

Une approche pour l'analyse granulométrique de particules condensées sur des images en niveaux de gris

Antoine BOTTENMULLER¹, Léo THÉODON¹, Johan DEBAYLE¹,
Daniel TOBÓN VÉLEZ², Mallorie TOURBIN², Christine FRANCES², Yann GAVET¹

¹ Mines Saint-Etienne, Unive Lyon, CNRS, UMR 5307 LGF, Centre SPIN, F-42023 Saint-Etienne, France.

² Université de Toulouse, INP, UPS, LGC, B.P. 84234, 4, Allée Emile Monso, F-31432 Toulouse, France.

OBJECTIF

Déterminer la **distribution des tailles de particules** (PSD) de maltodextrine **condensées** et en **chevauchement** sur des images en **niveaux de gris**, observées par **Microscopie électronique à balayage** (MEB)

GRANDES LIGNES

- Implémenter des **méthodes de segmentation** de grains
- Développer un **modèle de simulation aléatoire** de grains
- Comparer la **précision des méthodes** sur les images simulées
- Appliquer les méthodes sur les **images réelles**

MÉTHODE

MÉTHODES DE SEGMENTATION

- **Transformée d'Hough Circulaire (CHT)** avec ImageJ
Problème : trop de **sur** ou de **sous-segmentation** !
- Proposée : **Méthode d'Analyse de la Courbure (CAM)** :

