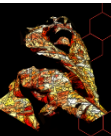


Influence de l'interaction entre ultrasons et écoulement sur l'intensification du transfert thermique : effets de la fréquence des ondes selon le régime hydrodynamique

**Christophe PONCET^{1*}, Odin BULLIARD-SAURET¹, Sébastien FERROUILLAT¹,
Laure VIGNAL¹ et Nicolas GONDREXON²**

¹ Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, Université Grenoble-Alpes.

² Laboratoire Rhéologie et Procédés, Université Grenoble-Alpes.



Contexte

- Ultrasons : ondes acoustiques dont la fréquence est comprise entre 20 kHz et 10 MHz
- Effets produits par les ultrasons varient selon la fréquence ultrasonore (Cavitation acoustique, courants acoustiques)
- Emission d'ultrasons dans un écoulement permet de perturber l'hydrodynamique de écoulement
- Ces effets hydrodynamiques tendent à s'atténuer avec l'augmentation de la vitesse d'écoulement
- Les effets hydrodynamiques générés par les ultrasons peuvent permettre d'intensifier les transferts thermiques convectifs lorsqu'ils se produisent à proximité d'une surface chauffante

Objectif : Analyser l'influence des ultrasons sur le transfert thermique et l'hydrodynamique selon le régime d'écoulement, pour deux fréquences ultrasonores

Dispositif expérimental

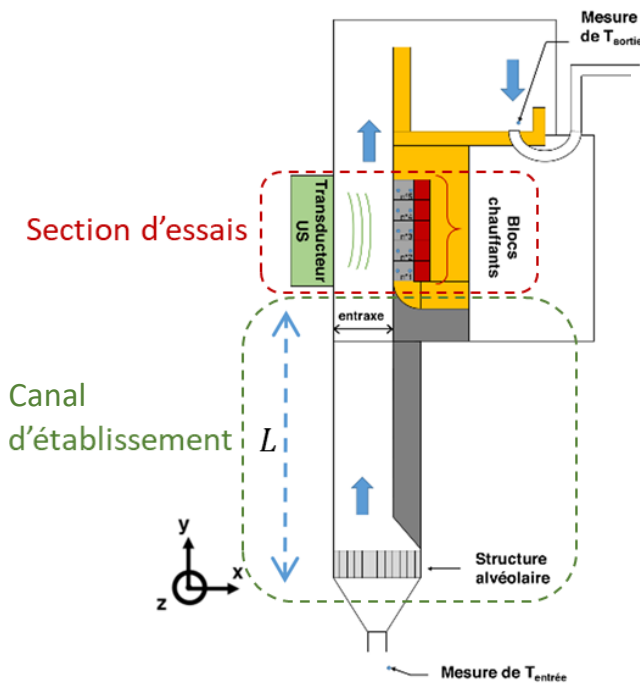


Figure 1a :
Schéma de la
section d'essais

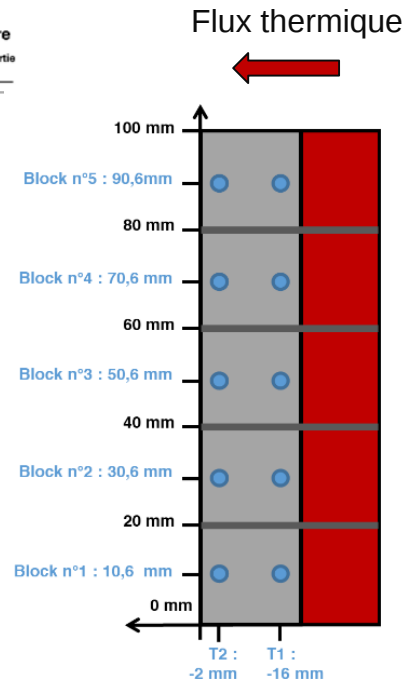


Figure 1b : Schéma
détaillé de la plaque
chauffante

Section d'essais

- intégrée à un banc expérimental permettant la mise en circulation du fluide (eau).
- Débit contrôlé et mesuré
- Température du fluide réglée à 20°C

Transducteurs:

- 25 kHz, favorise la cavitation acoustique
- 2 MHz, favorise les courants acoustiques
- Puissance de chaque émetteur déterminée par calorimétrie.
- Fixée à 110 W pour tous les essais.

