

Utilisation de la méthode DEM pour l'optimisation de produits réfractaires avec Ansys Rocky

Hugues Lemaistre



**SIMULATION
CONFERENCE**

Forum CADFEM, 8 Juin 2023

CADFEM

 **calderys**



Table des matières

01

Un aperçu de Calderys

02

Les pisés sec ou DVM (dry Vibrating mixes)

03

Caractérisation des paramètres du modèle

04

Simulation de la densification

05

Conclusions

01 Un aperçu de Calderys

A propos de Calderys

Calderys est un fournisseur mondial de premier plan pour les industries opérant dans des conditions de haute température

Le groupe est spécialisé dans la protection thermique des équipements industriels, avec une large gamme de produits réfractaires et de solutions avancées pour améliorer la coulée de l'acier, les flux métallurgiques et les procédés de moulage.

Notre réseau international d'experts assure une offre complète avec des services sur mesure



Faits et chiffres

Un des plus importants fournisseurs de réfractaires dans le monde

.....
100 ans d'expérience

.....
50 usines sur les 5 continents

.....
6500 personnes et prestataires dans 30 pays différents



Portefeuille élargi de solutions allant des briques réfractaires et monolithiques, aux flux de coulée d'acier et aux solutions de sables de moulage

100 ans d'expérience

● 1908

Lafarge invents and patents aluminous cement with refractory qualities – a precursor to monolithics refractories

● 1914

In the US, William A.L. Schaefer develops the first monolithic refractory and creates the Pliable Firebrick Company, also known as **Plibrico**

● 1926

Stollberg is created in Mülheim, Germany, for the production of casting auxiliary materials (1926)

● 1934

Silver & Baryte Ores Mining Co. S.A. (**S&B**) is founded on Milos Island, Greece

● 1938

Lafarge creates SECAR, subsidiary wholly devoted to refractories

● 1996

Plibrico joins the **Imerys Group**

● 2004

Imerys acquires **Lafarge Réfractaires Monolithiques**
S&B acquires **Stollberg**

● 2005

Plibrico International & Lafarge Réfractaires merge under the Imerys Group to form **Calderys**

● 2015

Imerys completes the acquisition of the main activities of **S&B** (incl. **Stollberg**). S&B's activities are renamed Imerys Metalcasting. Stollberg's activities become Imerys Steel Casting Fluxes

● 2018

Calderys, Imerys Metalcasting and Imerys Steel Casting Fluxes are merged into Imerys' High Temperature Solutions (HTS) Business Area. The decision is made to rename HTS **Calderys**

● 2020

Three acquisitions boost **Calderys'** operations in high-growth regions:

- Hysil, the leading Indian producer of calcium silicate boards.
- A majority stake of 60% in Haznedar Durer Refractories, a Turkish manufacturer of high-grade monolithic refractories and refractory bricks.
- Sunward Refractories, a Taiwanese producer of monolithics, bricks and tap hole clays

● 2023

Calderys becomes a privately owned company combined with **Harbison Walker International**. Together they form a leading world-class refractories solutions provider.

Beginnings

1920s – 1960s

1970s – 2010s

2010s - 2023

La simulation numérique chez Calderys

- Un outil précieux pour mieux comprendre les problèmes de nos clients, optimiser la conception thermique et mécanique de nos offres, avoir une analyse concrète et précise des problèmes potentiels .
- Utilisation de Ansys Mechanical depuis plus de 12 ans. Utilisation de Ansys Fluent depuis plus de 6 ans . Achat récemment du logiciel méthode élément discret, Rocky, pour la caractérisation des écoulements des matériaux granulaires.
- La difficulté des analyses provient essentiellement :
 - d'un comportement mécanique des matériaux réfractaires complexe et évolutif avec la température
 - d'une caractérisation complexe et très coûteuse
 - de données sur les métaux liquides peu nombreuses
 - d'une très grande diversité d'études
 - des études à court terme

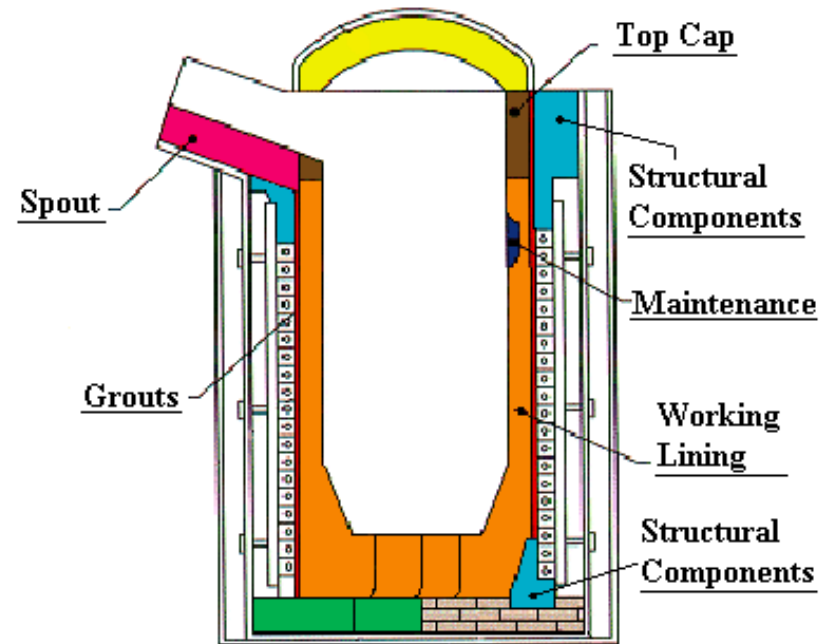
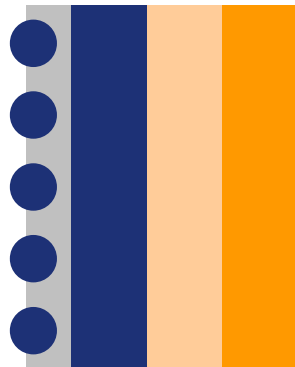
02 Les pisés secs

Les pisés secs

Mélange SEC d'agrégats et de poudres fines, mis en place par vibro-compactation à SEC

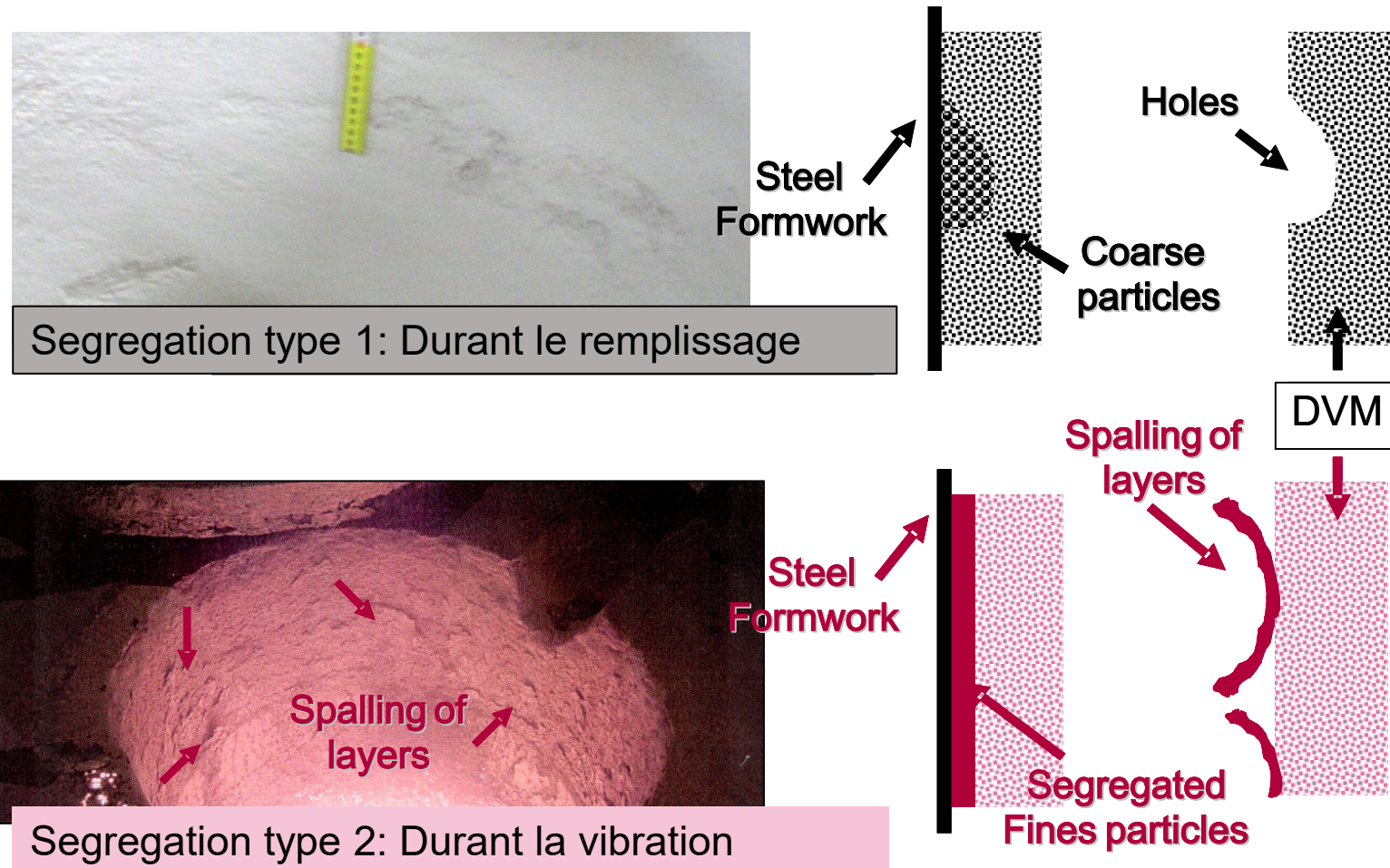
Largement utilisé en FONDERIE dans les fours à induction à Creuset.

