

Modélisation du procédé de surcyclage par thermocompression de composites thermoplastiques

Sous la supervision de : Christophe Binetruy et Sébastien Comas



Thèse débutée le 02/11/2021

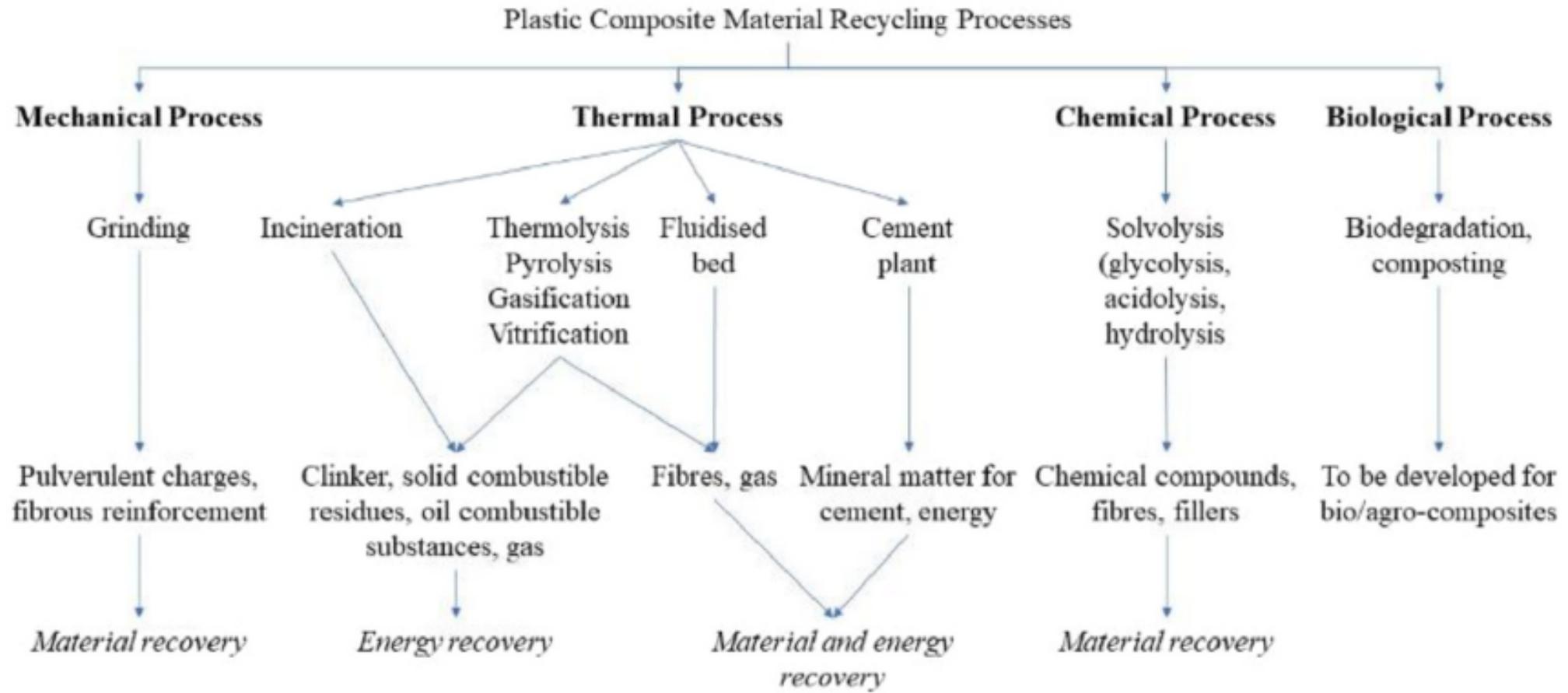
Financement Cetim / Région
Pays de la Loire

Sommaire

- Le recyclage des matériaux composites : Etat de l'art
- Le Cetim dans ce contexte
- Objectifs
- Résultats et Perspectives

