



Impact d'un jet compressible

Etude expérimentale aéro-thermique

M. Fénot,
X. T. Trinh
E. Dorignac

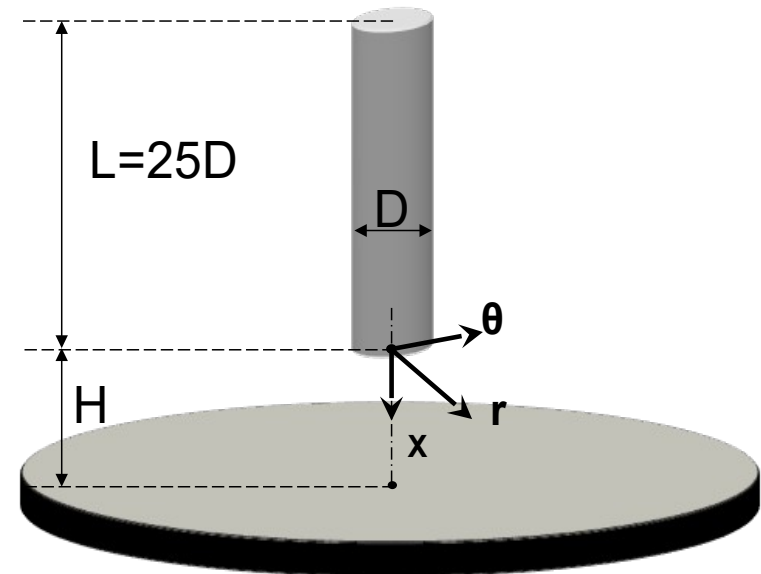
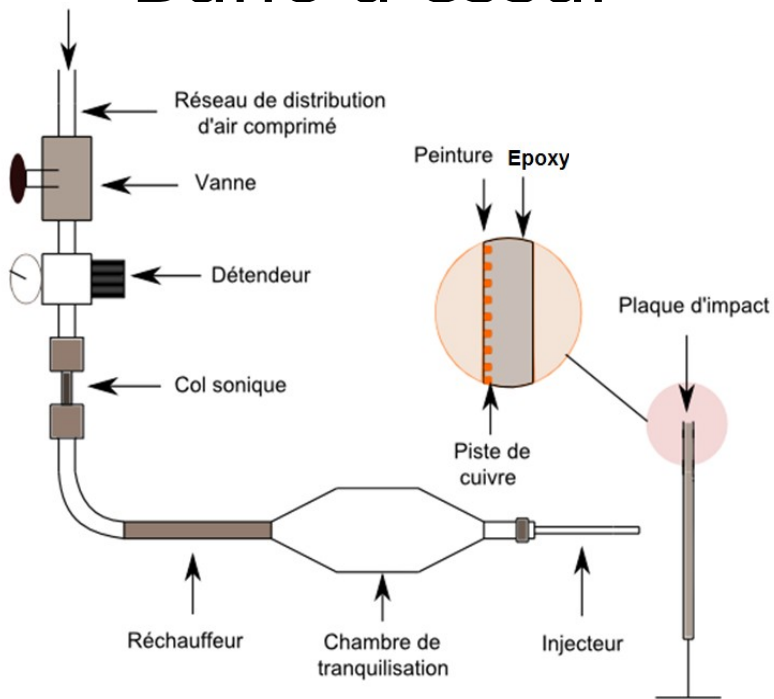
Journée SFT 20/10/2022



- Peu d'études expérimentales sur les effets thermiques de la compressibilités:
 - Résultats relativement contradictoires
 - Pas d'étude dynamique/thermique

| | Re_j | M_j | | |
|---------------|--------------|-----------|---|--|
| Brevet et al. | 7200→71500 | 0.35→0.69 | Injection tubulaire | $\nearrow qd M_j \nearrow$ |
| Goodro et al. | 60000 | 0.16→0.74 | Matrice de jets Perforations dans une plaque | $Nu \nearrow qd M_j \nearrow$ |
| Limaye et al. | 44000→221000 | 0.2→1 | Injection tubulaire | Effets de compressibilité fonction de H/D $Nu \nearrow qd M_j \nearrow$ au point d'impact $Nu \searrow qd M_j \nearrow$ loin du point d'impact |

○ Banc d'essai



- Aérodynamique: PIV:
 - Caractéristiques:
 - 25Hz (temps inter impulsion 0.7 μ s)
 - Particules d'huile $\sim 1\mu$ m;
 - Exploitation:
 - moyenne sur 3000 images, Traitement:
adaptive cross-correlation 64x64 à 16x16 –
overlap 50%,
 - resolution spatiale: $\Delta X \approx 0.015D$

○ Thermique:

- Détermination de T_{ref} et h :

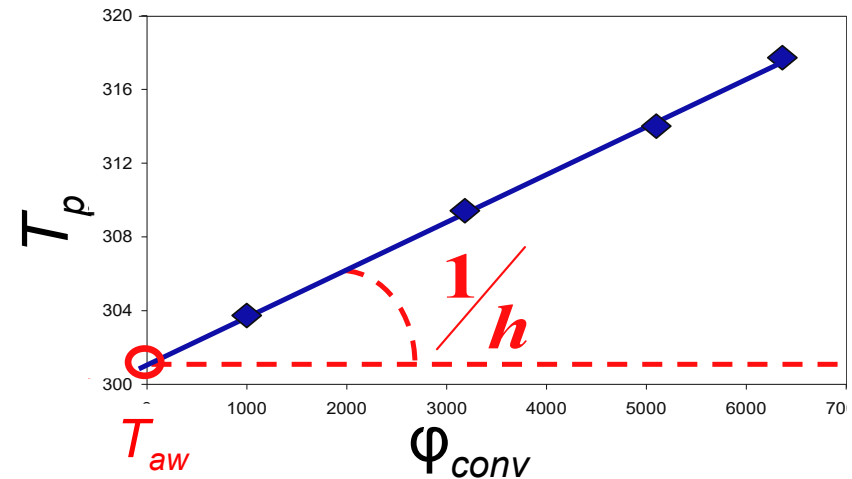
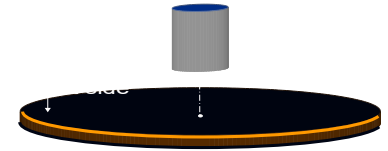
- Régression linéaire:

○ pente: $1/h$

○ origine : T_{ref}

○ $T_{ref} = T_p$ pour $\Phi = 0$

$\Rightarrow T_{ref} = T_{aw}$



○ Application de la méthode:

● Flux:

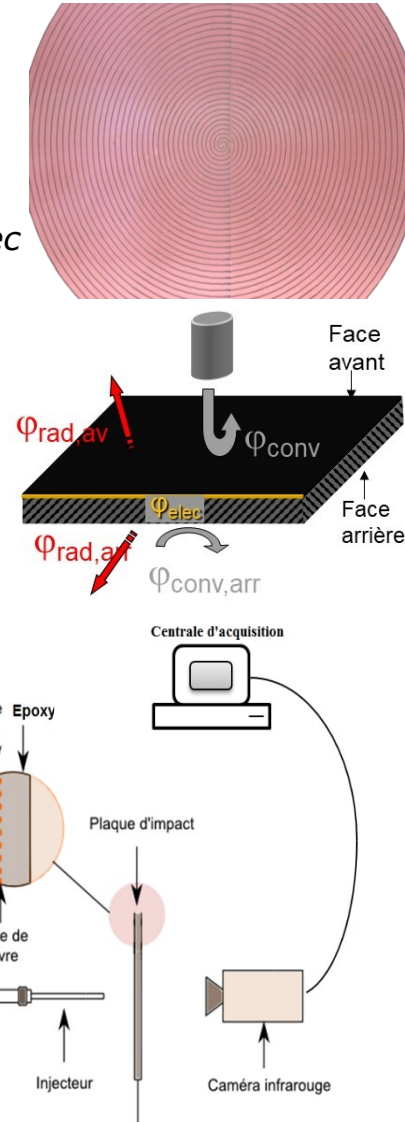
- Plaque d'impact chauffée par effet Joule φ_{elec}
- Calcul des pertes: $\varphi_{ray,av}$; $\varphi_{ray,arr}$, $\varphi_{conv,arr}$
 - $\Sigma \text{pertes} < 7\%$ de φ_{elec}

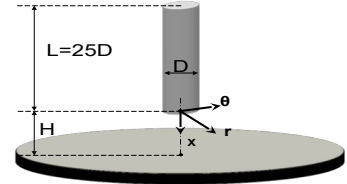
● Température :

- caméra IR

● Nu et T_{aw}

- Moyenne azimuthale
- Incertitudes
 - $Nu \approx 6\%$,

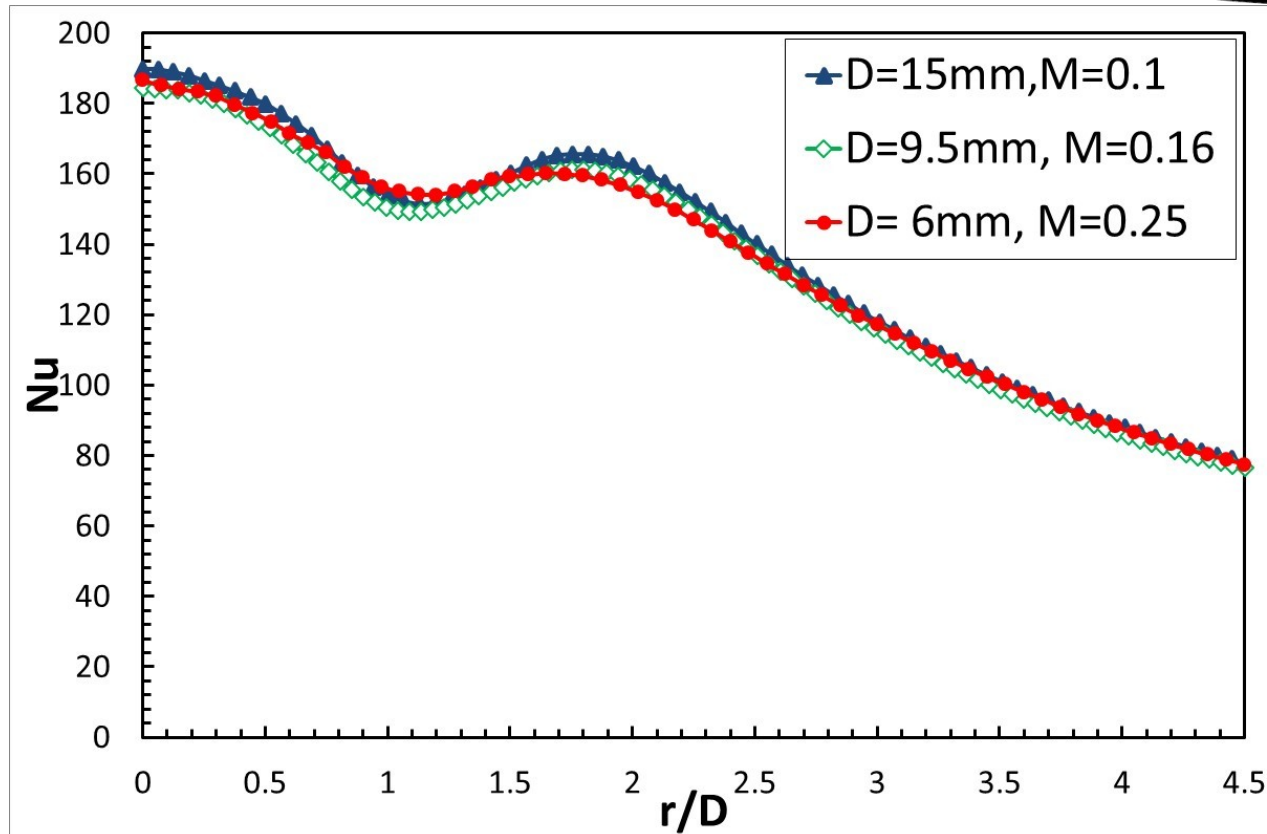
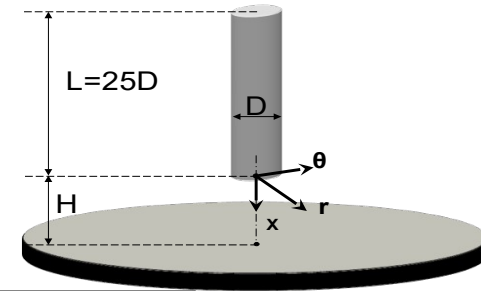