Son attrait MAJEUR est le gradient de propriétés mécaniques au sein du garnissage



Les pisés secs

Les défauts qui peuvent apparaitre durant la mise en place



03 Caractérisation des paramètres du modèle

Caractérisations des paramètres du modèle

- Réalisé avec le logiciel ROCKY DEM /ANSYS
 - Méthode numérique permettant d'étudier le comportement de particules
 - Chaque particule du milieu granulaire est traitée comme une entité distincte
 - Les matériaux simulés sont un ensemble de particules de différentes tailles, différentes formes, différentes masses volumiques etc., regroupées de façon aléatoire pour former un milieu granulaire

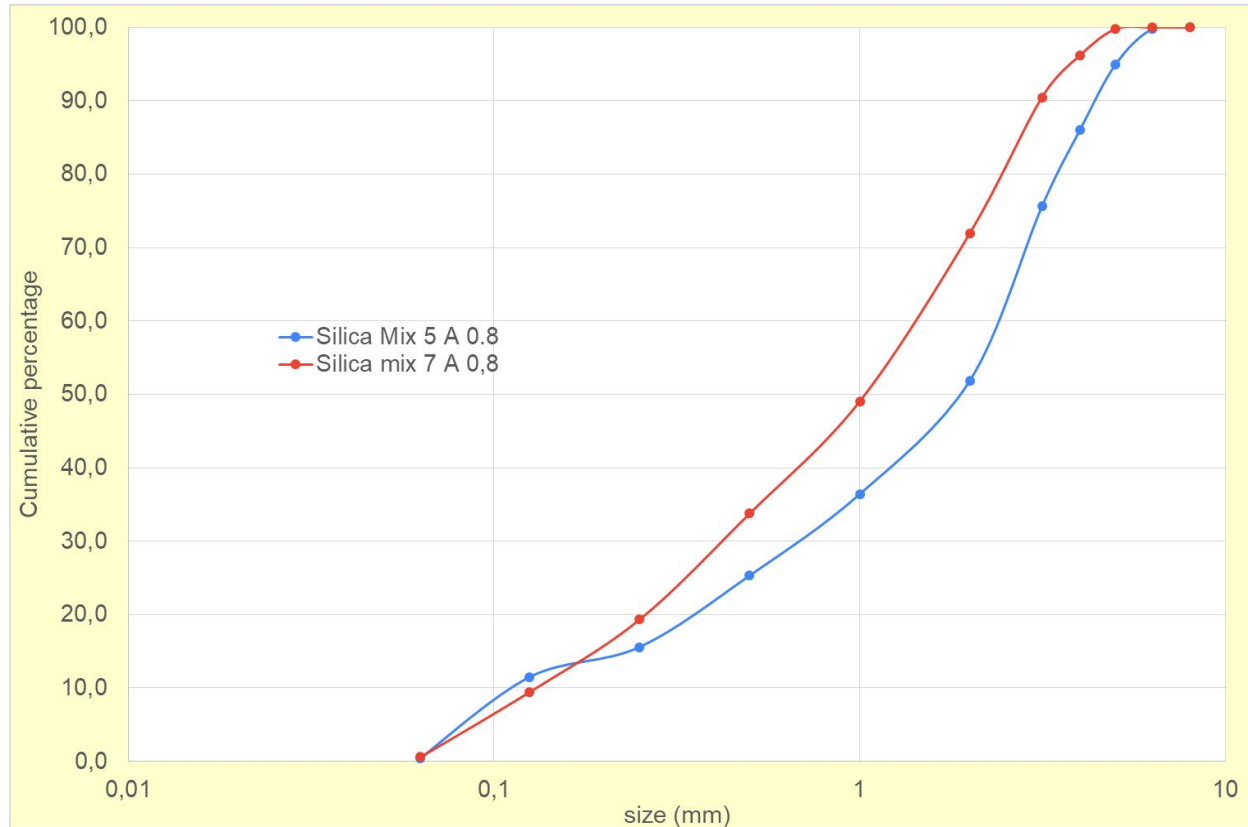


(Présentation CADFEM 28/01/2020)

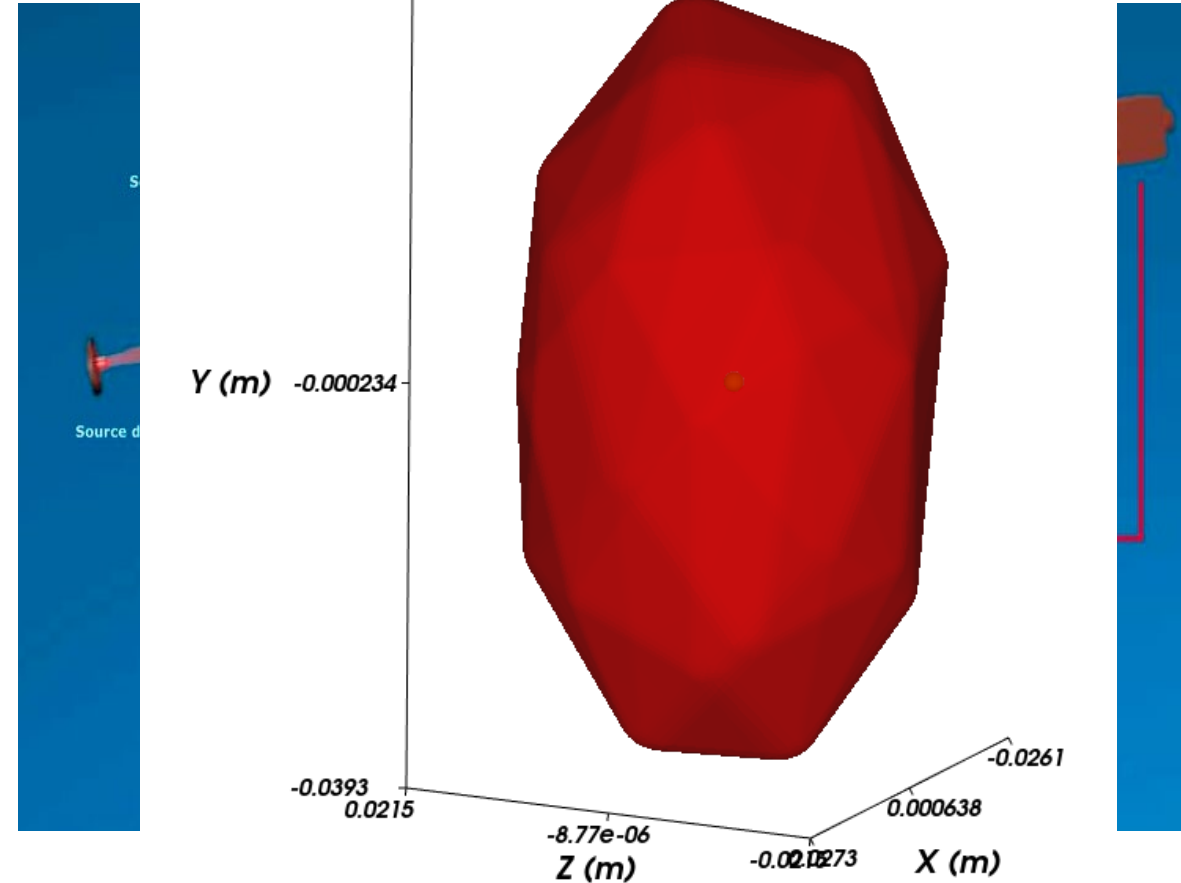
- Détermination des caractéristiques de poudres (courbes granulométriques, forme des grains, etc ..)
- Simulation de Manipulation Granutools pour définir les paramètres du modèle (coef. statique de friction, résistance au roulement, adhérence)
- Utilisation du modèle pour simuler la densification