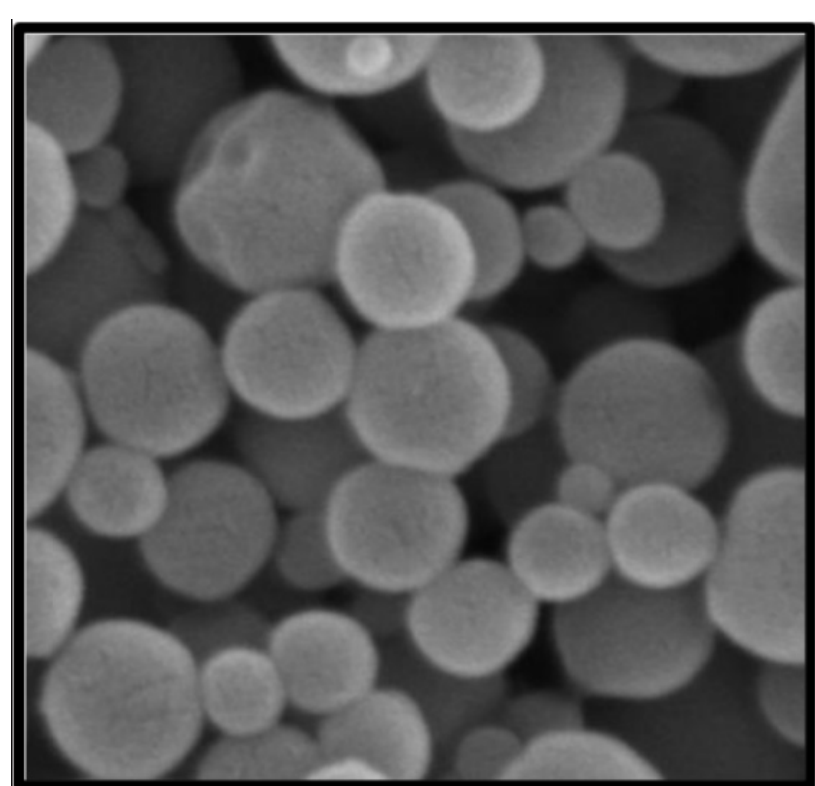
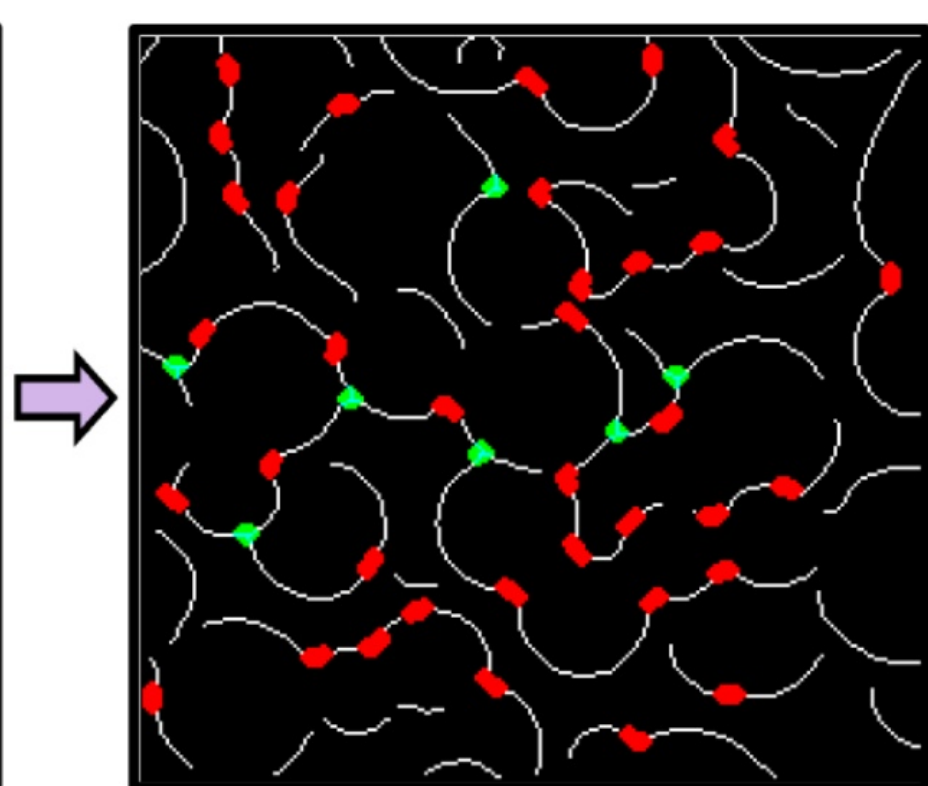
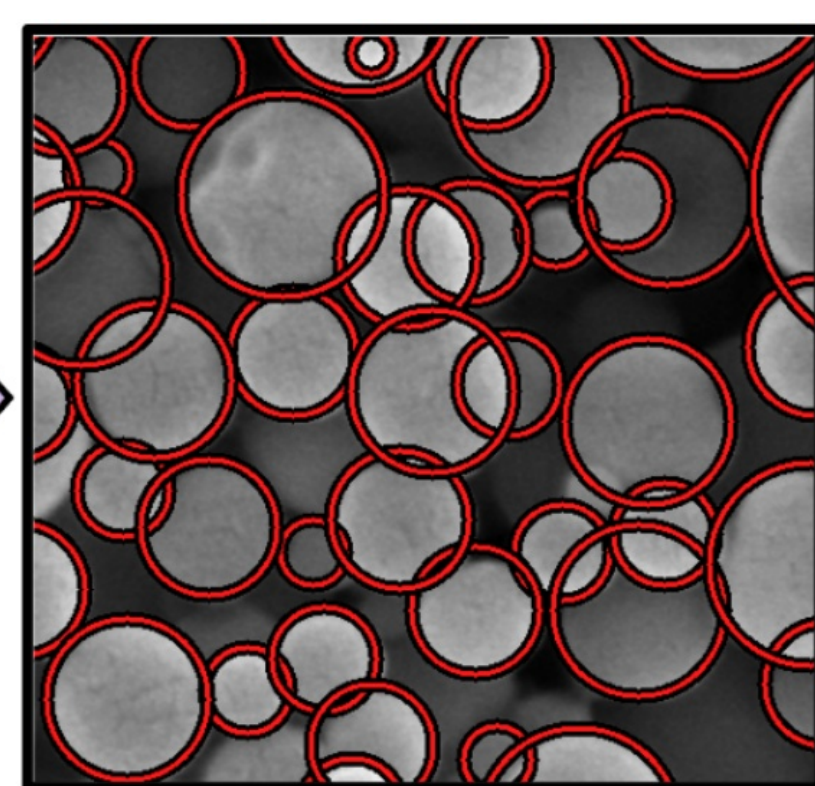