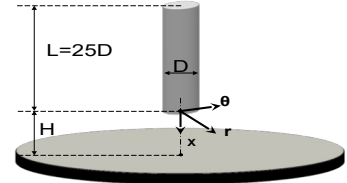


- Etude:
 - $Re=110\ 000$
 - $T_{tj}=T_{amb}\approx 20^{\circ}C$
- Modification du diamètre d'injection
 - $D=6mm$; 9.5 et 15mm
 - $M=0.8$; 0.5 et 0.3
 - $H/D=1$; 5
- Présentation des résultats:
 - En dynamique: $M=0.8$ et 0.3
 - En thermique: $M=0.8$; 0.5 et 0.3

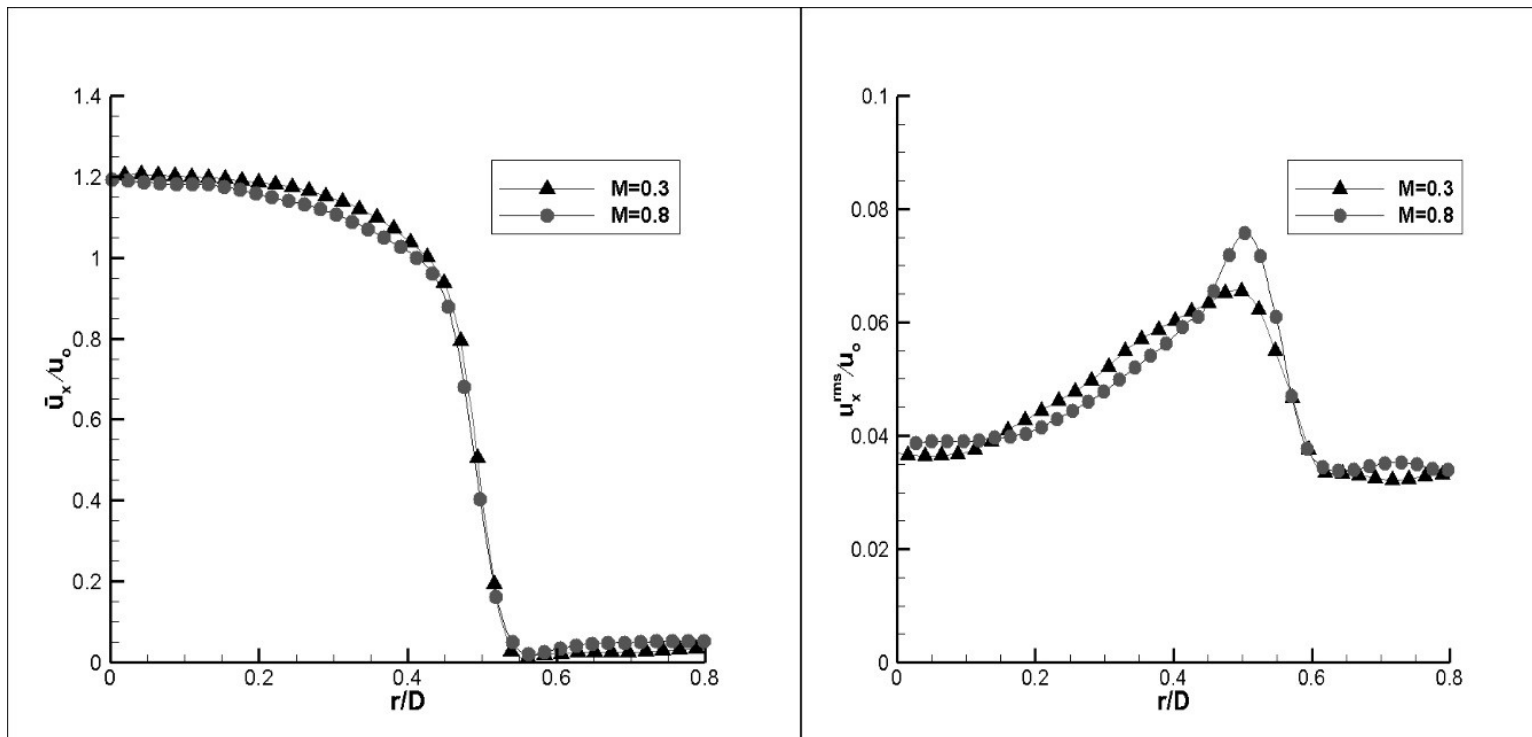
○ Validation

- $Re=35000$, $H/D=1$

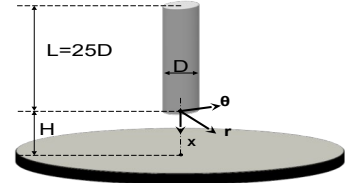




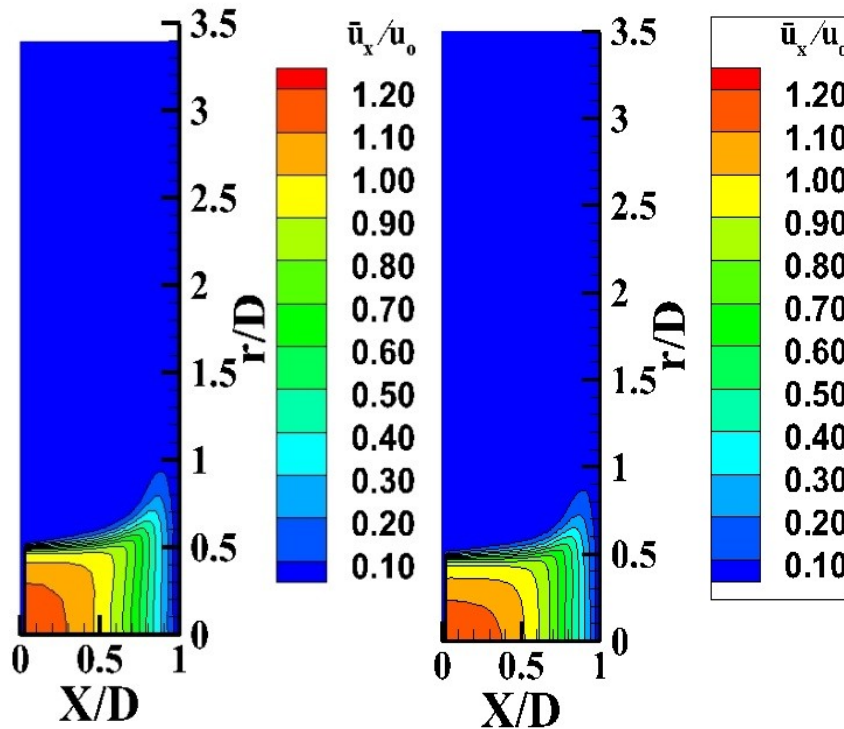
- Injection
 - Profils de vitesse à l'injection



Faibles distances d'impact: $H/D=1$



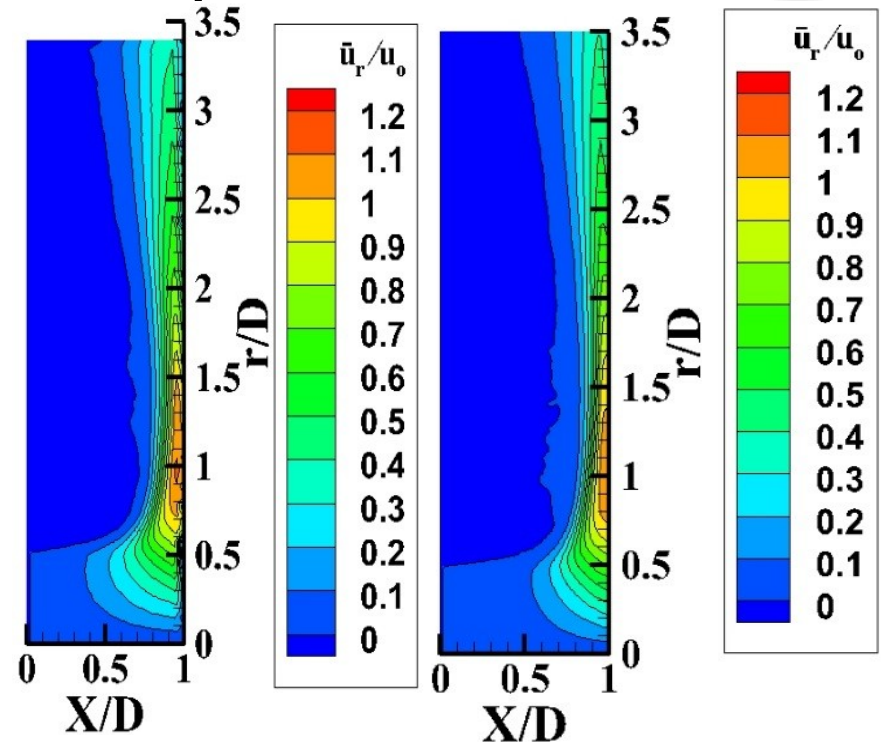
○ Résultats aérodynamiques:



$M=0.3$

$M=0.8$

Vitesse moyenne axiale
adimensionnée

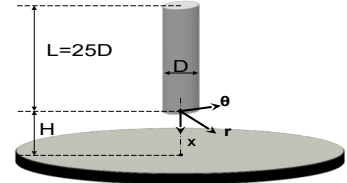


$M=0.3$

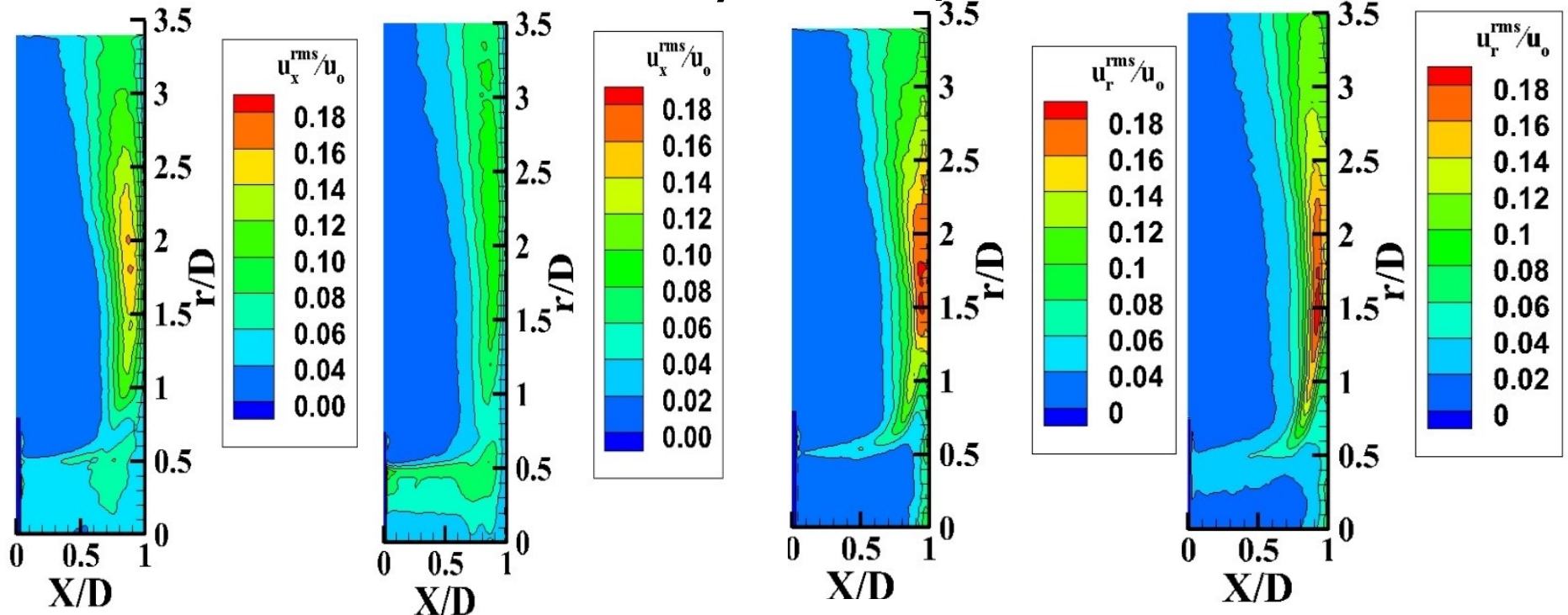
$M=0.8$

Vitesse moyenne radiale
adimensionnée

Faibles distances d'impact: $H/D=1$



○ Résultats aérodynamiques:



$M=0.3$

$M=0.8$

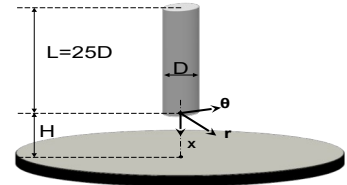
Fluctuations de vitesse
axiale adimensionnées

$M=0.3$

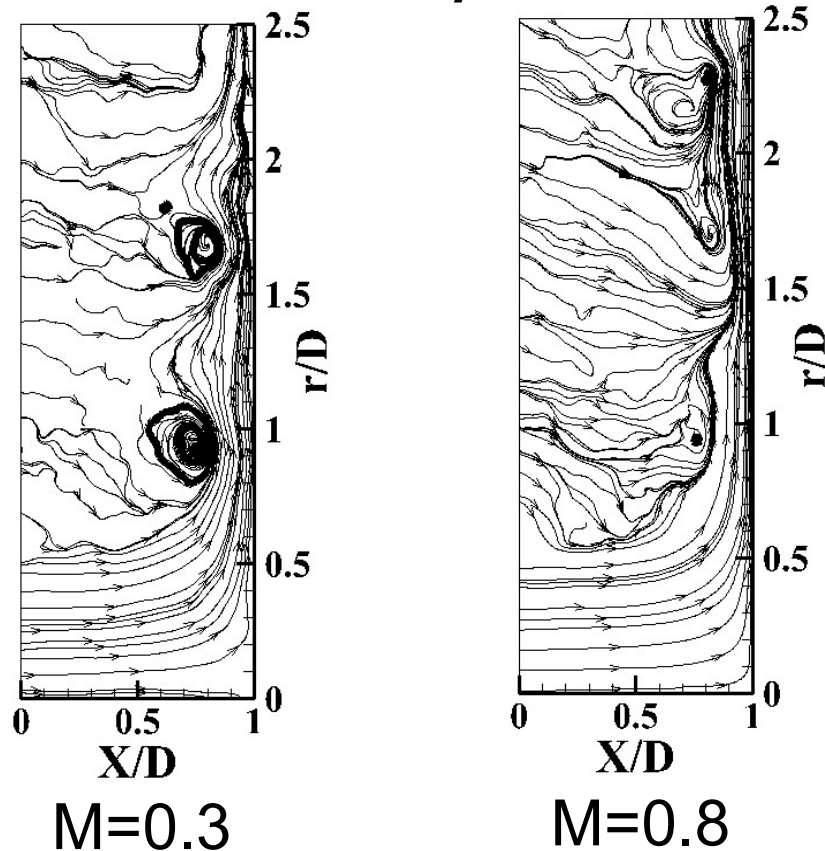
$M=0.8$

Fluctuations de vitesse
radiale adimensionnées

Faibles distances d'impact: $H/D=1$

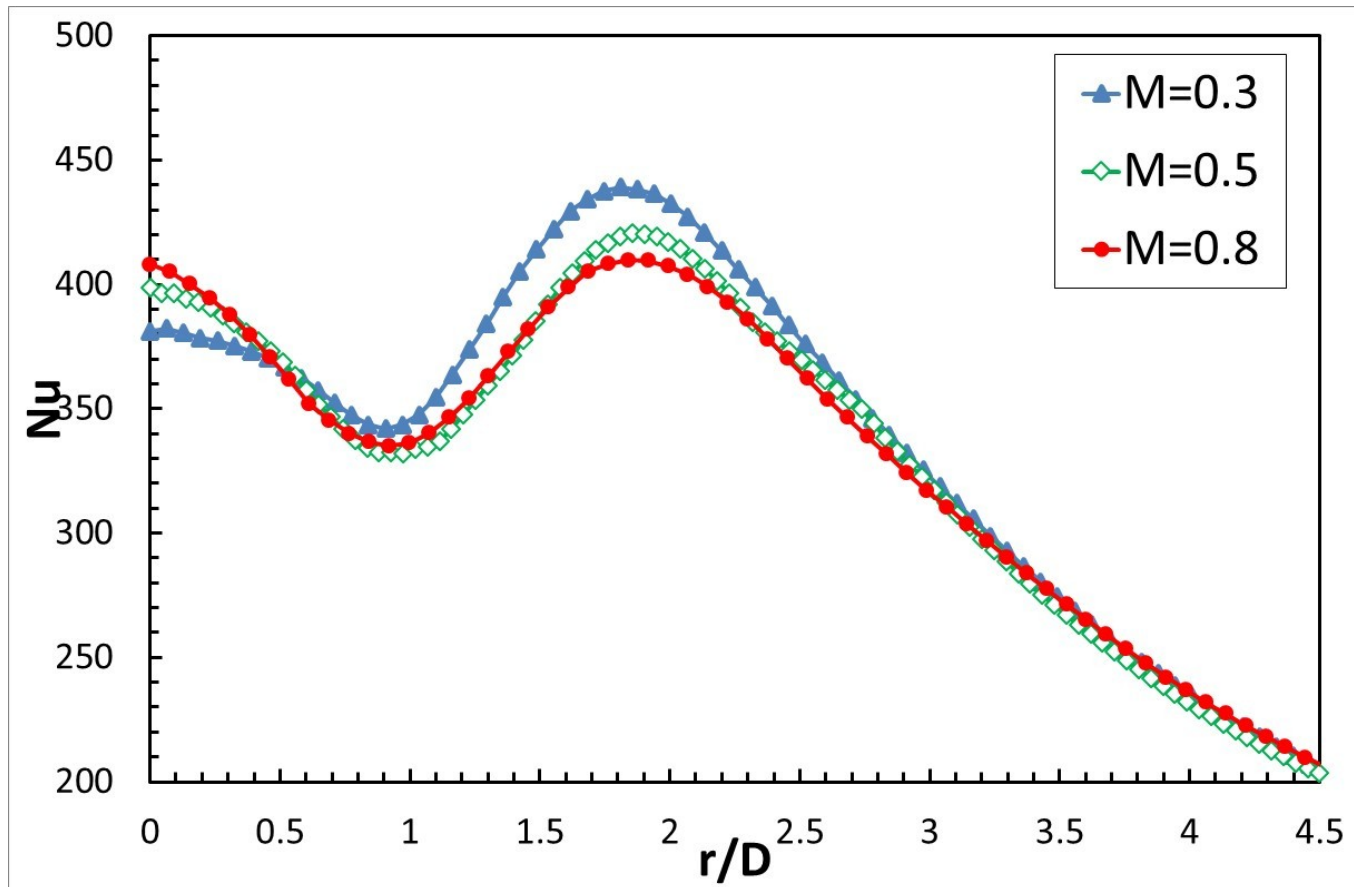


○ Résultats aérodynamiques:

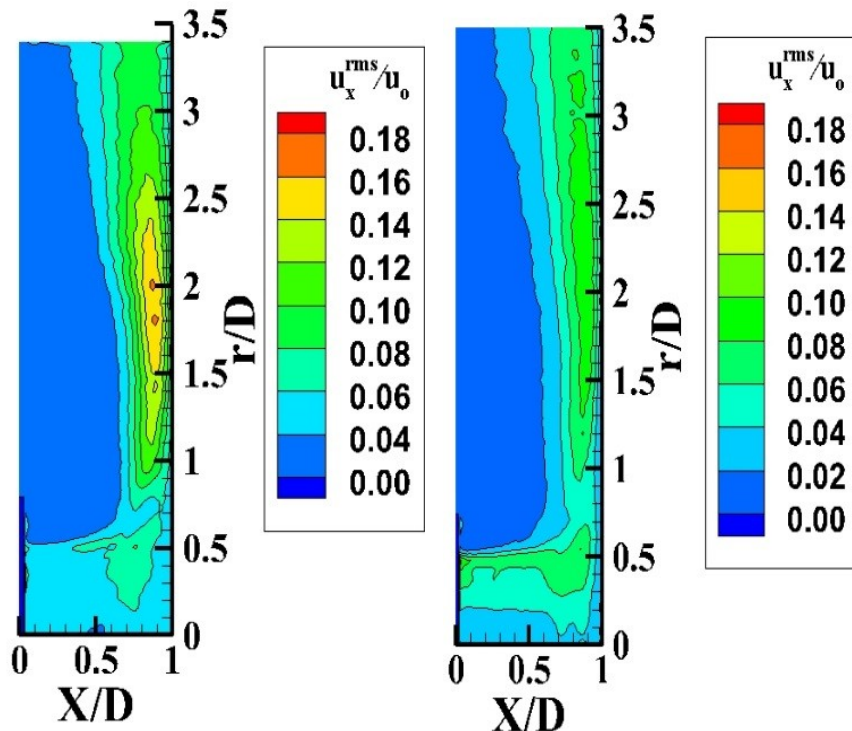


Lignes de courant

○ Résultats thermiques:



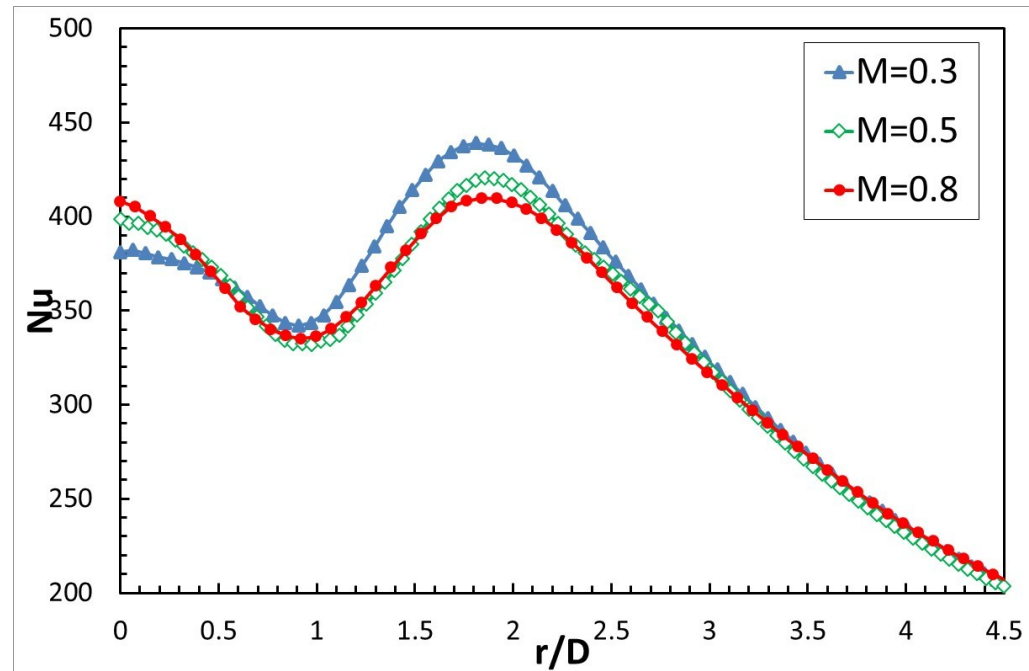
○ Résultats thermiques:



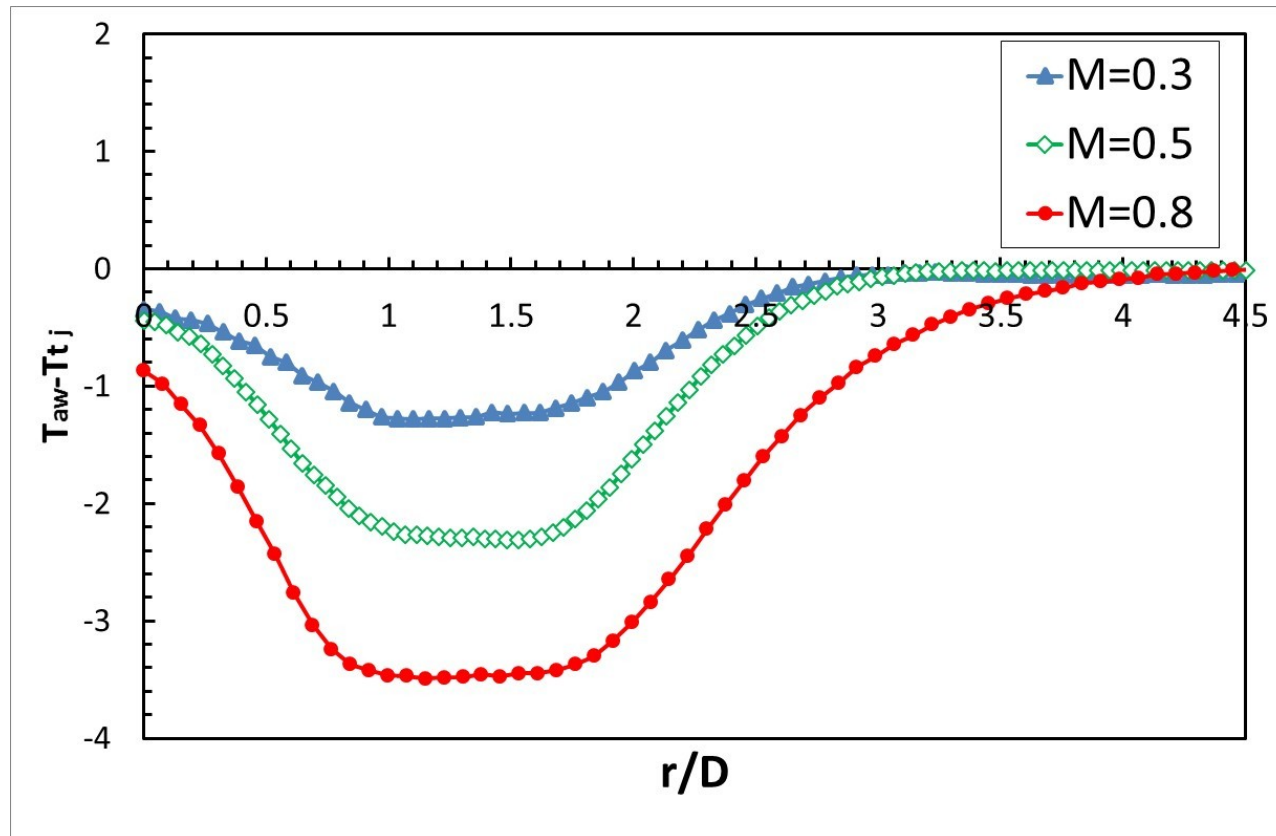
$M=0.3$

$M=0.8$

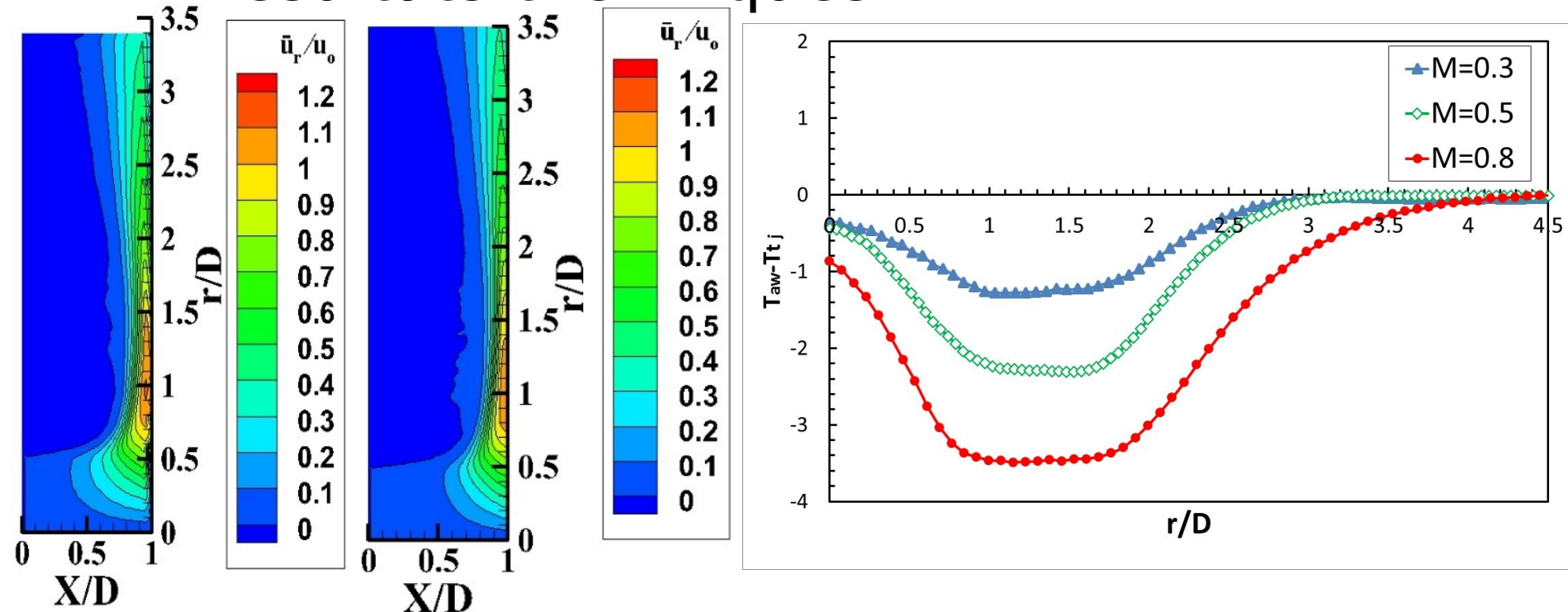
Fluctuations de vitesse
axiale adimensionnées



○ Résultats thermiques:

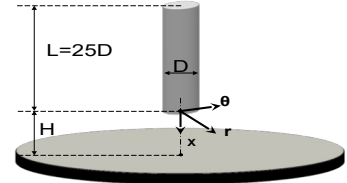


○ Résultats thermiques:



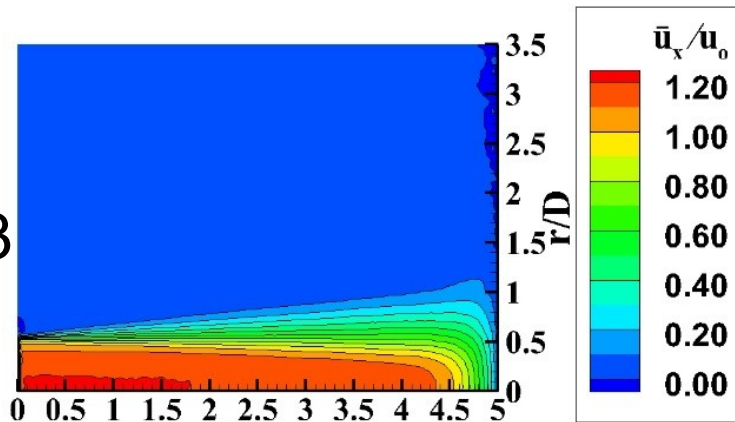
$M=0.3$ $M=0.8$

Vitesse moyenne radiale
adimensionnée

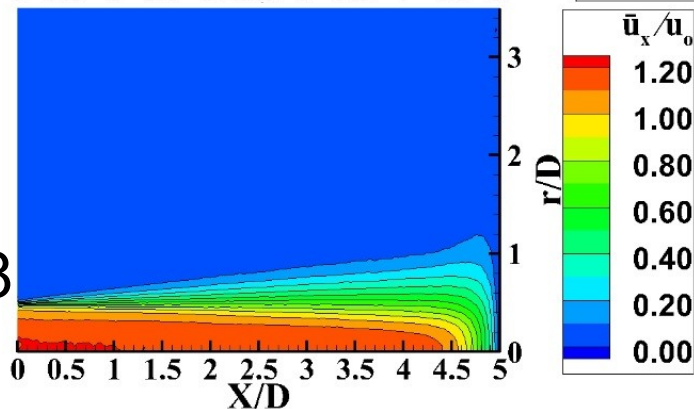


○ Résultats aérodynamiques:

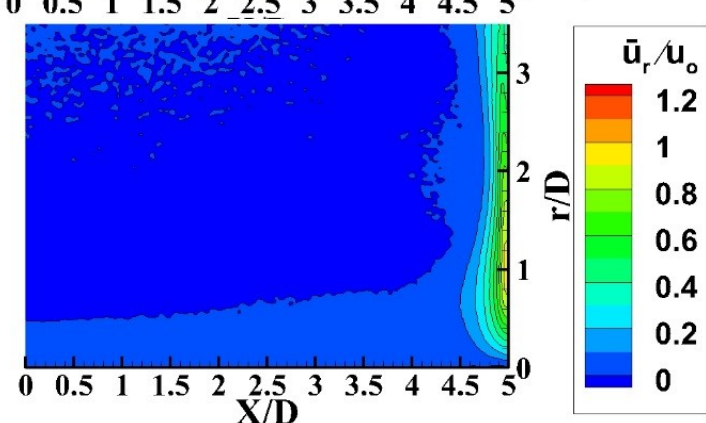
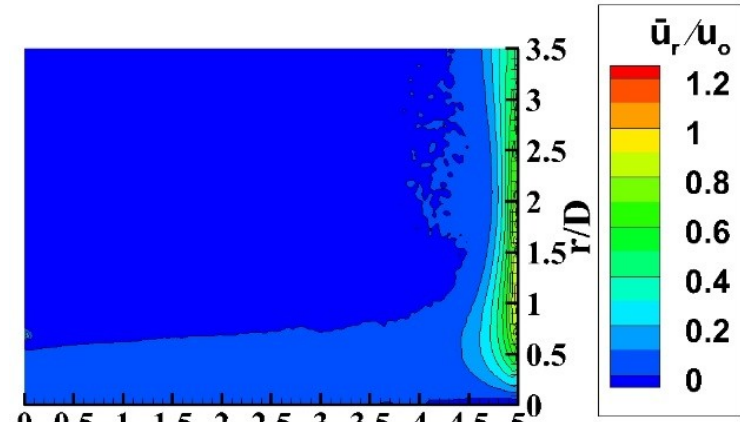
$M=0.3$



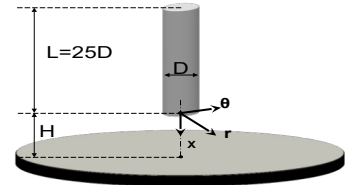
$M=0.8$



Vitesse moyenne axiale
adimensionnée

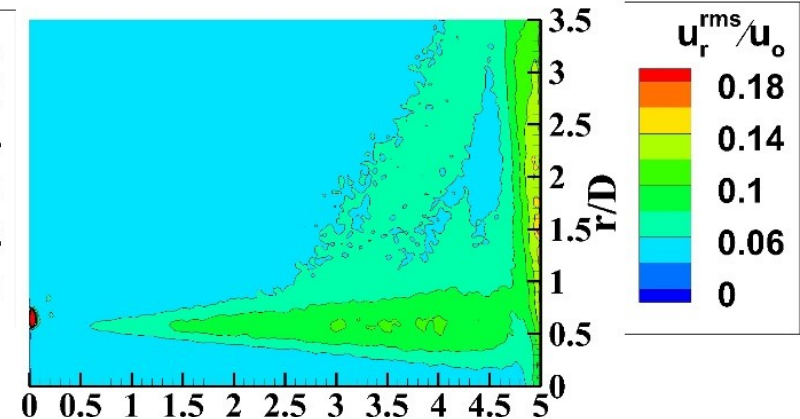
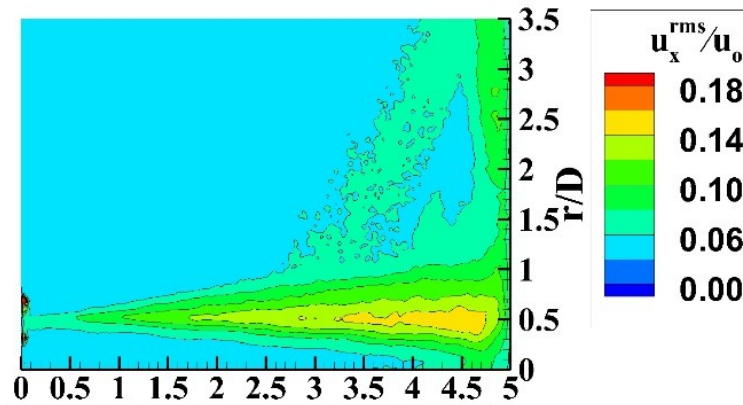