Caractérisations des paramètres du modèle

Donnée de base des matériaux



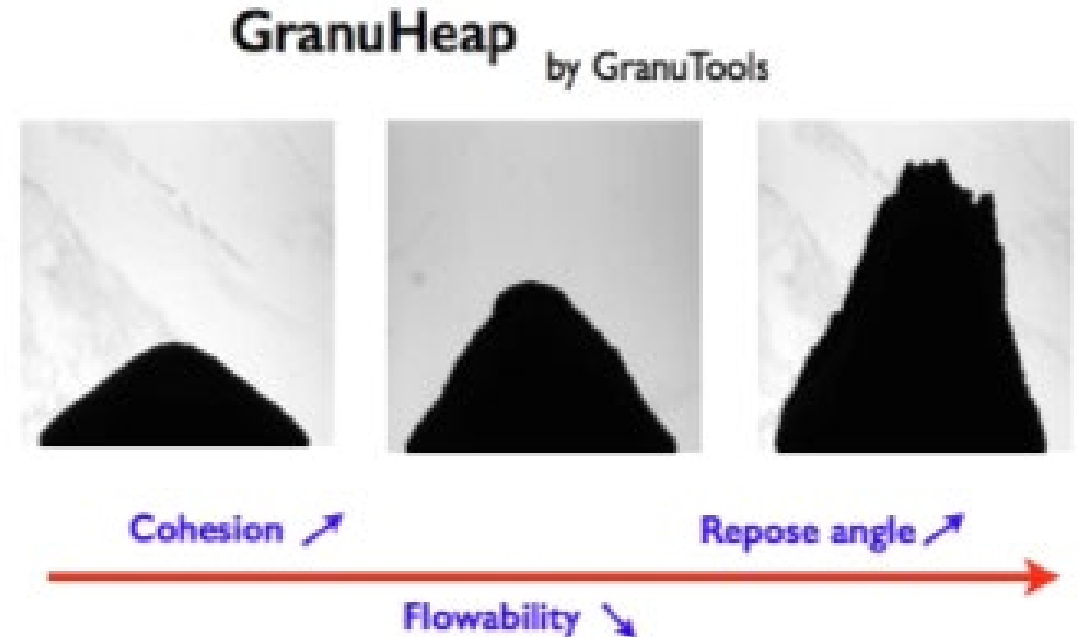
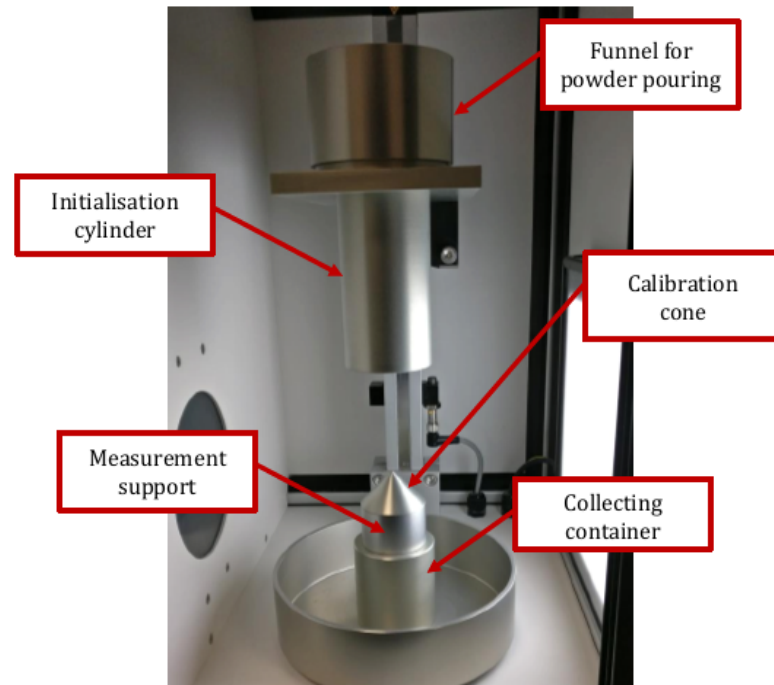
Courbe granulométrique tamis



Caractérisations des paramètres du modèle

Paramètres DEM: paramètre de friction statique, résistance au roulement, adhérence

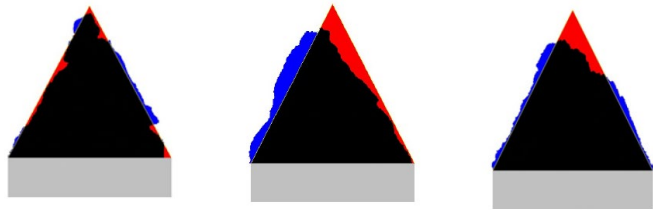
Simulation de l'essai de mesure de l'angle statique: GranuHeap de Granutools



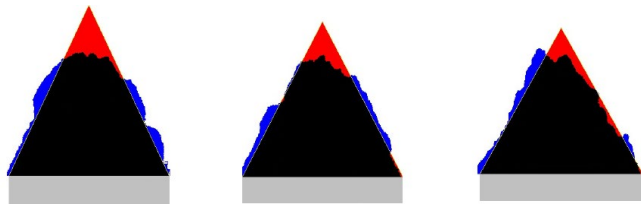
(Images Granutool, Granuheap quick users guide)

Caractérisations des paramètres du modèle

Résultats expérimentaux



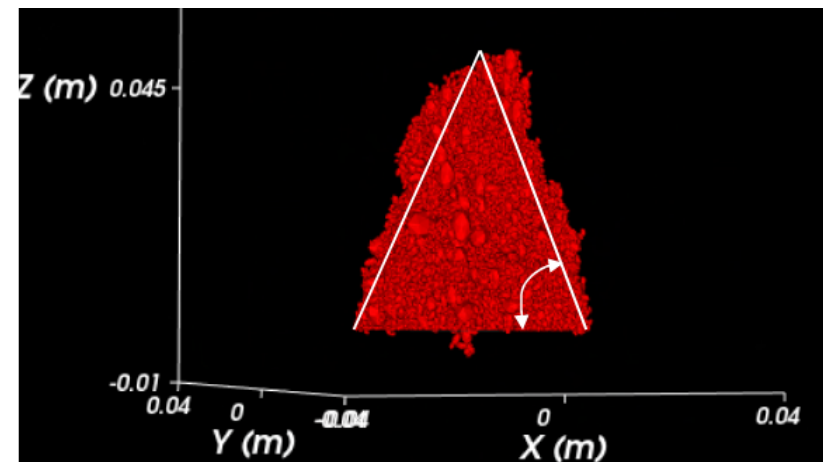
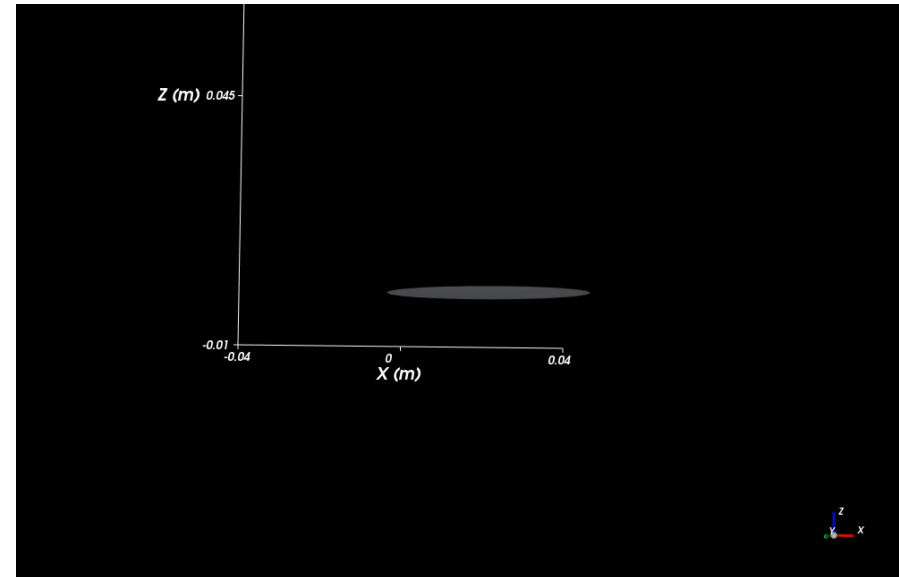
Silicamix 5 A 0.8