Transfert thermique

- Nombre de Reynolds

$$Re_{D_h} = \frac{V \cdot \rho \cdot D_h}{\mu}$$

- Nombre de Nusselt

$$Nu = \frac{\Phi}{S \times (T_p - T_f)} \times \frac{D_h}{\lambda_{fluide}}$$

- Heat Transfer Enhancement Factor (HTEF)

$$HTEF = \frac{Nu_{avec\ us} - Nu_{sans\ us}}{Nu_{sans\ us}}$$

Particule Image Velocimetry

- PIV 2D-2C, laser pulsé Nd-YAG 200mJ ; Particules réfléchissantes Orgasol 60 μm

- Mesures des champs de vitesses instantanées (2500 doublets) et calcul de l'énergie cinétique de turbulence (TKE)

$$TKE = \frac{3}{4} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}{(N-1)}}$$

- TKE Enhancement Factor défini comme le HTEF

$$TKE\ EF = \frac{TKE_{avec\ us} - TKE_{sans\ us}}{TKE_{sans\ us}}$$

Ultrasons de 25 kHz

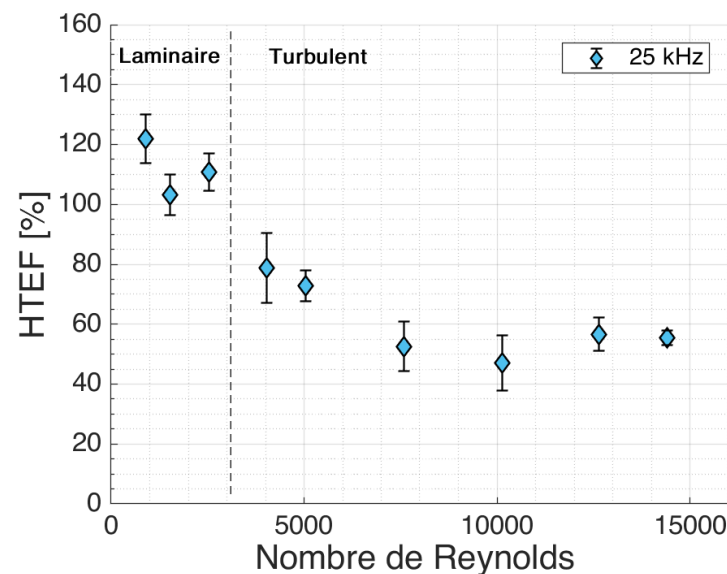
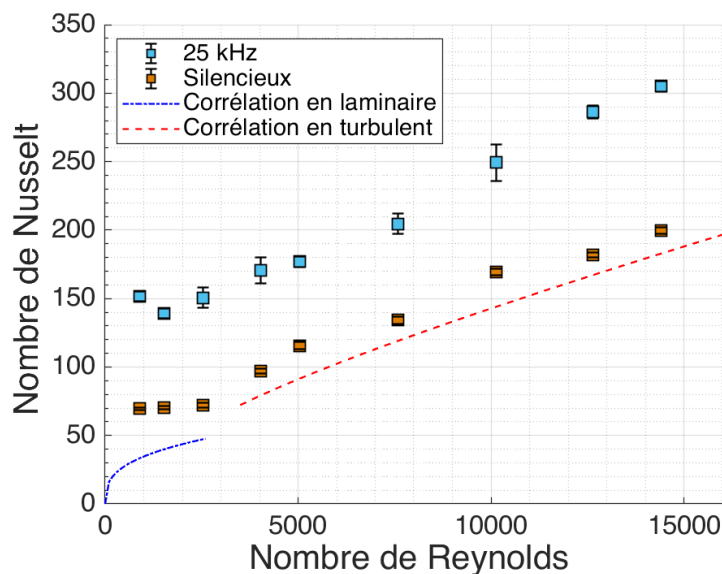


Figure 2 : Transfert thermique au niveau du bloc 5, en présence d'ultrasons ($f = 25$ kHz ; $P_{us} 110$ W)

- Les ultrasons de 25 kHz génèrent une amélioration du transfert thermique, nombre de Nusselt croissant avec nombre de Reynolds.
- L'intensification générée décroît avec l'augmentation du nombre de Reynolds avant d'atteindre une asymptote.