Etat de l'art

Voies de recyclage des composites



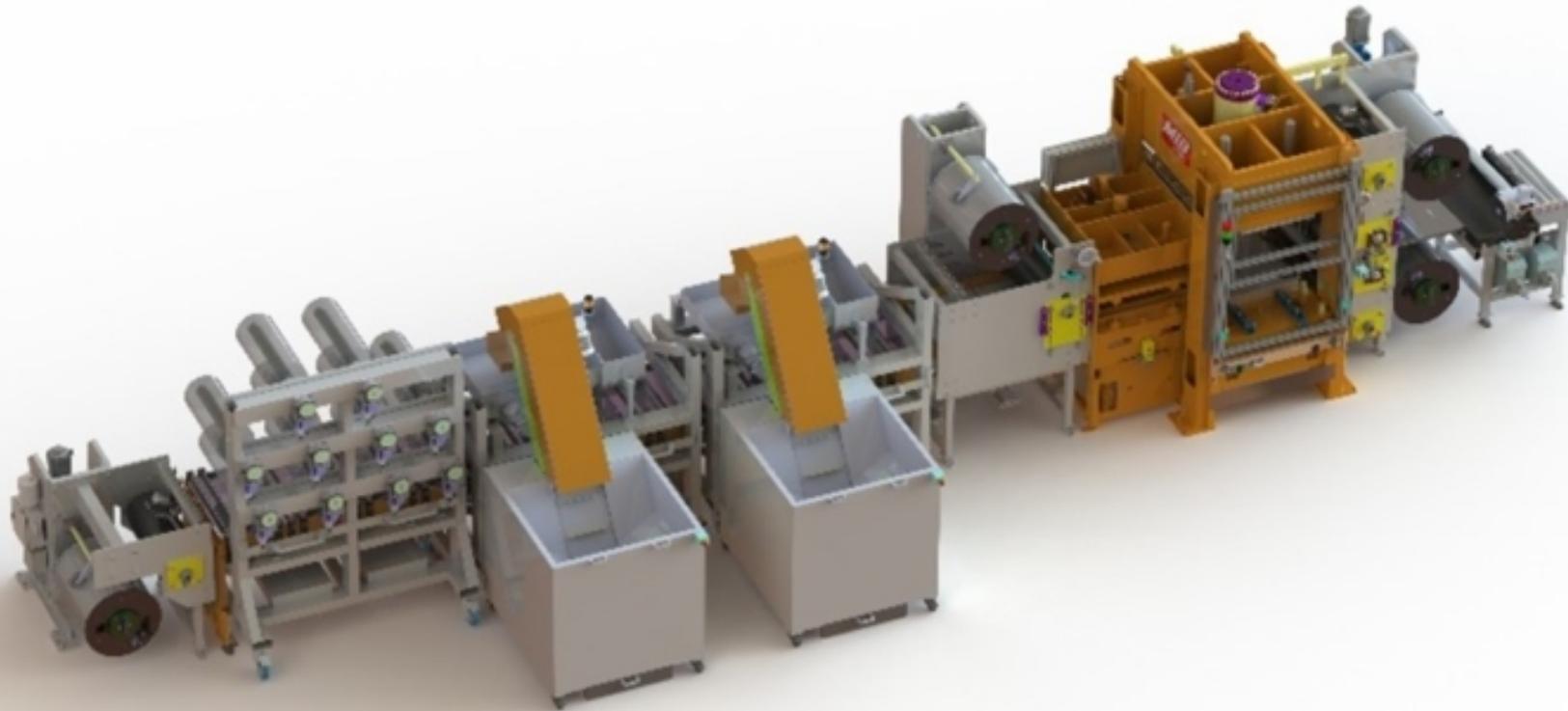
Les lacunes actuelles

- Viabilité **économique**
- Propriétés **mécaniques** réduites
- **Variabilité** de propriétés : exemple présence d'anisotropie

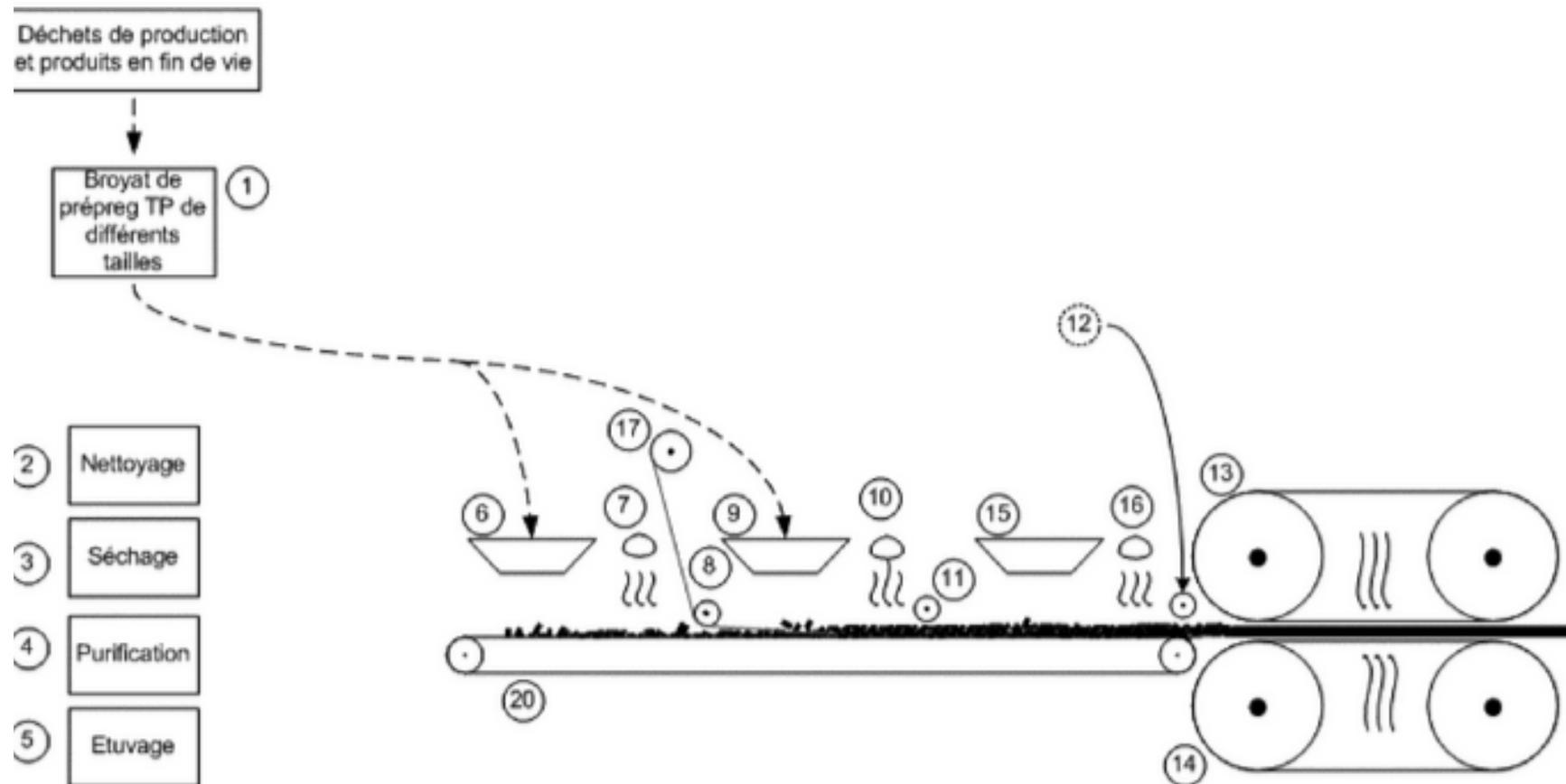
→ **Manque de modèles pour comprendre et optimiser les procédés de recyclage**

