

Aérocontamination dans les chambres froides

Phénomène de dépôt et de captation sur des parois solides de
particules contaminantes aéroportées

Fabien Chorel, Alain Kondjoyan, Pierre-Sylvain Mirade
INRA-QuaPA - 63122 St Genès Champanelle



Séminaire SIMPFRI
14 Mai 2007, Laschamps

1/15

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



PLAN

✱ Présentation du problème

- **Aérocontamination des surfaces**
- **Type et taille des particules contaminantes**
- **Différents phénomènes permettant le dépôt**
- **Les phénomènes en fonction des tailles des particules**
- **2 phénomènes de dépôt : interception et impaction**

✱ Bibliographie

- **Présentation des principales bibliographies liées au problème**
- **La biblio choisit**
- **Le montage expérimental**
- **Paramétrisation**
- **Résultats expérimentaux / comparaison avec la « théorie »**

✱ Travaux en cours

Présentation du problème

Aérocontamination des surfaces

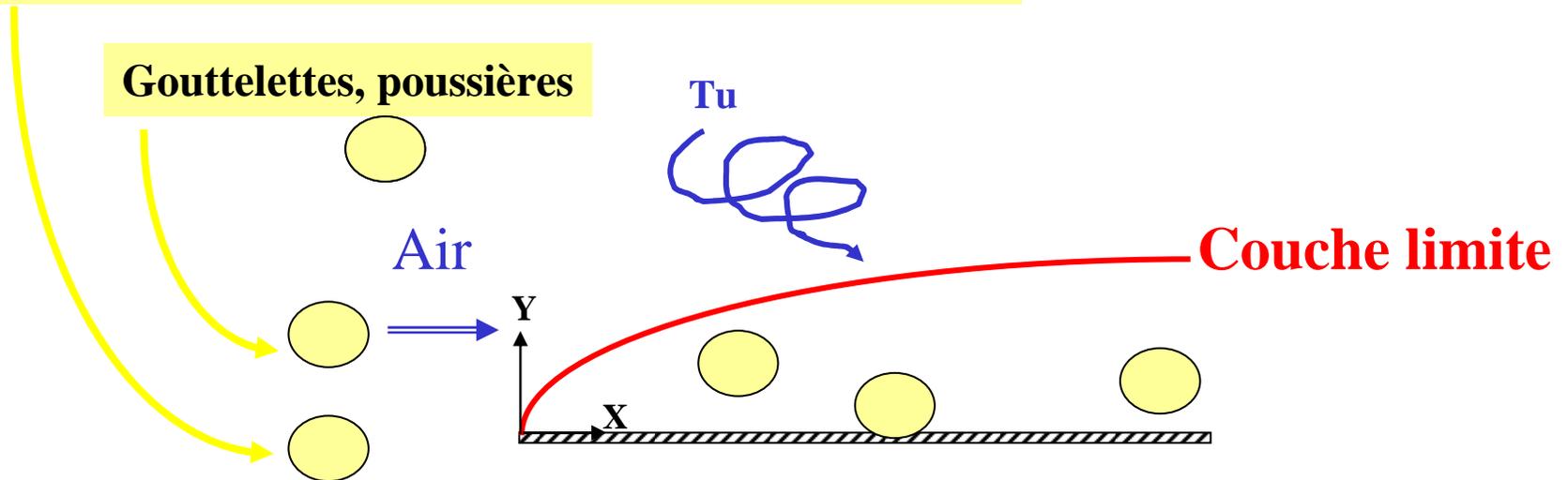
Micro-organismes (bactéries, biofilms , moisissures)

Gouttelettes, poussières

Air

Tu

Couche limite



Les phénomènes dépendent de :

- (1) l'écoulement à l'approche de la paroi, finesse de la description de la **couche limite**, différences en fonction de L_{car} (biocollecteur différent d'une paroi de la salle)
- (2) la nature de la particule (taille, forme, densité...) et son mouvement propre.