Image réelle



Analyse de la courbure du squelette des bords



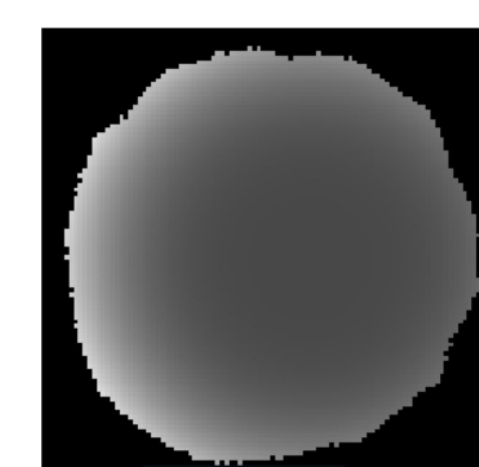
Cercles détectés

MODÈLE DE SIMULATION DE GRAINS

Le modèle génère des **grains aléatoires** placés l'un après l'autre de manière **stochastique** sur un fond noir :



Forme binaire aléatoire



Effets de lumière ajoutés



Ombre du grain calculé à partir de la direction de la lumière

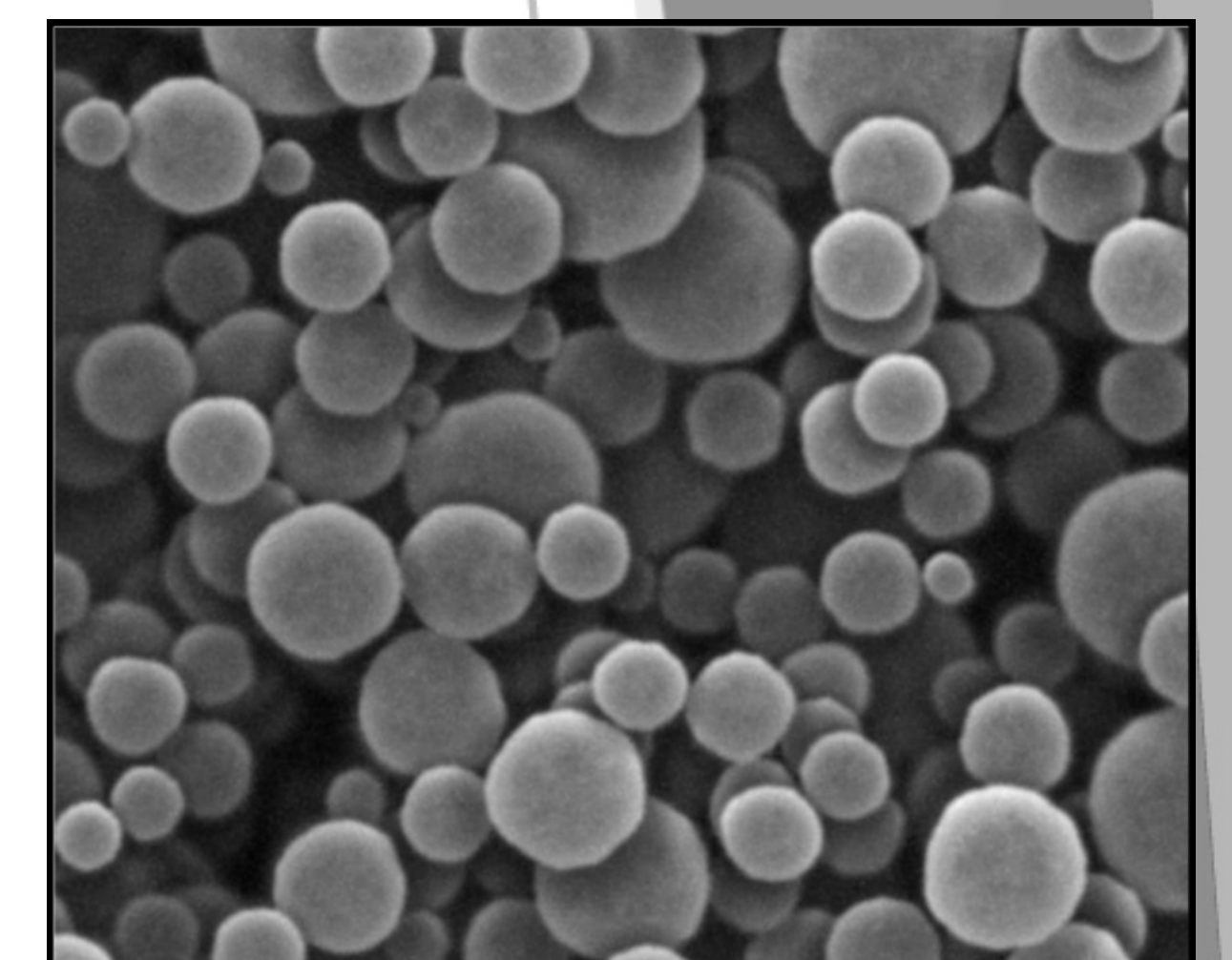
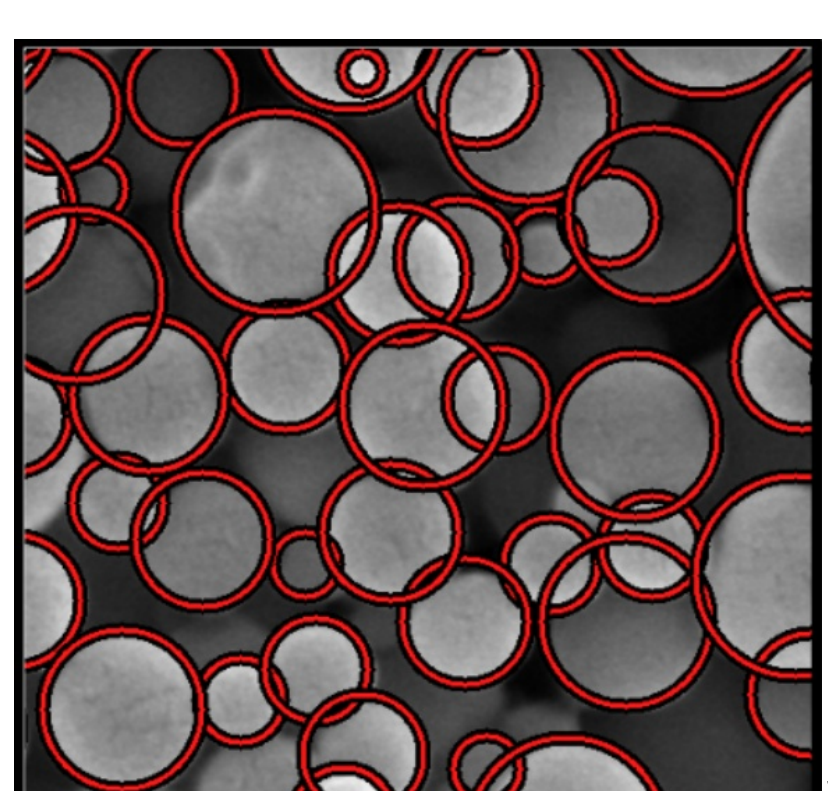
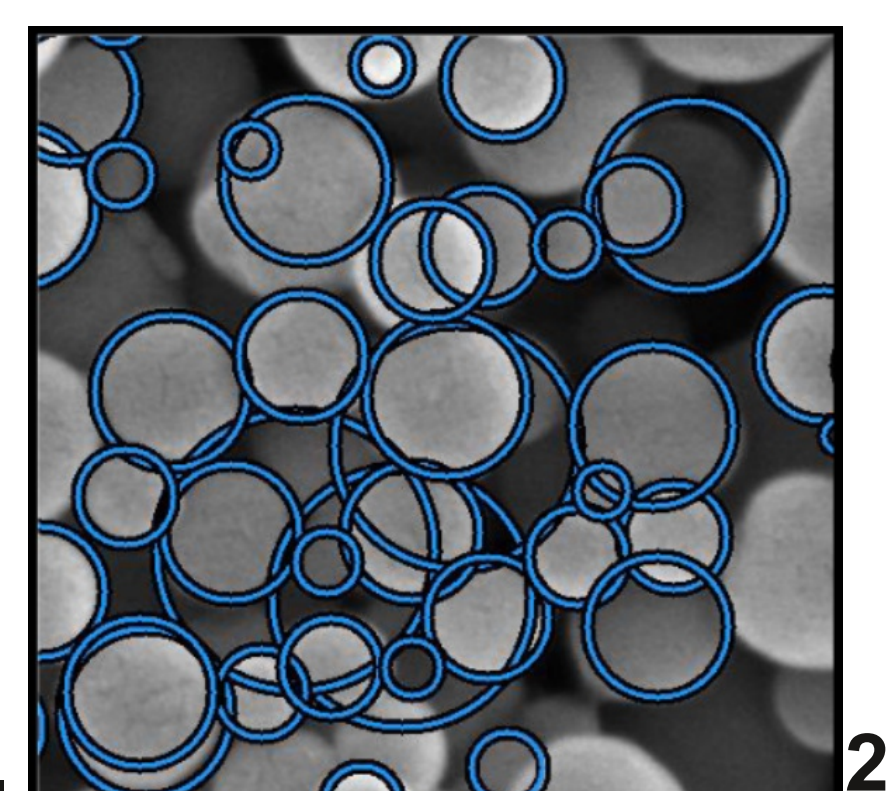
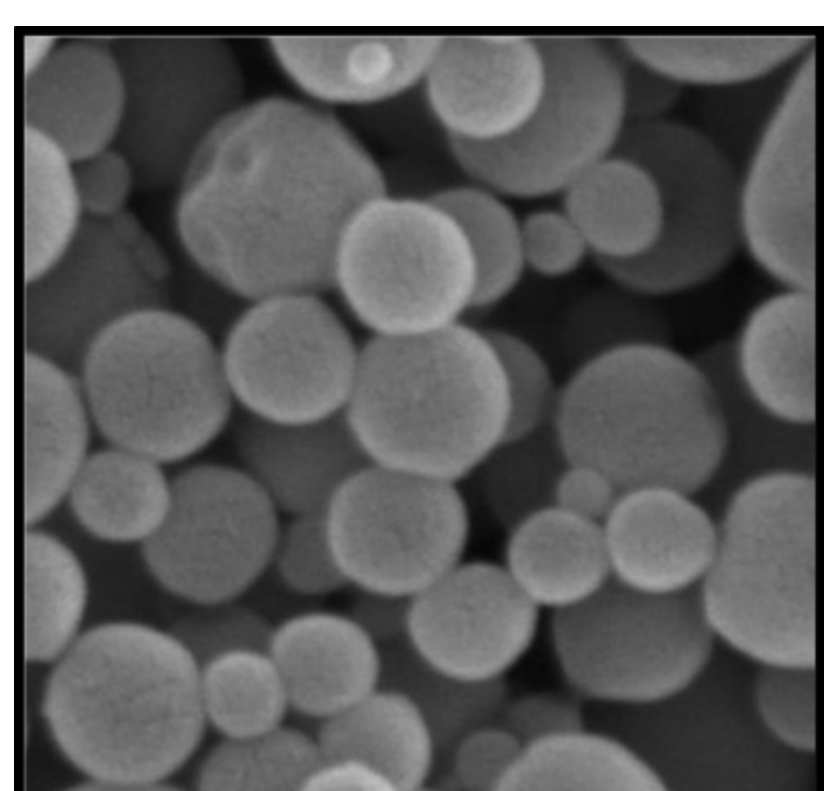


