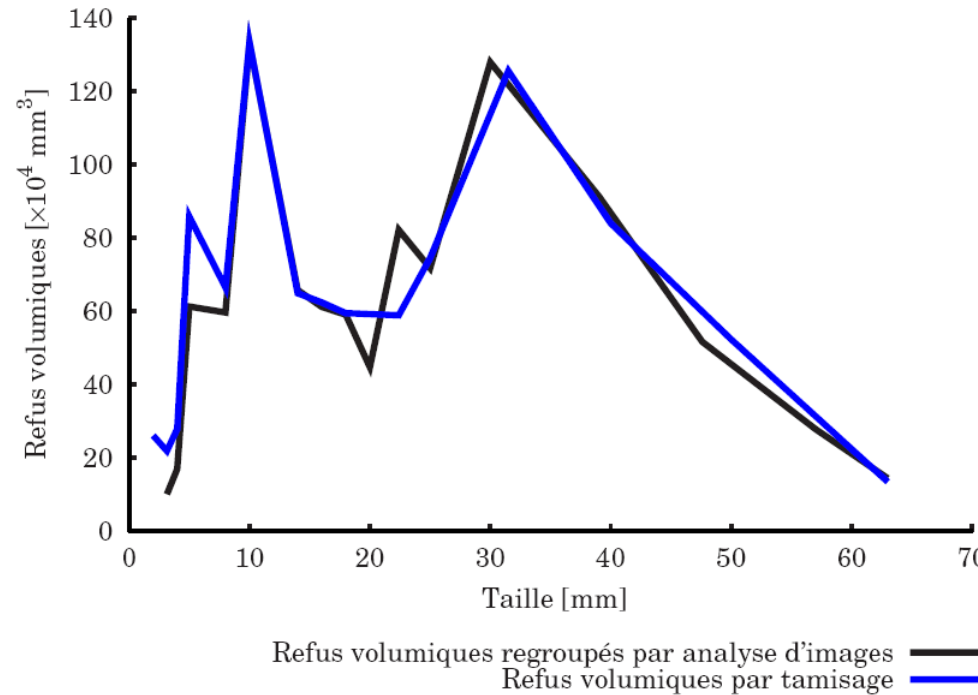
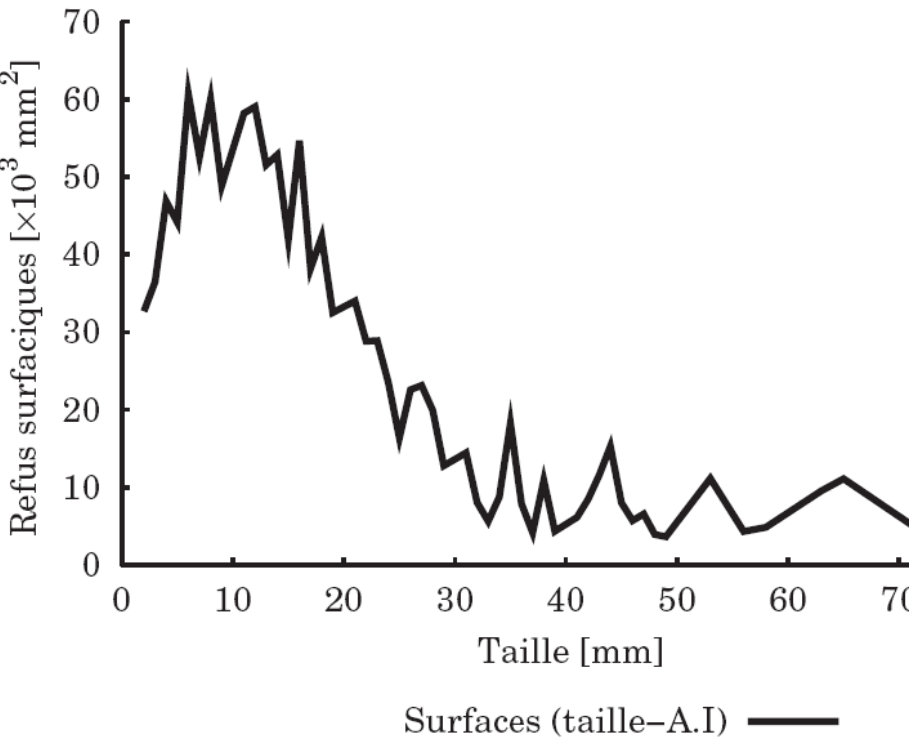
Reconstruction de la courbe granulométrique