Présentation du problème

Types et taille des particules contaminantes

- **Bactéries** : 1 μm à 5 μm
 - **Moisissures** : 5 μm à 50 μm
 - **Gouttelettes - Poussières** : 50 μm à 100 μm voire plus
Grosse particule : problématique du nettoyage, pas celle du stockage/transport en réfrigération (elles ne sont plus aéroportées)
- ➔ **taille des particules choisit [1;60] μm**

Hypothèses: Les particules sont supposées **sphériques individualisées** (pas d'agglomération)

Pas d'évaporation des gouttelettes lors du transport (chambre froide)

**On choisit ➔ densité des particules = densité de l'eau
= 1000kg.m⁻³**

Présentation du problème

Différent phénomène permettant un dépôt

Approche de la paroi

La particule doit s'approcher suffisamment près de la paroi (quelques nm) pour adhérer et donc « vaincre les effets de viscosités potentiels liés à l'existence de la **couche limite** ».

- ✿ **Sédimentation**
- ✿ **Inertie – impaction**
- ✿ Diffusion Brownienne
- ✿ **Intermittences et « Diffusion » liés à la turbulence**
- ✿ Proximité immédiate interactions particules/paroi (Fvdw, Felectro...)

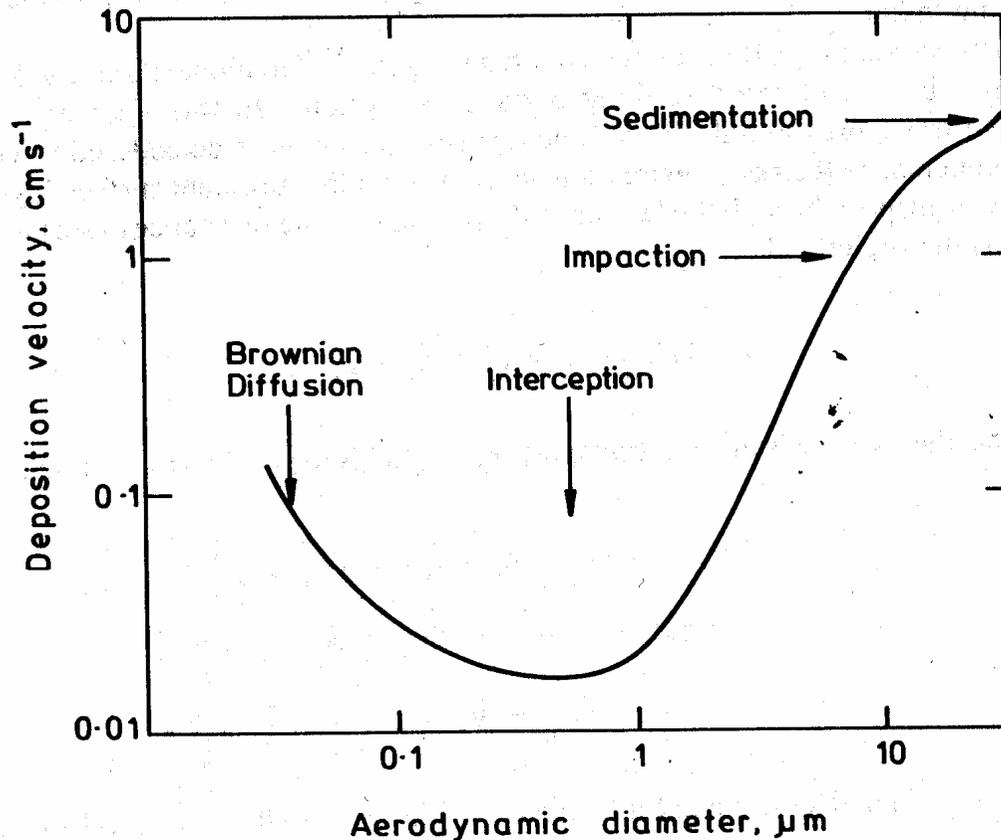
$$V_{\text{dep}} = \Phi_{\text{dep}} / C$$

Pas de rebond ni de remise en suspension

(toute particule qui touche la paroi est piégée et reste sur cette paroi)

