



HAL
open science

Comment s'écoulent les poudres en réacteur ? Rhéophysique des milieux granulaires pour la maîtrise des opérations unitaires de structuration, mélange et séparation

Agnes Duri, Thierry Ruiz

► **To cite this version:**

Agnes Duri, Thierry Ruiz. Comment s'écoulent les poudres en réacteur ? Rhéophysique des milieux granulaires pour la maîtrise des opérations unitaires de structuration, mélange et séparation. Mé-taséminaire des nouveaux Défis CEPIA (AgroPariTech), 2017, Massy, France. hal-02927018

HAL Id: hal-02927018

<https://hal.inrae.fr/hal-02927018>

Submitted on 1 Sep 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Comment s'écoulent les poudres en réacteur ?

Rhéophysique des milieux granulaires pour la maîtrise des opérations unitaires de structuration, mélange et séparation

Agnès Duri* & Thierry Ruiz

*agnes.duri@inra.fr

UMR IATE

<http://umr-iate.cirad.fr/>



2 place Pierre Viala – 34060 Montpellier Cedex 1

Contexte

Lait
Semoule
Alimentaires
Poudres
Non-Alimentaires
Paille
Tourteau

Granulation
Agglomération
Extrusion
Séparation
Procédés

Granulés Lait
Couscous
Alimentaires
Produits
Non-Alimentaires
Energie
Matériaux

Contexte

Lait
Semoule
Alimentaires
Poudres
Non-Alimentaires
Paille
Tourteau

Écoulement

Granulation
Agglomération
Extrusion
Séparation
Procédés

Granulés Lait
Couscous
Alimentaires
Produits
Non-Alimentaires
Energie
Matériaux

Écoulement

Objectif

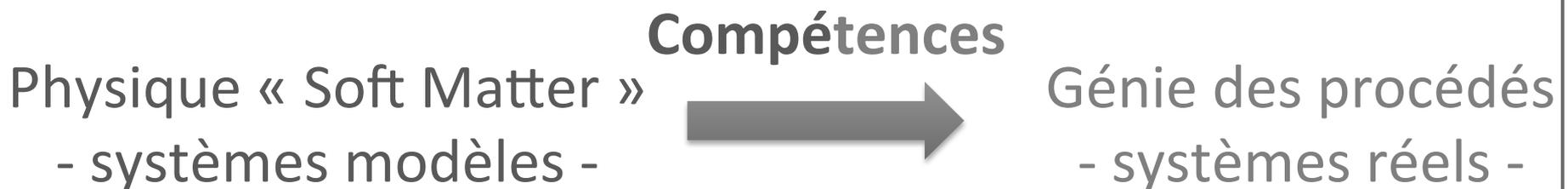
Quantifier et modéliser à l'échelle locale les propriétés d'écoulement des poudres

- 1- Il n'existe **pas de lois de comportement mécanique** totalement admises décrivant les **milieux discrets** (transmission des efforts par un réseau de forces)
- 2- Il existe **peu de dispositifs expérimentaux** adaptés pour les déterminer
- 3- Les poudres sont des systèmes **non-ergodiques**
--> très **dépendant** de leur **histoire** de mise en oeuvre

Enjeux

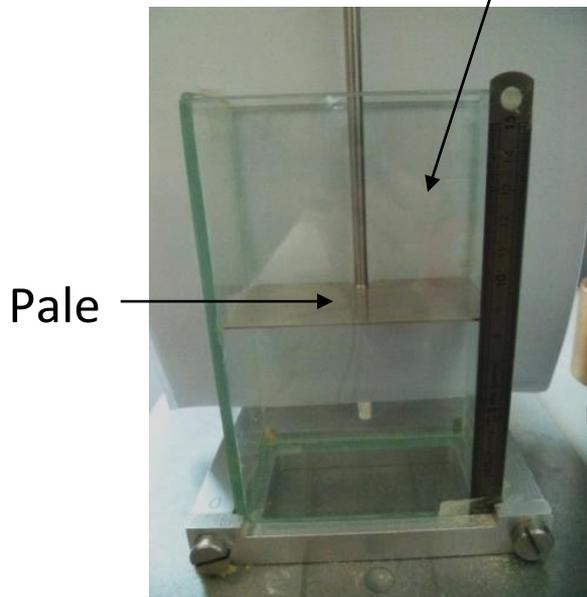
Adapter les concepts de la physique de la matière molle aux approches du génie des procédés pour proposer :

- 1- Des **méthodes d'analyse originales** et des **outils d'ingénierie pertinents** optimisant la conduite de procédés et le scale-up
- 2- Une **maitrise de la phénoménologie** qui puisse guider la démarche d'innovation produits et procédés



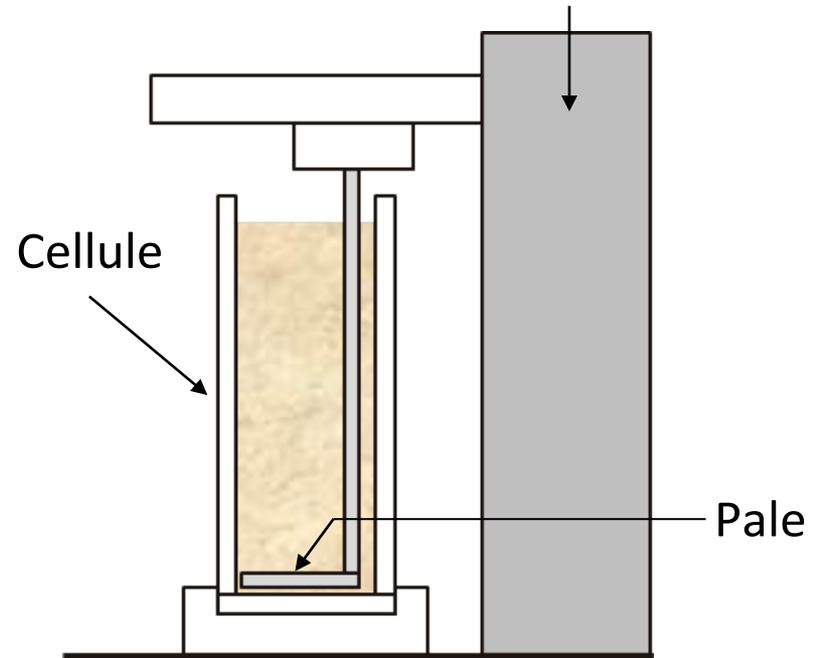
Dispositif original de rhéophysique

Cellule
(5.1 cm x 10 cm x 16 cm)



Vue de face

Texturomètre

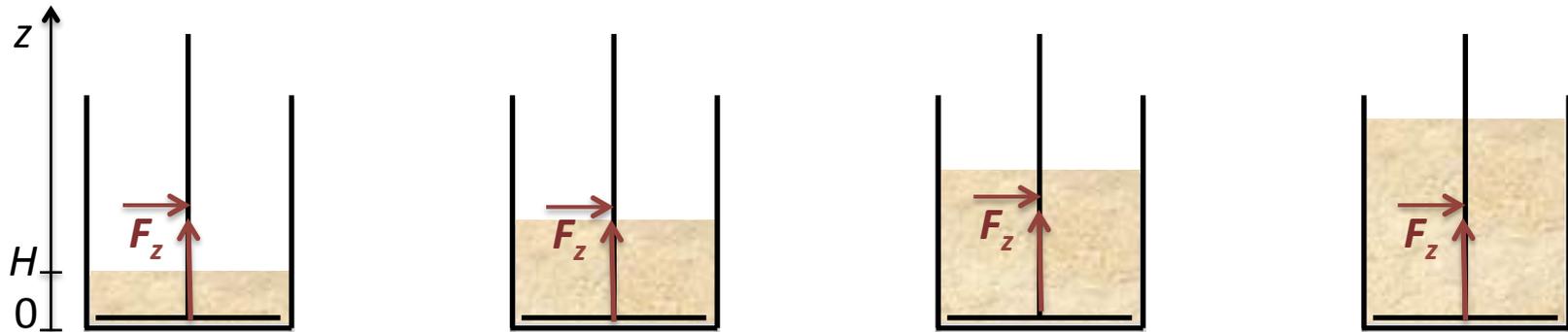


Vue de côté

Dispositif original de rhéophysique

Etat mécanique du lit granulaire en **statique**

- Mesures globales (grande pale : 50 mm x 98.5 mm)