Image finale générée et bruitée

RÉSULTATS

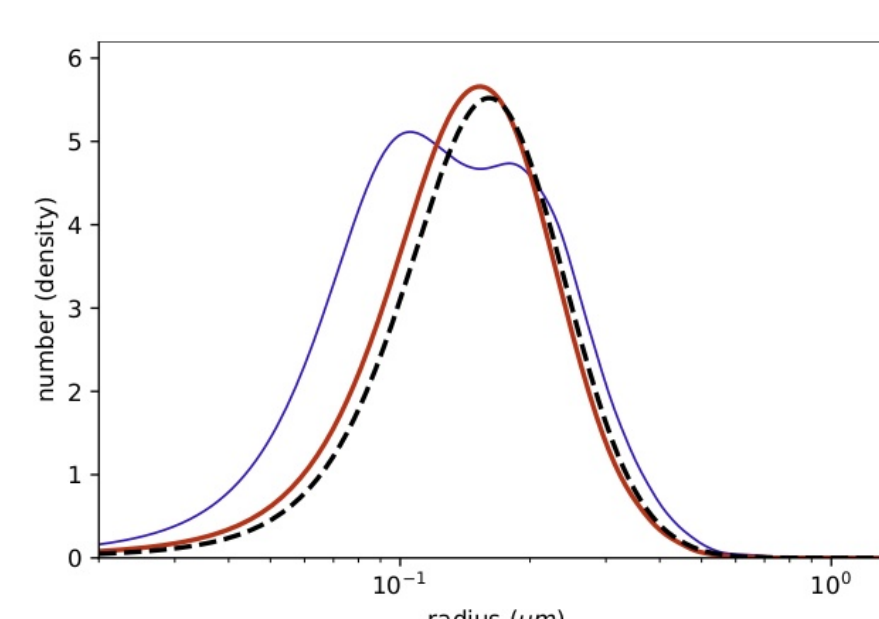
COMPARAISON VISUELLE



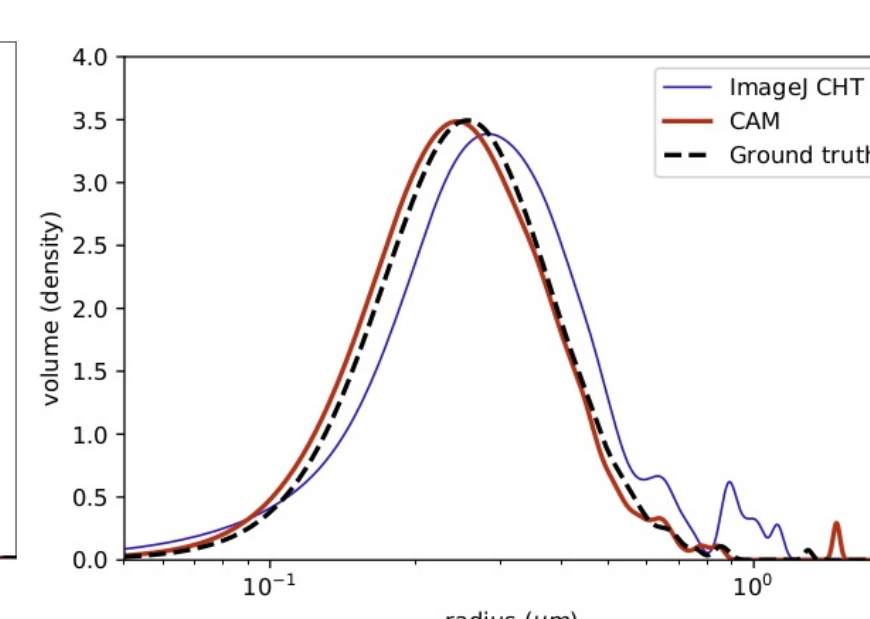
1. Image originale
2. Segmentation avec ImageJ
3. Segmentation avec CAM

COMPARAISON DES DENSITÉS

Les deux méthodes sont appliquées sur **100 images simulées** avec des rayons régis par une loi **log-normale**



PSD en nombre



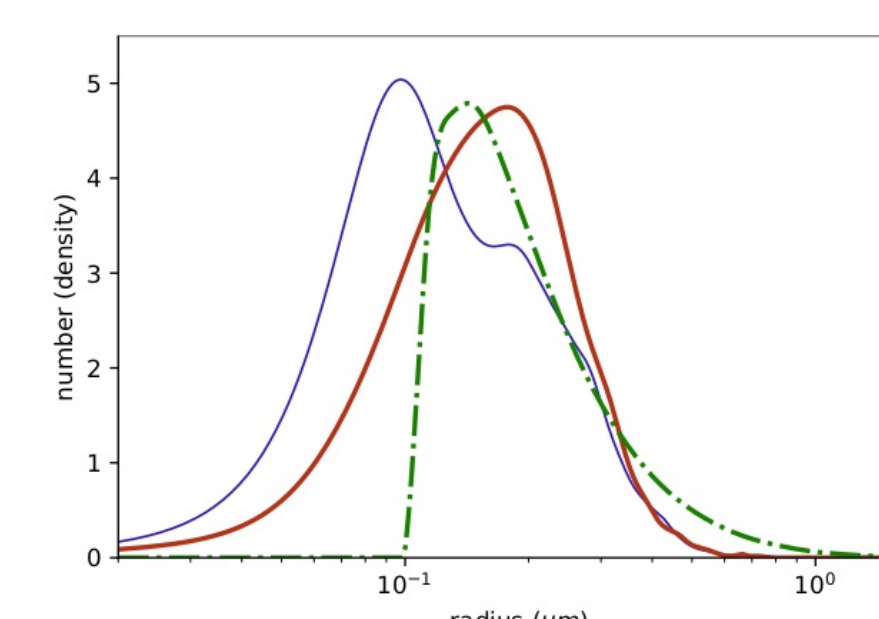
PSD en volume

Propriétés	Vérité terrain	ImageJ	CAM
Moyenne	0.199 μm	0.179 μm	0.190 μm
Ecart-type	0.082 μm	0.103 μm	0.081 μm