Le Cetim dans ce contexte

Cas d'étude : ligne Thermosaic



Cas d'étude : ligne Thermosaïc



Limites actuelles du procédé

Entrée

Matériaux

Géométrie et disposition variables

Procédé Thermosaïc®

Boîte noire, grands nombre de paramètres, lien non maîtrisé entre l'entrée et la sortie

Sortie

Performances mécaniques

Rigidité et résistance globales

Objectifs

Objectif pour le Cetim

Entrée

Matériaux

Géométrie et disposition variables

Procédé Thermosaïc®

Boîte noire, grands nombre de paramètres, lien non maîtrisé entre l'entrée et la sortie

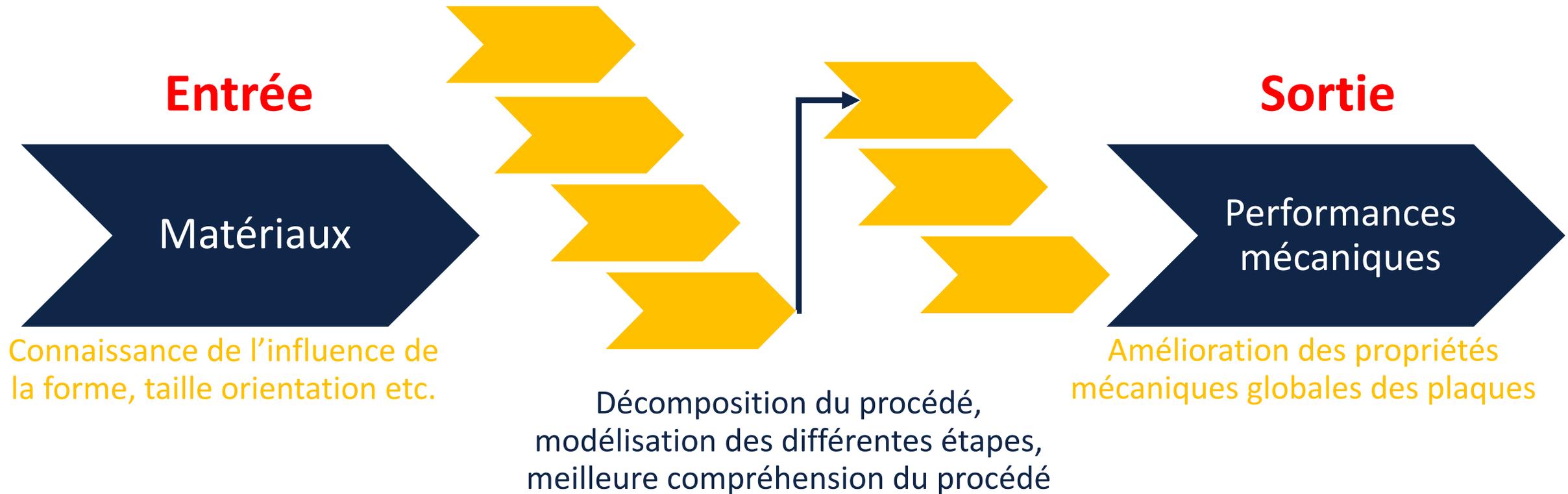
Sortie

Performances mécaniques

Rigidité et résistance globales

Objectif pour le Cetim

Images entrée sortie



Objectif pour le Cetim

Entrée

Matériaux

Influence du matériau d'entrée sur l'empilement