Présentation du problème

Phénomènes en relation avec la taille des particules



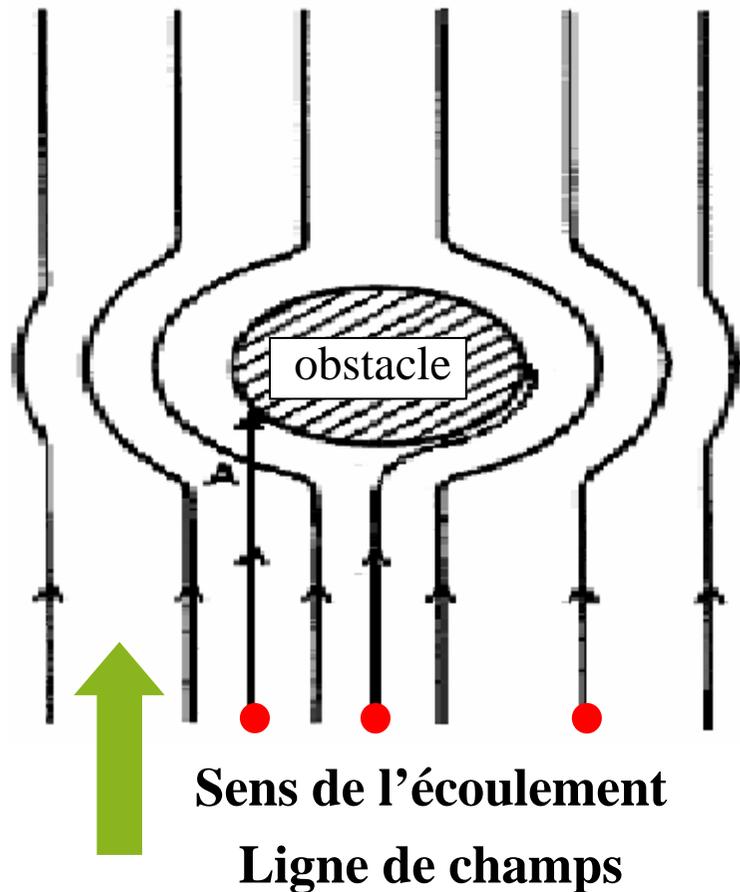
Vitesse de dépôt et phénomènes qui rentrent en jeu en fonction du diamètre de la particule

Phénomènes intervenant dans le dépôt :

- l'**interception** pour les bactéries
- l'**impaction** et la **sédimentation** pour les moisissures

Présentation du problème

Interception et impaction



Représentation schématique
des phénomènes
d'interception et d'impaction
en surface d'un cylindre

Interception: uniquement pour
les particules qui passent très
proche de l'obstacle

Impaction: pour les grosses
particules qui sont entraînées
par leur inertie

Bibliographie expérimentale

Présentation des principaux articles liés au problème

Auteurs, Année	Configuration expérimentale	Résultats - Conclusions
May & Clifford, 1967 [9]	Gouttelettes d'eau 20-40 μm , vitesse = 2-6 m/s en impaction sur des rubans, cylindres.	Différences significatives selon la forme de la surface impactée.
Aylor & Ferrandino, 1985 [12]	Spores de Lycopodium de 20-30 μm et pollen en impaction sur des cylindres et des sphères.	Effet de rebond augmentant avec la taille des particules et vitesse des particules.
Liu & Agarwal, 1974 [11]	Gouttelettes d'huile de 1.4-21 μm Re = 10 000 et 50 000. Déposition sur la paroi interne d'un tuyau creux.	Résultats présentés sous la forme de relation $V^+ = f(\tau^+)$.
Well & Chamberlain, 1967 [10]	Gouttelettes de 0.6 μm à 5.0 μm Vitesse = 0.5 à 27.6 m/s, Déposition sur la paroi interne d'un tuyau creux.	Corrélations simples, effet important de la rugosité de la paroi sur le % de dépôt.