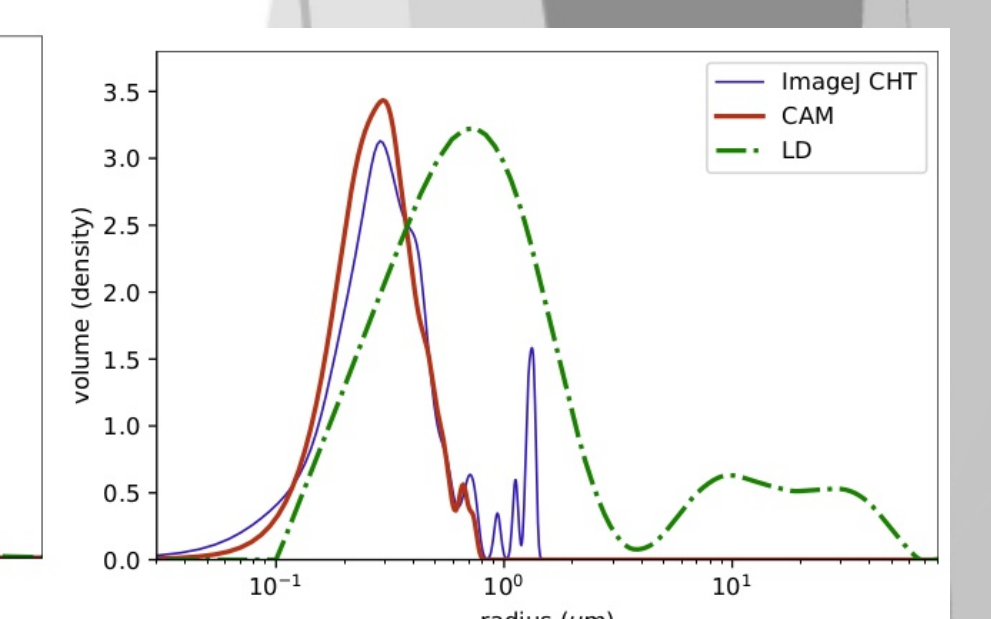
Moyennes et écarts-types des rayons des grains

SUR LES IMAGES RÉELLES

Elles sont appliquées sur **20 images réelles** de particules de maltodextrine, et comparées à la **diffraction laser (LD)**



PSD en nombre



PSD en volume

Propriétés	DL	ImageJ	CAM
Moyenne	0.217 μm	0.191 μm	0.207 μm
Ecart-type	0.133 μm	0.113 μm	0.093 μm

Moyennes et écarts-types des rayons des grains

CONCLUSION

- À travers les simulations, la **CAM** a su montrer une **meilleure précision** qu'**ImageJ** dans la segmentation des images, avec des courbes de densité des rayons des grains **plus proches de la vérité terrain** (PSD en nombre et en volume).
- À partir des résultats donnés par la CAM, les particules de maltodextrine représentées sur les **images réelles** ont une taille semblant suivre une **loi log-normale** d'espérance 0.207 μm et d'écart-type 0.093 μm (objectif initial).
- La **diffraction laser (LD)** ne peut **pas**, dans ces expériences, être considérée comme un outil **digne de confiance** pour produire une PSD **proche de la réalité**, les densités produites étant bien trop éloignées des observations-même.

Piste future : dans cette étude, on ne s'intéresse qu'à des méthodes basées sur une analyse purement **topologique** et **morphologique** des images. Une comparaison des résultats de cette nouvelle méthode de segmentation avec ceux produits par des **outils d'apprentissage profond**, tels que le modèle YOLO, serait une suite souhaitable à ce travail.