Réorganisation de l'empilement sous presse basse température

Réorganisation et écoulement sous presse haute température

Microstructure générée après consolidation

Maillage éléments finis de la microstructure

Affectation de propriétés mécaniques par zone

Calculs élastiques pour remonter aux propriétés mécaniques

Performances mécaniques

Sortie

Objectif pour le Cetim

Entrée

Matériaux

Influence du matériau d'entrée sur l'empilement

Réorganisation de l'empilement sous presse basse température

Réorganisation et écoulement sous presse haute température

Microstructure générée après consolidation

Thèse Centrale
Nantes

Maillage éléments finis de la microstructure

Affectation de propriétés mécaniques par zone

Calculs élastiques pour remonter aux propriétés mécaniques

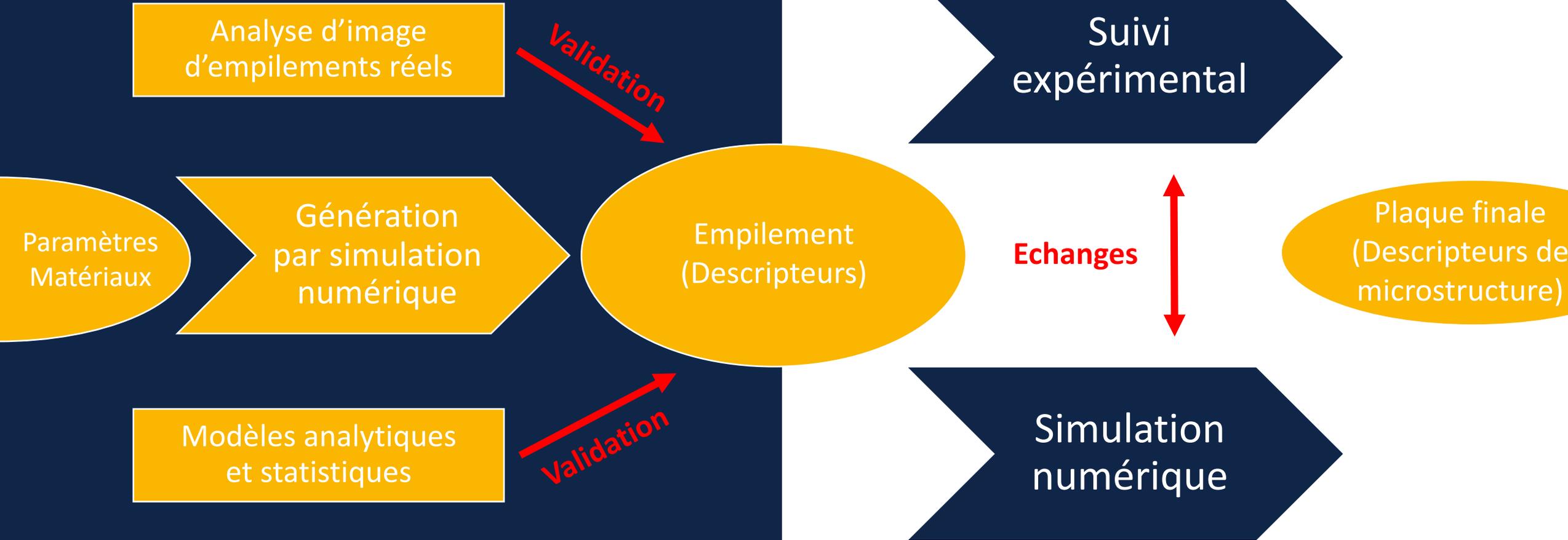