Vues de face

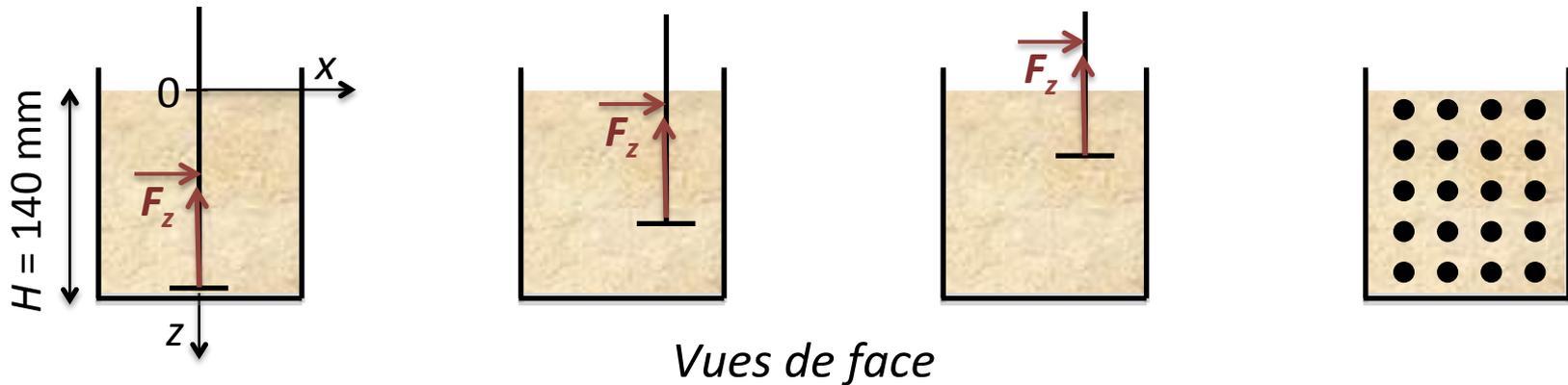
Mesure de Janssen (1895) :

mesure de la force F_z à la base de la cellule
et pour des hauteurs de lit $H : 0 \text{ mm} \leq z = H \leq 140 \text{ mm}$

Dispositif original de rhéophysique

Etat mécanique du lit granulaire en **statique**

- Mesures locales (petite pale : 45 mm x 20 mm)



Mesure de la force F_z dans différentes positions dans le lit ($H=140$ mm)

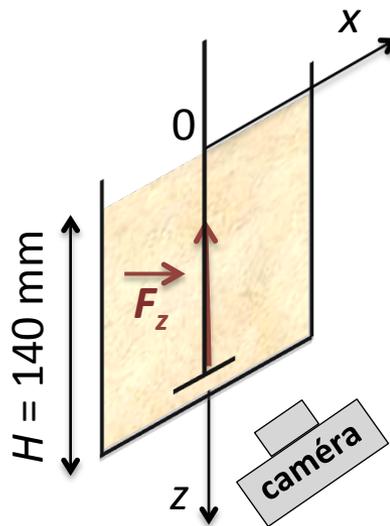
- $0 \text{ mm} \leq x \leq 40 \text{ mm}$ & $0 \text{ mm} \leq z \leq 140 \text{ mm}$ -

Cartographie 2D des forces verticales locales

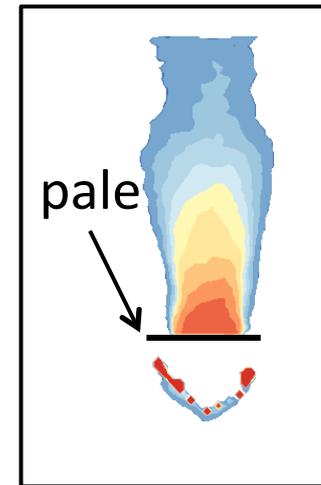
Dispositif original de rhéophysique

Etat mécanique du lit granulaire en **dynamique**

- Mesures locales (petite pale : 45 mm x 20 mm)



Vue de face



Exemple d'image PIV

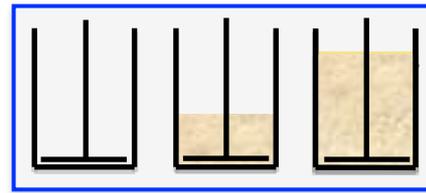
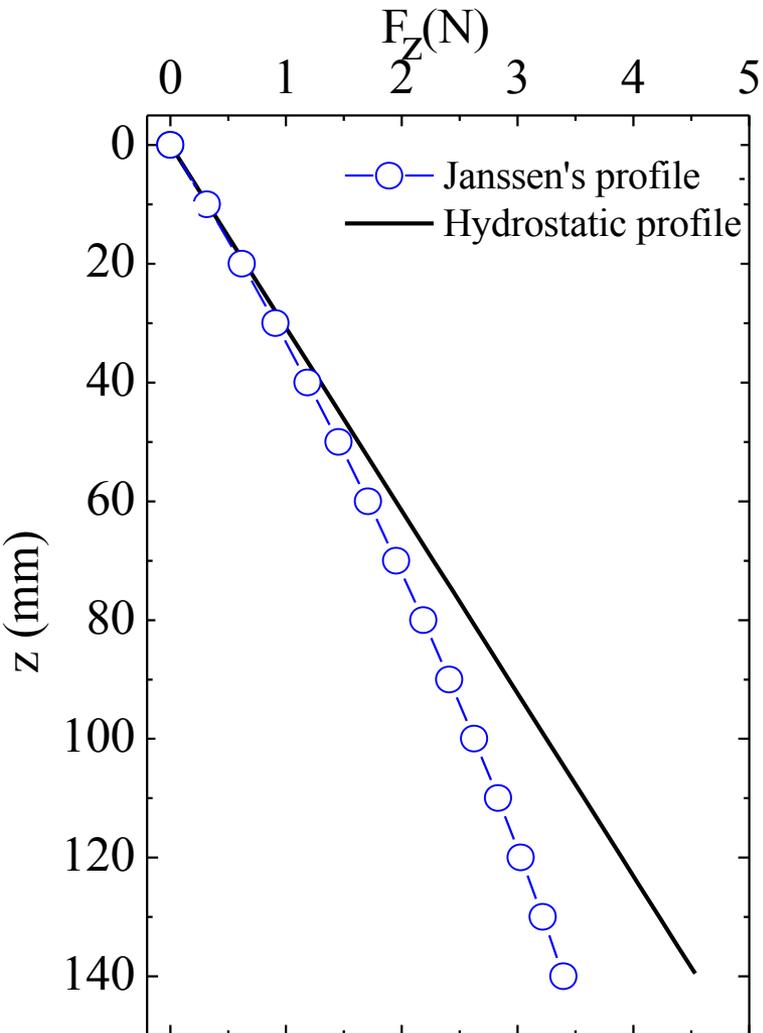
Mesure **temporelle** :

- de la force F_z
- du **champ de vitesse** des particules

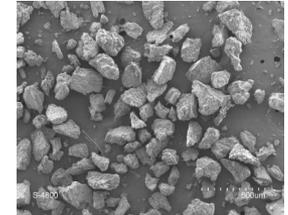
au centre de la cellule
pour \neq vitesses de pale
 $2.5 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1} \leq v_p \leq 40 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$