Silicamix 7 A 0.8

	Static angle	Angle measure with height	Cohesion index
Silicamix 5 A 0.8	62.8	59.3	2.17
Silicamix 5 A 0.8	62.5	57.1	2.42

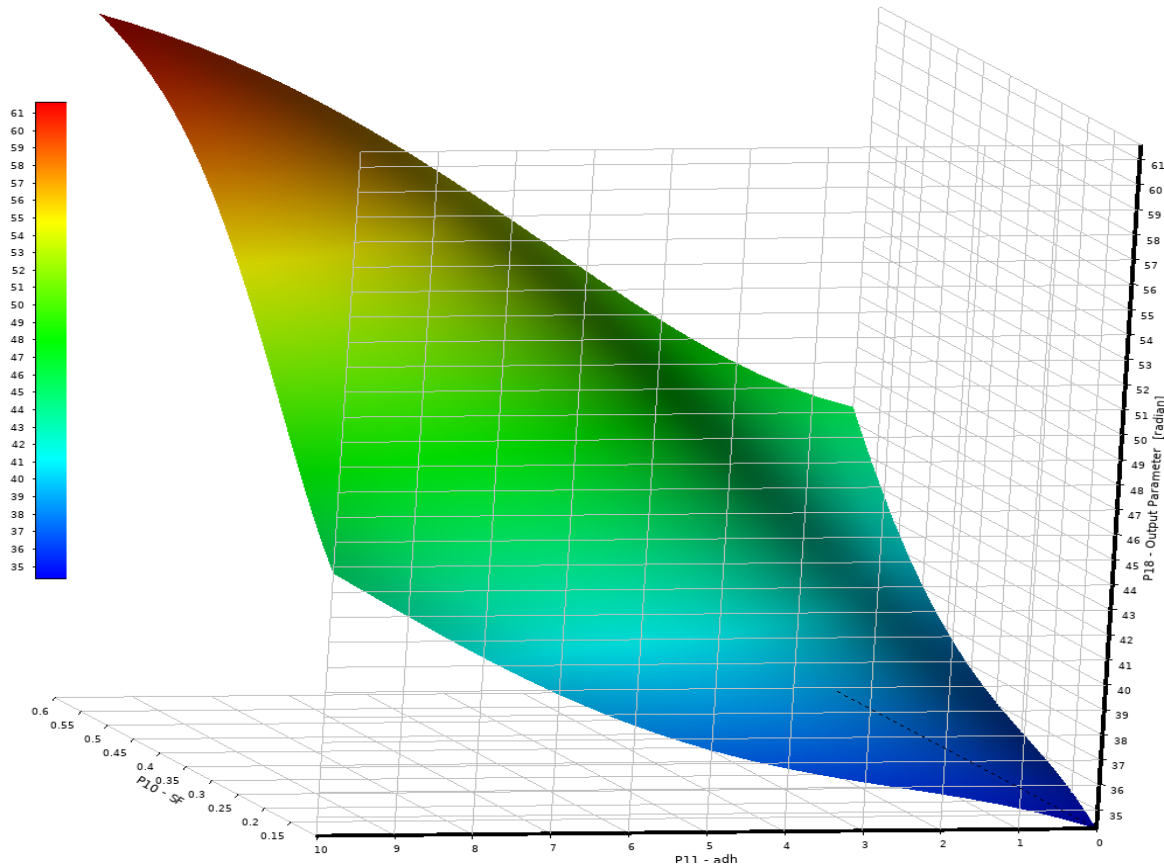
Résultats de Simulation



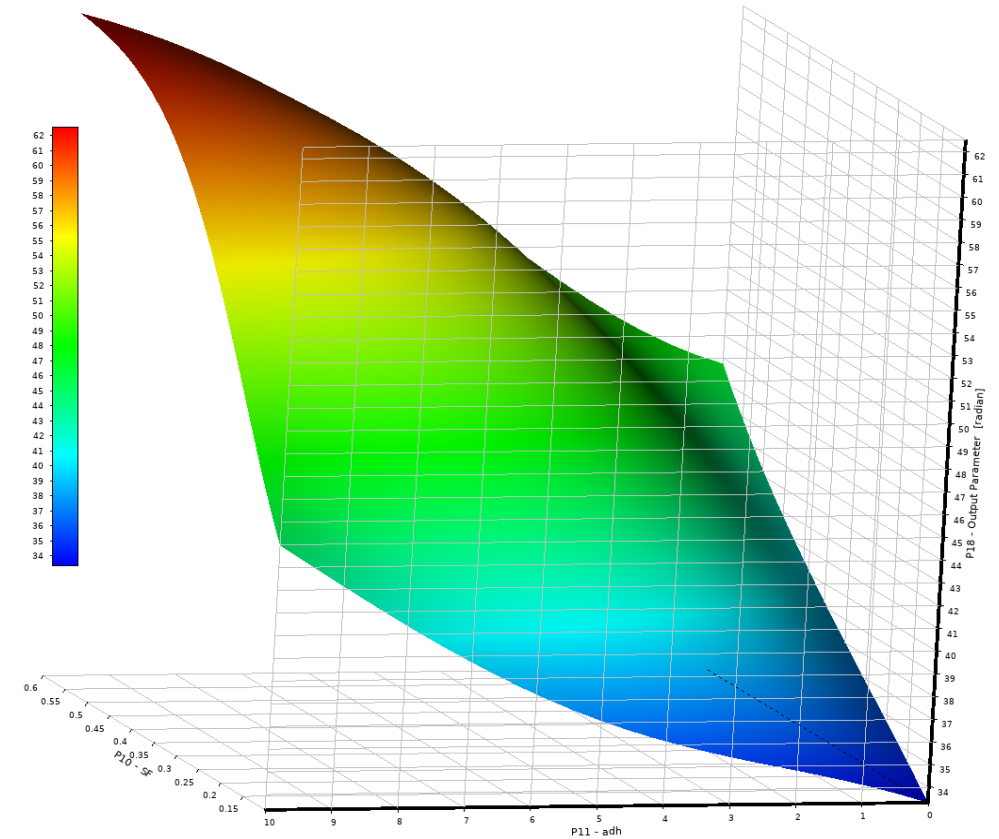
Caractérisations des paramètres du modèle