1. Absence de masquage - Validation des deux lois



Reconstruction de la courbe granulométrique

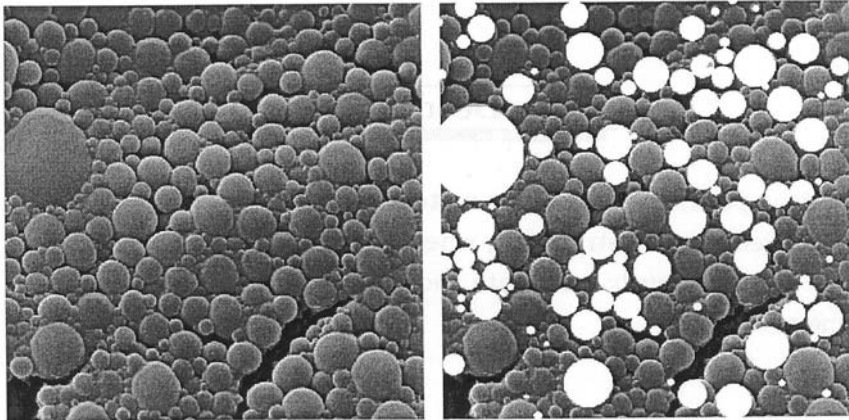
1. Absence de masquage - Validation des deux lois



→ Méthode de reconstruction robuste

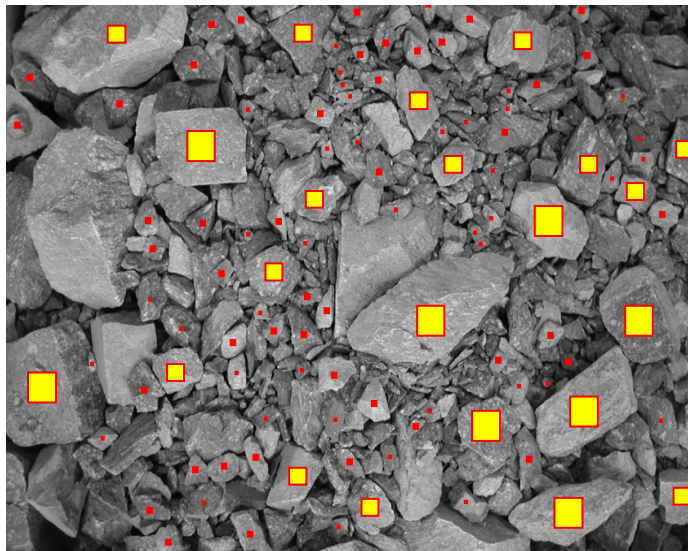
- Aucune hypothèse sur la forme
- Extrapolation des deux lois à d'autres intervalles de tailles : enrochements, blocométrie

2. Présence de masquage



Tous les grains recouverts
apparaissent concaves

→ Grains intacts



- Information sur la position relative des fragments
fragments sans ombre portée = fragments intacts
- Un éclairage figé ne permet pas une telle chose

→ Nouvelle méthode d'acquisition
Variation de l'angle d'incidence
récupération d'un maximum d'ombre portée