Exemple de résultats

Etat mécanique en statique



Approche de Janssen



Semoule

$d_{50} = 300 \pm 1.46 \mu\text{m}$

Comportement mécanique de la poudre

Janssen

$$P = \rho g \lambda (1 - e^{-h/\lambda})$$

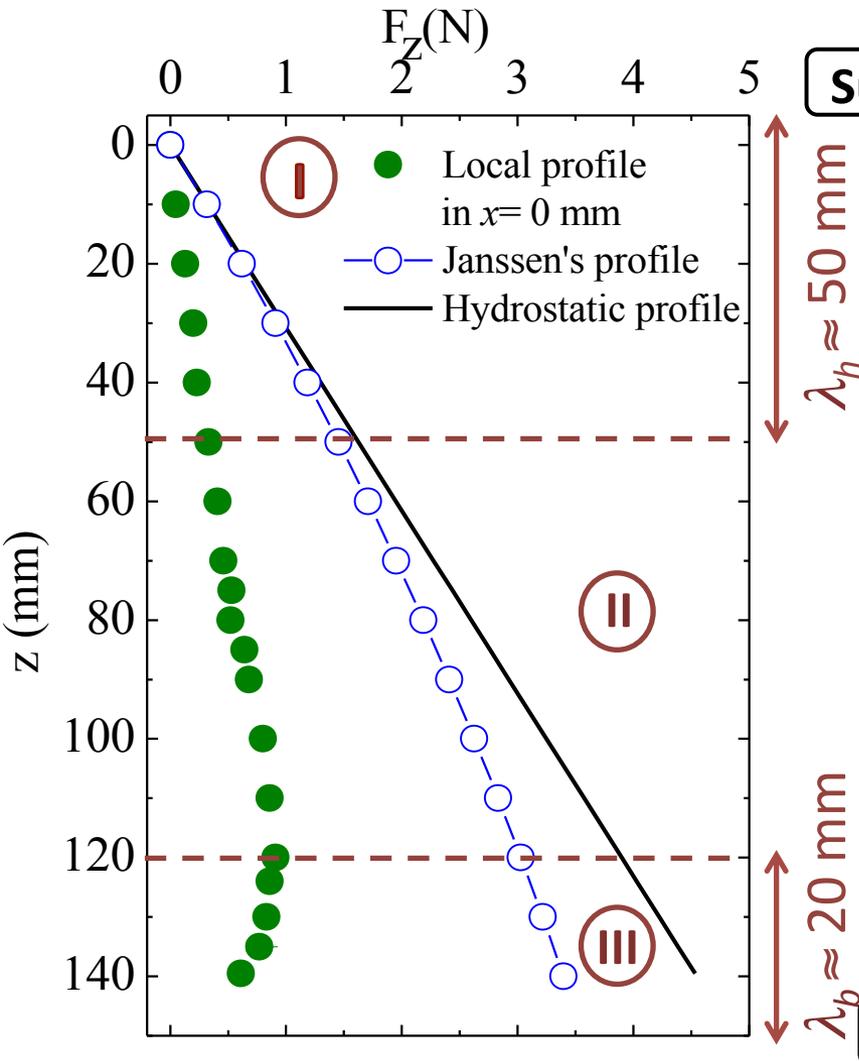
$$\lambda = D/4\mu K = 230 \text{ mm}$$

≠

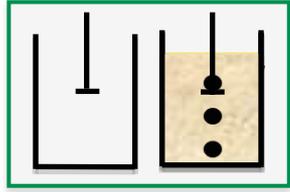
Comportement hydrostatique d'un fluide

Exemple de résultats

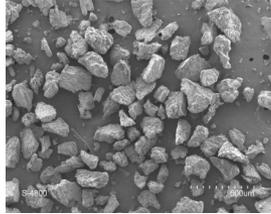
Etat mécanique en statique



Surface



Approche locale
 $x = 0$ mm



Semoule
 $d_{50} = 300 \pm 1.46 \mu\text{m}$

Comportement mécanique local

- 3 zones
- 2 temps caractéristiques :
 $\lambda_h \approx 50$ mm et $\lambda_b \approx 20$ mm

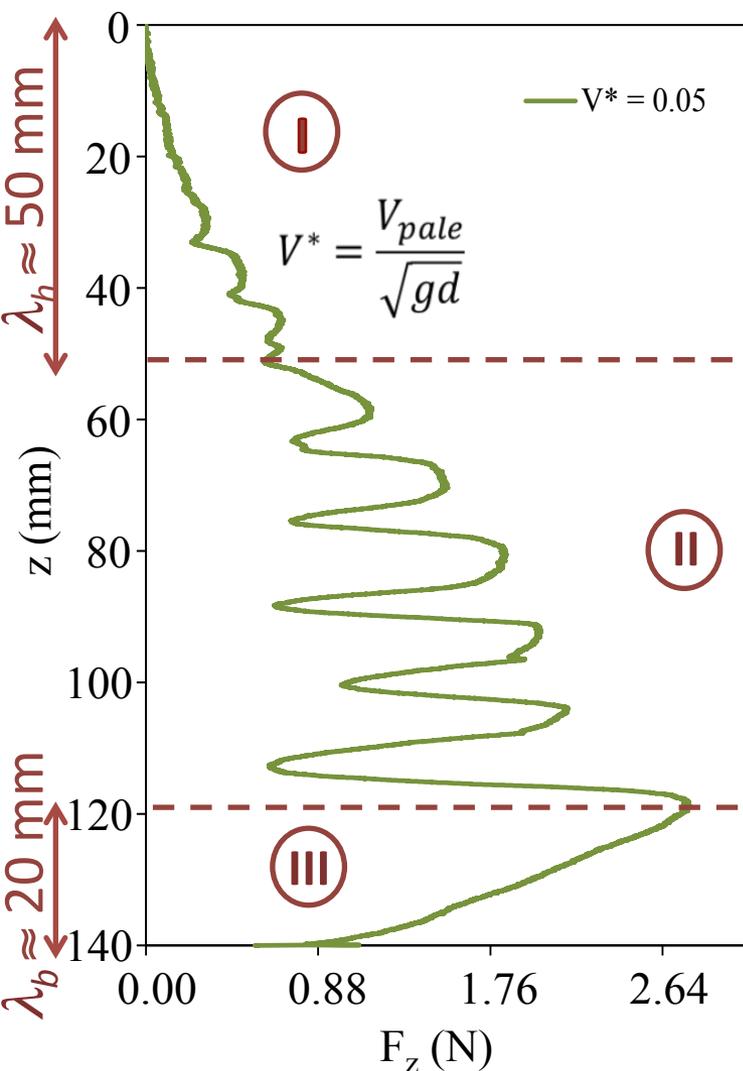
≠

Comportement mécanique global

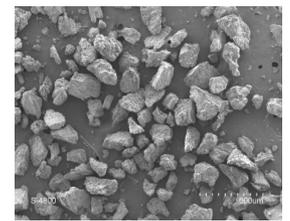
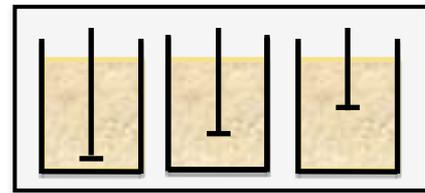
Fond

Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



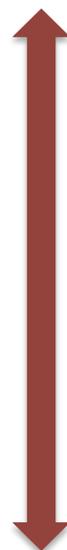
Surface



Approche locale
 $x = 0 \text{ mm}$

Semoule
 $d_{50} = 300 \pm 1.46 \mu\text{m}$

Histoire de la
 Structuration du lit



Comportement local dynamique

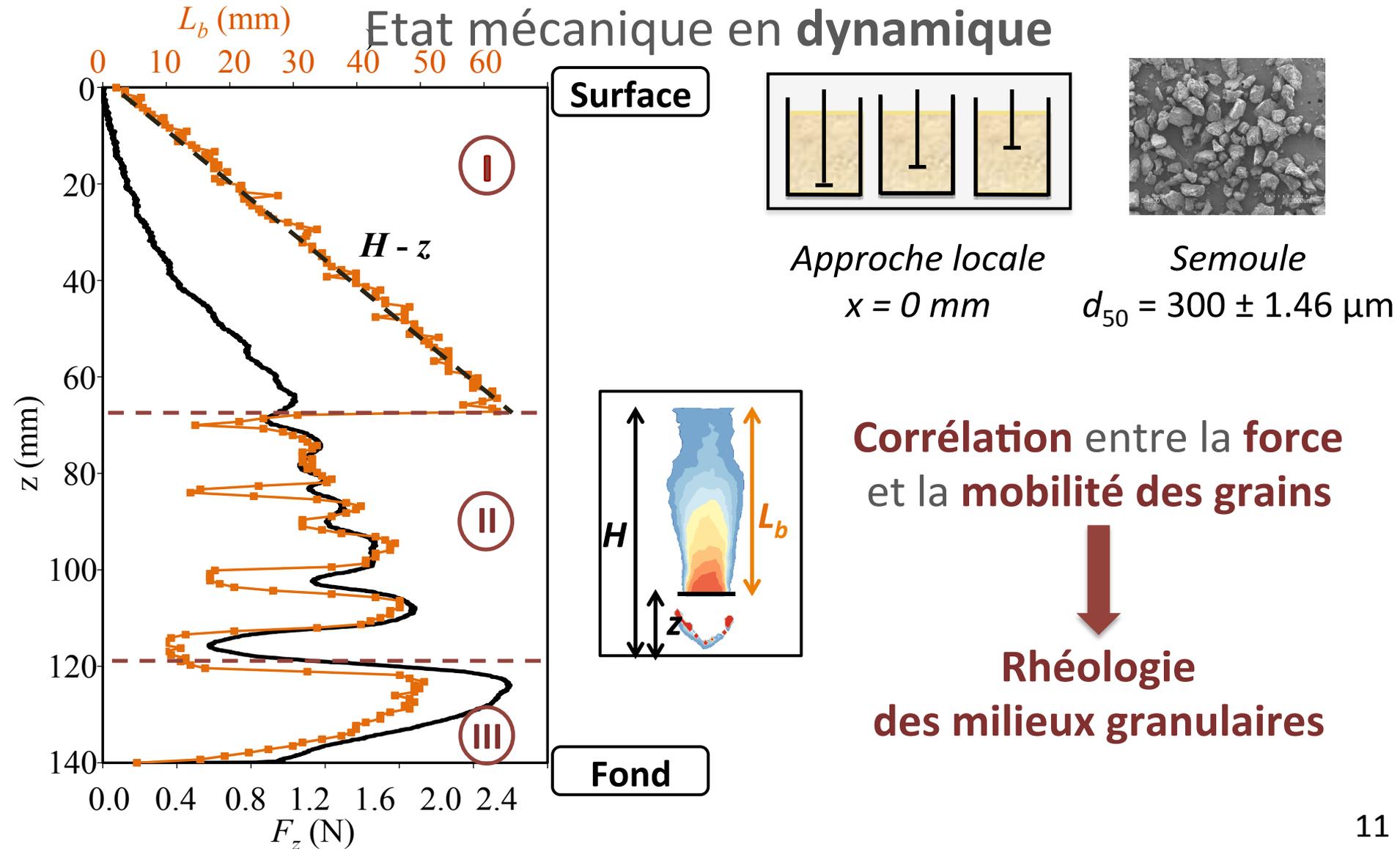
- 3 zones en lien avec le réseau de contact
- 2 temps caractéristiques :
 $\lambda_h \approx 50 \text{ mm}$ et $\lambda_b \approx 20 \text{ mm}$