Réalisation d'un plan d'expérience et définition des surfaces de réponses sur

Workbench



response surface for a rolling resistance of 0.1

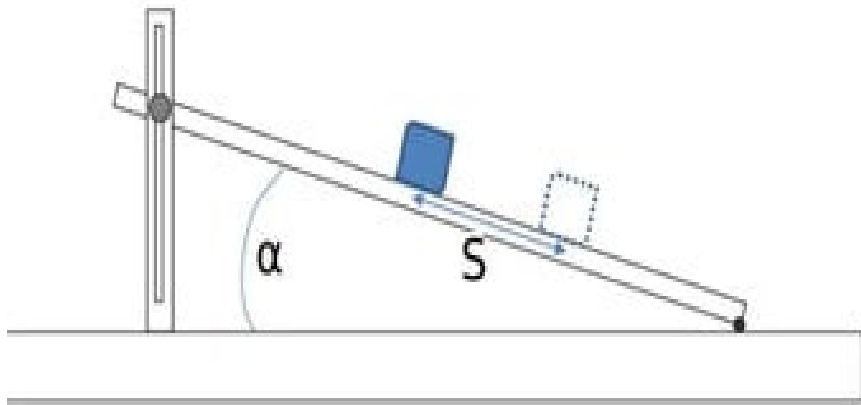


response surface for a rolling resistance of 0.2

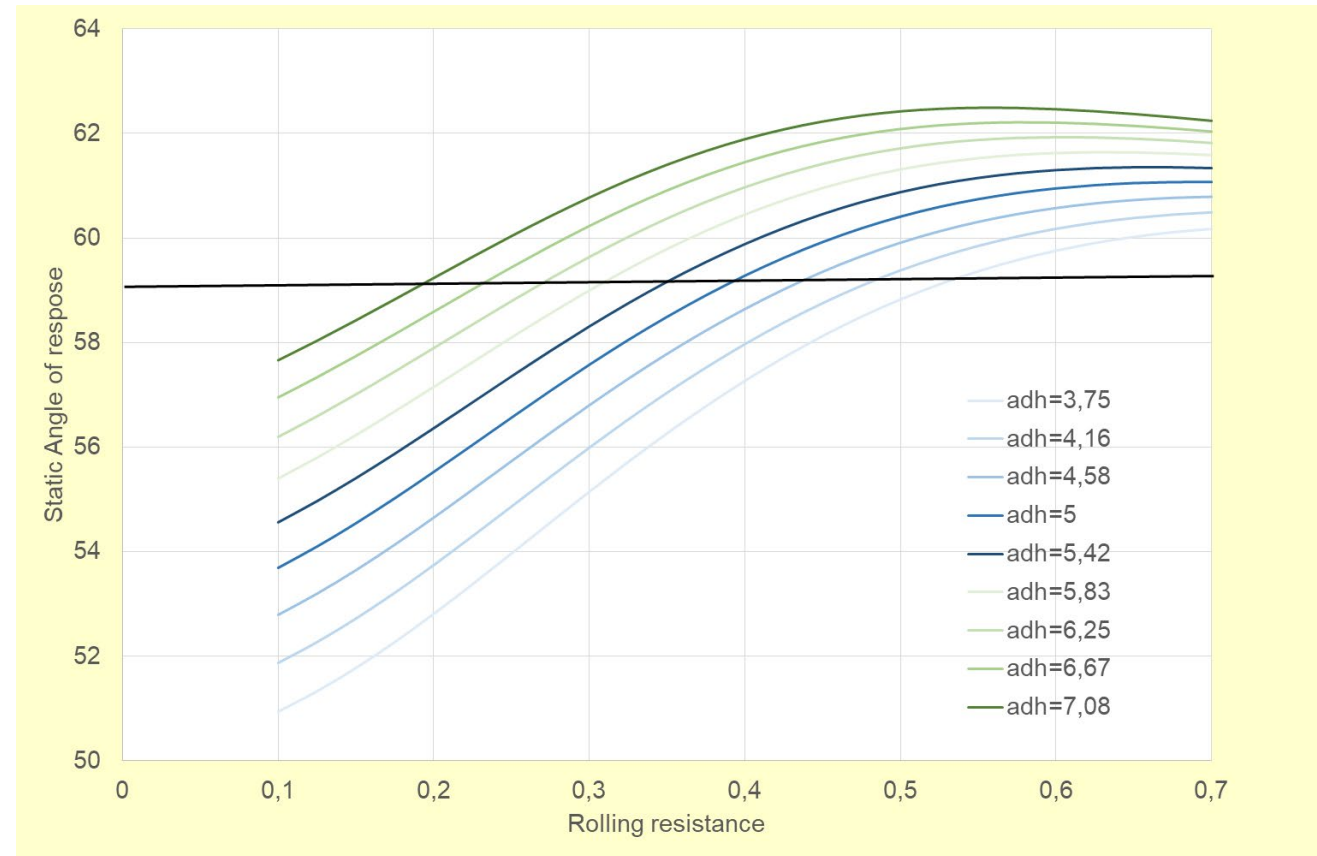
Caractérisations des paramètres du modèle

Affinage de la détermination des paramètres

Détermination expérimentale du coefficient statique de friction



Universal Approach for DEM Parameters Calibration of Bulk Materials, Aleksei Boikov, St Petersburg mining university

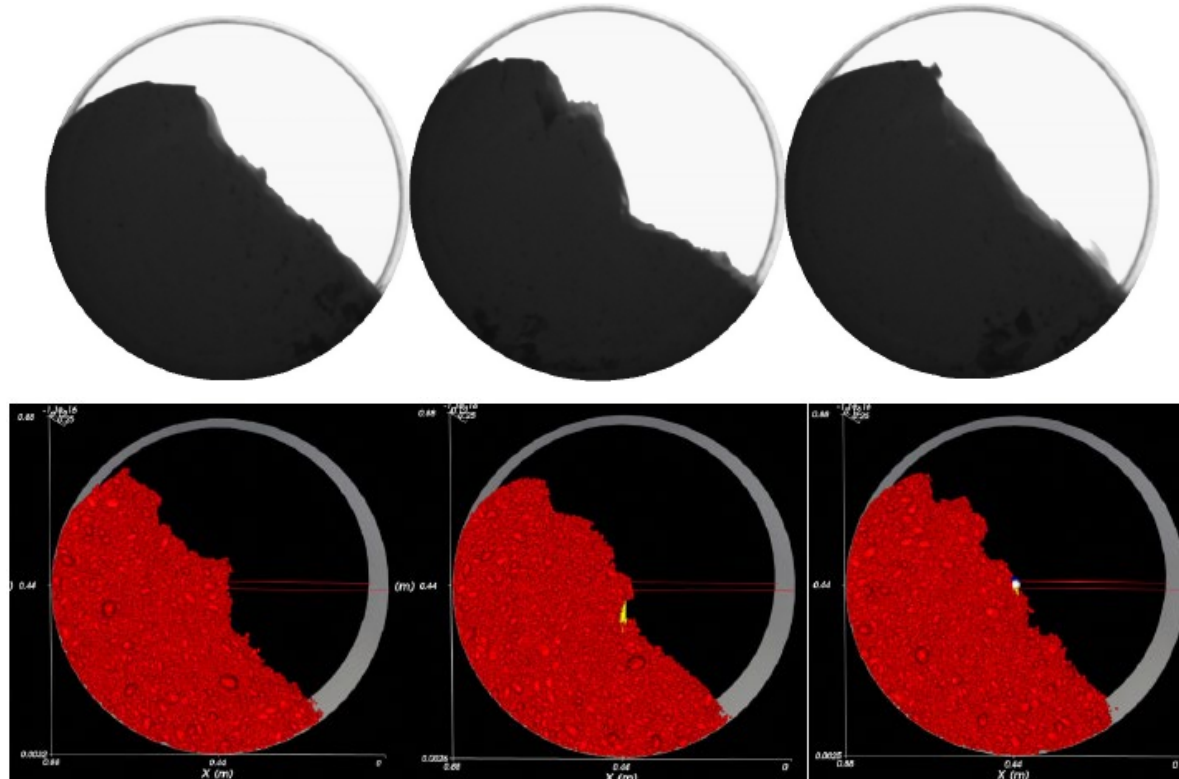


Caractérisations des paramètres du modèle

Validation des différents paramètres avec la simulation de l'essai

Granudrum

Le Granudrum est une manipulation automatisée de mesure de l'écoulement des poudres basée sur le principe du tambour rotatif. Le tambour tourne sur son axe à une vitesse angulaire allant de 2 tr/min à 70 tr/min. Elle permet la mesure de l'angle de friction dynamique.