2. Présence de masquage

Mise en valeur des ombres portées

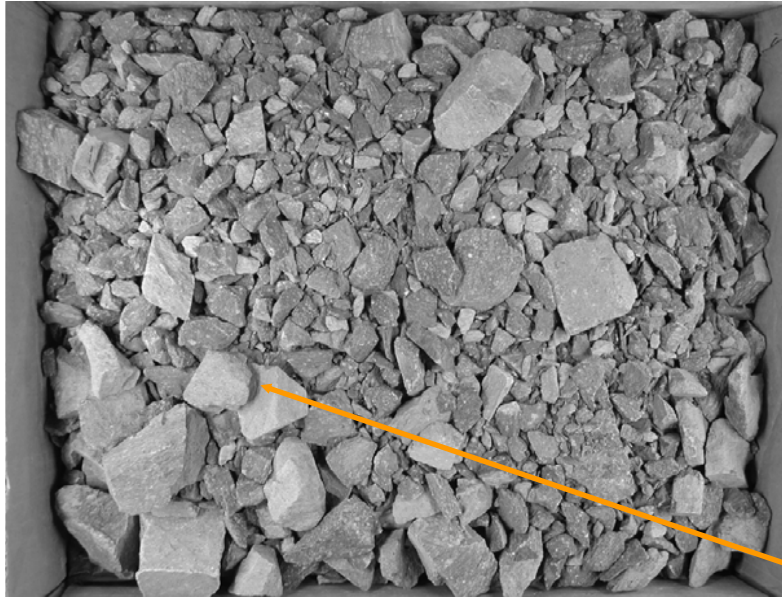


Image SUP

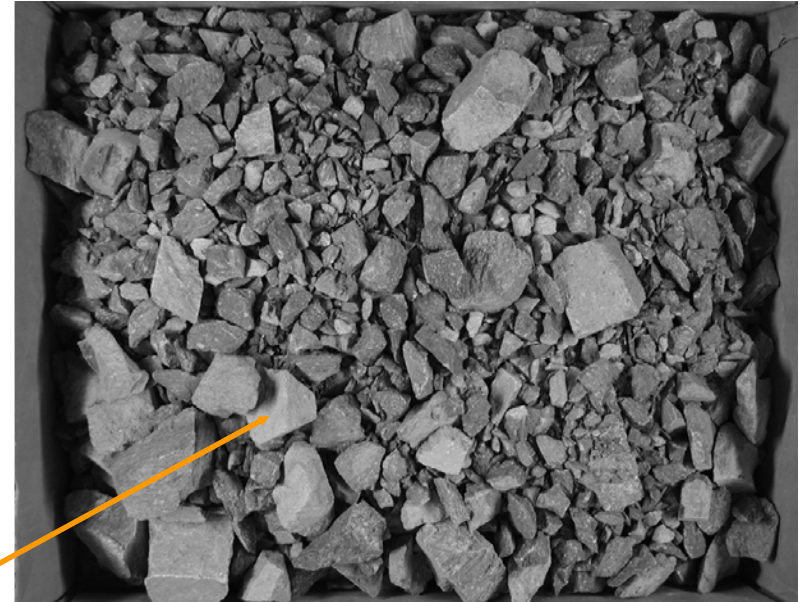
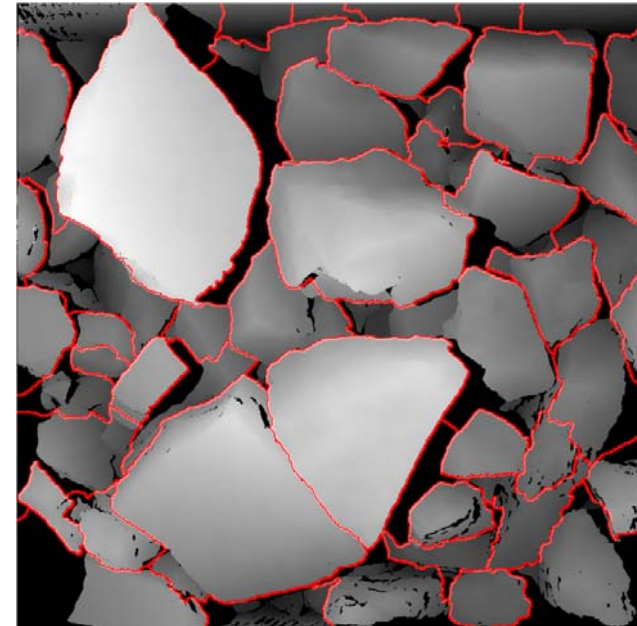