Vitesse moyenne radiale₇
adimensionnée

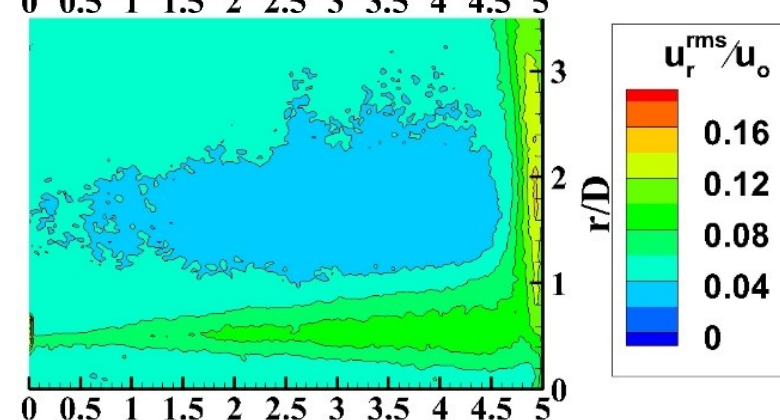
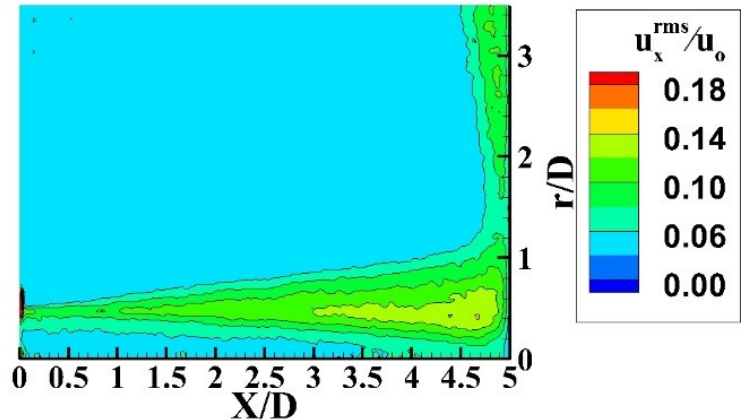


○ Résultats aérodynamiques:

$M=0.3$



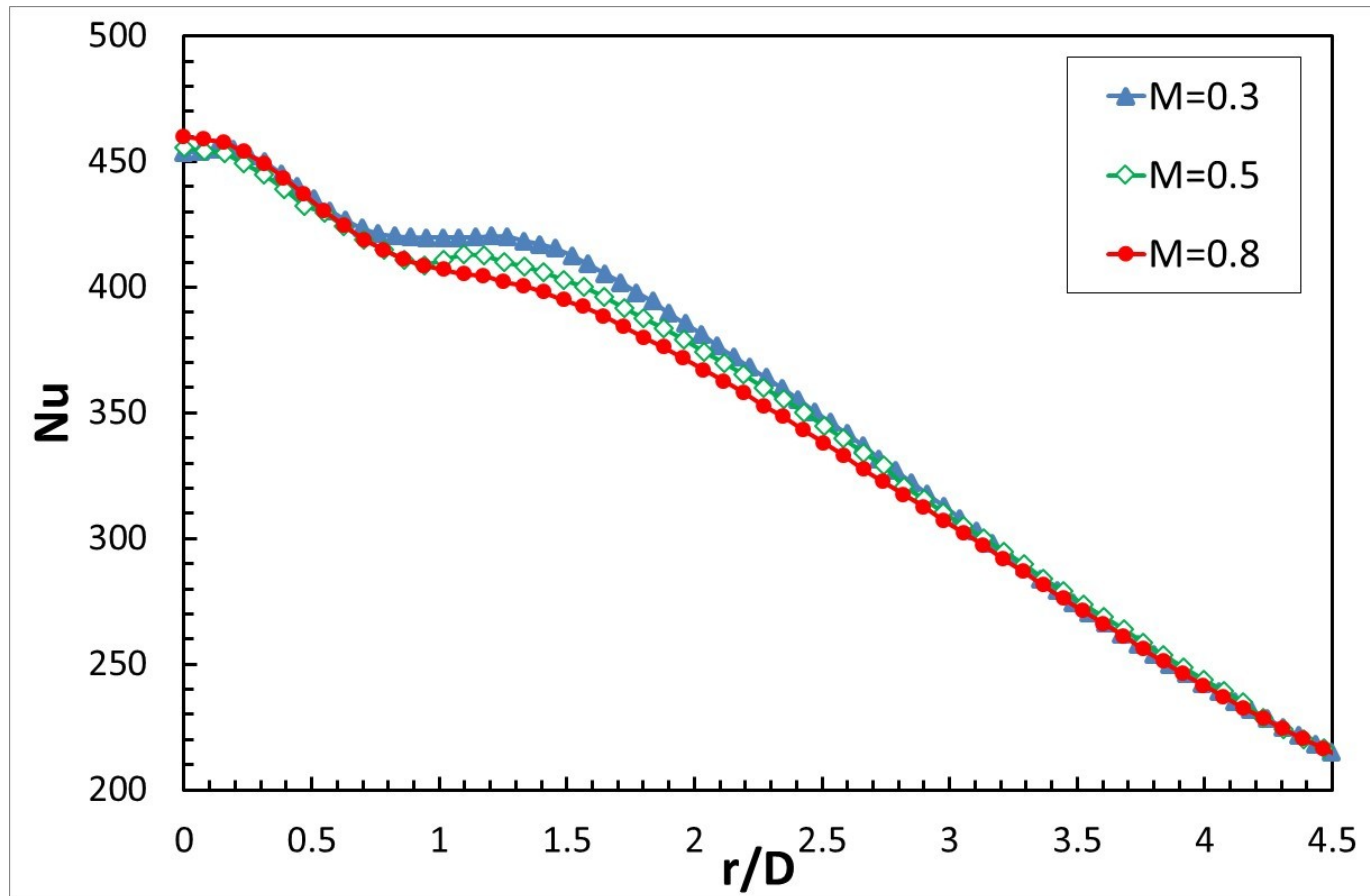
$M=0.8$



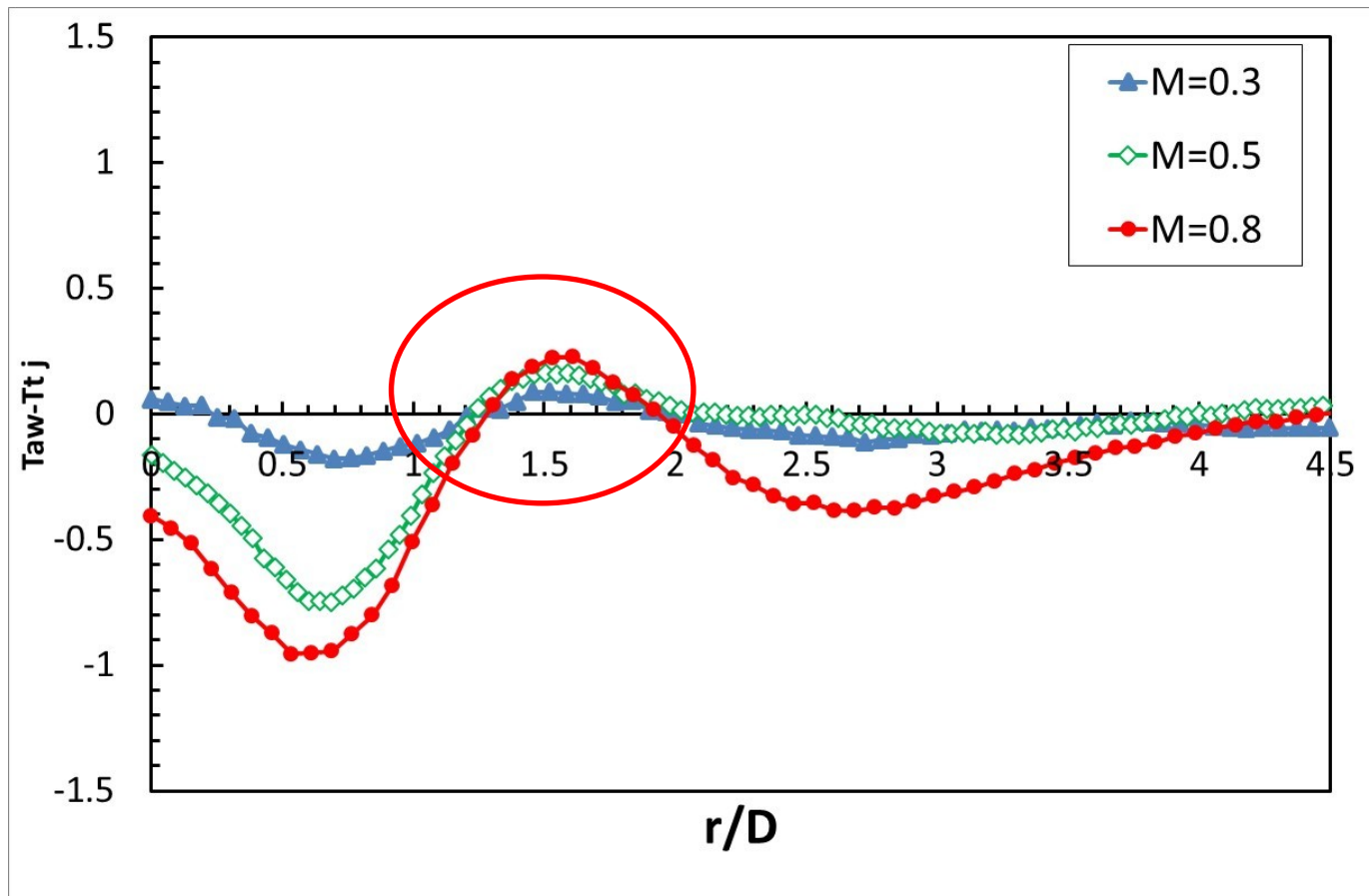
Fluctuations de vitesse
axiale adimensionnées