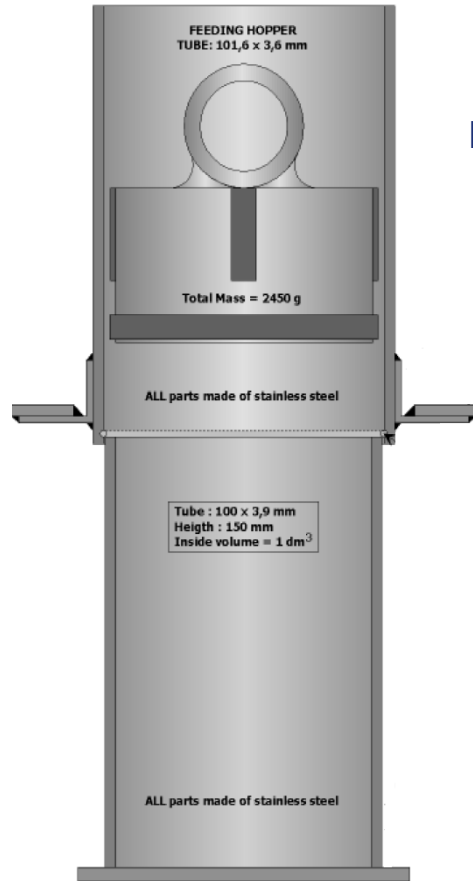


Définition finale des paramètres

04 Simulation de la densification

Simulation de la densification

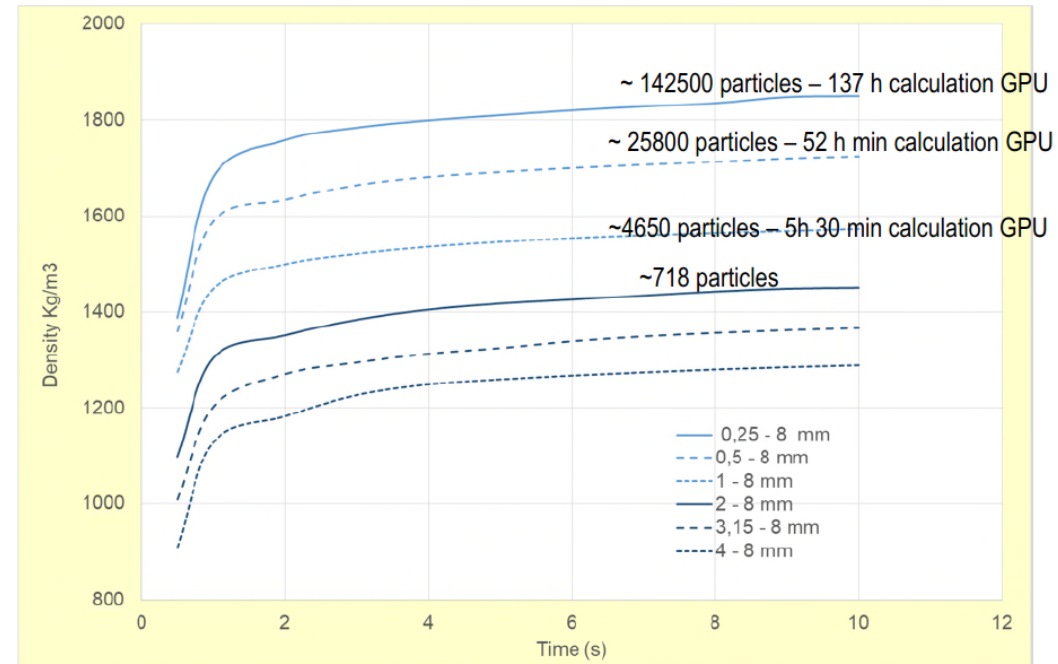
L'essai de densification



Résultats expérimentaux

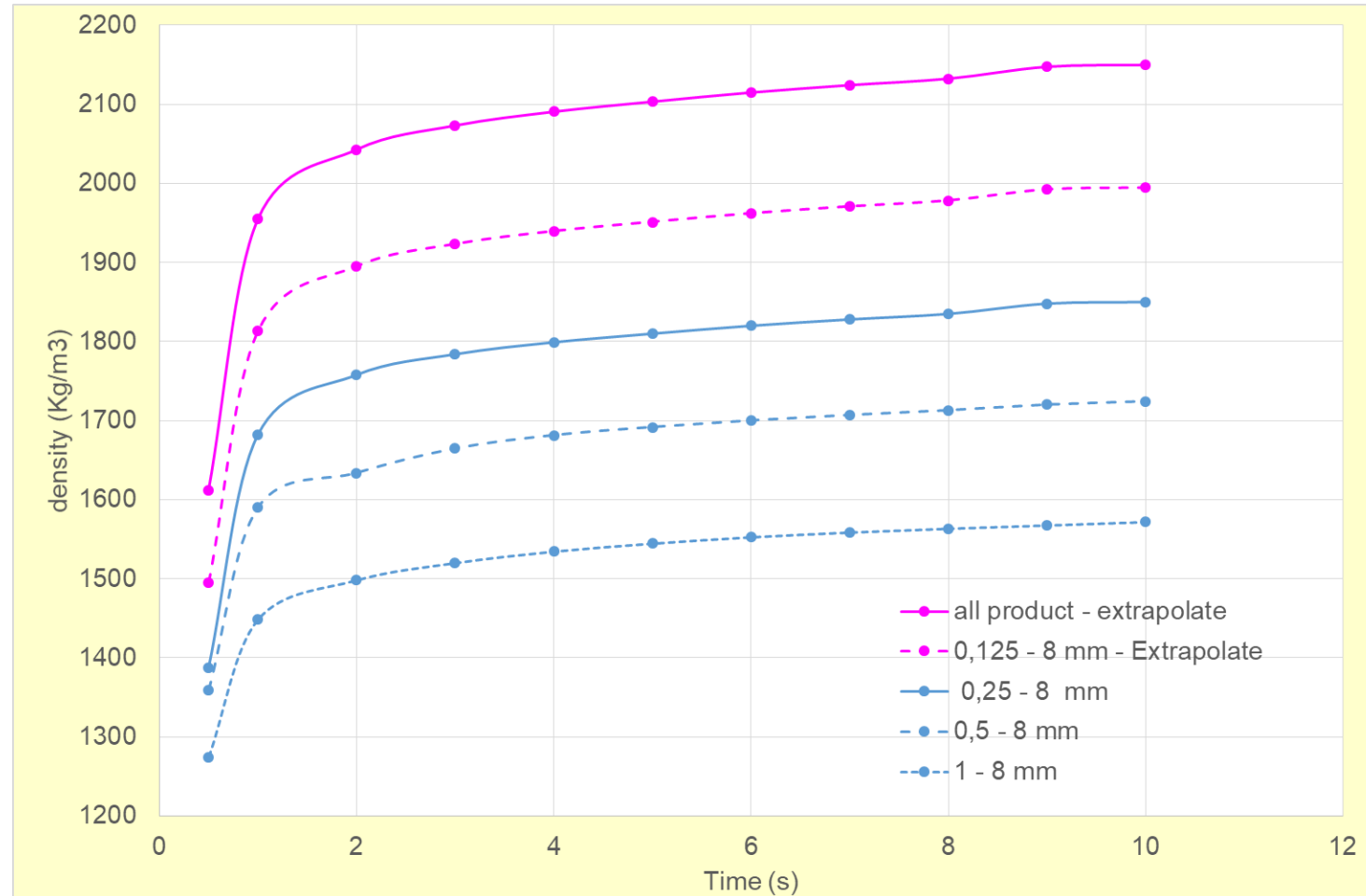
Density	Full product		0.25-8 mm		0.5 – 8 mm		1 – 8 mm		2 – 8 mm	
	Bulk	after test	Bulk	after test	Bulk	after test	Bulk	after test	Bulk	after test
Silicamix 5 A 0.8	1.63	2.14	1.54	1.90	1.45	1.77	1.41	1.67	1.35	1.57
Silicamix 5 A 0.8	1.59	2.12	1.5	1.83	1.42	1.73	1.38	1.64	1.36	1.55