Ultrasons de 25 kHz

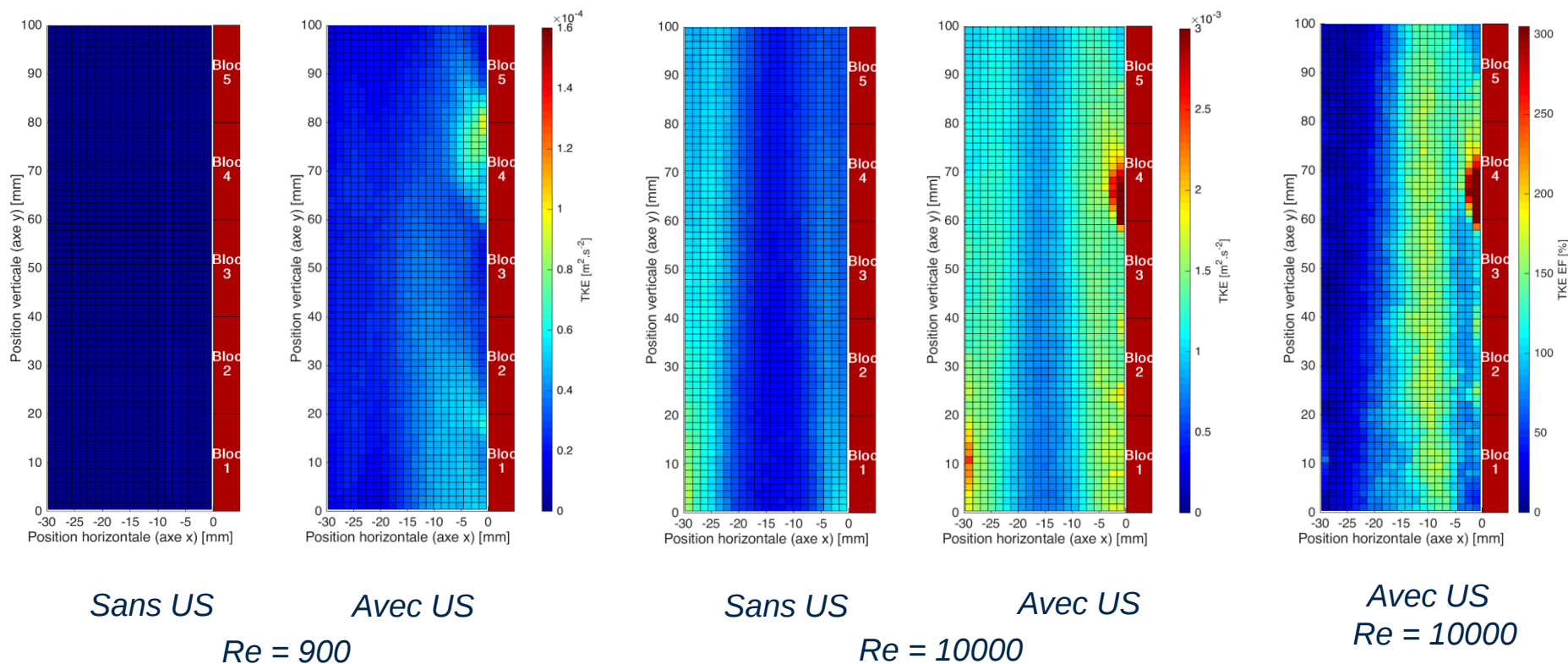


Figure 3 : TKE sans et avec ultrasons au sein du canal ($f = 25 \text{ kHz}$; $P_{us} 110 \text{ W}$)

- En régime laminaire, les ultrasons de 25 kHz génèrent TKE
- en régime turbulent, permettent d'augmenter la TKE préexistante
- Ultrasons de 25 kHz génèrent de la turbulence à proximité de la paroi chauffante.