Pour l'impaction:

Difficulté de généraliser car les géométries des collecteurs sont très différentes ou/et les vitesses sont élevées / Corrélations « générales » fonction de la dimension du collecteur : L_{car}

Bibliographie expérimentale

Benjamin Y. Liu et Jugal K. Agarwald **1.27cm**

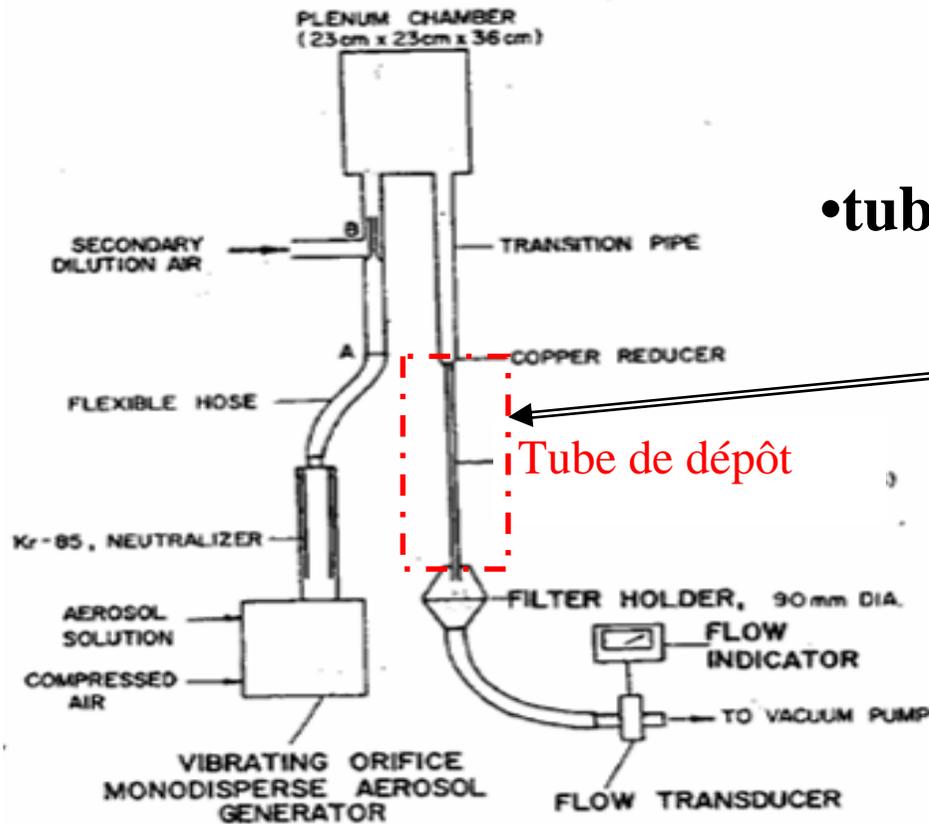


Fig. 1. Experimental system.

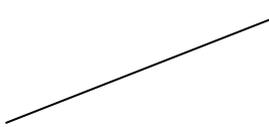
- Aérosol utilisé : mélange d'uranine et de particules d'huile d'olive de dimension $1.4 \mu\text{m}$ à $21 \mu\text{m}$
- tube de dépôt de dimension 1.27 cm