Performances mécaniques

Sortie

Thèse ENSAM

Empilement

Consolidation



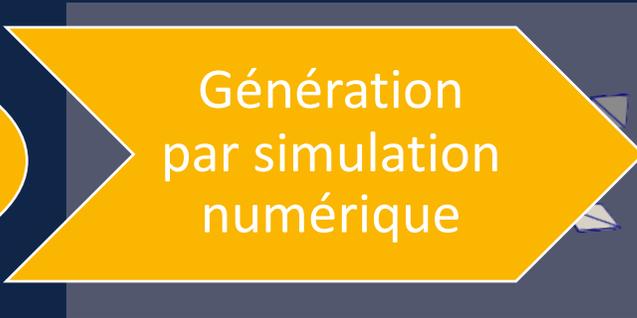
Empilement



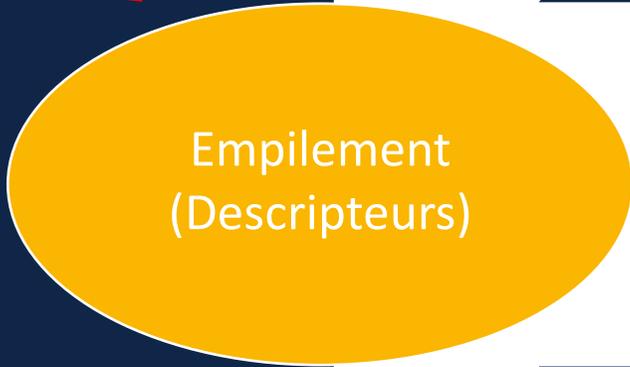
Analyse d'image
d'empilements réels

Validation

Paramètres
Matériaux

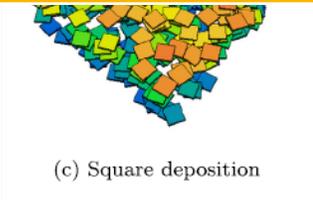


Génération
par simulation
numérique



Modèles analytiques
et statistiques

Validation

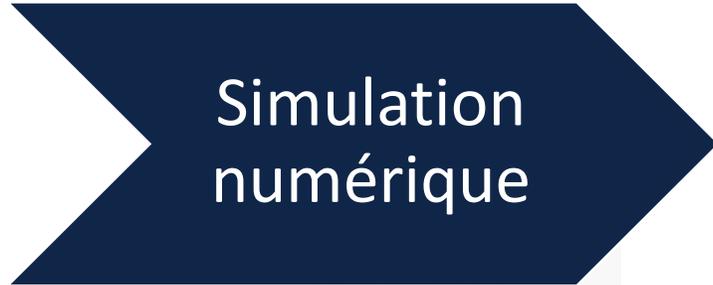


Consolidation



Suivi
expérimental

Surface utile
150 mm * 260 mm



Simulation
numérique



F. Mahé, C. Bineau, J. F. Fécot, J. Férec, and B. Eck, "A multi-scale statistical description of stacks of non-cohesive thin particles," Powder Technology, vol. 399, p. 116988, 2022.

Résultats

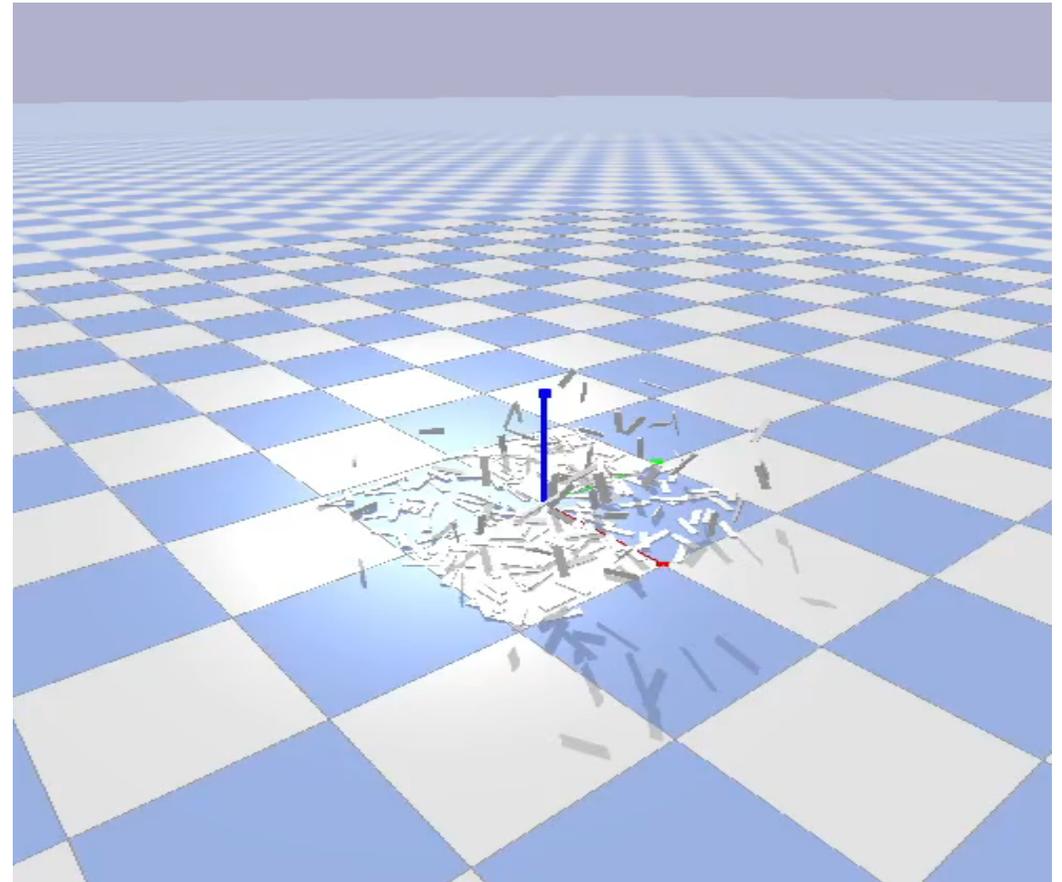
Génération d'empilements numériques avec PyBullet