Comportement local statique

Fond

Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



Perspectives

Cellule

(5.1 cm x 10 cm x 50 cm)



- Tester **différents types de poudre**
- Explorer des **vitesse de sollicitation plus grandes (jusqu'à 100 mm.s⁻¹)**
- Quantifier l'influence **des designs de pales**
- Etablir des **corrélations spatio-temporelles des champs de vitesse**

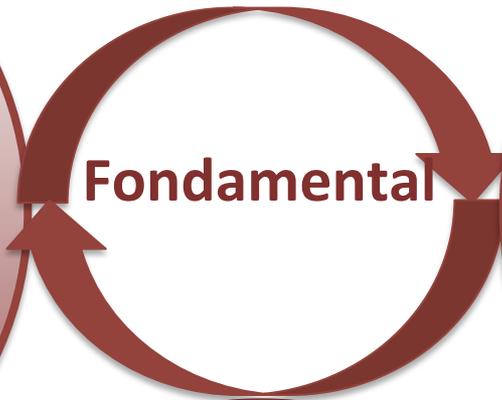
Dispositif financé par l'ANS PowFlow (2016-2018)

- En collaboration avec L2C et l'IES (Univ. Montpellier) -

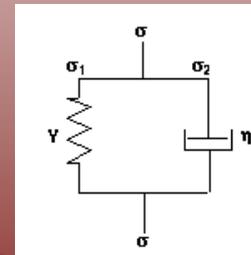
Conclusion

Rhéologie
Milieux granulaires

Lait
Semoule
Paille
Tourteau



Lois de comportement



Input Simulations



Conclusion

Meilleure

Application

Procédés

Innovation Produits

Maitrise



Lait



Semoule

Rhéologie
Milieux granulaires



Paille



Tourteau



Granulation



Agglomération



Extrusion



Séparation



Energie



Matériaux

**Merci
pour votre attention**

Agnès Duri* & Thierry Ruiz

*agnes.duri@inra.fr

UMR IATE

<http://umr-iate.cirad.fr/>

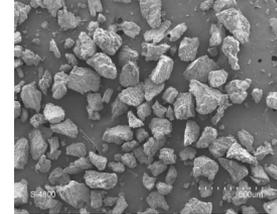
2 place Pierre Viala – 34060 Montpellier Cedex 1

Structuration du lit de poudre



Exemple de résultats

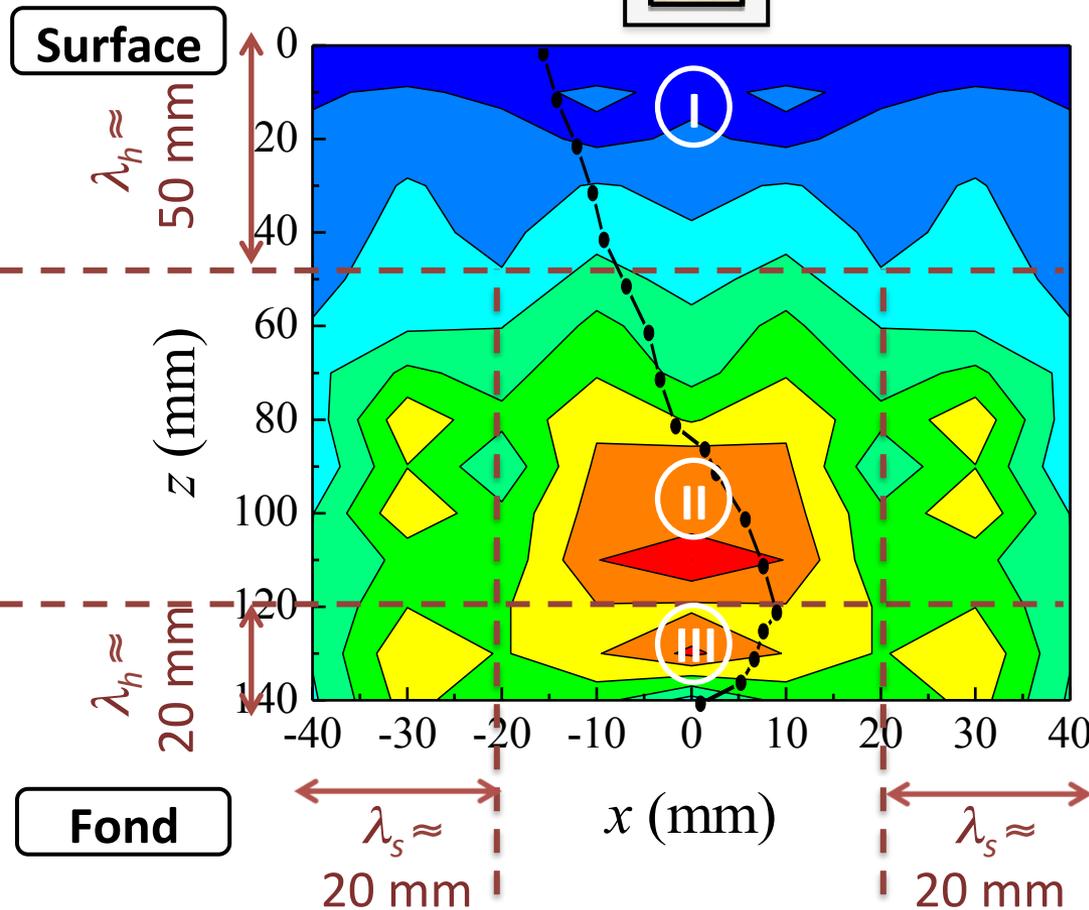
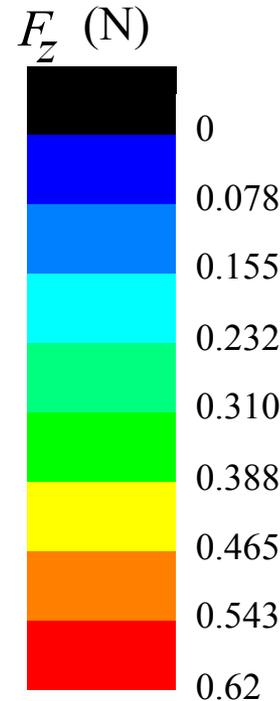
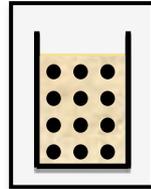
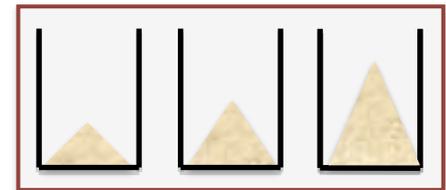
Etat mécanique en **statique**



Semoule

$d_{50} = 300 \pm 1.46 \mu\text{m}$

La cartographie 2D
est **en lien** avec la
structuration du lit
granulaire !