Vitesse écoulement dans le tube de dépôt :
 $v=10$ et 60 m.s^{-1}

Écoulement turbulent

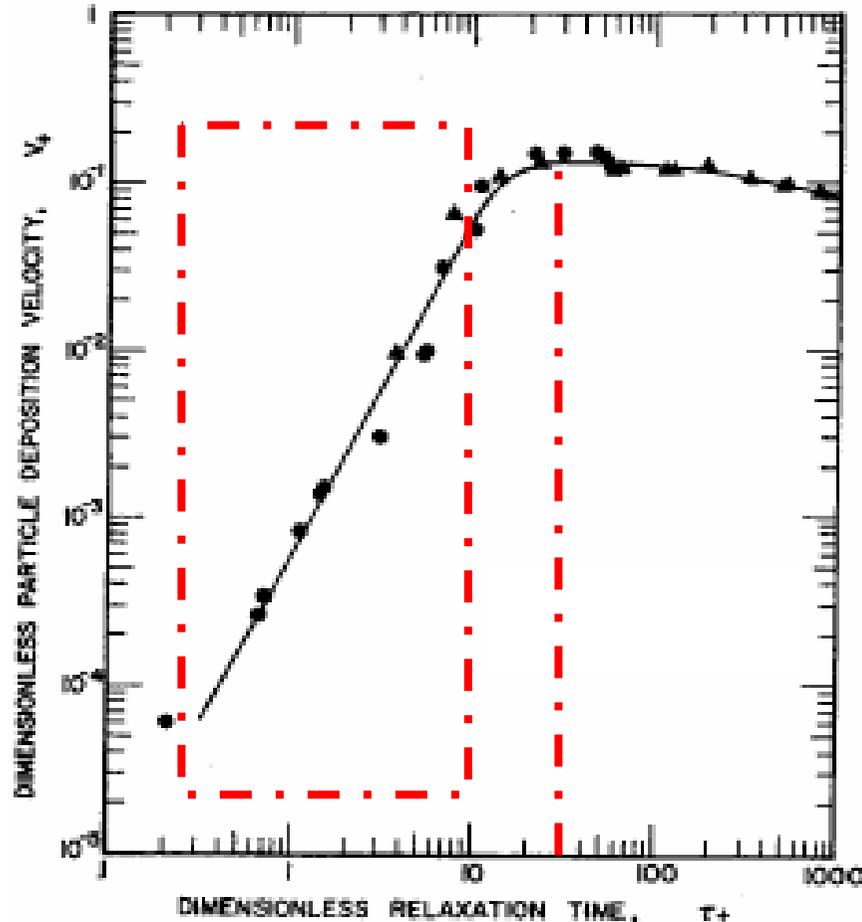
Bibliographie

Paramétrisation

	Normal	adimensionnel
<u>Vitesse de dépôt :</u>	$V = \frac{Q}{\pi DL} \ln(1/P)$ <p>P : fraction de pénétration</p>	$V_+ = \frac{V}{v_*}$
<u>Temps de relaxation des particules :</u>	$\tau = \frac{2\rho_p a^2 C}{9\mu}$ <p><i>(temps mis par la particule pour changer sa vitesse sous l'effet d'une perturbation)</i></p>	$\tau_+ = \frac{\tau v_*^2}{\nu}$
<u>Vitesse de friction :</u>	$v_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$ <p>ou</p> $v_* = (f/2)^{0.5} \bar{u}$	

Bibliographie

Résultats expérimentaux



Relation expérimentale entre vitesse de dépôt des particules adimensionnelle V_+ et le temps de relaxation adimensionnel τ_+

$$V_+ = f(\tau_+)$$

- Reynolds $R_e = 10\,000$
- ▲ Reynolds $R_e = 50\,000$

Maximum pour $\tau_+ = 30$

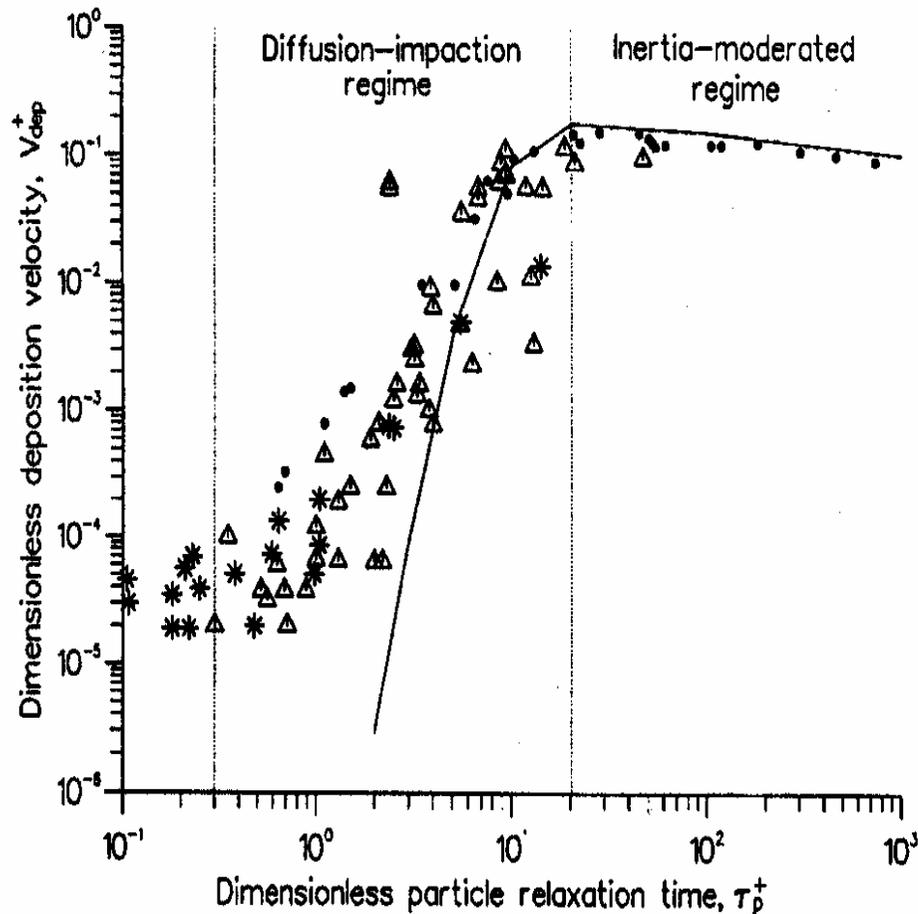
Pour $\tau_+ < 10$ rapide augmentation de V_+