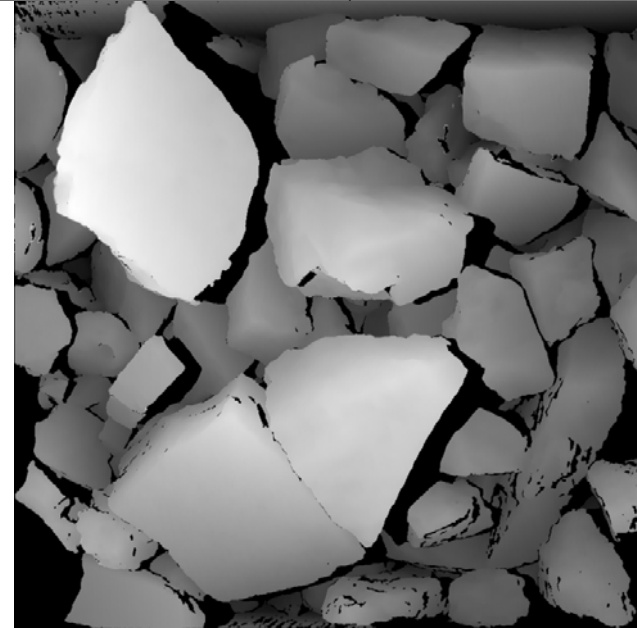
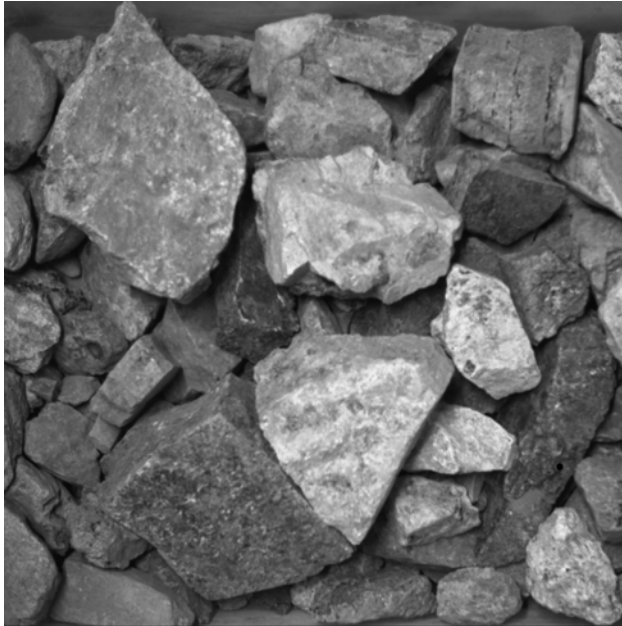


Image INF

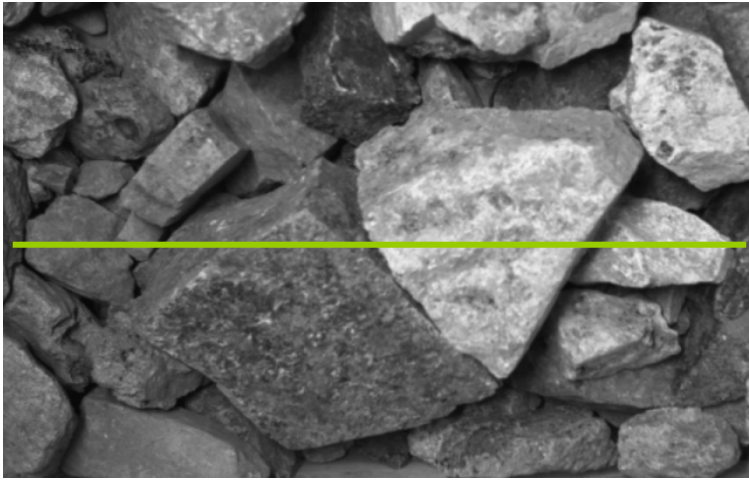
Information sur l'ombre
correctement mise en valeur