- **Entrée :**

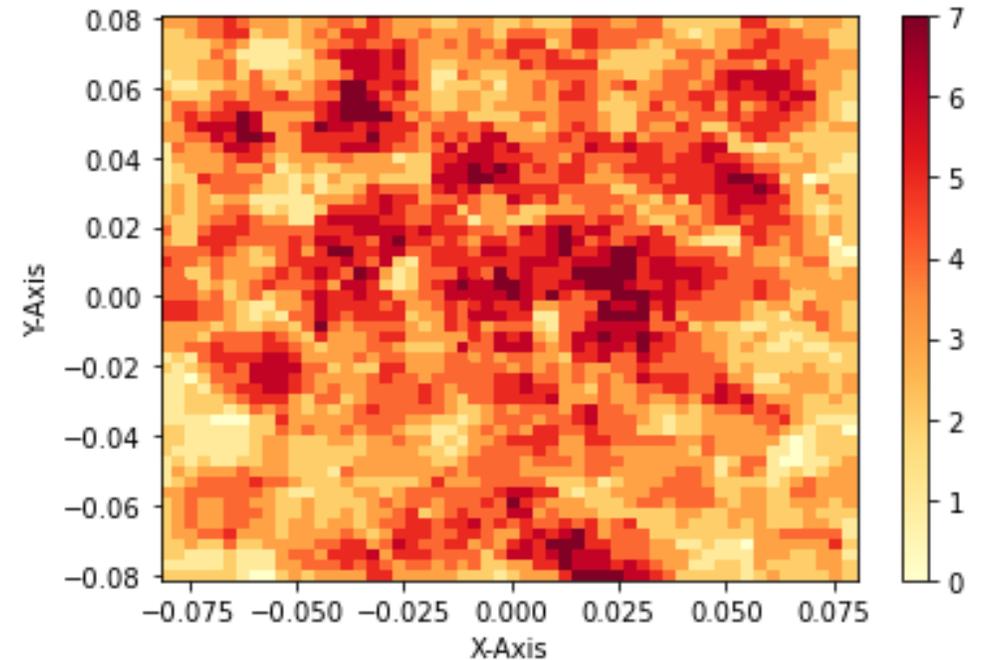
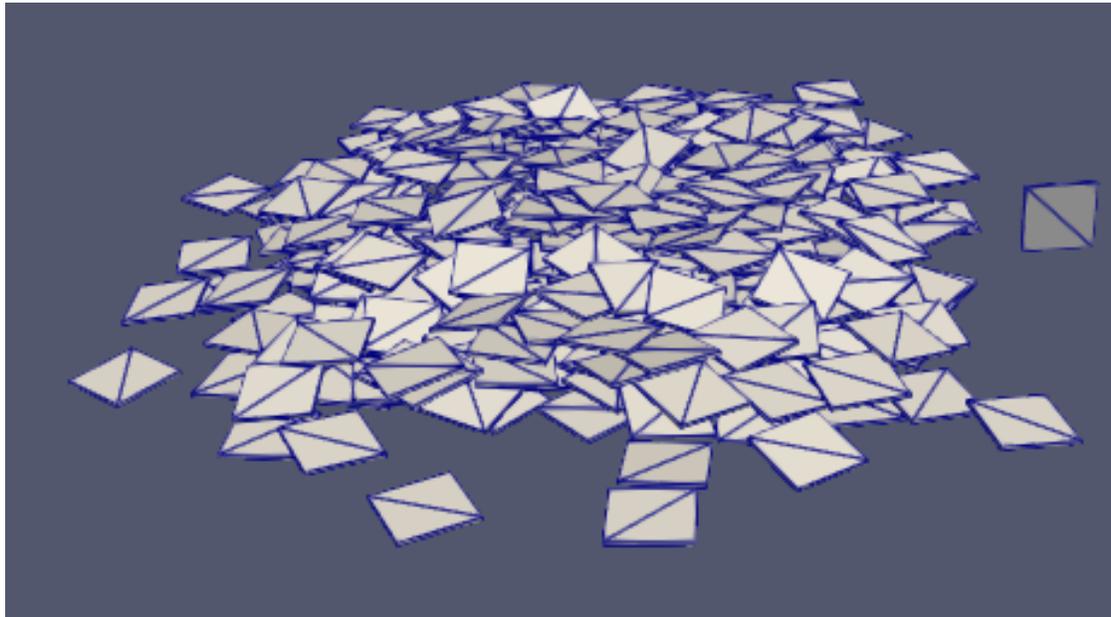
- Données morceaux (position, orientation, géométrie, masse ...)
- Données environnement (gravité, surface de dépose ...)