Fluctuations de vitesse
radiale adimensionnées

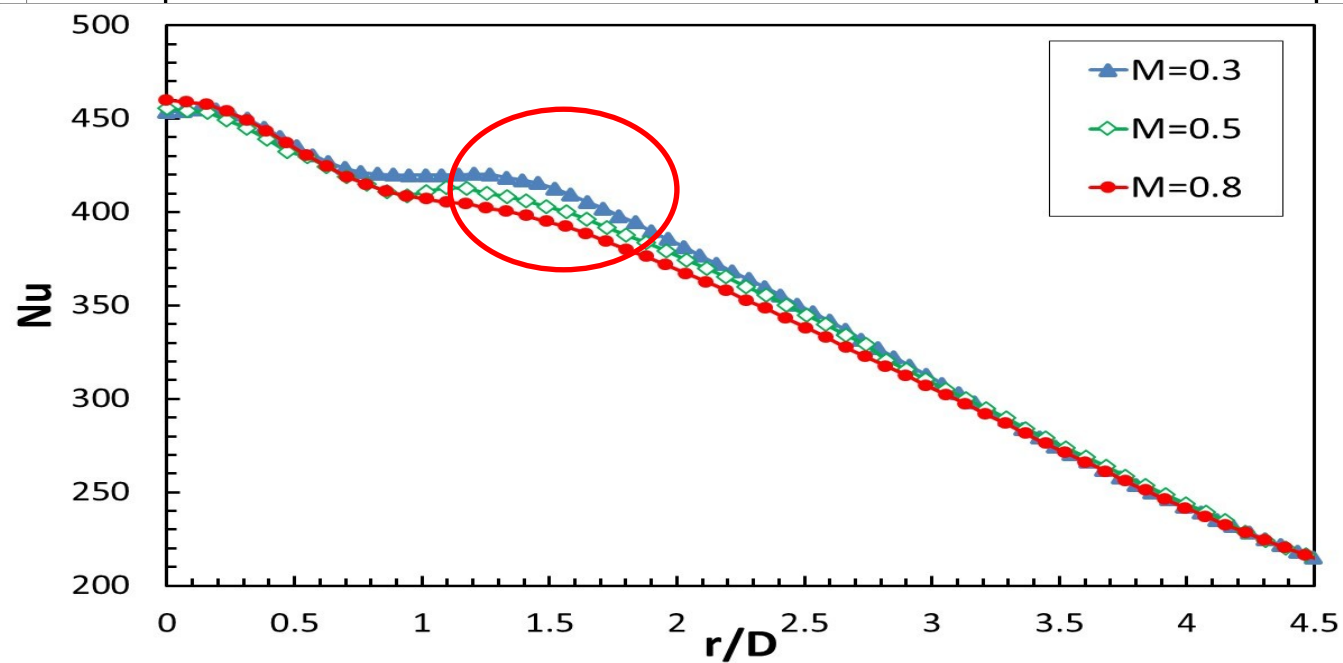
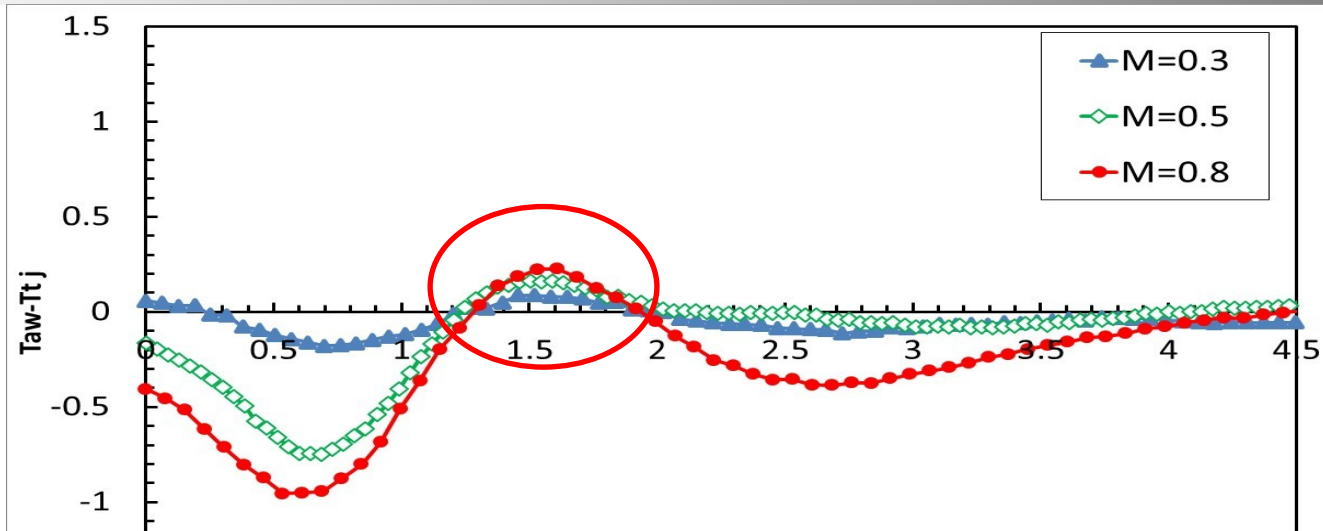
○ Résultats thermiques:



- Résultats thermiques:



Grandes distances d'impact: $H/D=5$



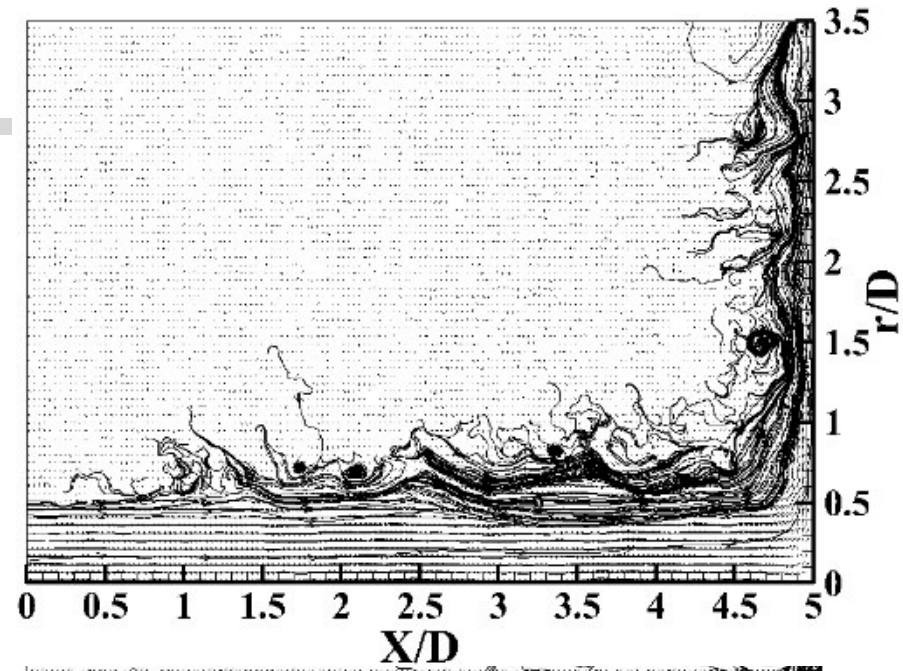
- Effets de compressibilité (Mach) sur un jet en impact:
 - $Re_j = 110\ 000$; $T_{tj} = T_{amb} \approx 20^\circ\text{C}$
 - $M = 0.3, 0.5, 0.8$

- Effets du nombre de Mach :
 - Disparition des structures de Kelvin-Helmholtz
 - ↗ fluctuations dans la couche de cisaillement
 - ↘ fluctuations dans le jet de paroi
- Avec les conséquences sur Nu
 - Surtout pour de faibles H/D

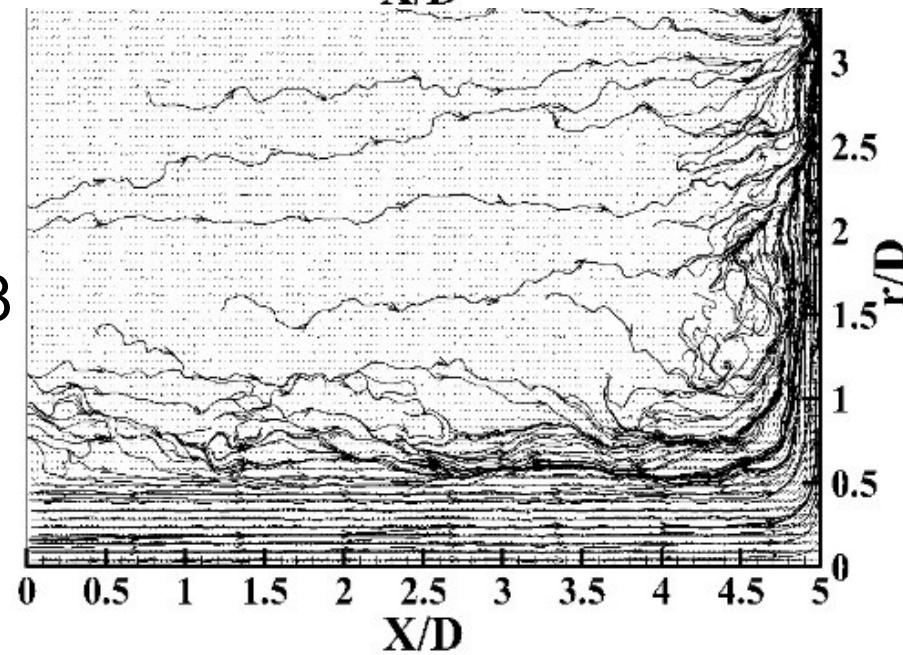
- Effets du nombre de Mach :
 - Sur la température de référence
 - A faible H/D :
 - Effets visqueux et vitesses radiales $\Rightarrow T_{aw} < T_{tj}$.
 - A plus grand H/D ,
 - le mélange avec $T_{amb} \Rightarrow$ ponctuellement $T_{aw} > T_{tj}$