La vitesse de dépôt augmente avec le carré du temps de relaxation

$$V_+ = (6 * 10^{-4}) \tau_+^2$$

Bibliographie

Comparaison avec d'autres théories



Résultat de Well & Chamberlain, 1967 [10] et Liu & Agarwal, 1974 [11]

Les deux relevés de point sont assez proches et décrivent une même courbe.

En trait continu est proposé une modélisation, qui ne sera pas utilisé car il est très difficile de l'implanter.

➡ ces « courbes » montrent qu'il est possible de se mettre d'accord sur une théorie de l'effet de la turbulence sur la captation.

Travaux en cours

On veut modéliser l'écoulement du mélange air + particules contaminantes dans un tuyau à l'aide de Fluent

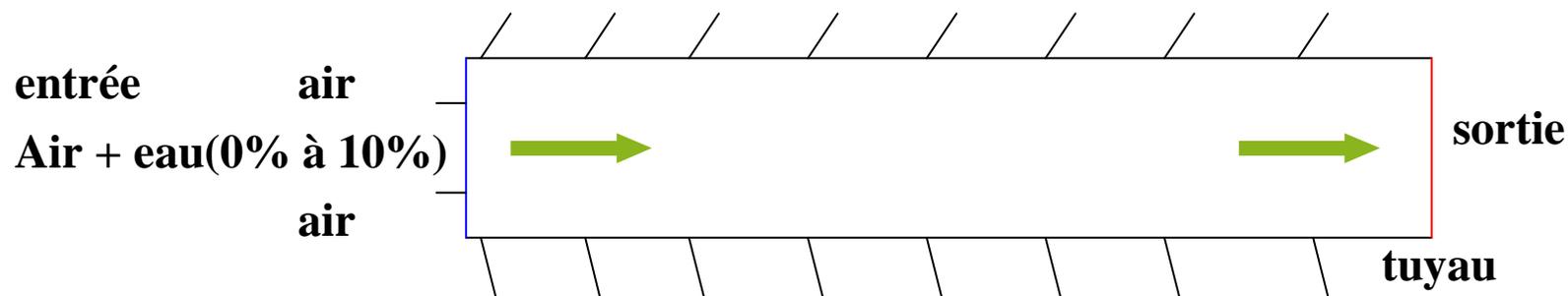
1 On choisit un écoulement d'air et on observe les profils de vitesse, de turbulence, ... pour les comparer à ceux d'un écoulement diphasique