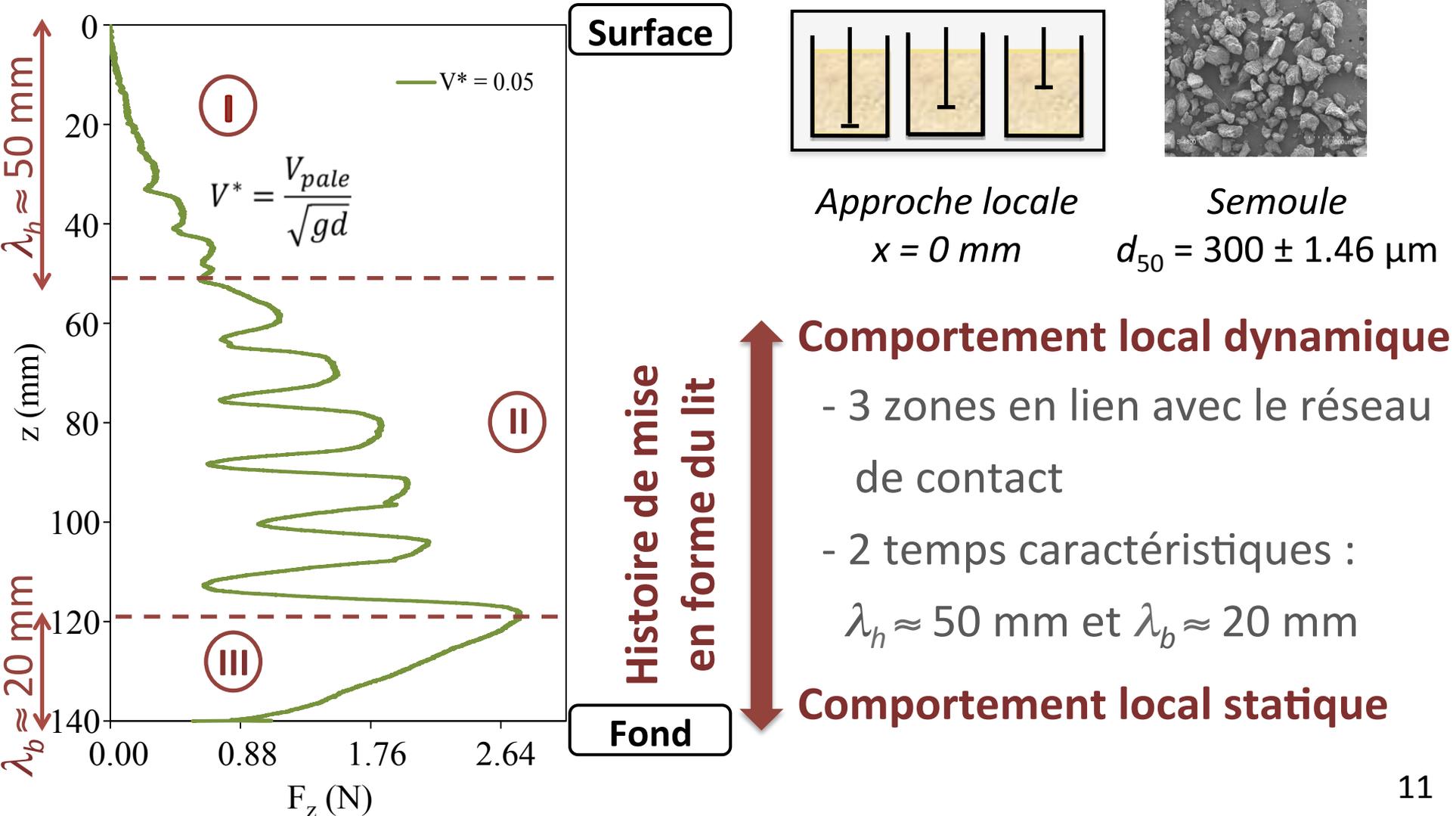


Etat mécanique en dynamique



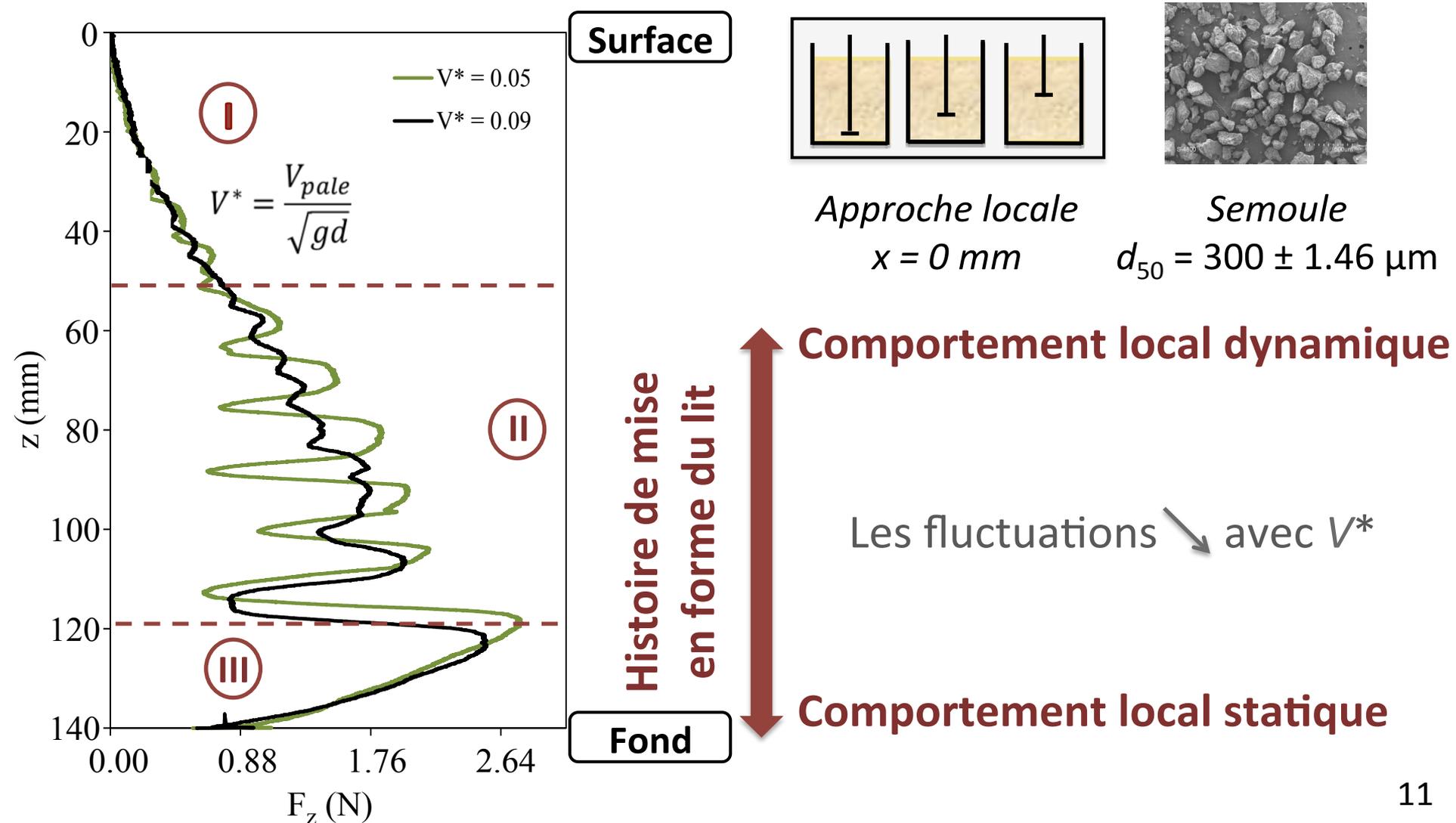
Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