Ultrasons de 2 MHz

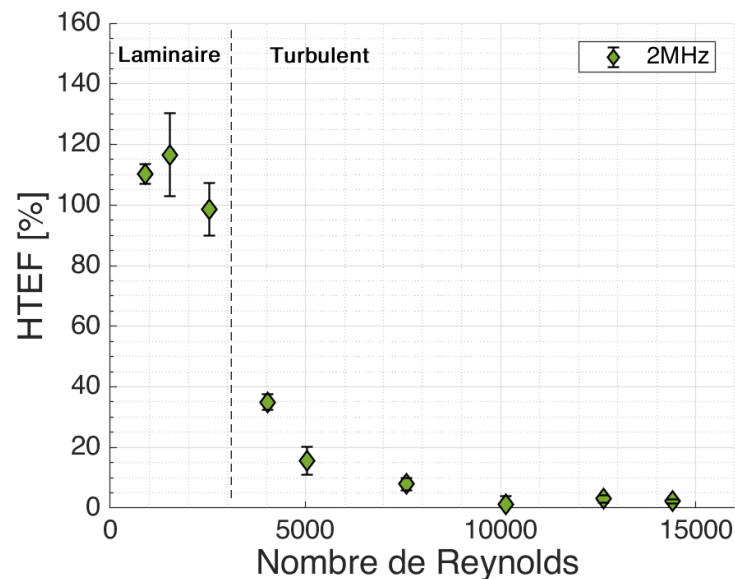
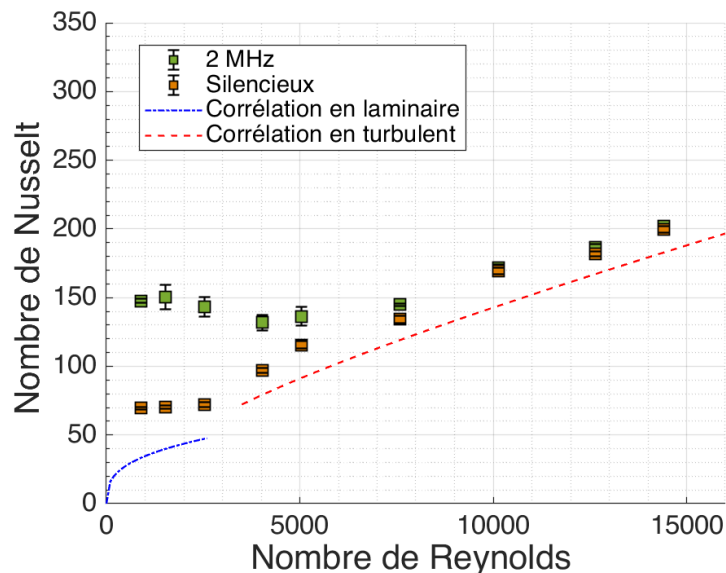


Figure 4 : Transfert thermique au niveau du bloc 5, en présence d'ultrasons ($f = 2$ MHz ; $P_{us} 110$ W)

- Les ultrasons de 2 MHz génèrent une amélioration du transfert thermique, nombre de Nusselt fixe avec nombre de Reynolds (jusqu'à $Re = 7500$)
- L'intensification décroît avec l'augmentation du nombre de Reynolds, HTEF $\sim 0\%$ pour $Re > 7500$