Résultats de calculs



Vibration 90 s, 50 Hz amplitude 0,8 mm

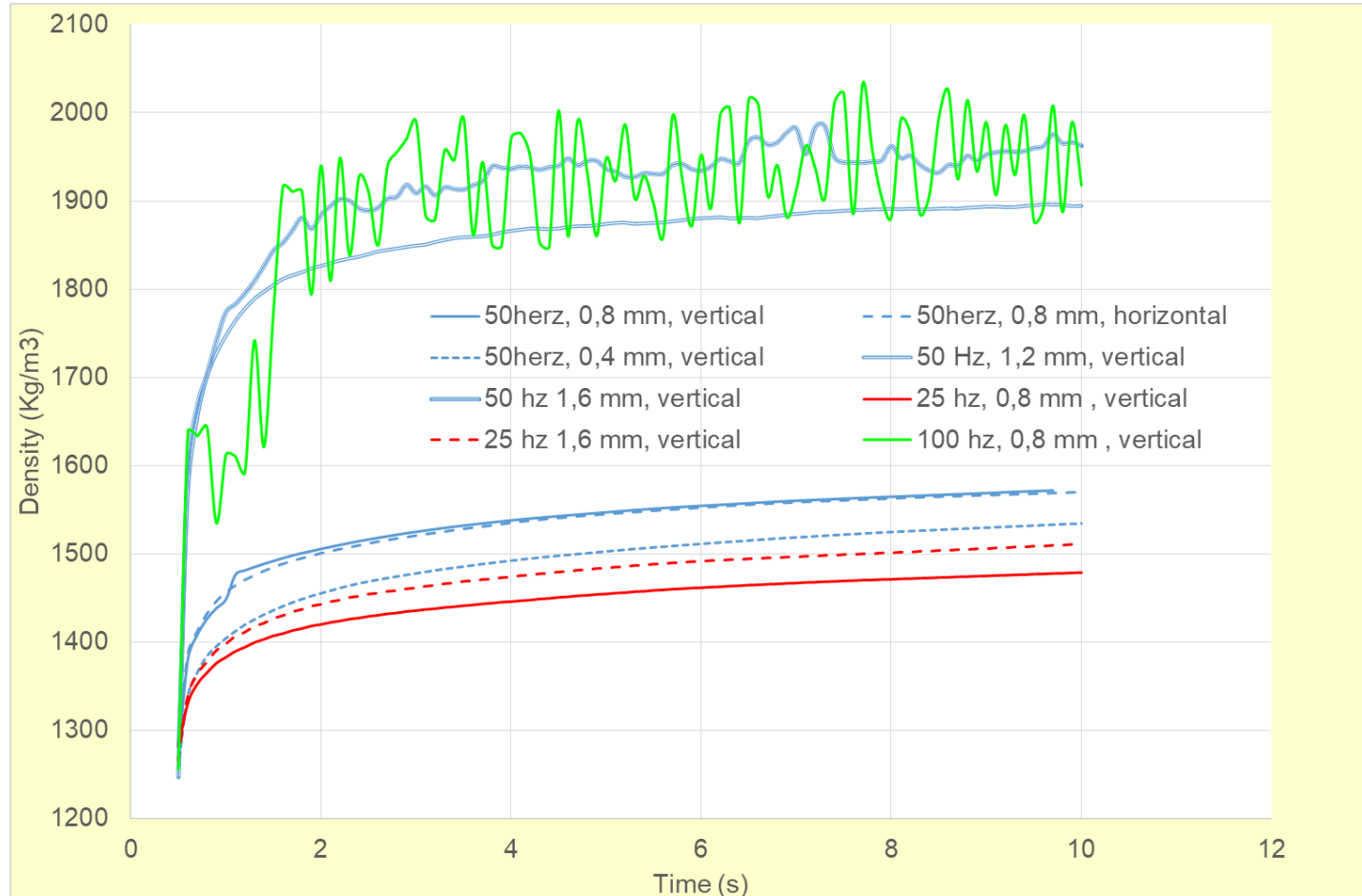
Simulation de la densification



Résultats de calcul très proches des essais expérimentaux.