Merci de votre attention

$M=0.3$

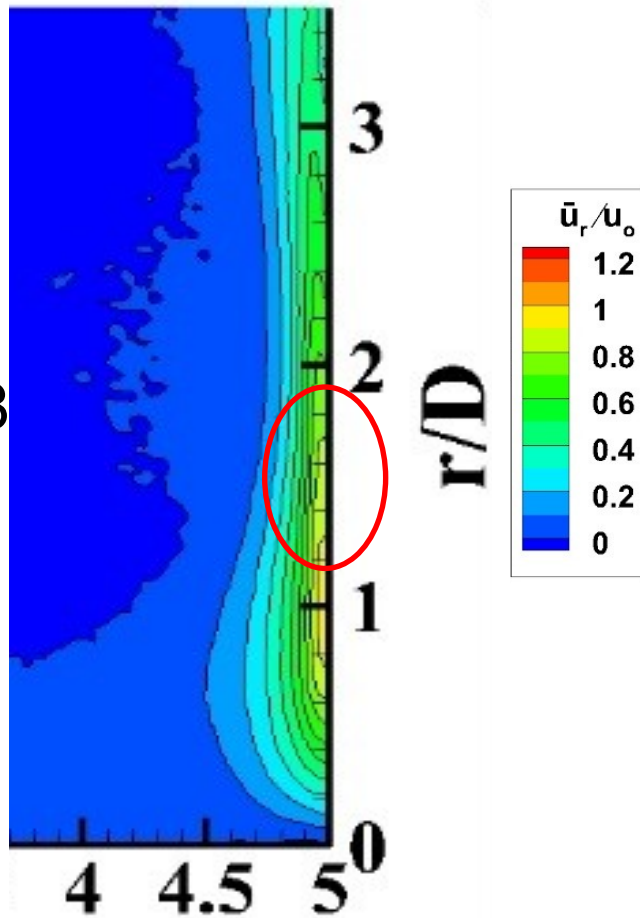


$M=0.8$

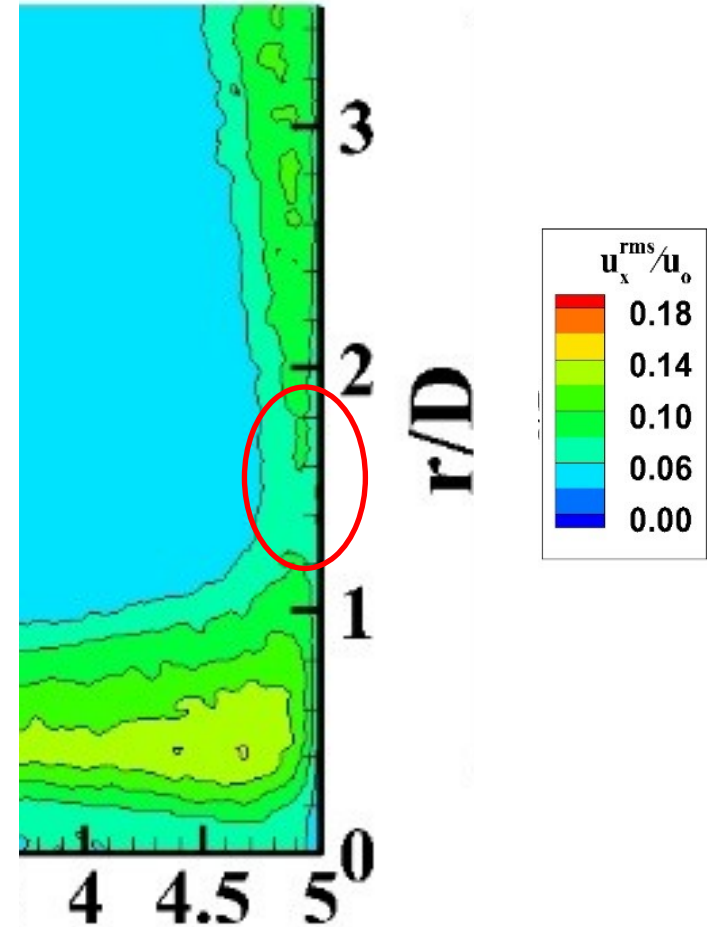


Grandes distances d'impact: $H/D=5$

$M=0.8$

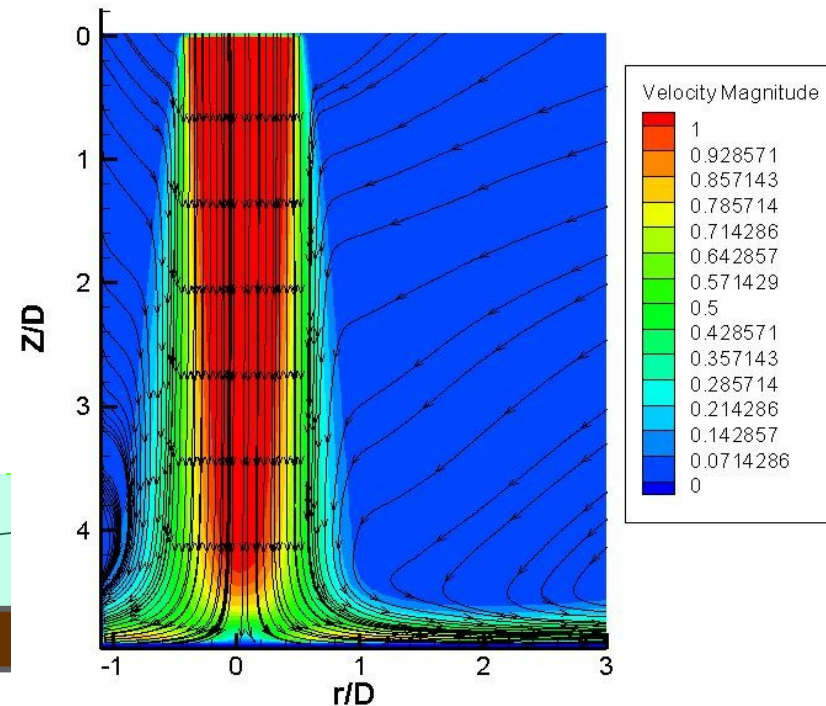
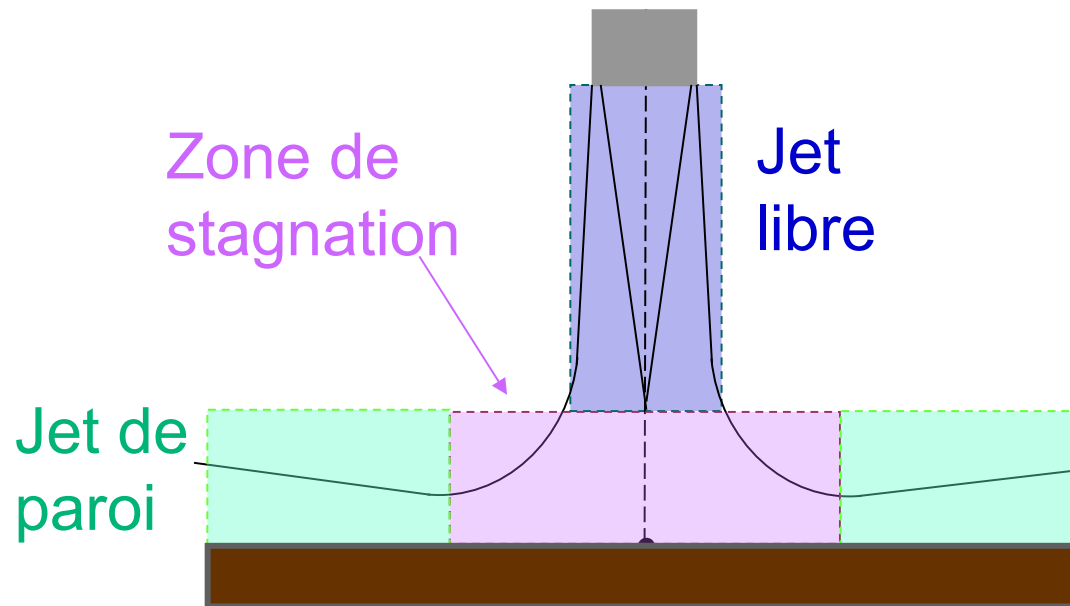


Vitesse moyenne radiale
adimensionnée



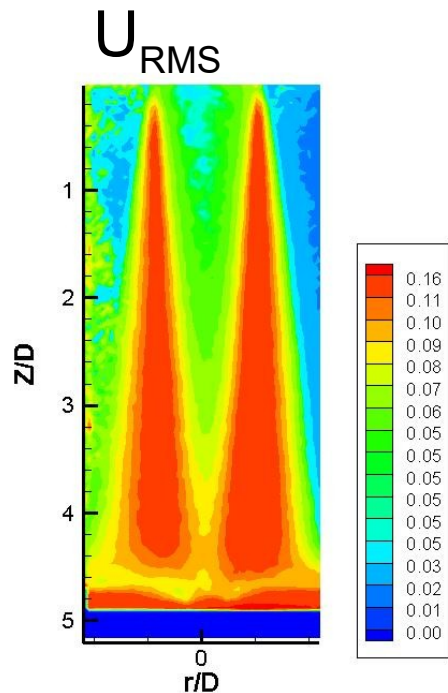
Fluctuations de vitesse
radiale adimensionnées

○ Dynamique d'un jet d'air:

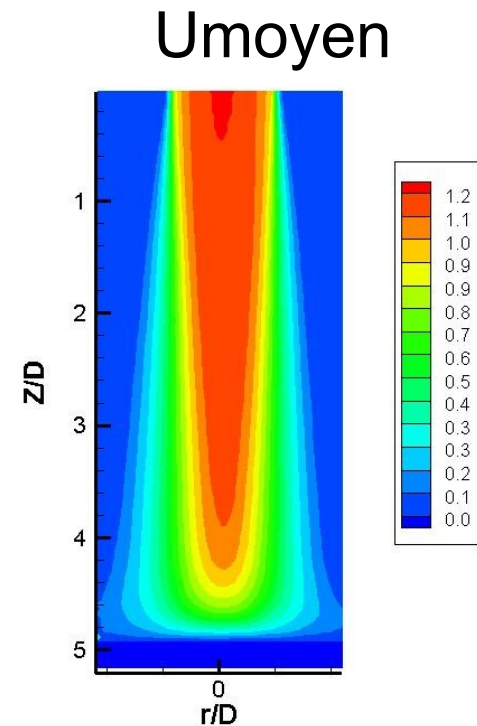
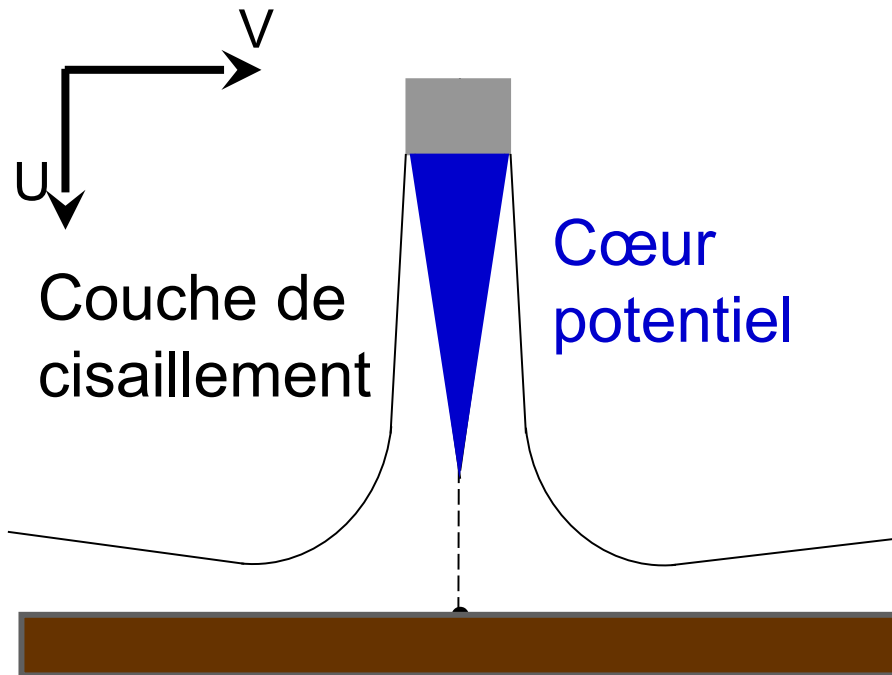


Champ de vitesse moyenne et lignes de courant ($Re=23000$, injection tubulaire, $H/D=5$)

○ Dynamique d'un jet d'air:

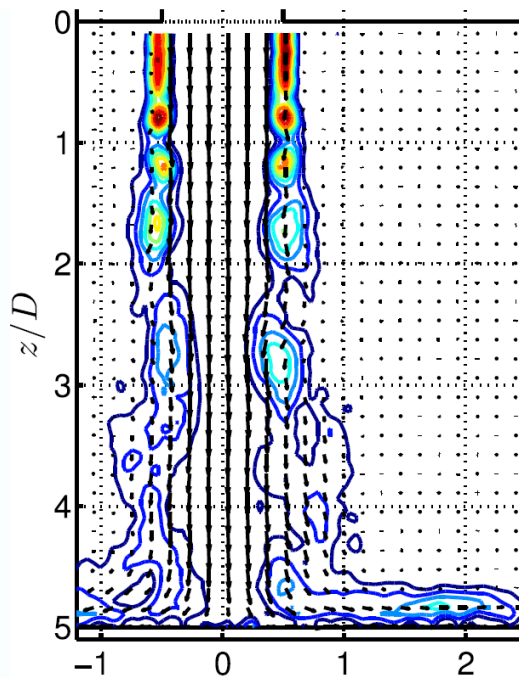


Champ de fluctuation de vitesse axiale ($Re=23000$, injection convergente, $H/D=5$)

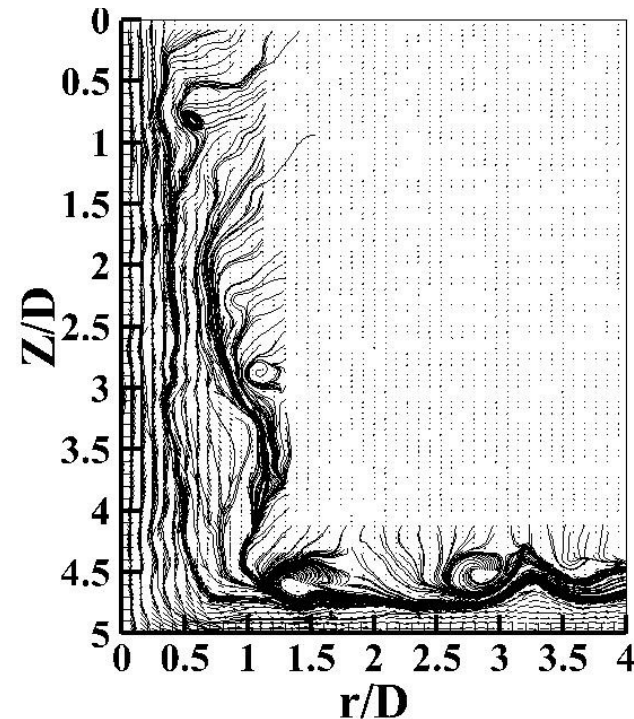


Champ moyen de vitesse axiale ($Re=23000$, injection tubulaire, $H/D=5$)