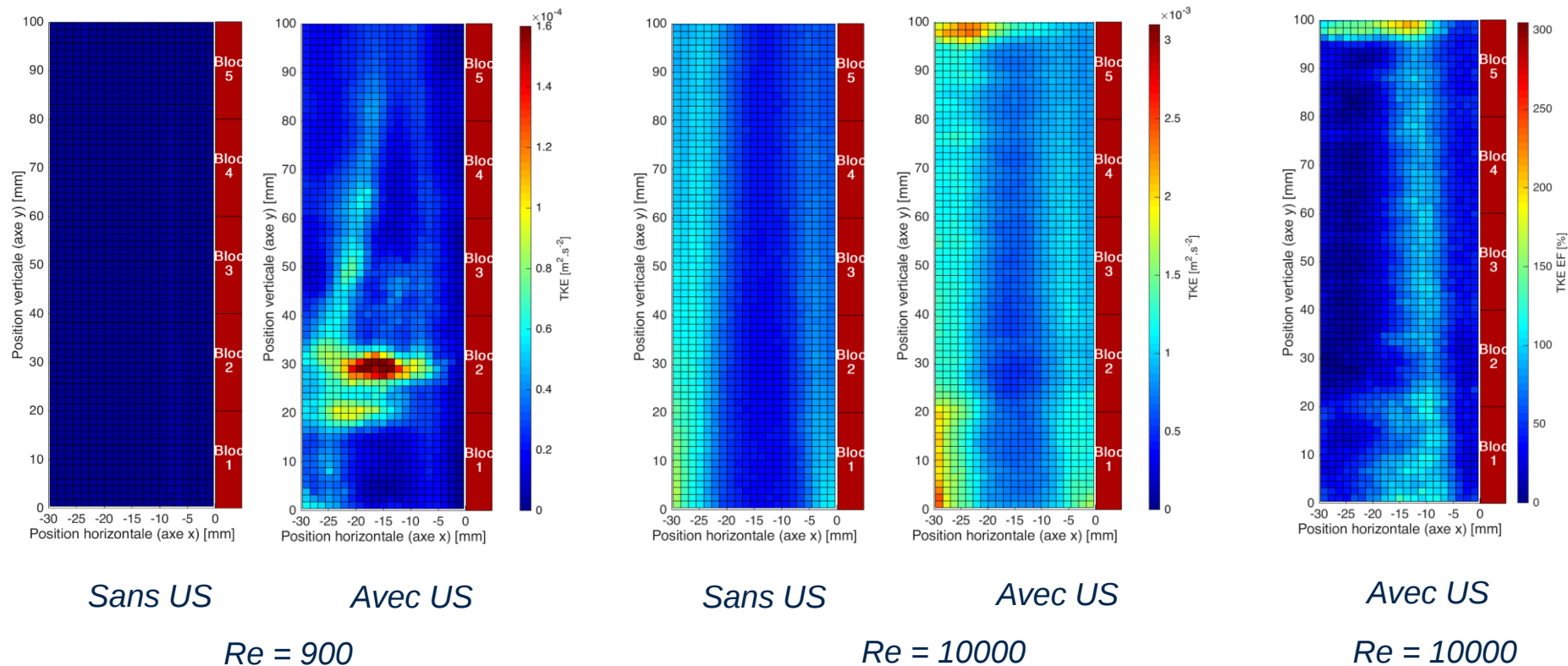


Figure 5 : TKE sans et avec ultrasons au sein du canal ($f = 2$ MHz ; $P_{us} 110$ W)

-Ultrasons de 2 MHz génèrent de la TKE majoritairement au centre de l'écoulement.

-Effets fortement atténués en régime turbulent

CONCLUSIONS

Pour les ultrasons de 25 kHz, la cavitation acoustique permet de générer des perturbations hydrodynamiques importantes à proximité de la paroi chauffante, quel que soit le régime d'écoulement. Ces perturbations hydrodynamiques se traduisent par une intensification du transfert thermique. Bien que cette intensification décroît avec l'augmentation du nombre de Reynolds, elle atteint une asymptote autour de 50% pour les nombres de Reynolds les plus élevés.

Pour les ultrasons de 2 MHz, les courants acoustiques générés permettent de perturber l'écoulement en régime laminaire qui se traduit par une intensification du transfert thermique. Cependant avec l'augmentation du nombre de Reynolds, ces effets sur l'hydrodynamiques s'atténuent et les ultrasons de haute fréquence n'ont alors plus d'effet sur le transfert thermique.

***Influence de l'interaction entre ultrasons et écoulement sur
l'intensification du transfert thermique : effets de la
fréquence des ondes selon le régime hydrodynamique***

Merci pour votre attention !