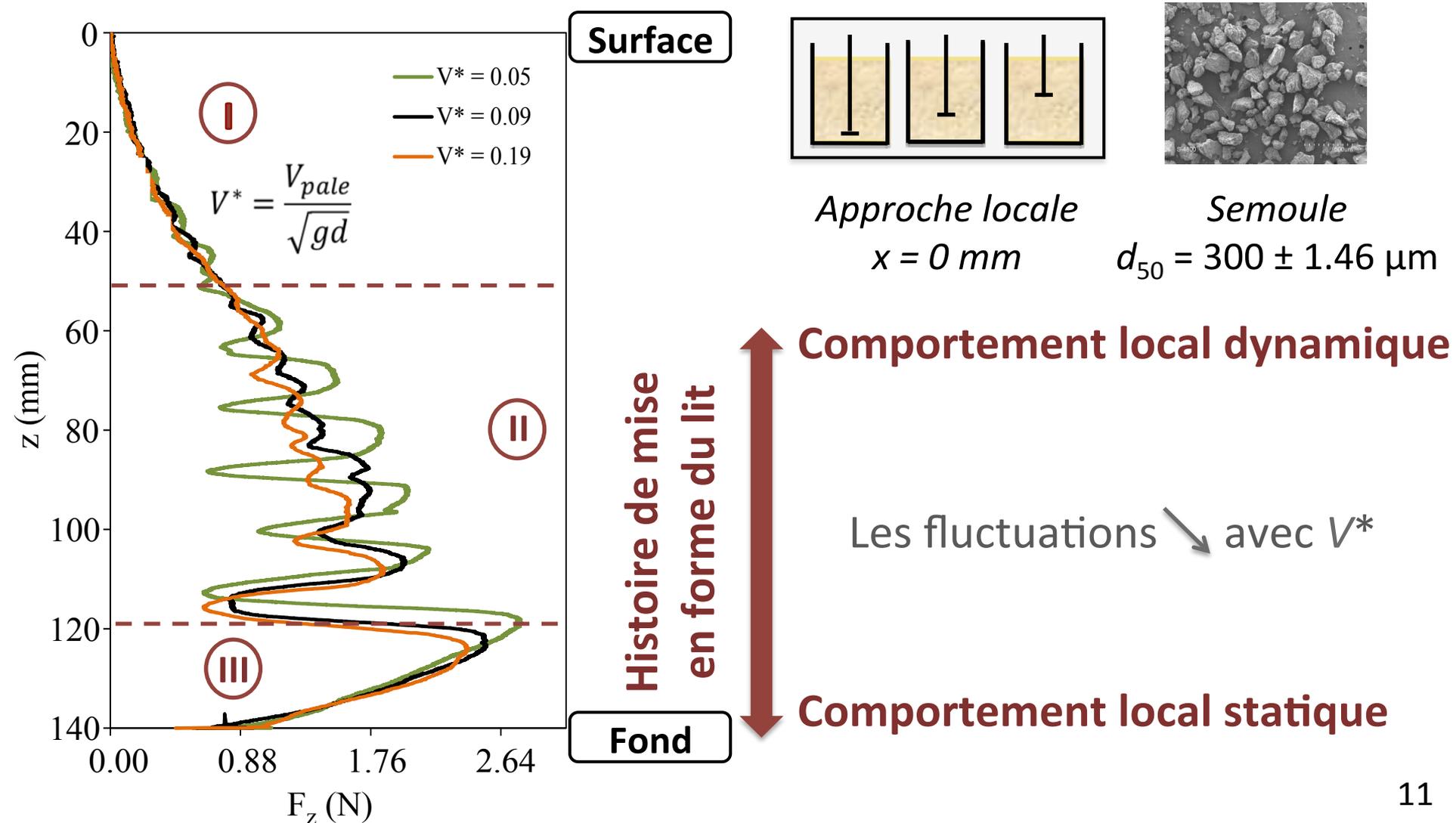
Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



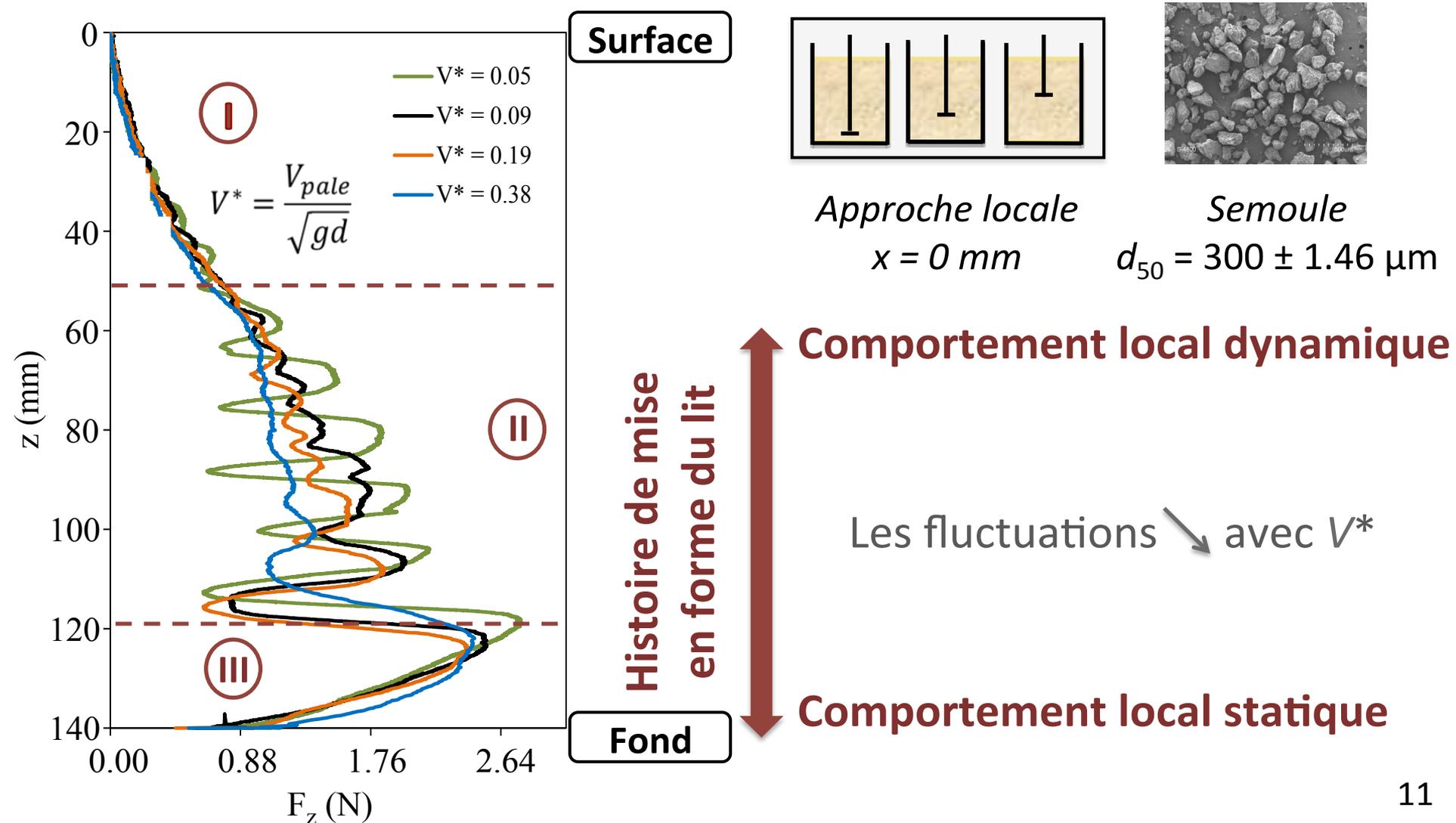
Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



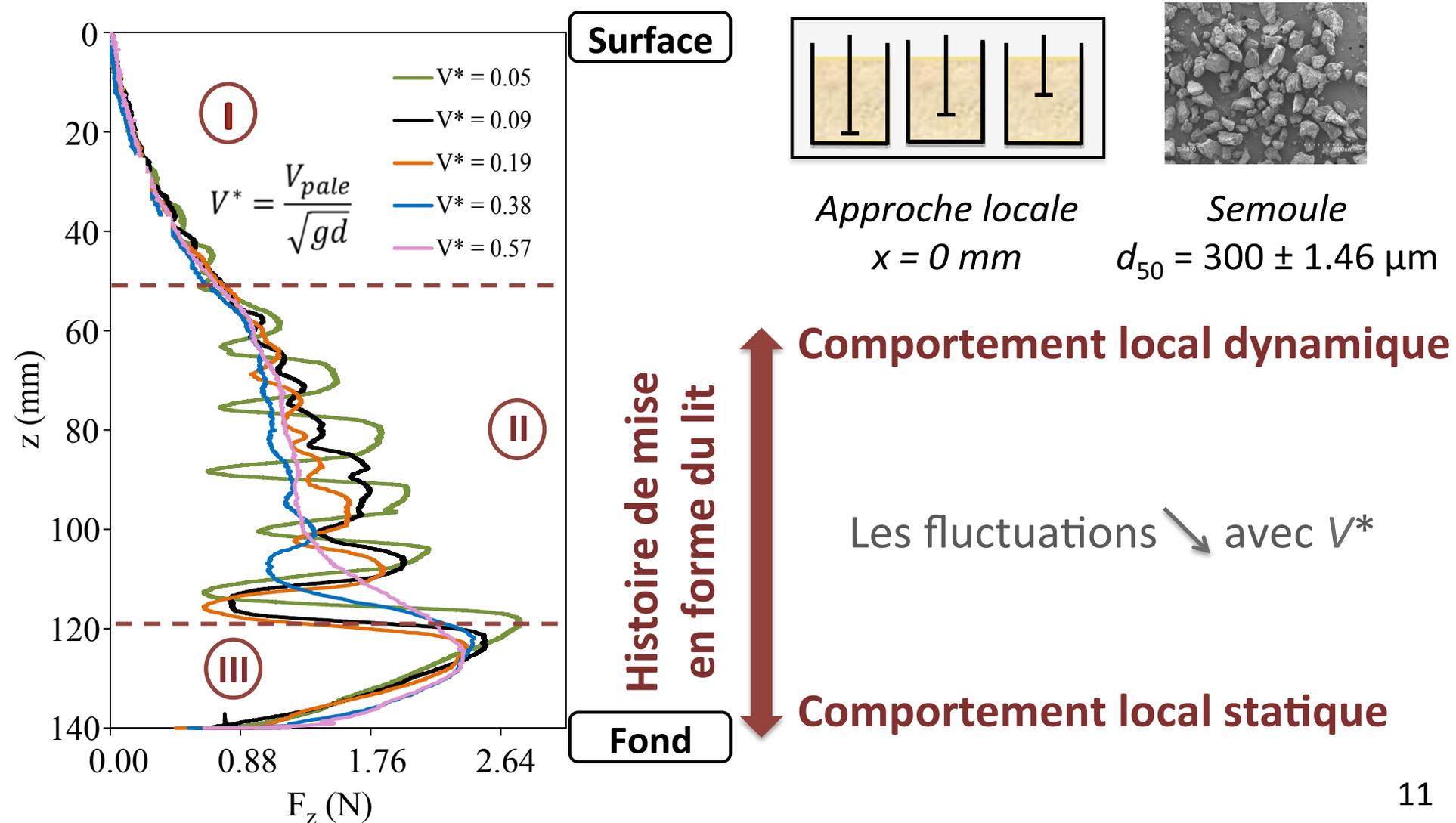
Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