2 On regarde ensuite la dispersion des particules dans un écoulement diphasique, on utilise le modèle Eulérien de Fluent avec

une phase principale : air

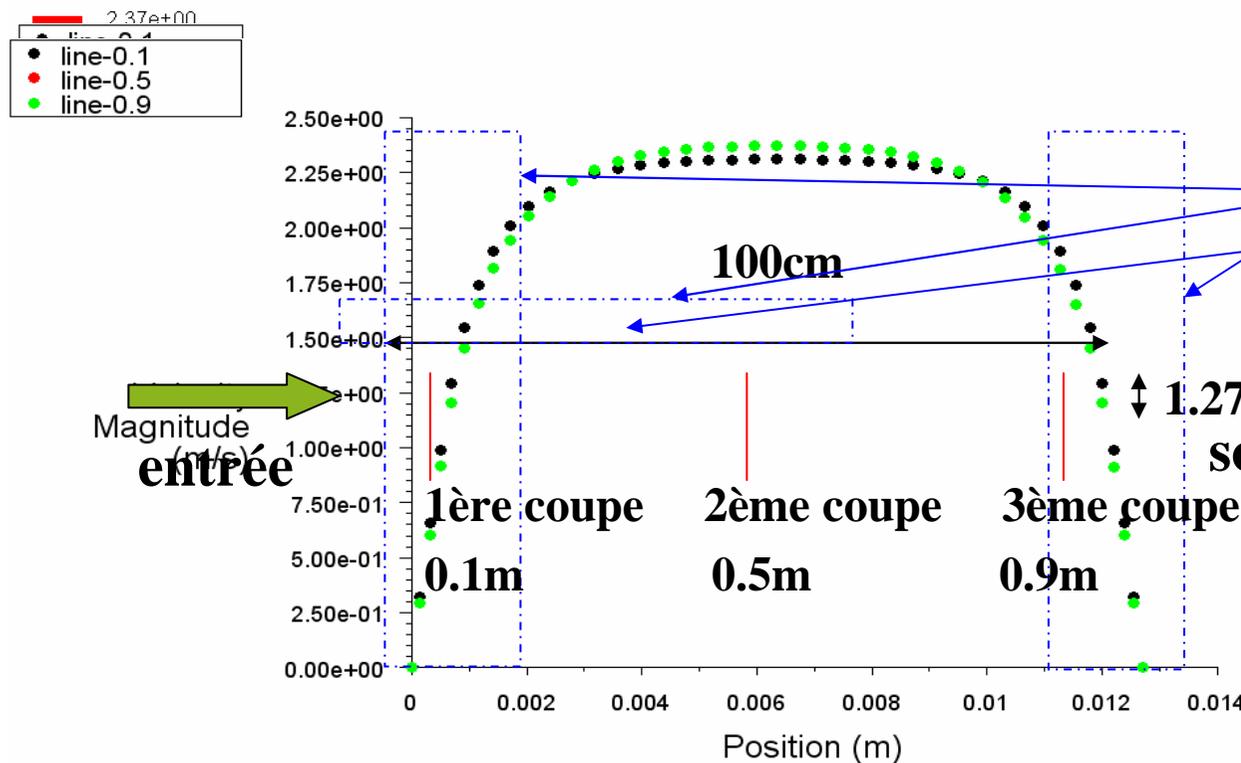
une phase secondaire diluée dans la première : eau

3 Une fois cette dispersion connue, on peut connaître le dépôt à la paroi



Premier résultat

Cas monophasique : écoulement d'air dans un tuyau



Géométrie:
Profil de turbulence
 Tuyau droit dans lequel
 on fait circuler de l'air
 Non fait circuler de l'air
 Etablissement de la
 Convergence vers une
 solution unique quelque
 soit les valeurs fixées
 Reynolds $R_e = 1700 m.s$
 initiales
 sortie

Écoulement turbulent
Tu=40% en entrée

Conclusion - Perspectives

Après 1 mois de stage : travaux sur la modélisation monophasique, écoulement turbulent dans un tuyau. Modélisation Eulérienne en cours

1 Modéliser les effets de la turbulence sous Fluent

par une approche Eulérienne

par une approche Lagrangienne

2 Modéliser les effets d'impaction



Création d'UDF (User Defined Function) si nécessaire

3 Modifier la géométrie du problème pour étendre le modèle au cas de la chambre froide :

-paroi, collecteur parallèle à la direction de l'écoulement.

-paroi, collecteur perpendiculaire à la direction de l'écoulement.