- **Sortie :**

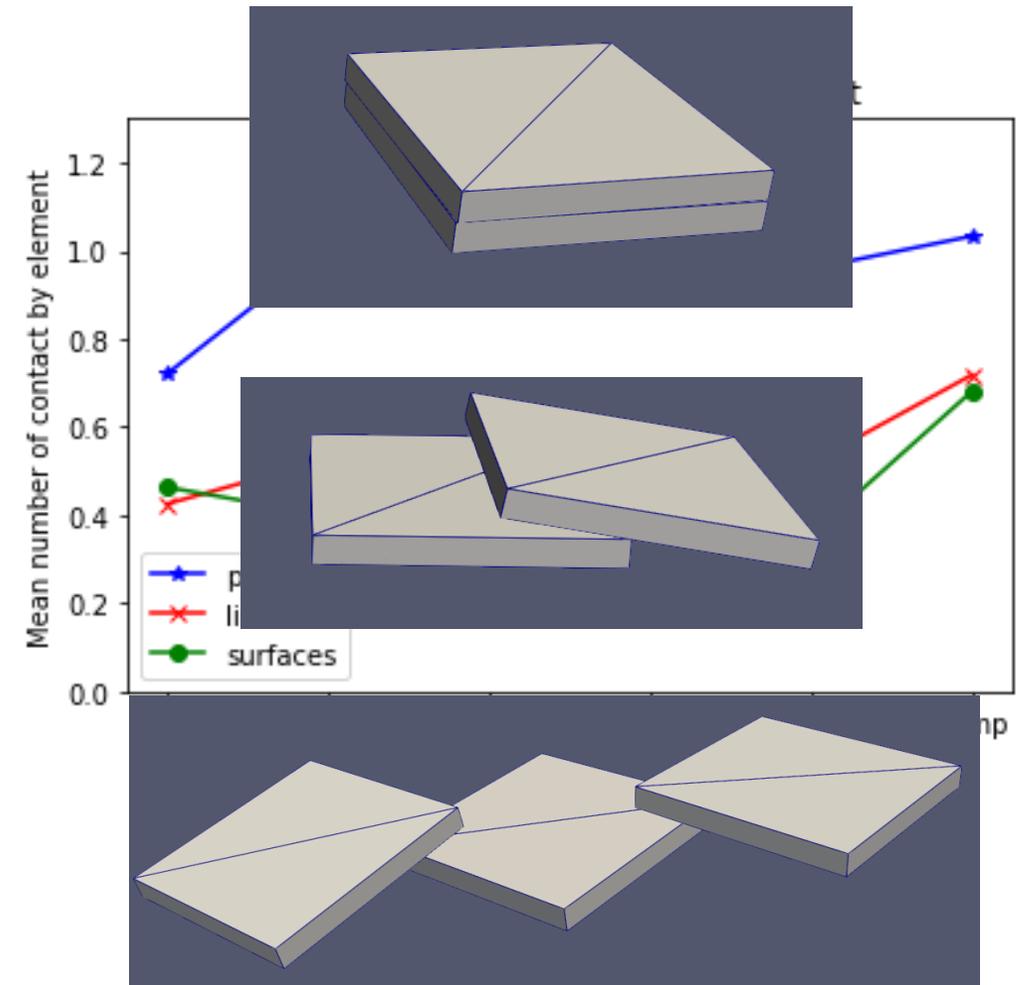
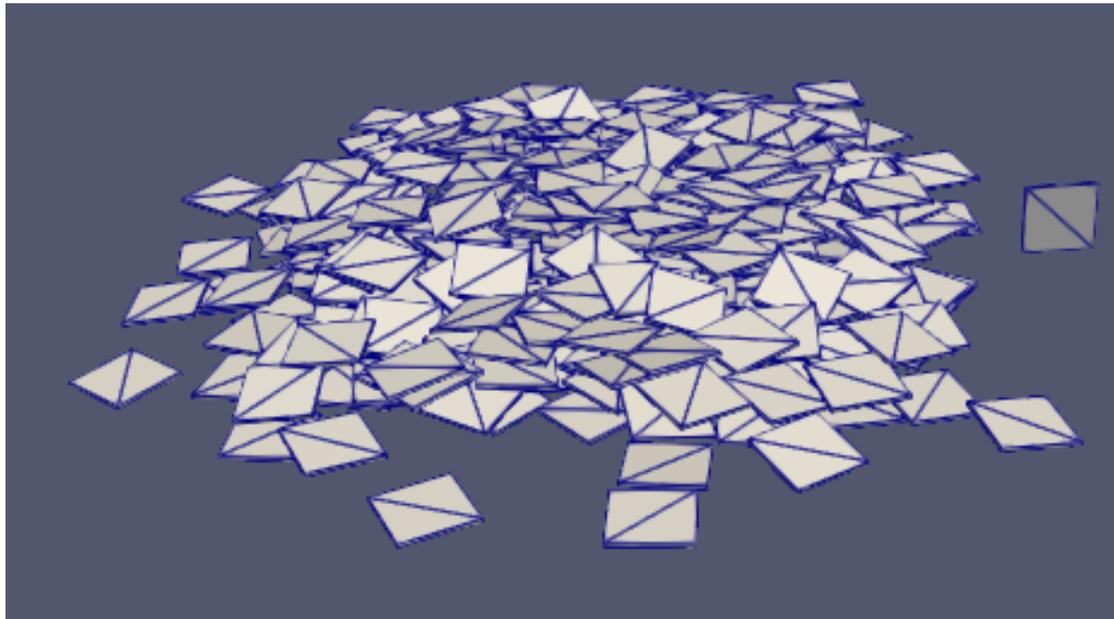
- Position, orientation des morceaux
- Contacts générés au cours de l'empilement



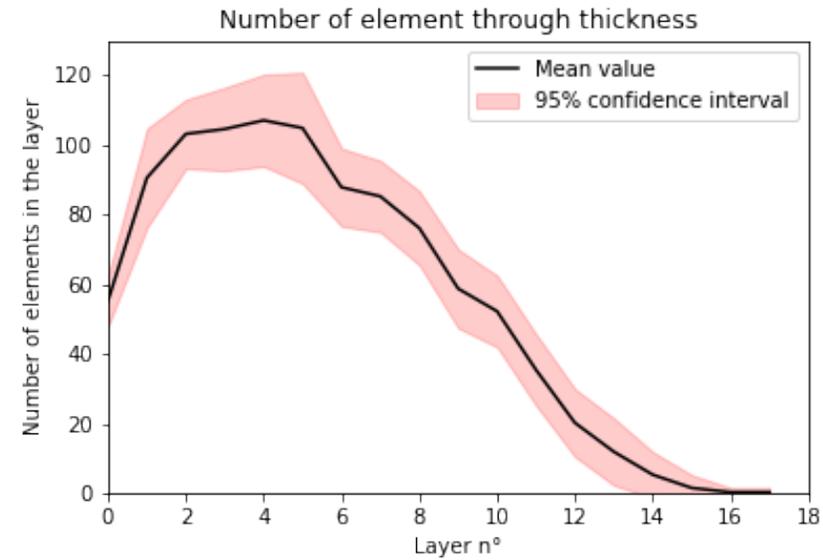
Détection du nombre de morceaux dans l'épaisseur de l'empilement