Innovation : LASER

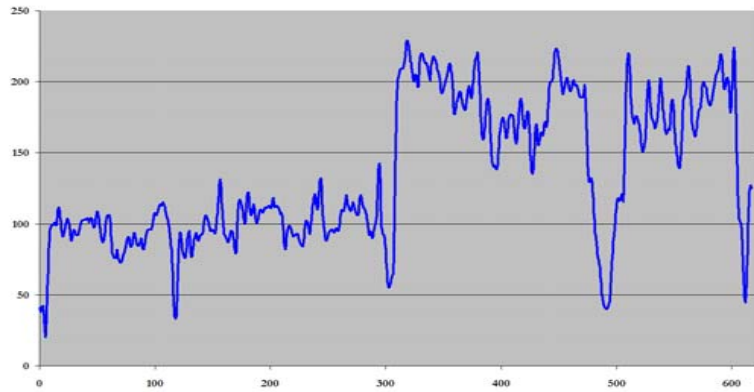


Images moins bruitées

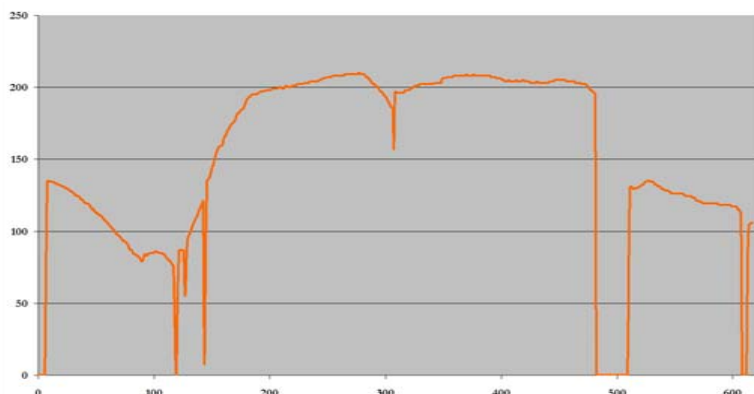
S. Outal & E. Pirard, 2007



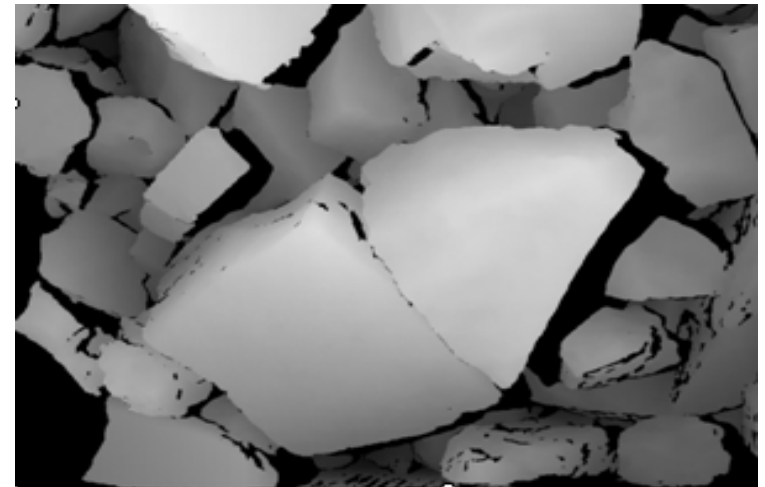
Amélioration de la reconstruction volumique



Vidéo



Laser



- **Adaptation de la technique d'acquisition 3D** au contexte industriel
 - **Corrélations** entre A.I et les indicateurs de qualité des Processus
-

- Étude des particules qui ne sont pas prises en compte lors de la modélisation - **modèle de ségrégation**
-

- Prise en compte des biais liés à l'échantillonnage (**théorie d'échantillonnage** de P.Gy,...)