- Dynamique d'un jet d'air:
 - Couche de cisaillement

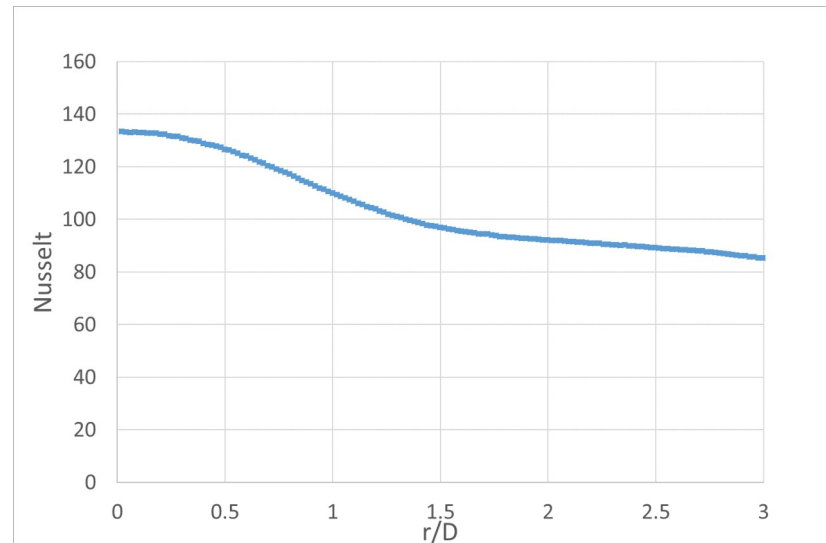
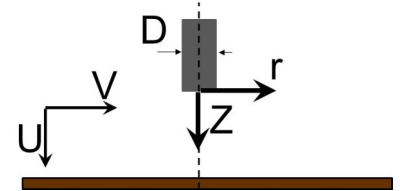


Champ instantané de vitesse
avec contour de vorticité
($Re=28000$, $H/D=5$)

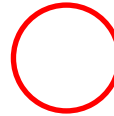


Champ instantané de vitesse
avec contour de vorticité
($Re=28000$, $H/D=5$)

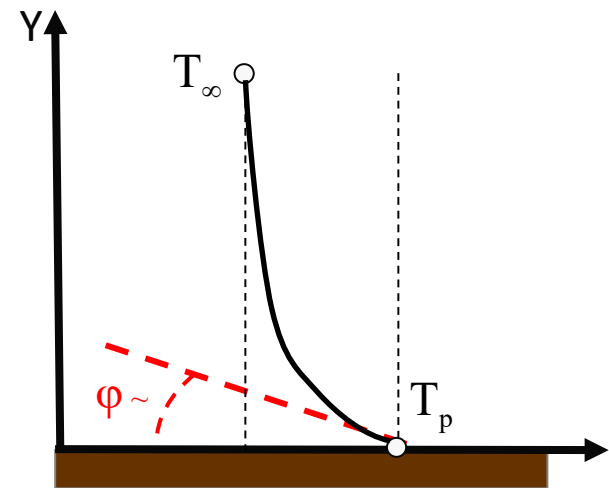
- Thermique d'un jet d'air:
 - Transferts de chaleur



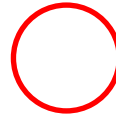
- Thermique d'un jet d'air:
 - Transferts de chaleur



- Si

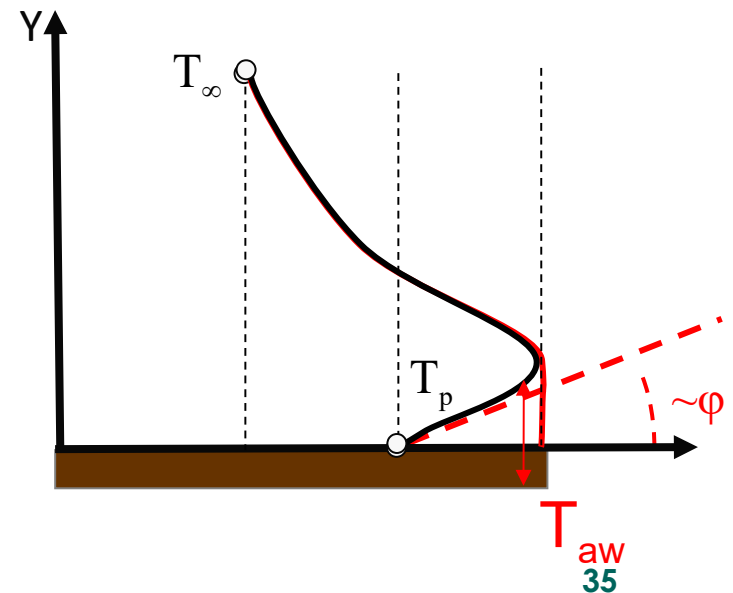


- Thermique d'un jet d'air:
 - Transferts de chaleur



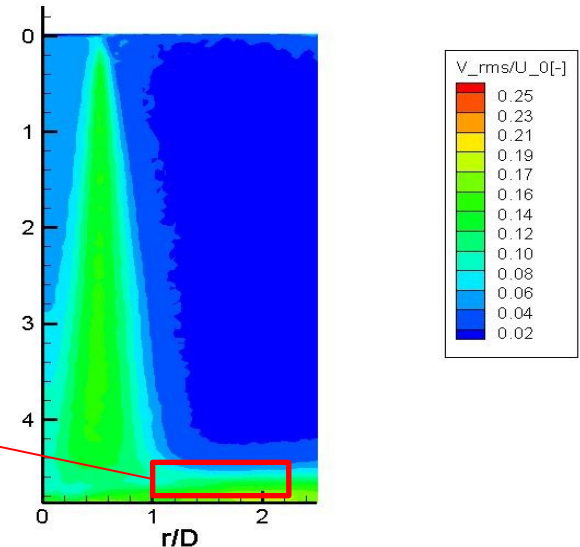
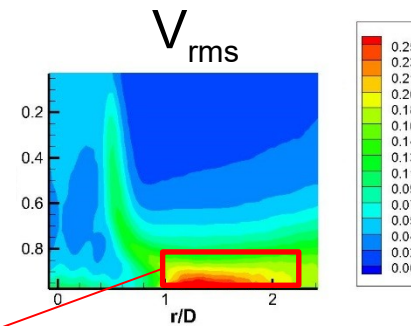
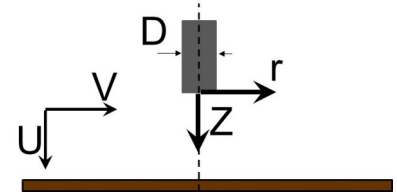
○ Si

- $T_{ref} = T_{aw}$

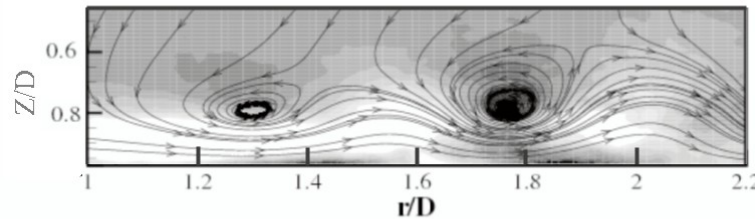


- Paramètres d'influence:
 - Distance d'impact H/D
 - Conditions d'injection
 - Nature et condition de la paroi d'impact
 - ...

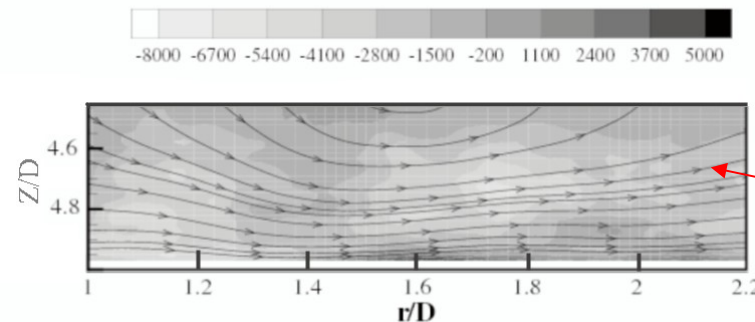
- Paramètres d'influence:
 - Distance d'impact H/D
 - Dynamique

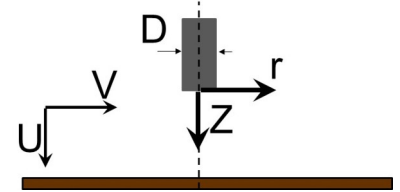


$H/D=1$

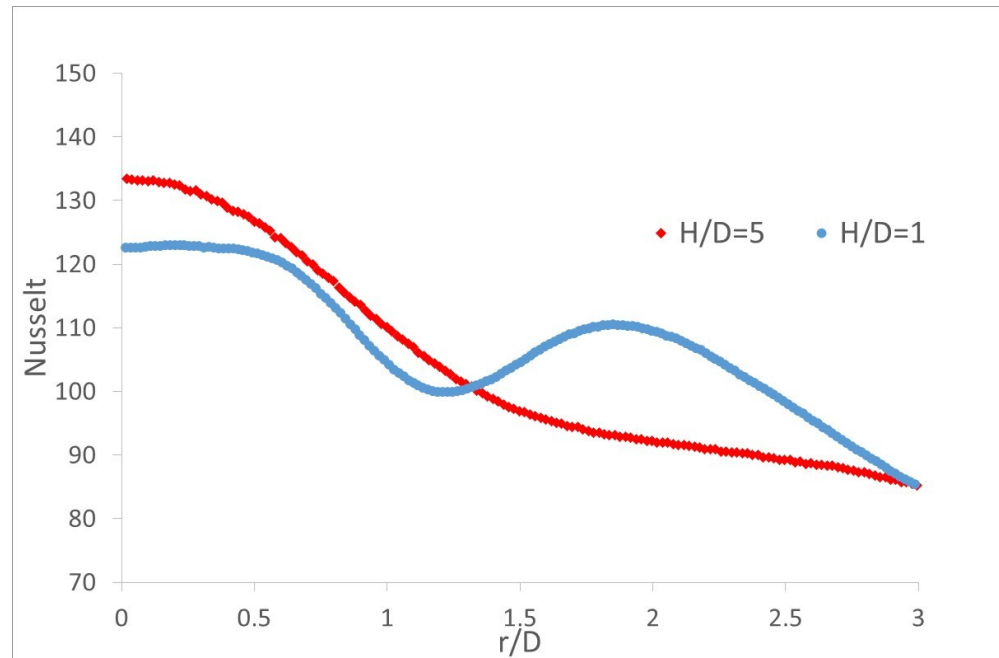


$H/D=5$

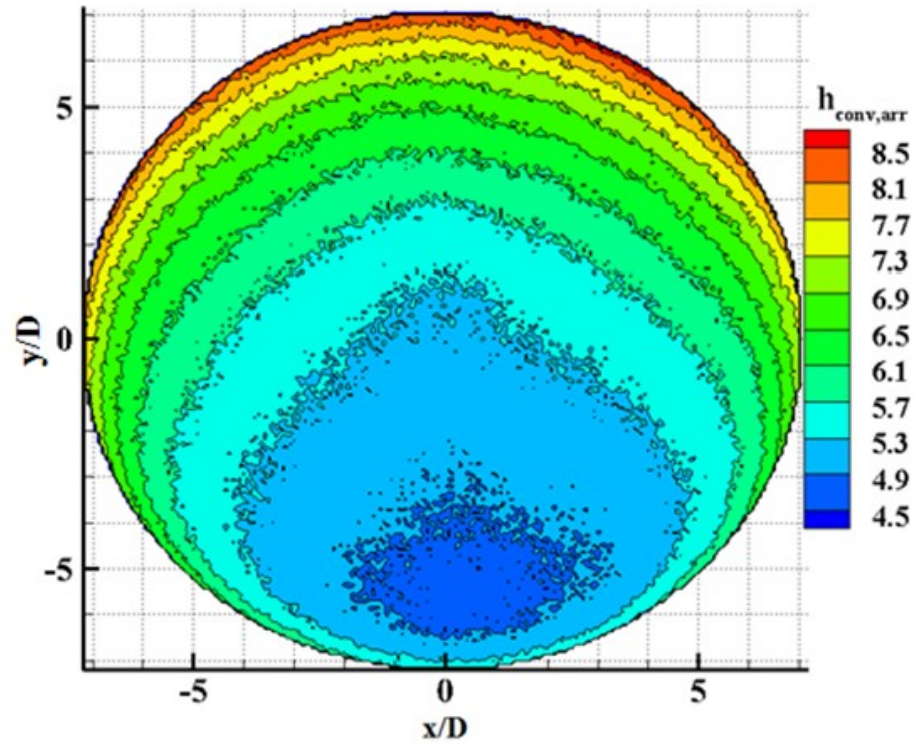




- Paramètres d'influence:
 - Distance d'impact H/D
 - thermique



- Paramètres d'influence:
 - Conditions d'injection
 - $M = \text{nb de Mach}$
 - *Profil et forme d'injection*



○ Résultats thermiques:

