



Etude des transferts de chaleur de jets chauds en impact. Effet du confinement et de la courbure

M. Fénot, J-J. Vullierme, E. Dorignac

Laboratoire d'Etudes Thermiques, ENSMA, Poitiers

L.-E. Brizzi

Laboratoire d'Etudes Aérodynamiques, Université de
Poitiers, France

REFROIDISSEMENT DES TURBINES DES TURBORÉACTEURS

Introduction

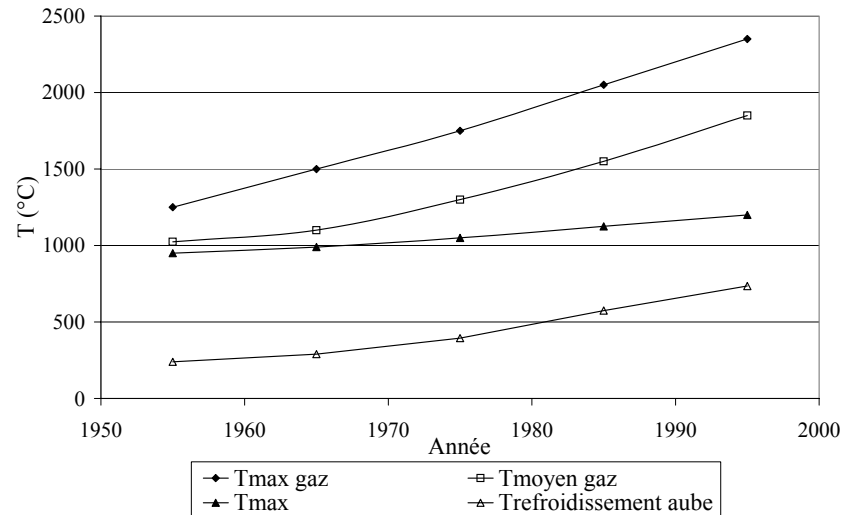
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion

- Amélioration des performances \Rightarrow Hausse de la température de combustion



- Température des gaz $>$ Température critique des matériaux
(1800-2400°C) (1000-1100°C)

\Rightarrow Nécessité d'optimiser le refroidissement des aubes de turbine

REFROIDISSEMENT DES AUBES

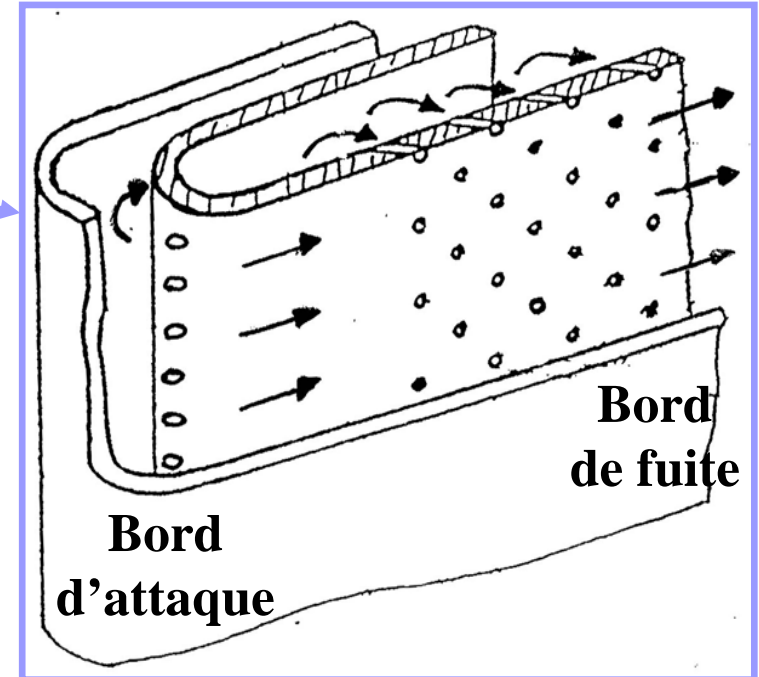
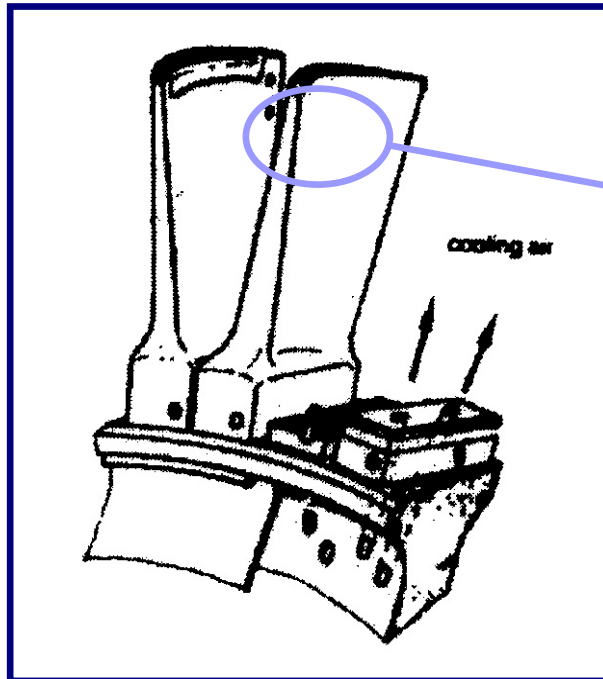
Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion



REFROIDISSEMENT PAR IMPACT DE JET

Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

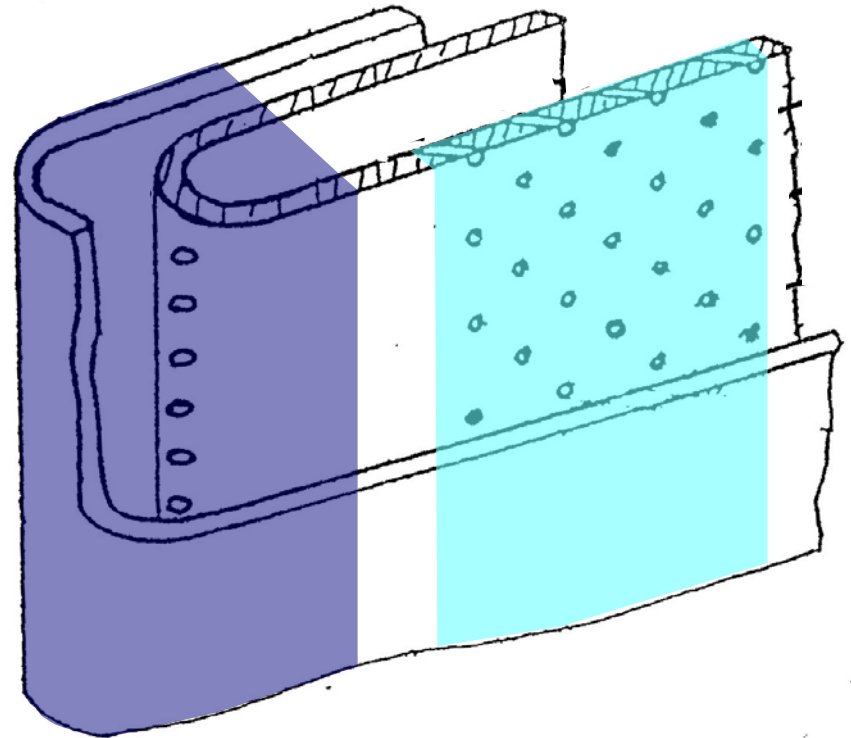
Conclusion

■ Intrados et extrados:

- Rangées de jets
- Impact sur paroi plane
- Confinement

■ Bord d'attaque:

- Rangée de jets
- Impact sur une paroi concave



■ Paramètres d'influence:

- Confinement
- Concavité de la paroi d'impact



Introduction

Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

PRINCIPE DE LA METHODE

CAS DES JETS CHAUDS

Introduction

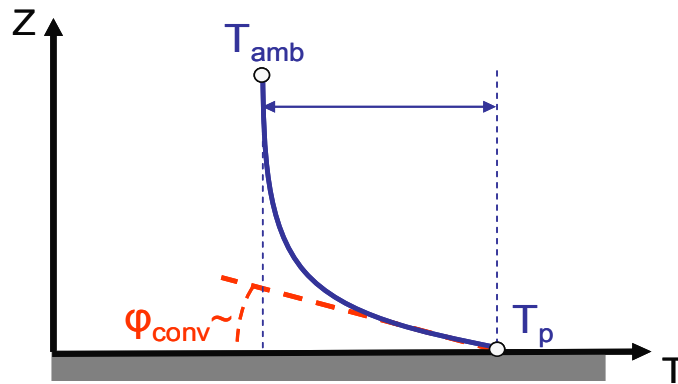
Méthode

Etude du confinement

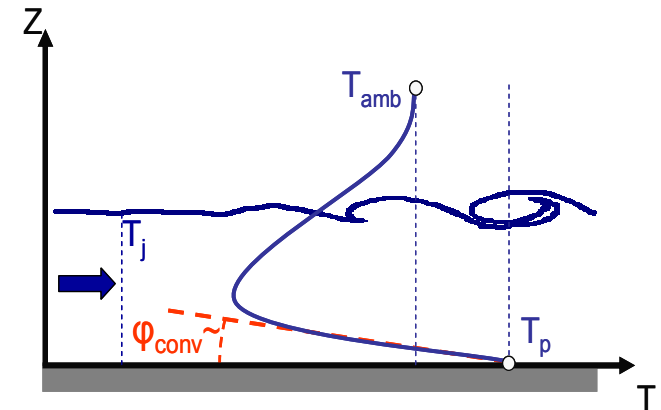
Etude de la courbure

Conclusion

- problème à 3 températures :
 - Température de paroi T_p
 - Température de l'air ambiant T_{amb}
 - Température de l'écoulement injecté T_j



2 températures



3 températures

PRINCIPE DE LA METHODE

Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

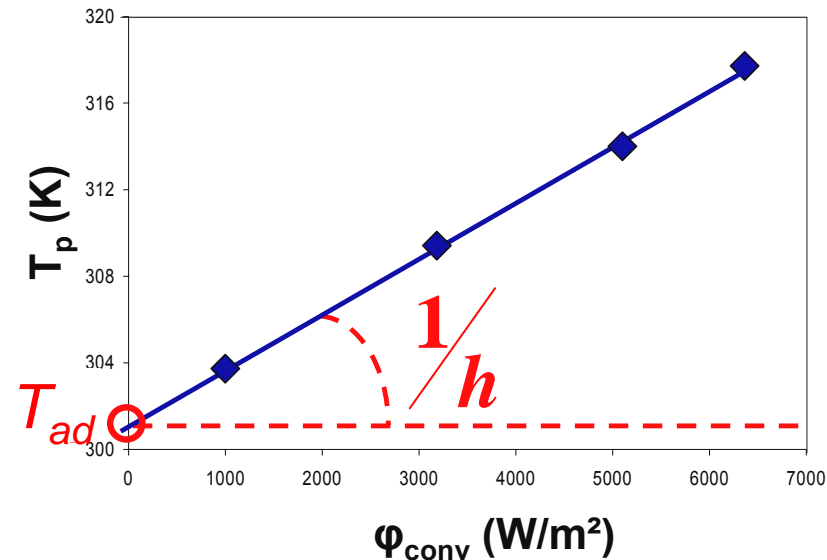
Conclusion

- Relation linéaire entre φ_{conv} et T_p (loi de Newton):

$$T_p = \frac{\varphi_{conv}}{h} + T_{ref}$$

- Régression linéaire à partir des couples (φ_{conv}, T_p)

- Pente = $1/h$
- Ordonnée à l'origine = T_{ref}
- 4 couples (φ_{conv}, T_p)



- $T_{ref} = T_p$ lorsque $\varphi_{conv} = 0$:
 $\Rightarrow T_{ref} = T_{ad}$

TECHNIQUE DE MESURE

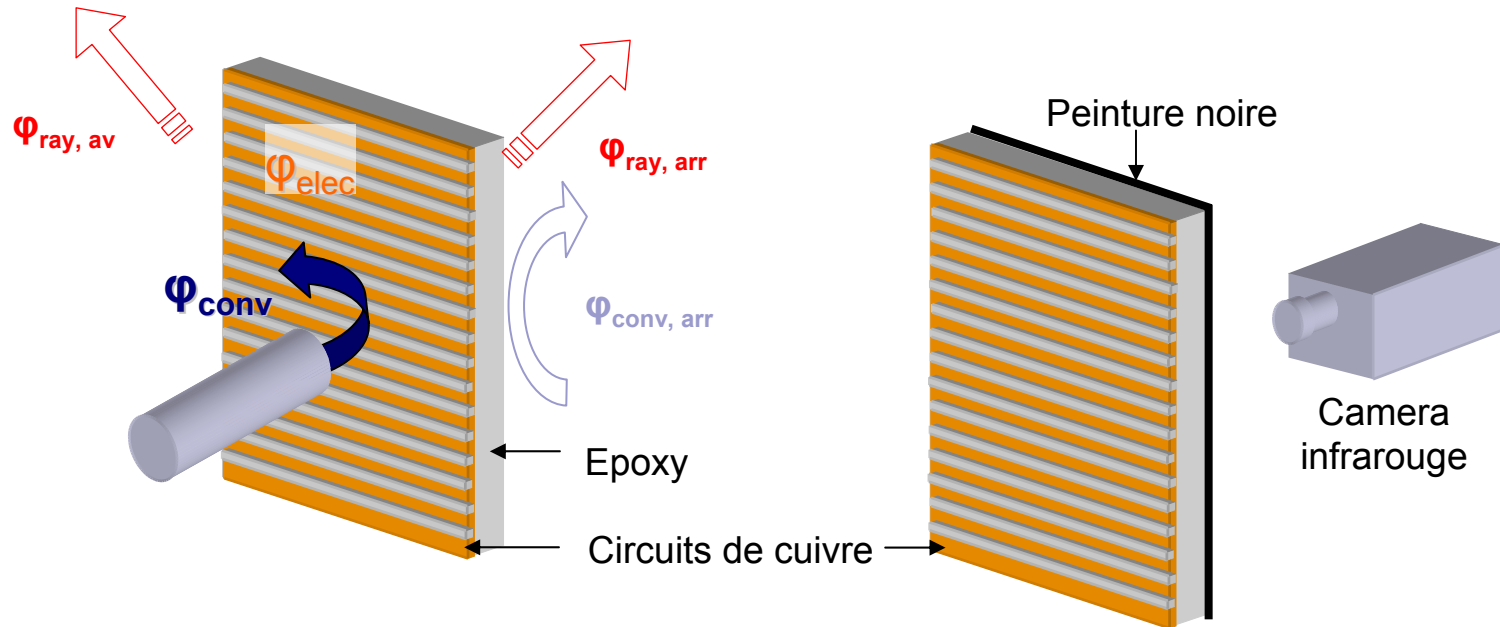
Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion



$$\varphi_{conv} = \varphi_{elec} - \varphi_{conv, arr} - \varphi_{ray, av} - \varphi_{ray, arr} \quad \bullet \quad T_{avant} = T_{arriere} + \frac{e}{\lambda} (\varphi_{conv, arr} + \varphi_{rad, arr})$$

PRINCIPE DE LA METHODE

Introduction

Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- Formes adimensionnées:

- $Nu = \text{nombre de Nusselt} = \frac{hD}{\lambda_{\text{air}}}$

- $\eta = \text{efficacité} = \frac{T_{\text{ad}} - T_{\text{amb}}}{T_j - T_{\text{amb}}}$



Introduction

Méthode

**Etude du
confinement**

Etude de la
courbure

Conclusion

ETUDE DE L'EFFET DE CONFINEMENT SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR D'UNE RANGEE DE JETS EN IMPACT

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

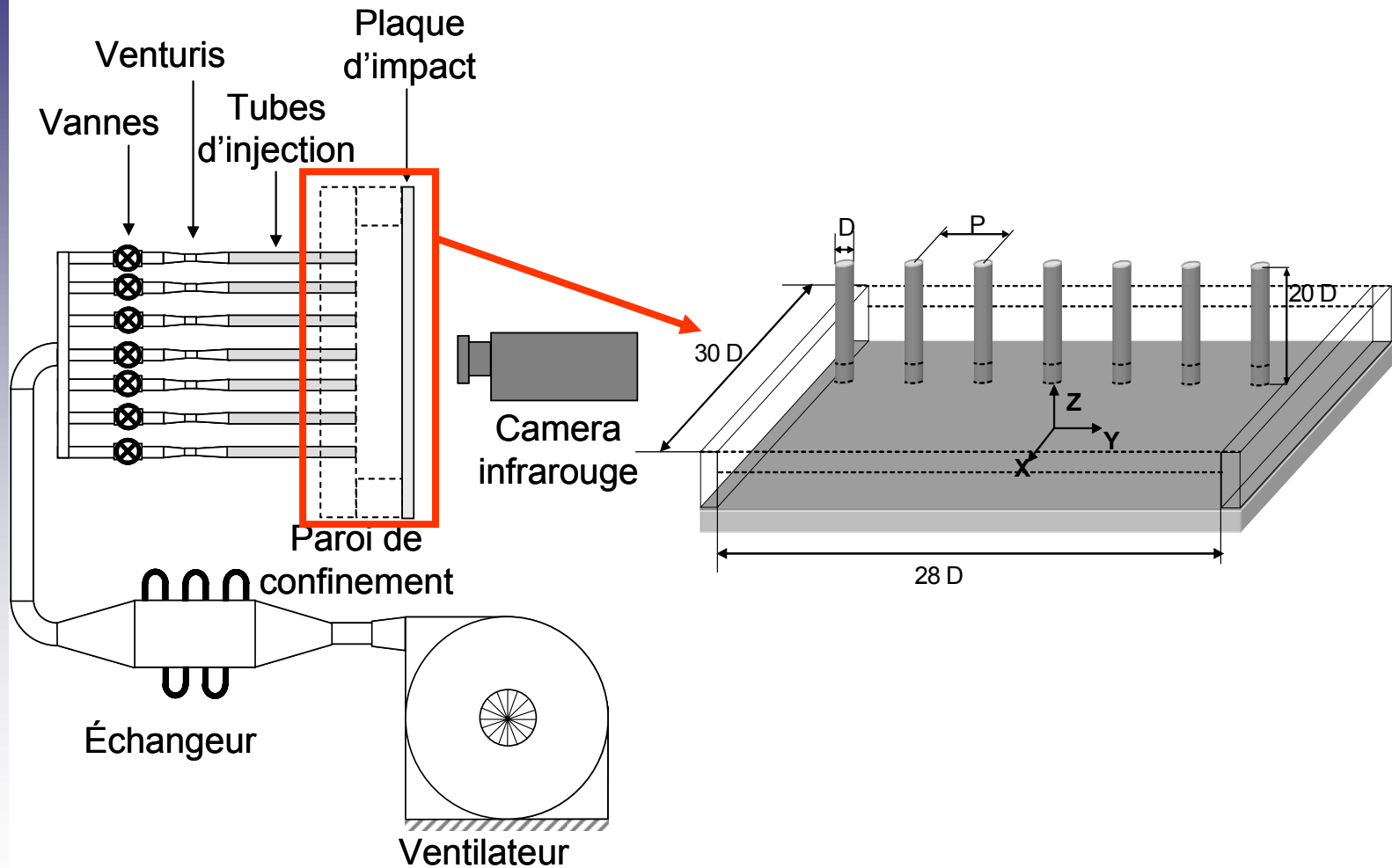
Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion



PARAMETRES

Introduction

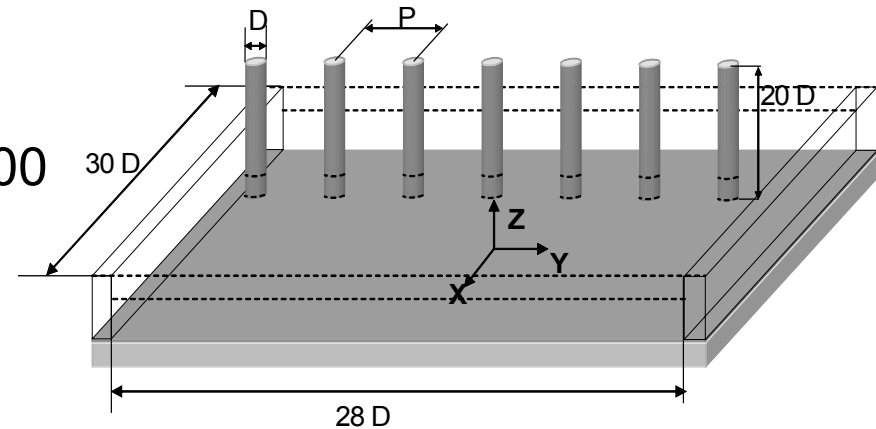
Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- Jets axisymétriques, diamètre $D=10$ mm, Régime turbulent établi
- Distance inter-jets $P/D : 4$
- Nombre de Reynolds d'injection $Re: 10000-23000$
- Distance d'impact adimensionnée $H/D: 2-5$
- Température d'injection $T_j: 20^{\circ}\text{C}-60^{\circ}\text{C}$
- Température ambiante $\approx 20^{\circ}\text{C}$



INFLUENCE DU SEMI-CONFINEMENT: NOMBRE DE NUSSELT

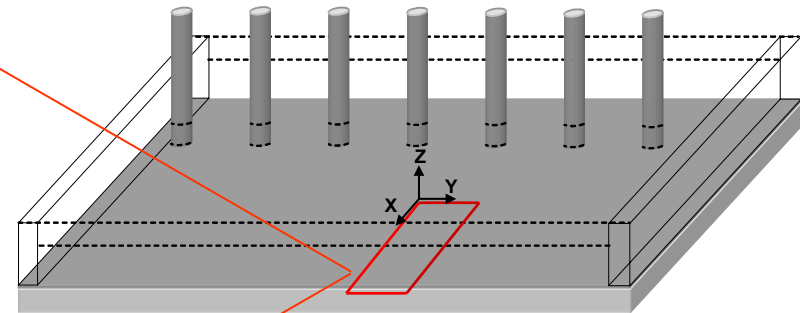
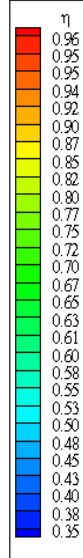
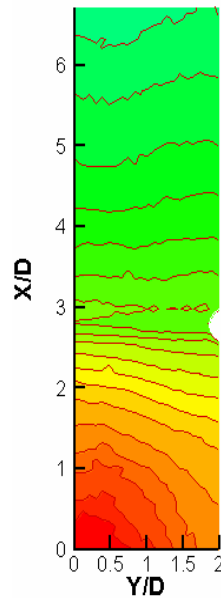
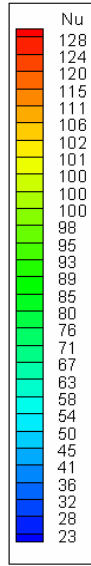
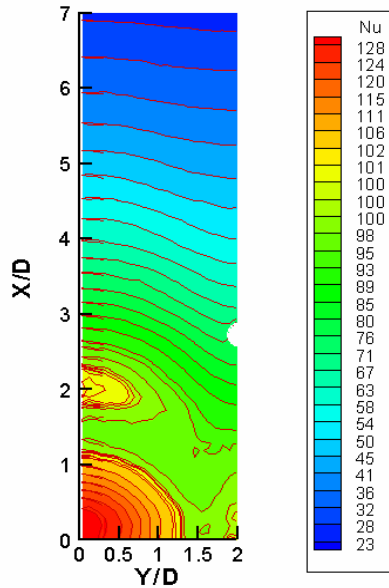
Introduction

Méthode

Etude du confinement

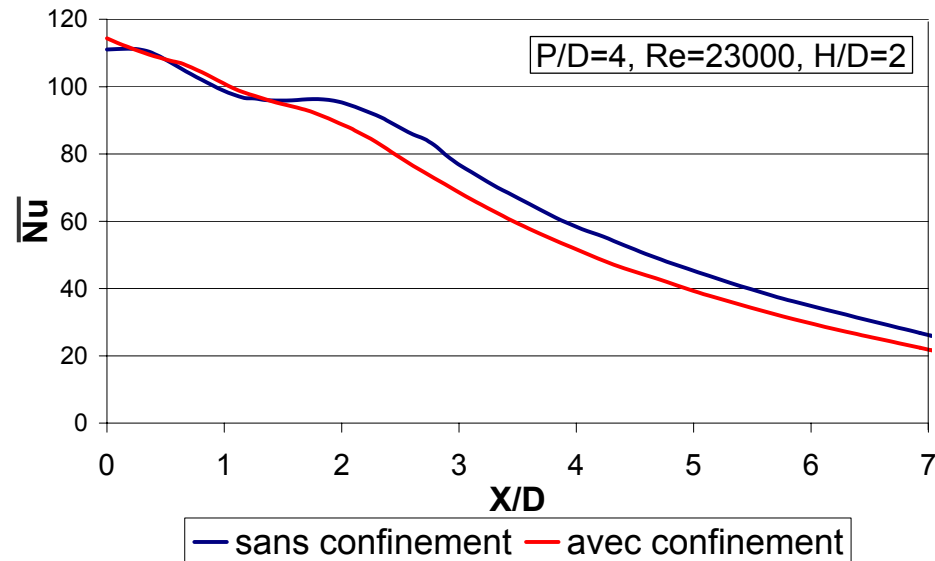
Etude de la courbure

Conclusion



INFLUENCE DU SEMI-CONFINEMENT: NOMBRE DE NUSSELT

- $\overline{Nu} = \frac{1}{P/2} \int_0^{P/2} Nu(x, y) dy :$



- Pas d'influence dans la zone d'impact
- Faible réduction des échanges dans la zone de jet pariétal (-15% au maximum)

INFLUENCE DU SEMI-CONFINEMENT: EFFICACITE

Introduction

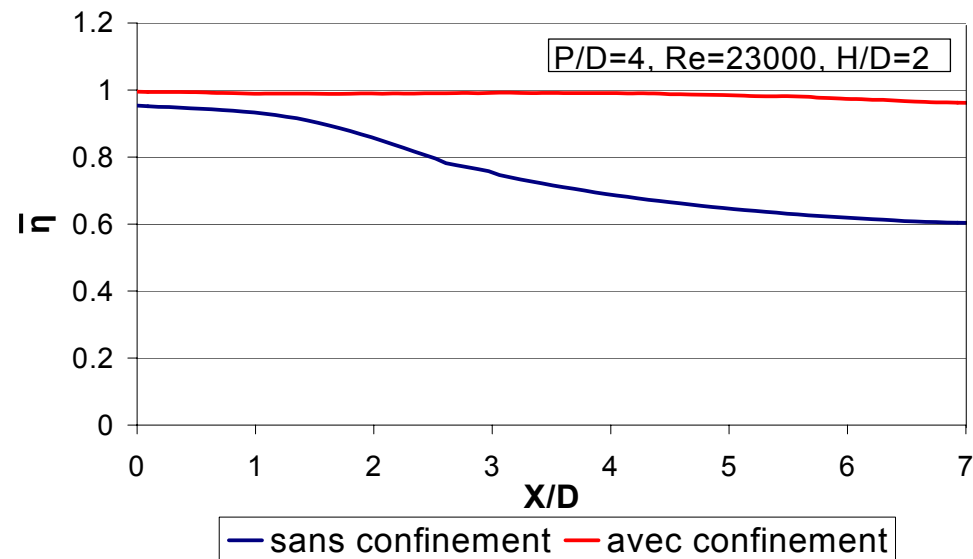
Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- $$\bar{\eta} = \frac{1}{P/2} \int_0^{P/2} \eta(x, y) dy :$$



- Forte augmentation de $\bar{\eta}$:
 - Pas de décroissance de $\bar{\eta}$ avec X

EXPLICATION DES EFFETS

Introduction

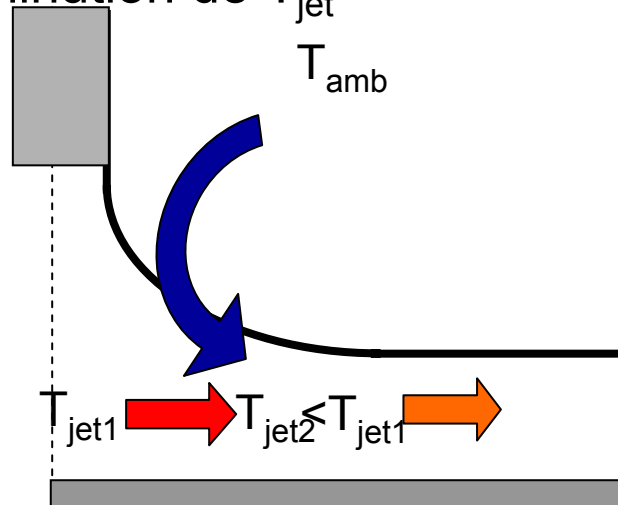
Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- Décroissance de η :
 - mélange de T_{jet} et de T_{amb}
- ⇒ Diminution de T_{jet}



EXPLICATION DES EFFETS

Introduction

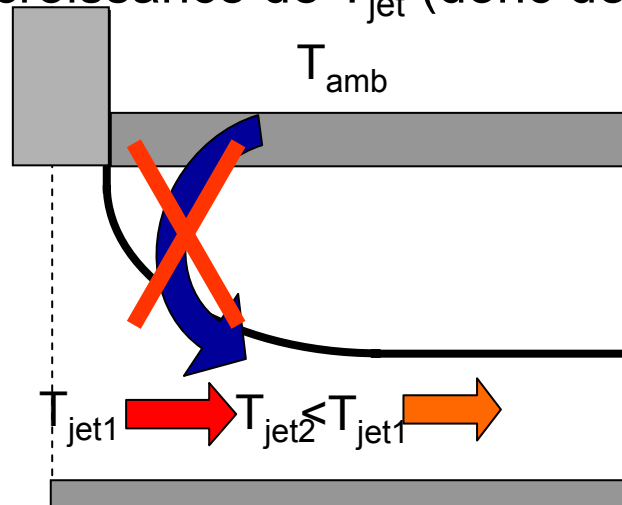
Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- Configuration semi confinée:
 - ⇒ Renouvellement plus difficile
 - ⇒ Décroissance de T_{jet} (donc de η) plus faible



EXPLICATION DES EFFETS

Introduction

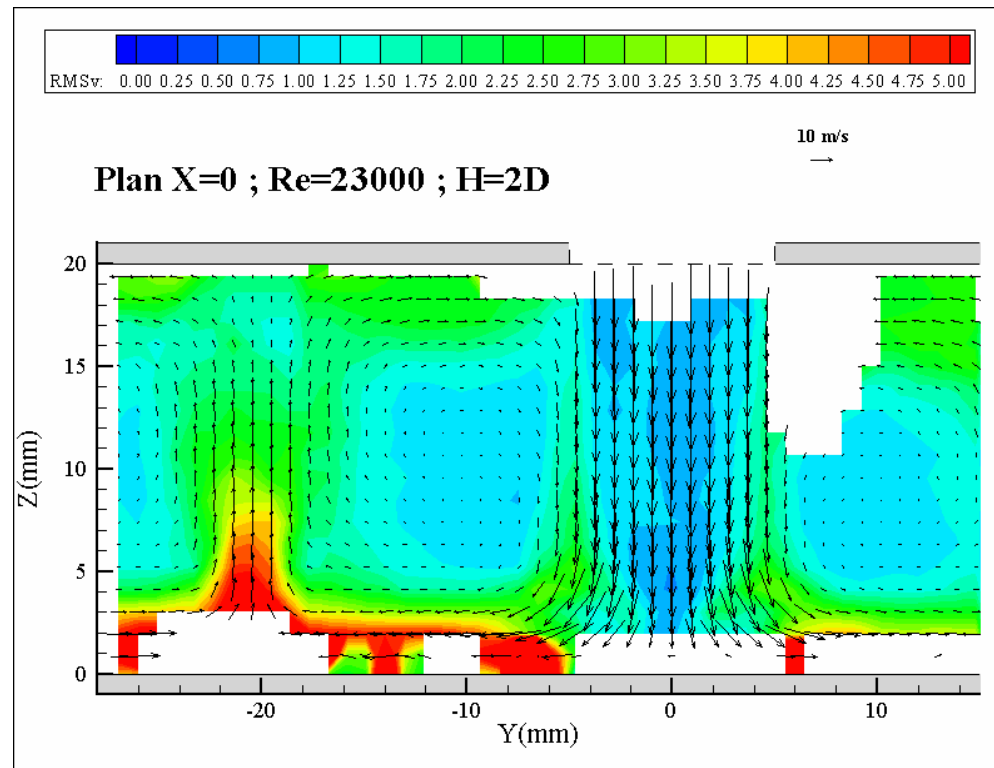
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion

- Effet fontaine:



Champ moyen dans le plan $X=0$

EXPLICATION DES EFFETS

Introduction

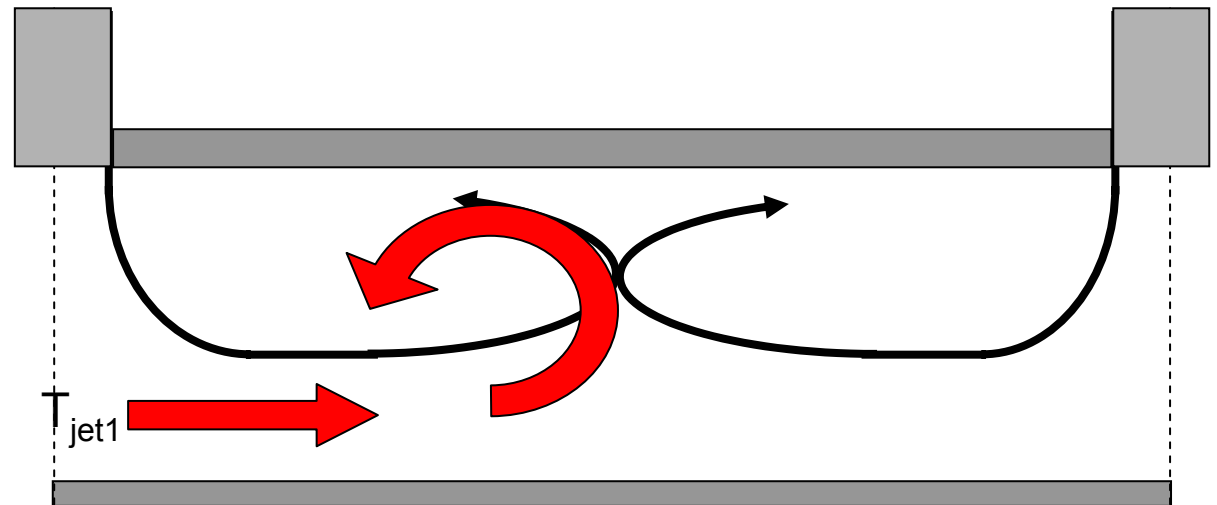
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion

- Effet fontaine:



Introduction

Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

INFLUENCE DE LA VARIATION DE LA COURBURE SUR LES TRANSFERTS DE CHALEUR D'UNE RANGÉE DE JETS EN IMPACT

CONFIGURATION ET PARAMETRES

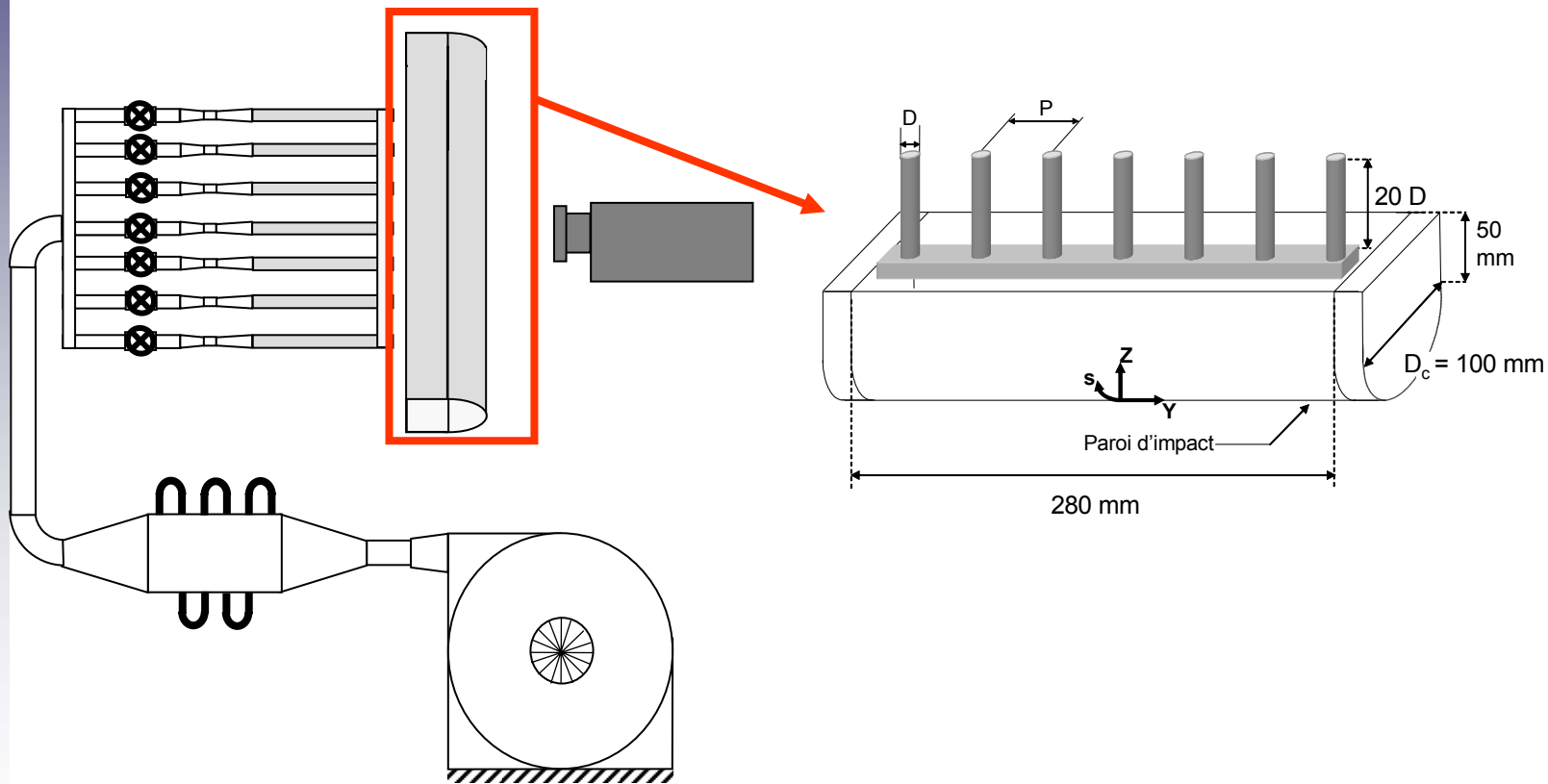
Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion



VARIATION DU NOMBRE DE NUSSELT

Introduction

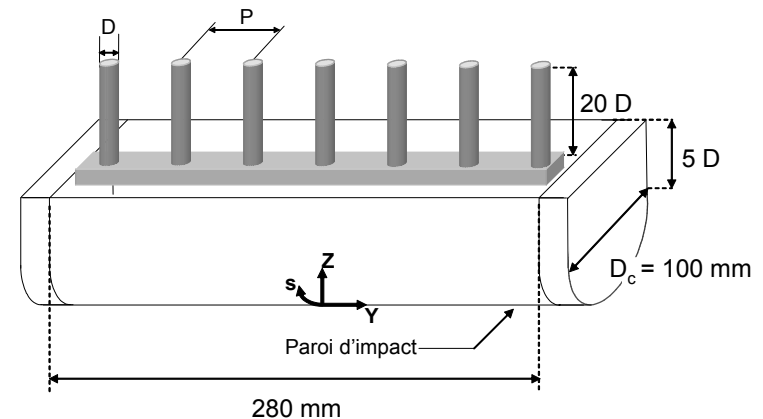
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion

- Diamètre intérieur: $D_c = 100$ mm
- Jets axisymétriques, diamètre $D = 10 - 15 - 20$ mm
- Régime turbulent établi
- $P/D : 4$
- $Re : 10000 - 23000$
- $H/D : 2 - 5$
- $T_j : 20^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$
- $T_{amb} \approx 20^\circ\text{C}$



VARIATION DU NOMBRE DE NUSSELT

Introduction

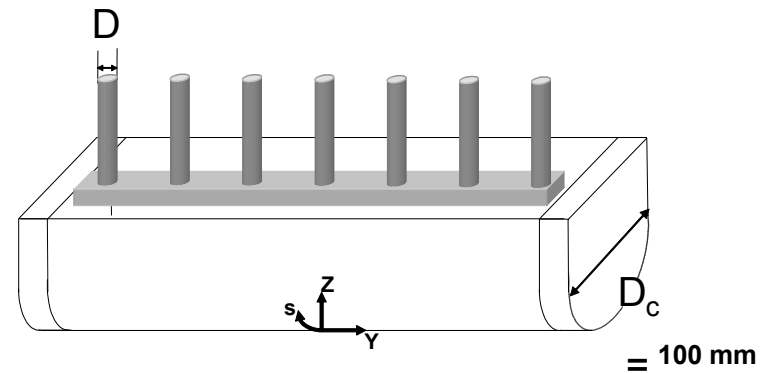
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

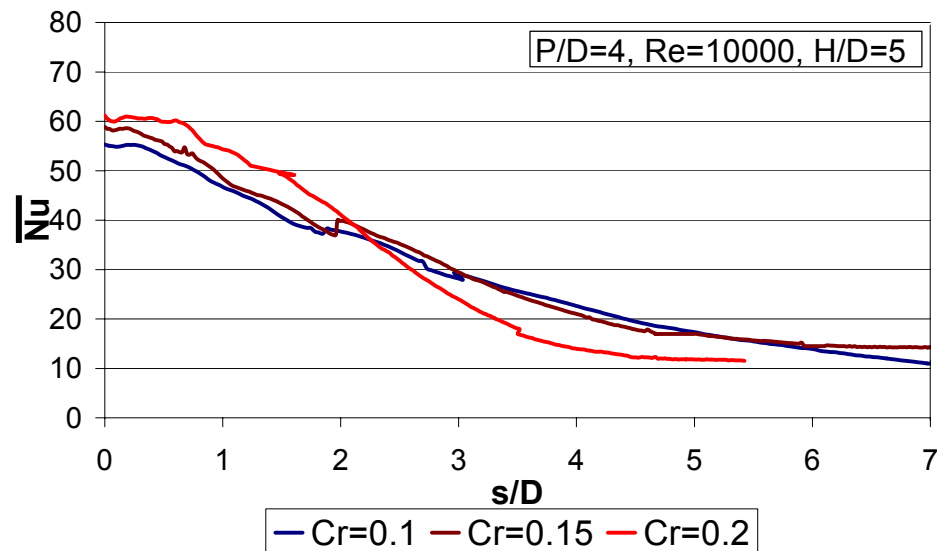
Conclusion

- Courbure relative: $C_r = D/D_c$
- Modification de C_r par variation de D :
 - $D=10 \text{ mm} \Rightarrow C_r=0.1$
 - $D=15 \text{ mm} \Rightarrow C_r=0.15$
 - $D=20 \text{ mm} \Rightarrow C_r=0.2$



NOMBRE DE NUSSELT

■ $\overline{Nu} = \frac{1}{P/2} \int_0^{P/2} Nu(x, y) dy :$



- Augmentation de C_r :
- $s/D < 2.5$: Augmentation de \overline{Nu}
 - $s/D > 2.5$: diminution de \overline{Nu}

EFFICACITE

Introduction

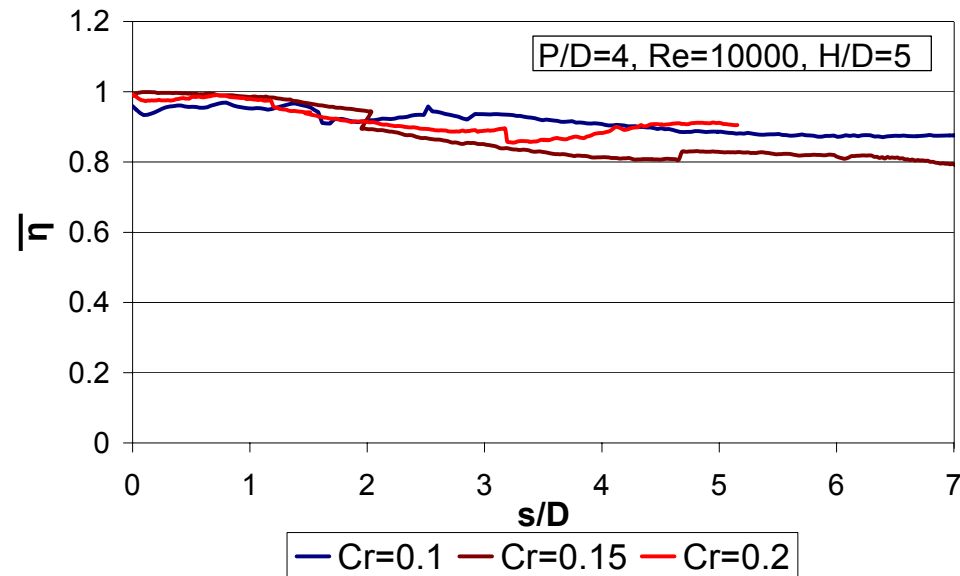
Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion

- $$\bar{\eta} = \frac{1}{P/2} \int_0^{P/2} \eta(x, y) dy \quad :$$



- Pas d'influence de la courbure C_r

COMPARAISON: PLAN/COURBURE

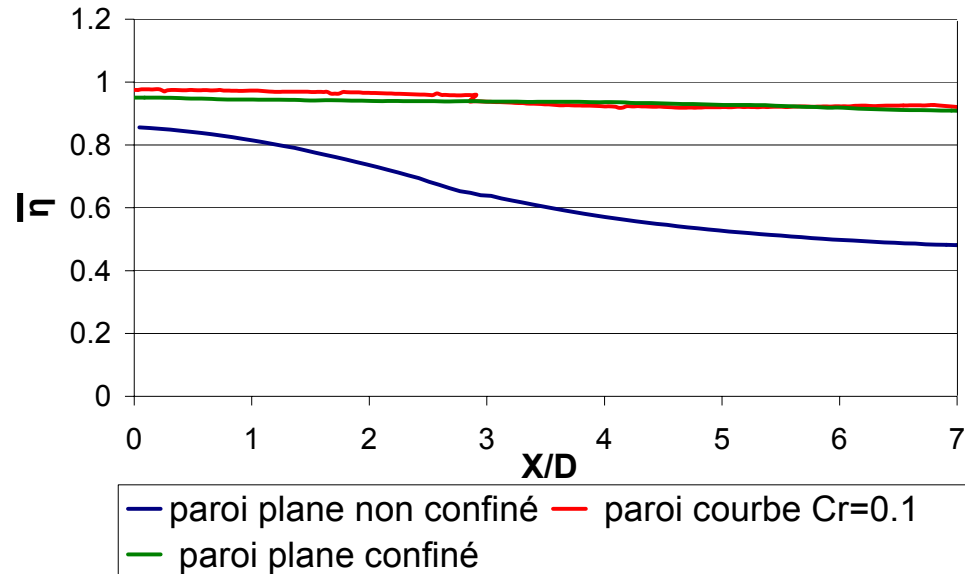
Introduction

Méthode

Etude du confinement

Etude de la courbure

Conclusion



- Le confinement réduit la chute de l'efficacité

CONCLUSION

Introduction

Méthode

Etude du
confinement

Etude de la
courbure

Conclusion

- Méthode de détermination simultanée de h et T_{ad} :
 - Utilisable dans les configurations à 3 températures
 - Emploi d'un film chauffant et de mesures infrarouges

- Application à l'étude du confinement:
 - Rangée de jets en impact sur une paroi plane
 - Peu d'influence sur Nu
 - η constante dans le cas semi-confiné

- Application à l'étude de la courbure:
 - Rangée de jets en impact
 - Influence faible sur Nu (Hausse dans la zone de stagnation et baisse dans la zone de jet pariétal)
 - η constante à cause du confinement de la paroi d'impact