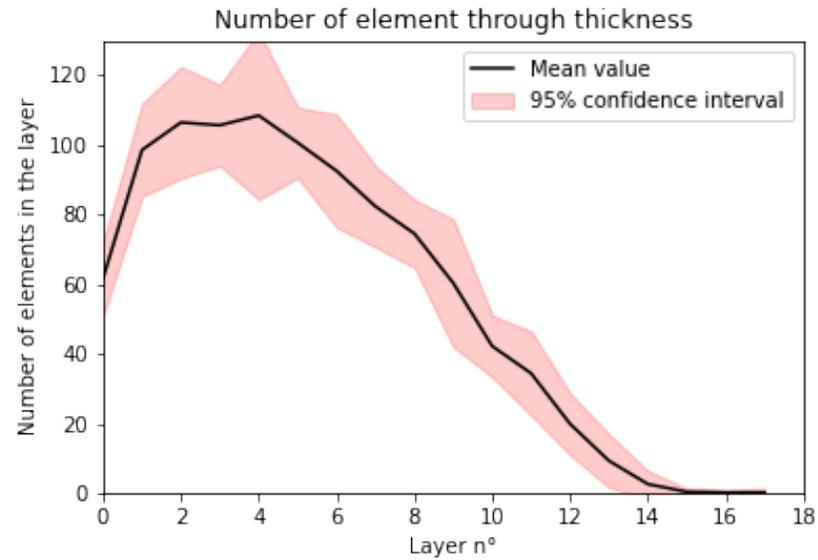
Classification des contacts



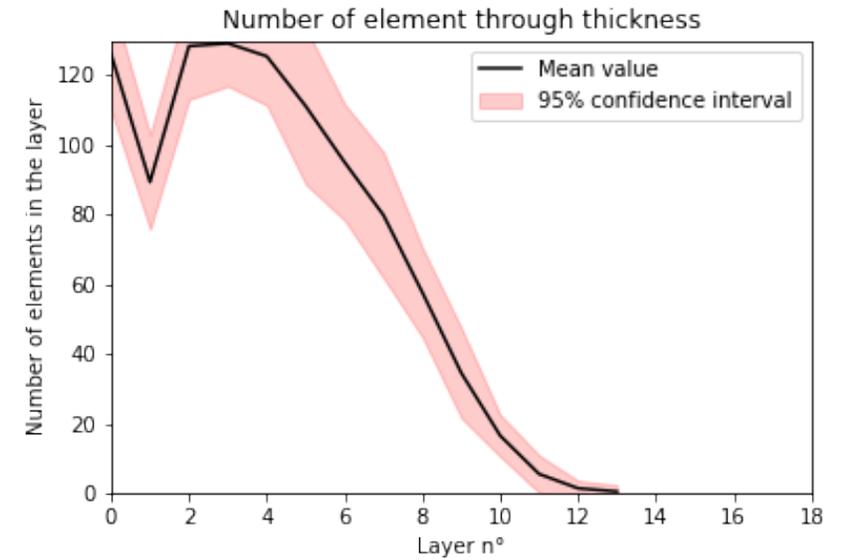
Densification et intervalle de confiance



Gravité = 0,1 N



Gravité = 1 N



Gravité = 10 N

Conclusion et perspectives

Entrée

Matériaux

Influence du matériaux d'entrée sur l'empilement

Réorganisation de l'empilement sous presse basse température

Réorganisation et écoulement sous presse haute température

Microstructure générée après consolidation

Thèse Centrale Nantes

Maillage éléments finis de la microstructure

Affectation de propriétés mécaniques par zone

Calculs élastiques pour remonter aux propriétés mécaniques

Performances mécaniques

Sortie

Thèse ENSAM

Conclusion et perspectives

Entrée

Matériaux

Définition des
descripteurs à suivre

Validation théorique
et/ou expérimentale

Mise à jour des
descripteurs par
simulation

Validation théorique
et/ou expérimentale

Mise à jour des
descripteurs par
simulation

Validation théorique
et/ou expérimentale

Mise à jour des
descripteurs par
simulation

Validation théorique
et/ou expérimentale

Etat des descripteurs
à l'issue du procédé

Thèse ENSAM

Performances
mécaniques

Sortie

Thèse Centrale
Nantes

Merci pour votre attention

Awen Bruneau – 18/01/2023

Annexes

Le logiciel PyBullet

- Interface python du moteur physique Bullet Physics
- Détection de contact en temps réel
- Simulations multi-physiques
- Utilisé en robotique, machine learning ...

