

# Caractérisation de l'aéraulique d'une installation de grand volume

## Mesures et modélisation

Cyril CHEVARIN, Pierre-Sylvain MIRADE

UR 370 QuaPA,  
F-63122 St Genès Champanelle



Séminaire SIMPFRI  
14 mai 2007, Laschamps

1/17

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT



# Introduction, Problématique

## Objectif:

➤ Etudier les écoulements et les transferts de chaleur et de matière dans des équipements frigorifiques de grands volumes.

➔ **Tâche 2B : Comprendre et prédire les écoulements et les transferts dans les grands volumes,**

➔  **dans le but:**

- i) de disposer d'outils de dimensionnement et de simulation utilisable en ingénierie,
- ii) d' identifier des zones susceptibles de favoriser le développement de contaminations,
- iii) de mieux maîtriser les opérations de nettoyage.

# Introduction, Problématique

Mon **étude** est basée sur une configuration de type **chambre froide** remplie d'un **empilement modèle** et se compose de **2 parties** :

- **Une étude numérique** via le logiciel Fluent visant à bâtir des **modèles** pour déterminer les **champs de vitesse**, de **température** et **d'humidité**,
- **Une étude expérimentale** visant à constituer une base de données qui servira à valider les résultats obtenus lors de la simulation.  
Pour cela, des **mesures des champs de vitesse** et une **caractérisation dynamique de l'empilement *in situ*** ont été réalisées.

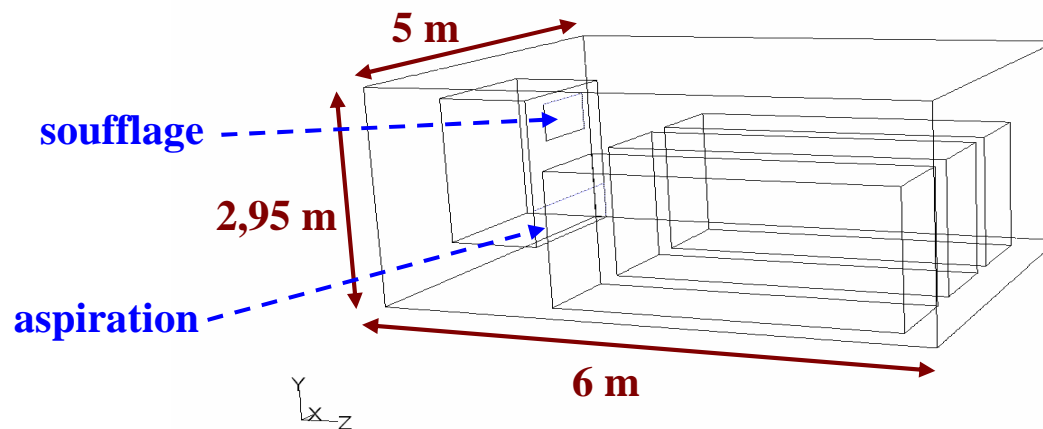
# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

- ❑ **Introduction et problématique**
- ❑ **Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes**
  - ▶ Configuration géométrique de type chambre froide
  - ▶ Méthode numérique de simulation (maillage, conditions limites)
  - ▶ Résultats et discussions (comparaison modèle et mesures)
- ❑ **Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ***
  - ▶ Mesures de pertes de charge en soufflerie
  - ▶ Détermination des coefficients de Forchheimer
  - ▶ Mesures et détermination des coefficients de transfert de chaleur
- ❑ **Conclusions et perspectives**

# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Géométrie de la chambre froide:

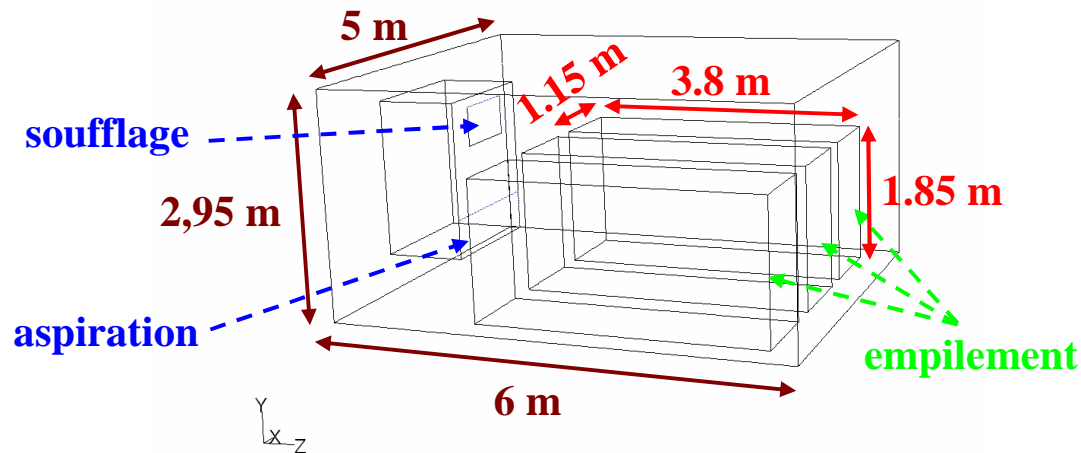
- Les dimensions de l'enceinte climatique dans laquelle nous travaillons sont de **6 m** de long (Z) par **5 m** de large (X) par **2,95 m** de haut (Y).
- Le système de ventilation que nous avons conçu possède :
  - 2 gaines de soufflage de 315 mm de diamètre qui débouchent sur un **divergent** de section de sortie  $930 \times 515 \text{ mm}^2$ ,
  - 2 gaines d'aspiration fixées sur un **convergent** de section  $1750 \times 515 \text{ mm}^2$ .



# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Géométrie de la chambre froide:

- **L'empilement** est constitué de 3 piles de  $1.15 \times 1.85 \times 3.8 \text{ m}^3$  possédant des **parois ajourées** et contenant des **cylindres disposés en quinconce** sur des **claires**.
- Chaque pile est composée de 2 rangées de 6 claires empilées sur 17 niveaux.
  - Chaque claire dispose de 21 **cylindres** de **diamètre 10 cm** et de **hauteur 4,5 cm**.
- L'empilement est sensé représenter un chargement de type « **cagettes ajourées** » remplies de produits alimentaires.



# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Moyens et dispositifs de mesures:

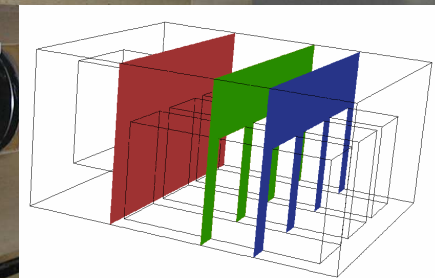


➤ Dans la chambre froide, nous avons réalisé des mesures dans les endroits :

• devant les piles pour déterminer les vitesses d'entrée du fluide dans le modèle,

• à l'intérieur des piles pour définir le profil de l'écoulement,

• au milieu des piles (à 100 mm des faces latérales au flux d'entrée) et à 100 mm devant et derrière les piles et au milieu des piles.

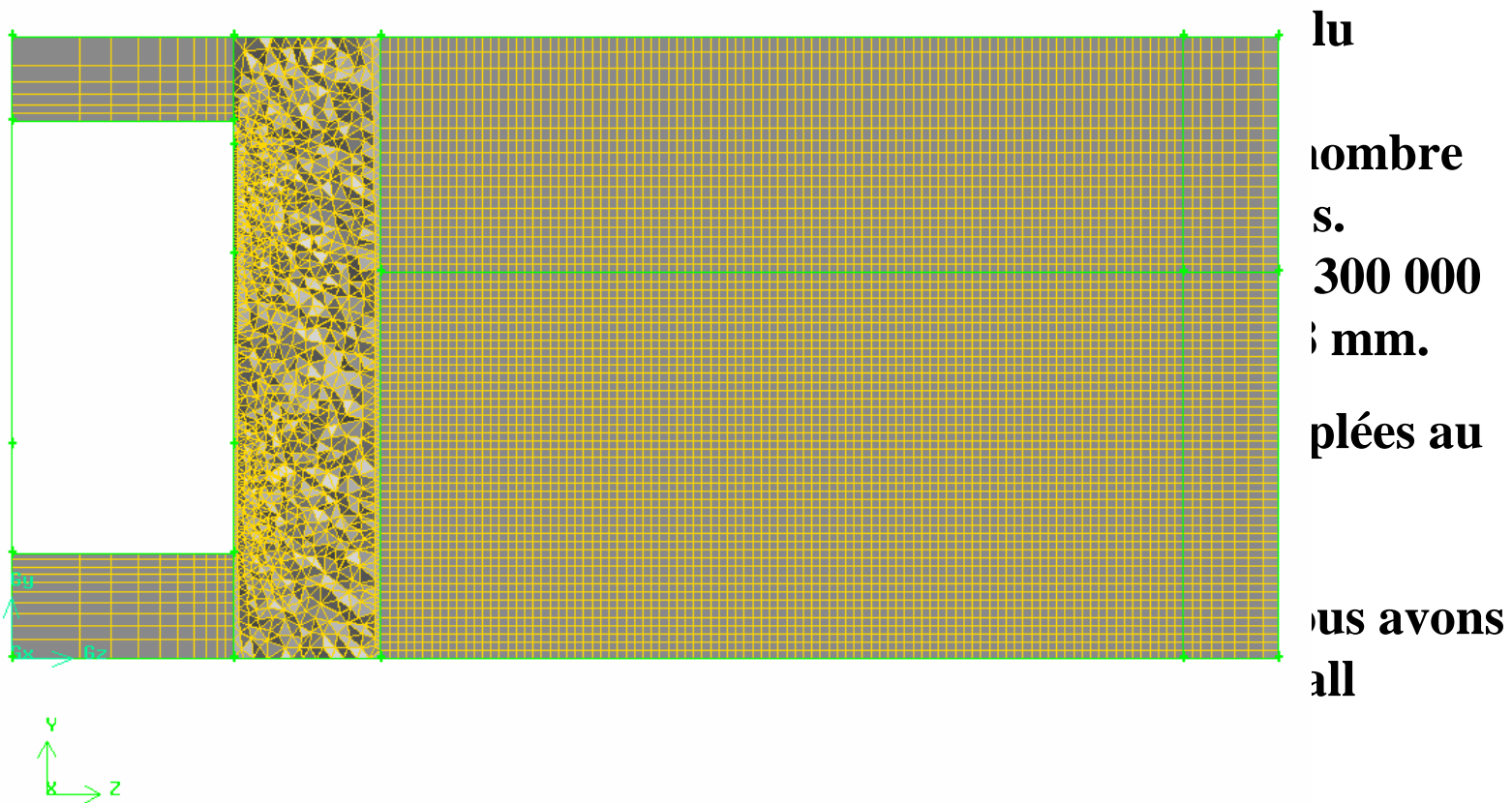


➤ Ces mesures ont été effectuées par des **sondes anémométriques à film chaud** du type TSI 8465. Un dispositif de déplacement automatisé a été utilisé pour réaliser les différents plans et points de mesures.

# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Méthode numérique

- **La première étape est de subdiviser le volume en mailles.**
  - Nous avons utilisé un nombre de mailles de l'ordre de 300 000 mailles.
- **La seconde étape est de définir les conditions aux limites.**





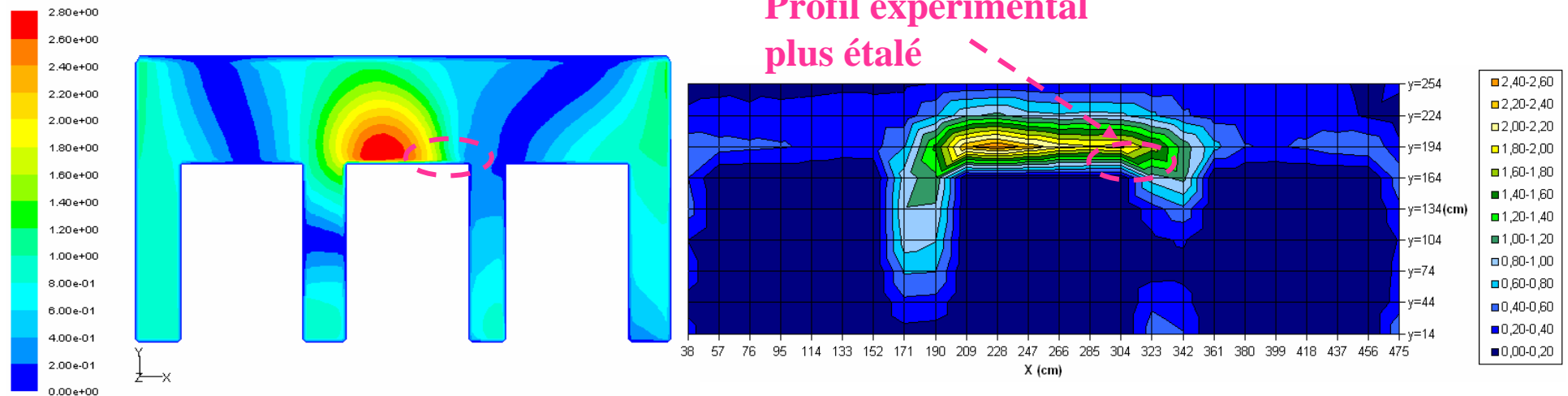
# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Résultats et discussions:

➤ Comparaison modèle et mesures du champ des vitesses sur une coupe verticale située en  $z=3.5\text{m}$  (au milieu de l'empilement)

❖ flux d'entrée du modèle normal à la section du divergent:

➔ **Champ des vitesses modèle supérieur aux mesures (piles = mur)**



➔ **Profil d'entrée à orienter et à élargir**

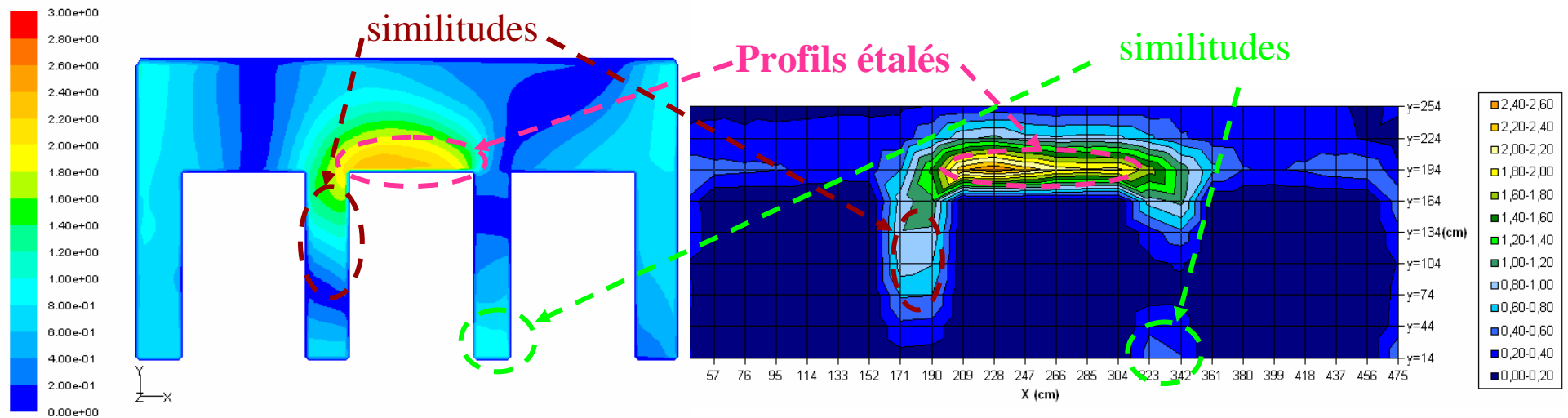
# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Résultats et discussions:

➤ Comparaison modèle et mesures du champ des vitesses sur une coupe verticale située en  $z=3.5\text{m}$  (au milieu de l'empilement)

❖ flux d'entrée modèle orienté selon l'ouverture du divergent :

➔ **Champ des vitesses modèle plus proche des mesures**



➔ **bonne approche de la réalité mais à améliorer**

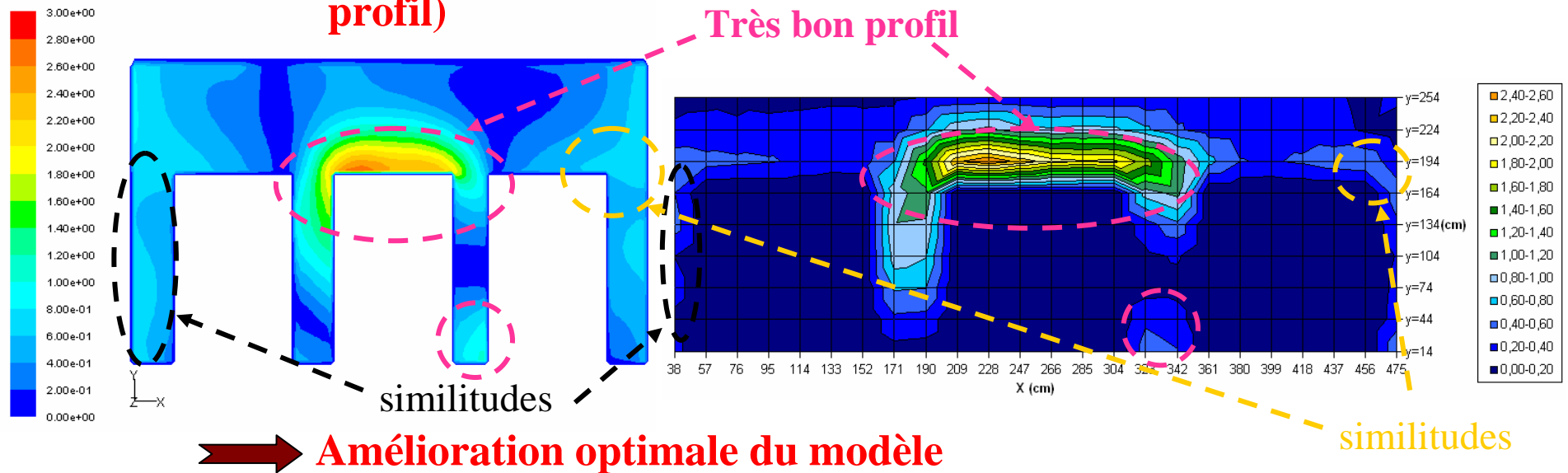
# Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes

## Résultats et discussions:

➤ Comparaison modèle et mesures du champ des vitesses sur une coupe verticale située en  $z=3.5\text{m}$  (au milieu de l'empilement)

❖ flux d'entrée orienté et turbulence modifiée ( $I=20\%$  et  $L=5\text{cm}$ ) :

➔ **Champ des vitesses modèle très proche des mesures (valeurs et profil)**



# Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ*

- ❑ **Contexte et problématique**
- ❑ **Etudes expérimentales et numériques des écoulements dans les grands volumes**
  - ▶ Configuration géométrique type chambre froide
  - ▶ Méthode numérique de simulation (maillage, conditions limites)
  - ▶ Résultats et discussions (comparaison modèle et mesures)
- ❑ **Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ***
  - ▶ Mesures de pertes de charge en soufflerie
  - ▶ Détermination des coefficients de Forchheimer
  - ▶ Mesures et détermination des coefficients de transfert de chaleur
- ❑ **Conclusions et perspectives**

# Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ*

## Mesures de pertes de charge :

- L'effet de l'empilement face à l'écoulement turbulent est représenté par des pertes de charge fonction de la vitesse selon la loi :

$$\Delta P = 0.5 K \rho V^2$$

avec  $V$  vitesse (m/s),  $\rho$  masse volumique (kg/m<sup>3</sup>),  $K$  coefficient de pertes de charge ([ ]).

- Ces dernières ont été mesurées en soufflerie à l'aide d'un manomètre pour 2 directions d'écoulement (X et Z étant identiques). La résistance à l'écoulement a été évaluée pour les parois ajourées seules et pour le contenu de l'empilement seul en faisant varier la longueur du lit et la vitesse d'écoulement.

Mesure de pertes de charge

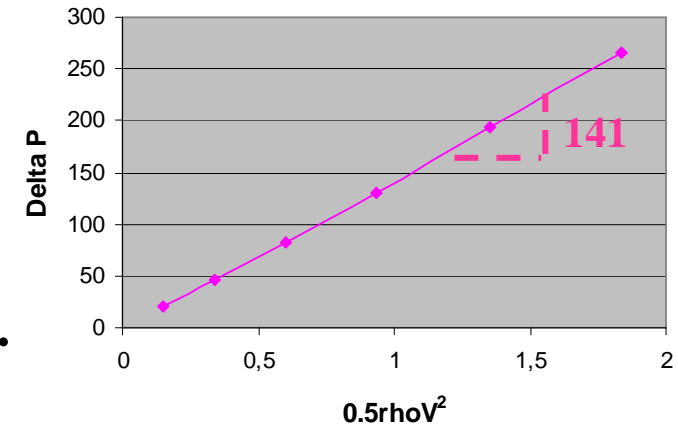
Mesure de vitesse



# Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ*

## Détermination des coefficients de Forchheimer :

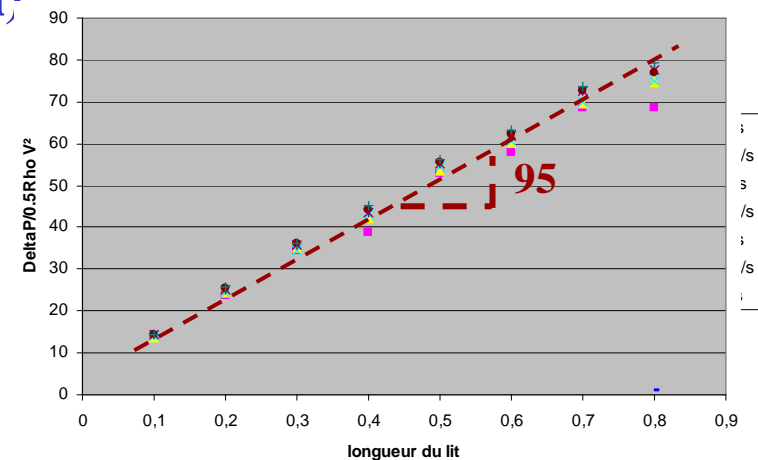
➤ **Parois ajourées seules :** (Rappel :  $\Delta P = 0.5K\rho V^2$ )  
La mesure des pertes de charge nous donne un **coefficient de pertes de charge** d'environ **70** pour une seule paroi. Cette valeur va nous permettre de rentrer les caractéristiques des parois du modèle.