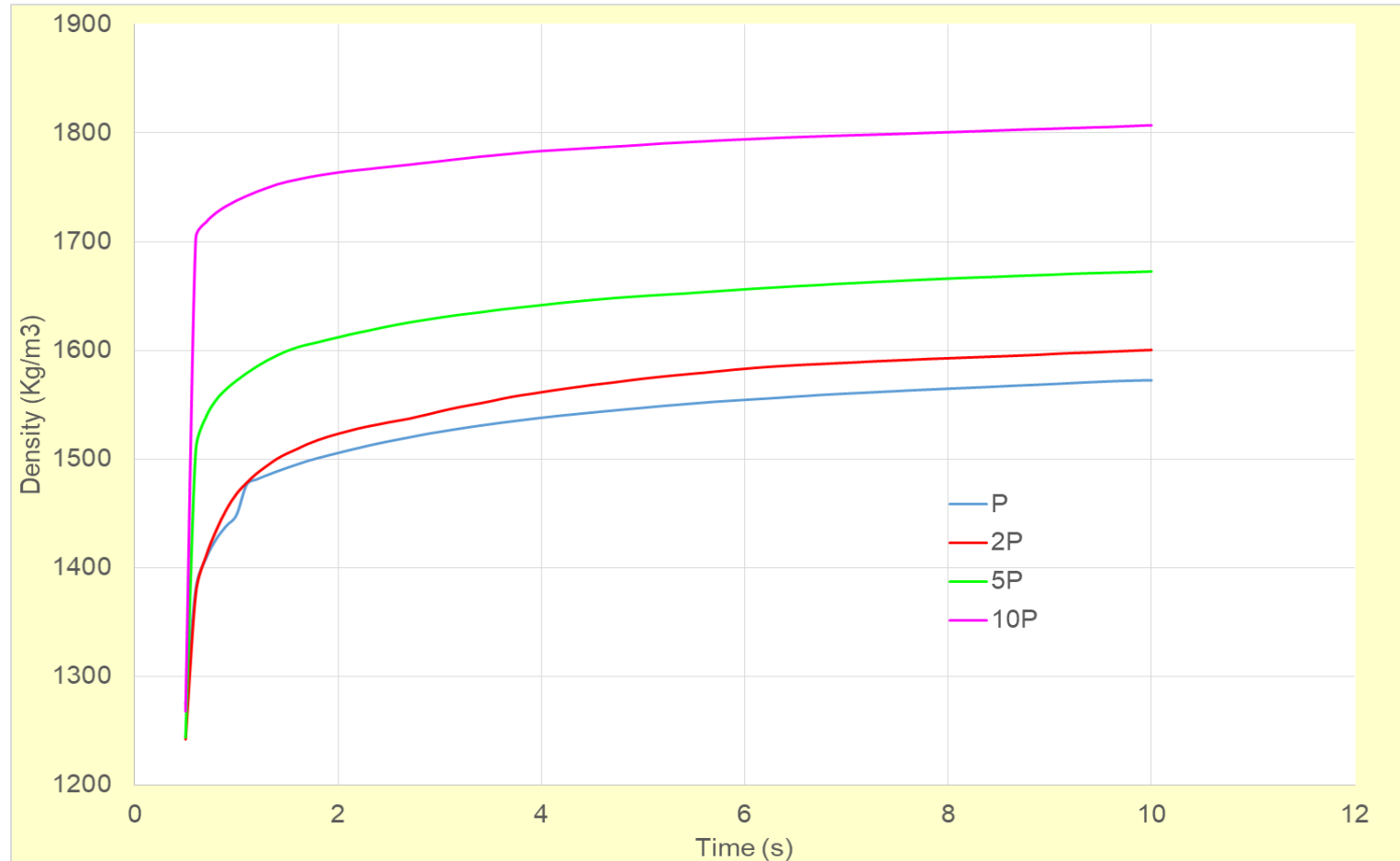
Simulation de la densification

Influence du type de vibration



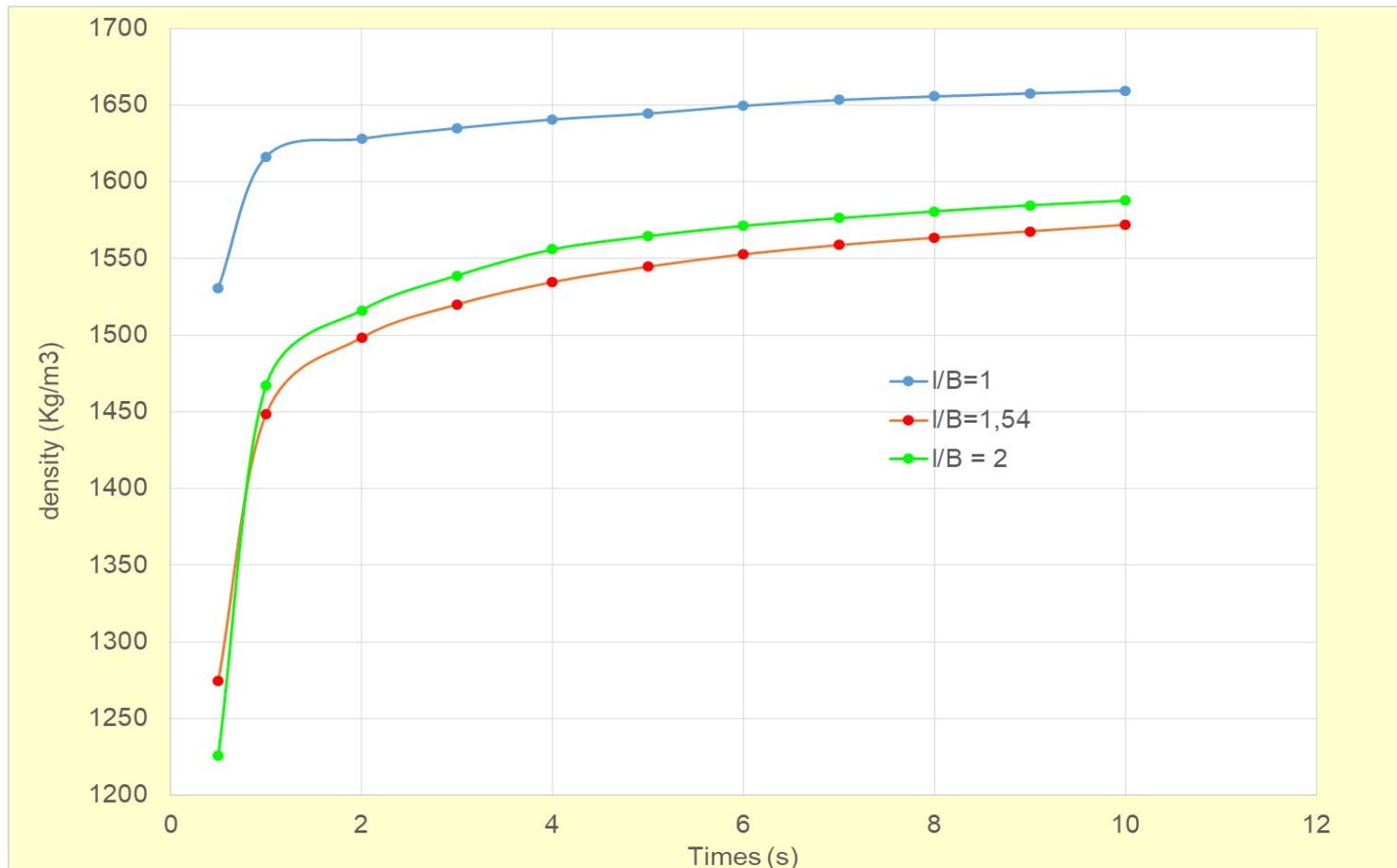
Simulation de la densification

Influence de la pré -charge



Simulation de la densification

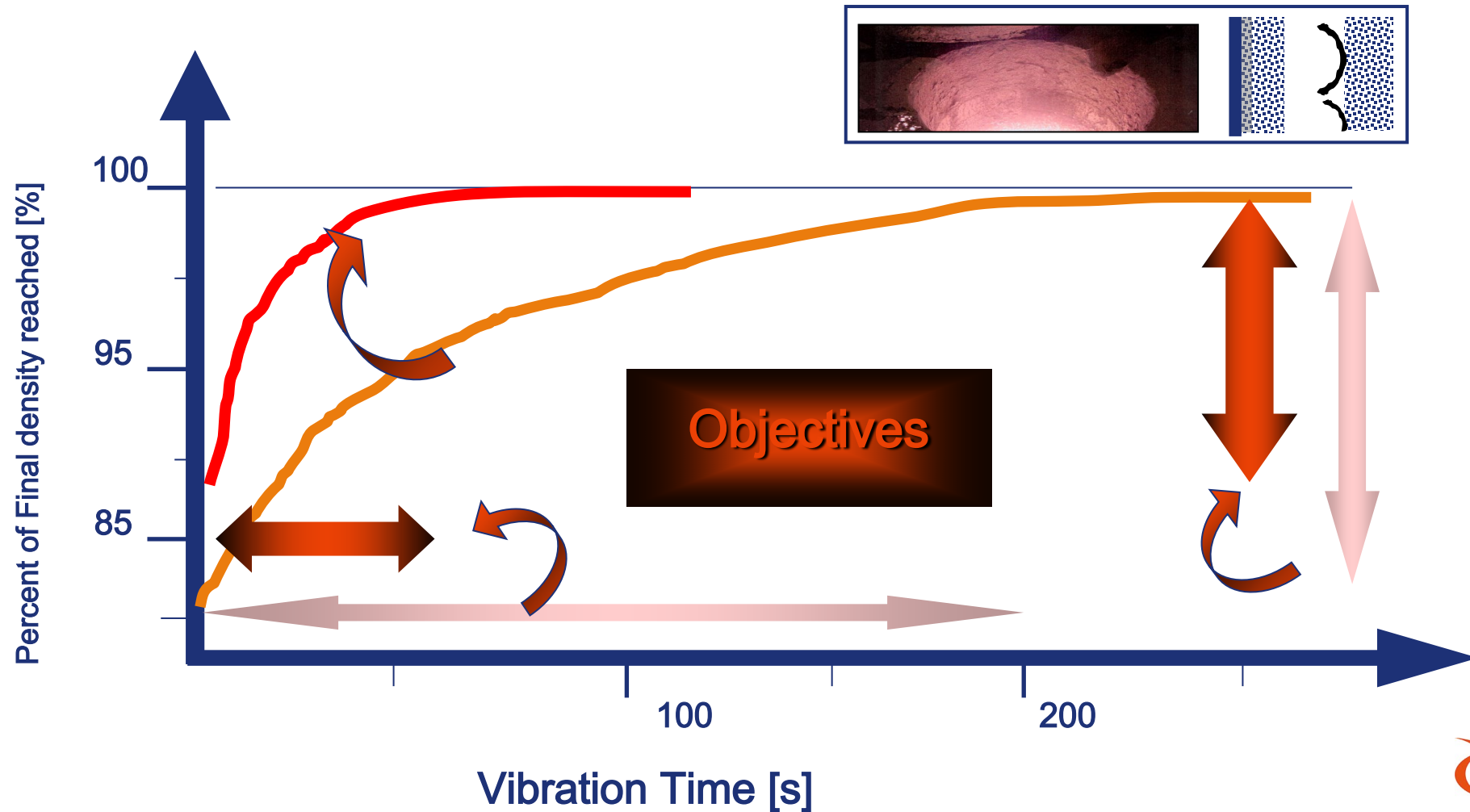
Influence de la forme des grains



05 Conclusions

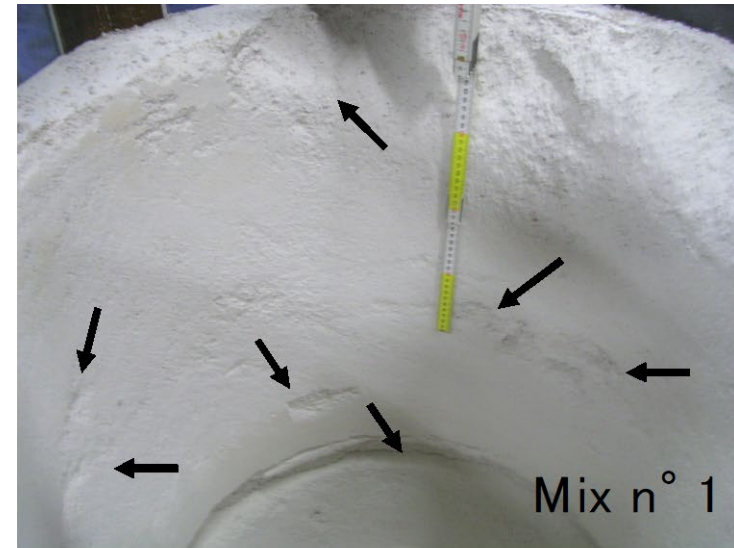
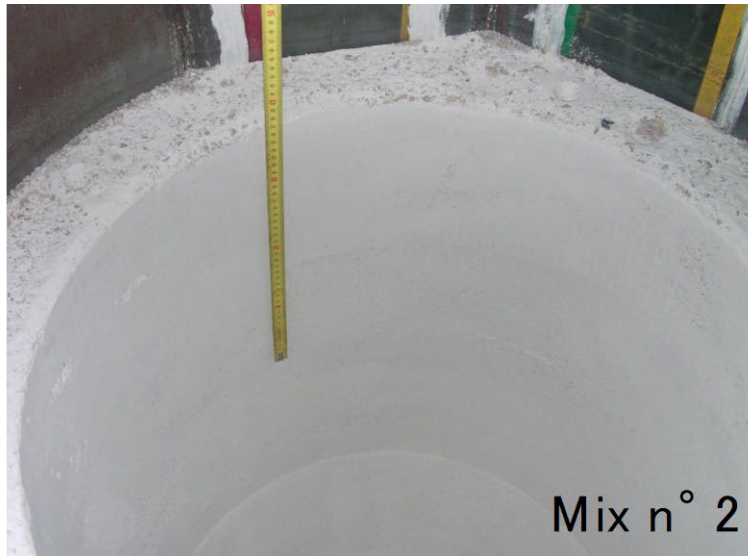
Conclusions

Optimisations des conditions de vibration



Conclusions

Optimisations des compositions



	Mix n° 2	Mix n° 1
# segregated areas during after filling	1	8
# segregated areas during vibration	0	2
# defect after formwork removal	2	15

Conclusions

La suite

- Caractériser plus précisément la ségrégation
- Comparer les résistances mécaniques en compression après densification
- Application de ce processus à d'autres types de produits: poudres pour la coulée continue (amélioration de la coulée de l'acier)

Thank you for your attention

Visit www.calderys.com for more information

or connect with us:



www.linkedin.com/company/calderys/



www.facebook.com/calderys/