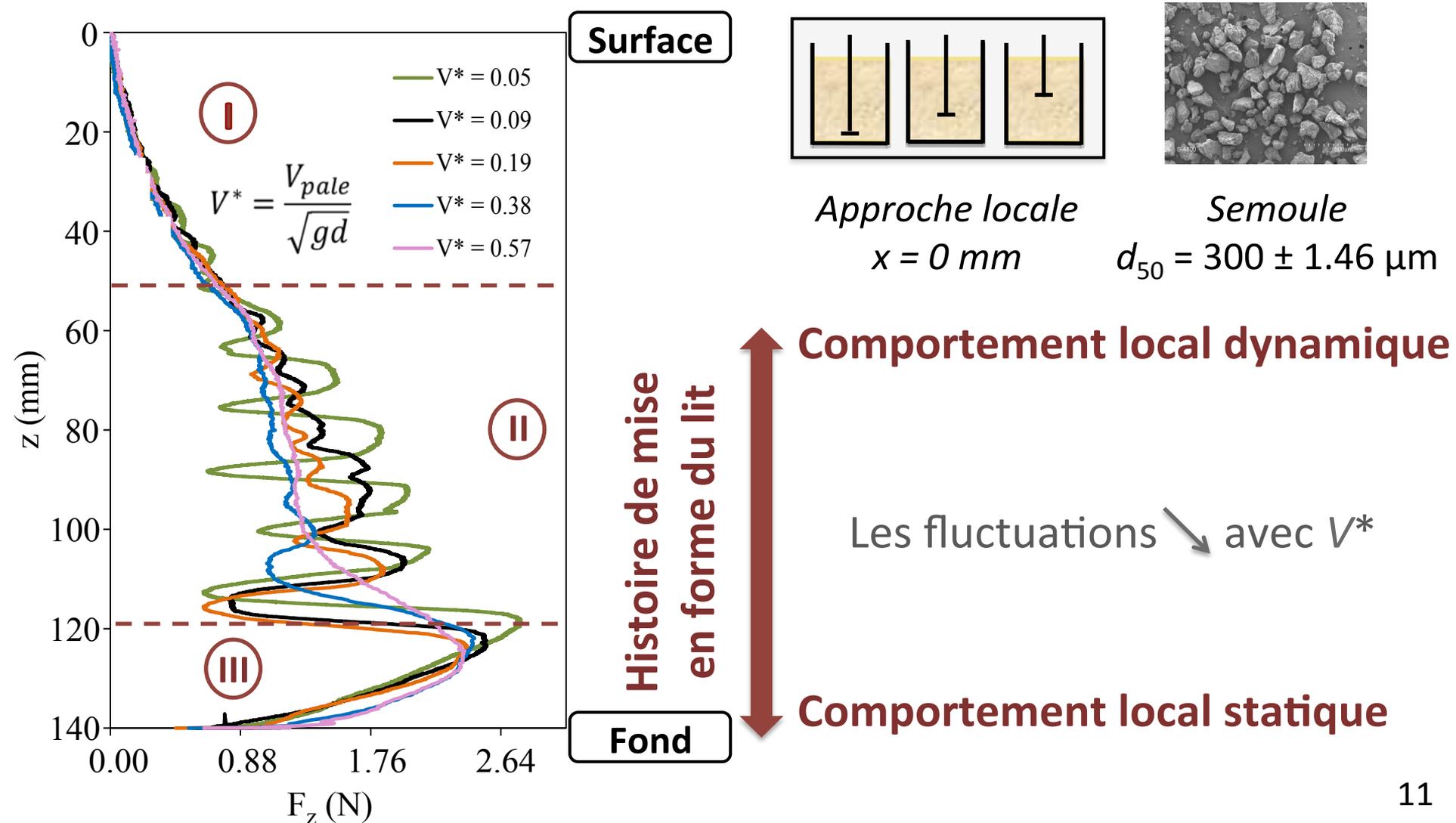
Exemple de résultats

Etat mécanique en dynamique



Exemple de résultats

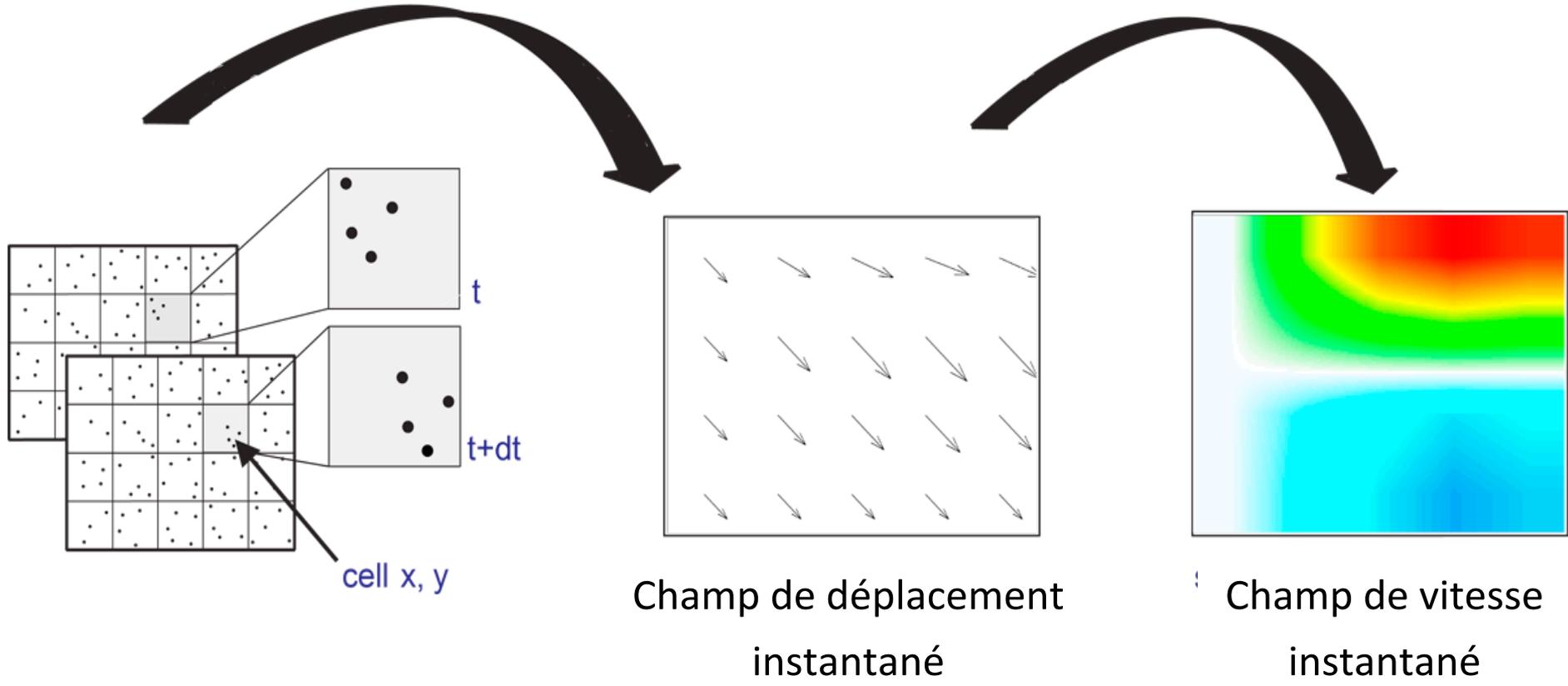
Etat mécanique en dynamique



Principe de la PIV*

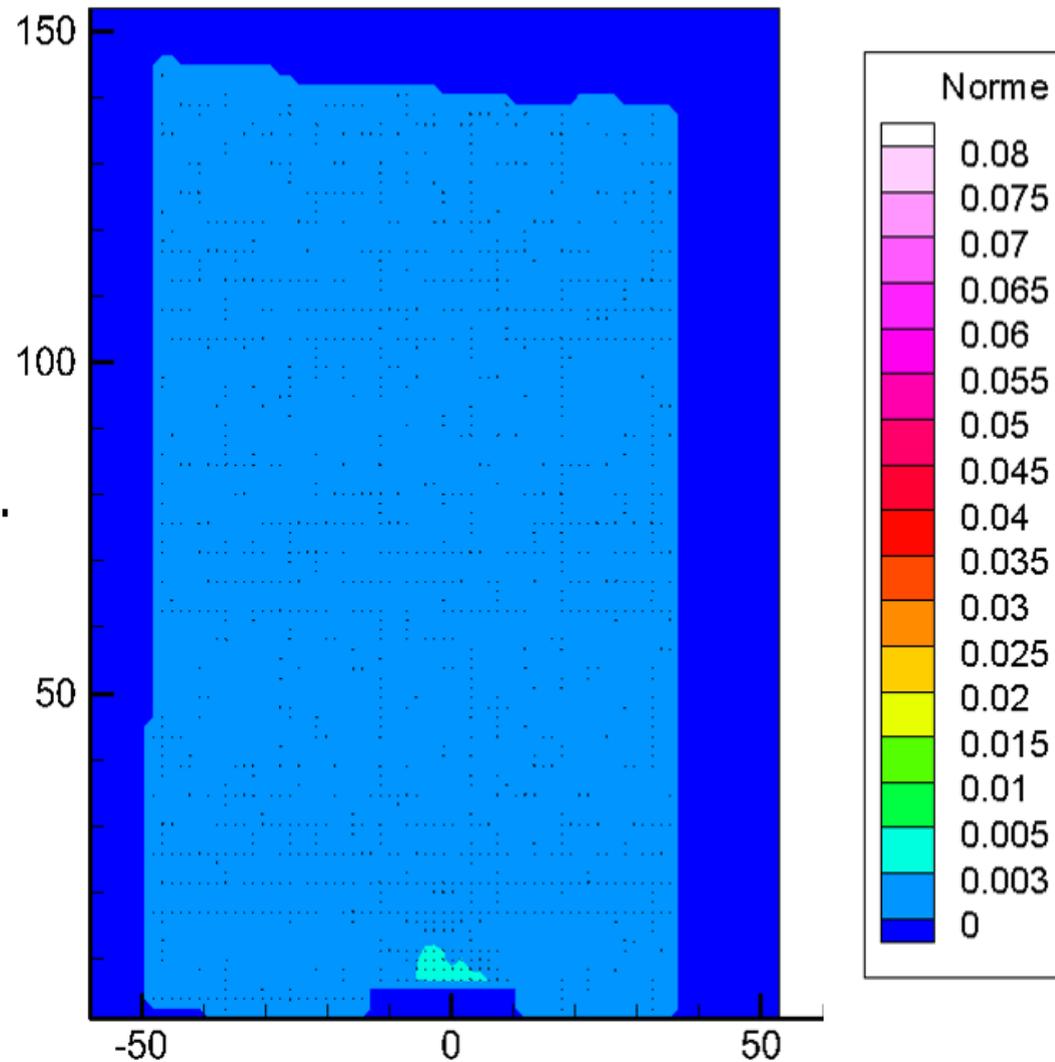
Corrélation croisée

Déplacement / dt



* PIV : Particle Image Velocimetry

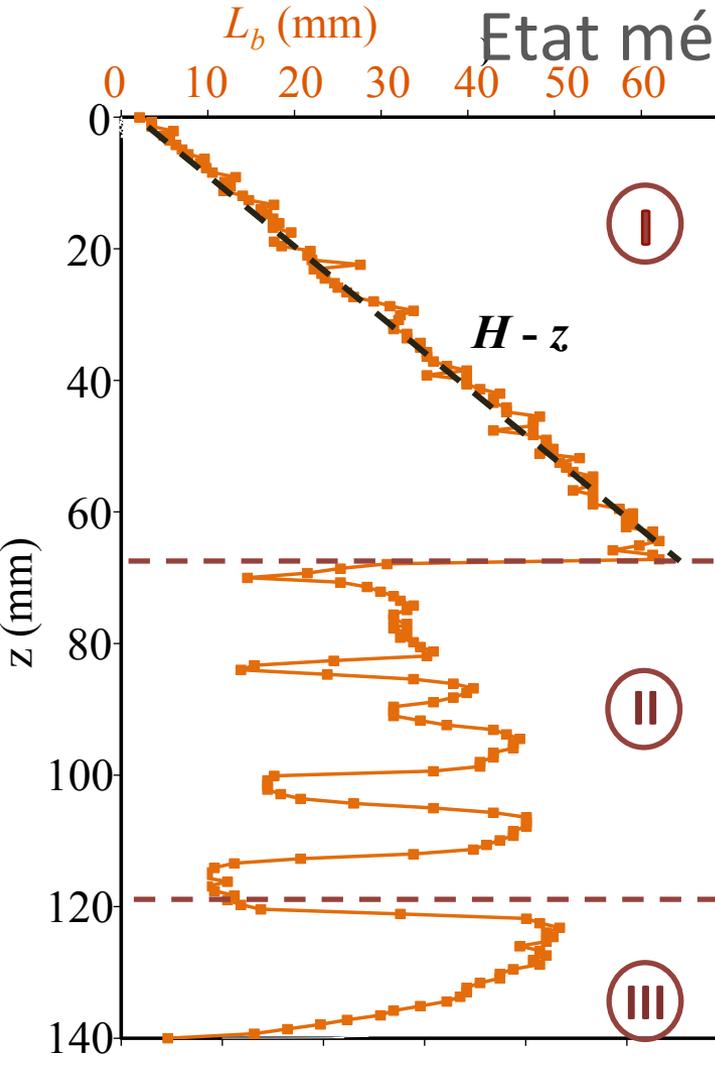
Résultat PIV*



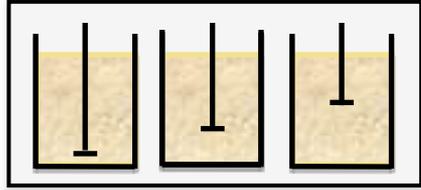
* PIV : Particle Image Velocimetry

Exemple de résultats

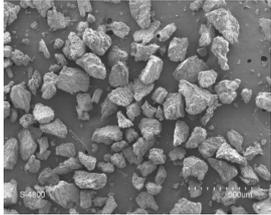
Etat mécanique en dynamique



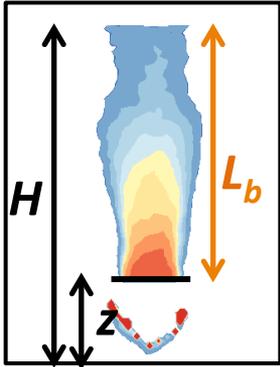
Surface



Approche locale
 $x = 0$ mm



Semoule
 $d_{50} = 300 \pm 1.46 \mu\text{m}$



Le gradient de vitesse L_b

3 zones

↔ La portée de la pale

Fond