➤ **Empilement seul :** (cas de l'écoulement vertical)  
Les pertes de charge varient linéairement avec la longueur du lit pour les différentes vitesses :

➔  $\Delta P / \Delta x = 0.5K'\rho V^2$  avec  $K'$  coefficient de Forchheimer ( $m^{-1}$ ) (loi de Forchheimer).

La valeur du **coefficient de Forchheimer** ainsi obtenu est égale à **95  $m^{-1}$** .

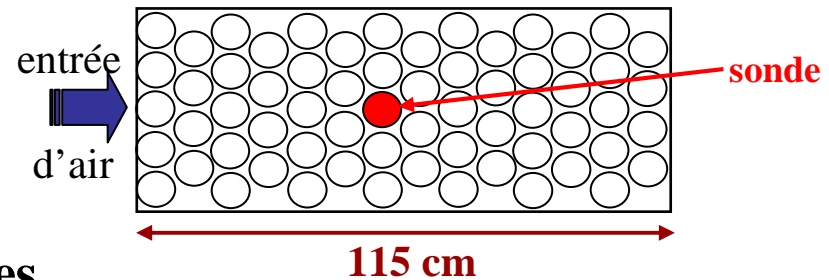


# Caractérisation dynamique de l'empilement *in situ*

## Détermination des coefficients de transfert de chaleur:

### ➤ Mesures en soufflerie :

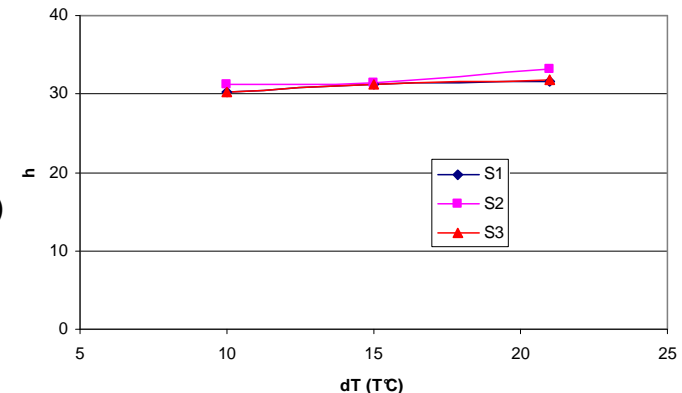
Le **transfert thermique** est mesuré par des **cylindres en aluminium** équipés d'un **thermocouple** et chauffés par une **résistance électrique**. Ces sondes sont ensuite introduites dans l'empilement. A vitesse fixée ( $V=1.5\text{m/s}$ ), nous faisons varier la tension aux bornes des résistances.



### ➤ Calcul des coefficients $h$ :

$h = Q/A * (T_{\text{cylindre}} - T_{\text{air}})$  avec  $Q$  puissance de chauffage (W),  
 $A$  surface d'échange ( $\text{m}^2$ ),  $T_{\text{cylindre}}$  température du cylindre chauffé ( $^{\circ}\text{C}$ )  
et  $T_{\text{air}}$  température de l'air ( $^{\circ}\text{C}$ ).

➔  $h = 31.3 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  et indépendant de  $\Delta T$ .



# Conclusions et Perspectives

- Nous avons caractérisé expérimentalement le champ des vitesses dans la chambre froide,
- Première approche de simulation de l'écoulement convaincante et encourageante,
- Nous avons déterminé les coefficients de pertes de charge.

## Perspectives :

- Modélisation complète du champ des vitesses (milieux poreux),
- Mesures et détermination des coefficients de transfert (à différentes vitesses),  
➔ caractérisation des vitesses dans l'empilement : **Validation modèle.**
- Modélisation des champs de température et d'humidité,
- Mesures des champs de température et d'humidité,  
➔ **Validation modèles de transfert.**





# Merci de votre attention



Séminaire SIMPFRI  
14 mai 2007, Laschamps

17/17

ALIMENTATION  
AGRICULTURE  
ENVIRONNEMENT

