

# Caractérisation d'agrégats par analyse d'image et jumeau numérique

## Contexte & Objectifs

### Contexte

- ▶ **Objectif** – Amélioration de la **qualité** des grains d'une **poudre de latex**.
- ▶ **En pratique** – **Optimisation** de la **taille** et de la **forme** des grains (gros et sphériques).
- ▶ **Important** – Les **grains** sont des **agrégats** de **nanoparticules** de latex.

### Problématique

- ▶ **Problème n°1** – **Phénomène** physico-chimique d'agrégation très **complexe**.
- ▶ **Problème n°2** – Caractéristiques morphologiques **3D** des grains **inconnus**.
- ▶ **Problème n°3** – Seules des **images 2D** sont disponibles.

### Agrégat réel

Caractéristiques **inconnues**



### Caractéristiques – 3D

- ▶ **Forme** Sphéricité, Elongation, ...
- ▶ **Taille** Volume, Surface, ...

### Image projetée

Caractéristiques **mesurables**



### Caractéristiques – 2D

- ▶ **Forme** Circularité, Elongation, ...
- ▶ **Taille** Aire, Périmètre, ...
- ▶ **Fonctionnelles** Fourier, ...

Projection 2D

Utilisation d'un morphogranulomètre.

## Parties prenantes



## Auteurs

Léo Théodon<sup>1</sup>  
Carole Coufort-Saudejaud<sup>2</sup>  
Johan Debayle<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MINES Saint-Etienne  
<sup>2</sup> Laboratoire de Génie Chimique, Université de Toulouse

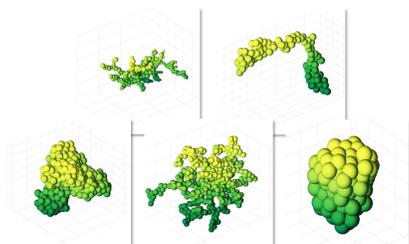
## Partenaires



## Méthodologie

- ▶ **Modélisation** – Conception d'un **jumeau numérique** (modèle géométrique stochastique 3D) pour simuler rapidement des agrégats.
- ▶ **Mesure** – Utilisation de techniques d'**analyse d'image** pour mesurer les **caractéristique 2D** des agrégats réels.
- ▶ **Optimisation** – **Ajustement** des **paramètres** du modèle afin de faire **correspondre** les **caractéristique 2D** des **agrégats virtuels** avec celles des **agrégats réels**.

### Exemple d'agrégats virtuels



### En résumé

- ▶ **Simulation** des **agrégats 3D virtuels** à l'aide d'un **modèle**.
- ▶ **Génération** d'**images projetées 2D** à partir des agrégats virtuels
- ▶ **Mesure** des **caractéristiques morphologiques 2D** des agrégats virtuels.
- ▶ **Ajustement** des **paramètres** du modèle pour faire **correspondre** les caractéristiques **2D** des agrégats **virtuels** et **réels**.
- ▶ **Inférence** des **caractéristiques morphologiques 3D** des agrégats **réels** à partir de la **connaissance** de celles des agrégats **virtuels**.

### Expérience réelle

#### Agrégat réel

- ▶ **Résultat** d'une **expérience en laboratoire**.
- ▶ **Paramètres opératoires**.



Image projetée

### Simulation numérique

#### Agrégat virtuel

- ▶ **Résultat** d'une **expérience aléatoire**.
- ▶ **Paramètres géométriques**.

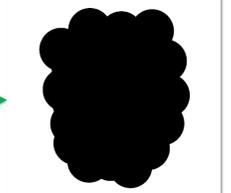
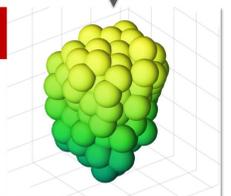


Image projetée

### Caractéristiques – 3D

- ▶ **Forme** Sphéricité, Elongation, ...
- ▶ **Taille** Volume, Surface, ...

Caractéristiques **connues**

Correspondance

Comparaison

### Caractéristiques – 2D

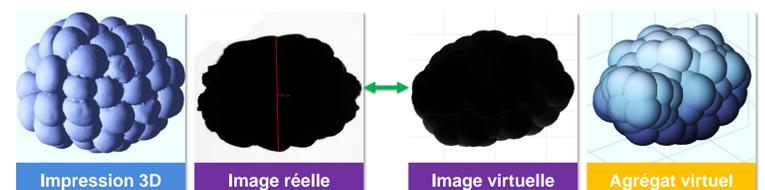
- ▶ **Forme** Circularité, Elongation, ...
- ▶ **Taille** Aire, Périmètre, ...
- ▶ **Fonctionnelles** Fourier, ...

Caractéristiques **connues**

## Résultats

- ▶ **Deux modèles** géométriques stochastiques sont proposés (**GRAPE**<sup>[1]</sup> et **BLOSSOM**<sup>[2]</sup>) et leurs **résultats** sont **comparés**.
- ▶ **Validation** de la démarche sur des agrégats imprimés en 3D.

Caractéristiques	2D			3D		
	$A_p$ (mm <sup>2</sup> )	$P$ (mm)	$\Psi_{AR}^\dagger$	$V$ (mm <sup>3</sup> )	$S$ (mm <sup>2</sup> )	$ESD^*$ (mm)
Vérité terrain	2,73	6,75	0,71	2,34	11,25	1,65
GRAPE	2,79	6,78	0,72	2,30	11,05	1,65
Erreur relative (%)	1,7 %	0,5 %	1,2 %	1,3 %	1,7 %	0,4 %
BLOSSOM	2,73	6,73	0,71	2,32	10,19	1,65
Erreur relative (%)	0,1 %	0,2 %	0,3 %	0,6 %	9,4 %	0,2 %



\* Geometrical Random Aggregation of Particles Emulation.  
\* **BLOSSOM** Overlapping Spheres Self-Organizing Model.  
† Aspect ratio (critère de **forme**).  
‡ Diamètre de la Sphère Equivalente (critère de **taille**).

[1] Théodon et al (2023), **GRAPE : A stochastic geometrical 3D model for aggregates of particles with tunable 2D morphological projected properties**, *Image Analysis & Stereology*, Manuscript accepted.  
[2] Théodon et al (2023), **Morphological characterization of compact aggregates using image analysis and a geometrical stochastic 3D model**, *International Conference on Pattern Recognition Systems (ICPRS-23)*, Manuscript submitted.

Contact : l.theodon@emse.fr  
Remerciements : ANR-20-CE07-0025 (MORPHING).