

# Echangeurs de chaleur exposés à des vibrations ultrasoniques

Présentation des études réalisées sur l'amélioration des transferts de chaleur grâce aux ultrasons avec application aux échangeurs.

Mathieu Legay, Nicolas Gondrexon, Stéphane Le Person, André Bontemps, Primus Boldo



## LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

### ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

### ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

### ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

Analyse des performances

CONCLUSION

# LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

## ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

## ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

## ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

Analyse des performances

CONCLUSION

# LES ULTRASONS

Ondes acoustiques dont la fréquence est supérieure à la limite haute d'audition de l'oreille humaine

*Ultrasons de puissance*

*Ultrasons faible puissance*

20kHz

100kHz

1MHz

100MHz

f

Basse  
Fréquence

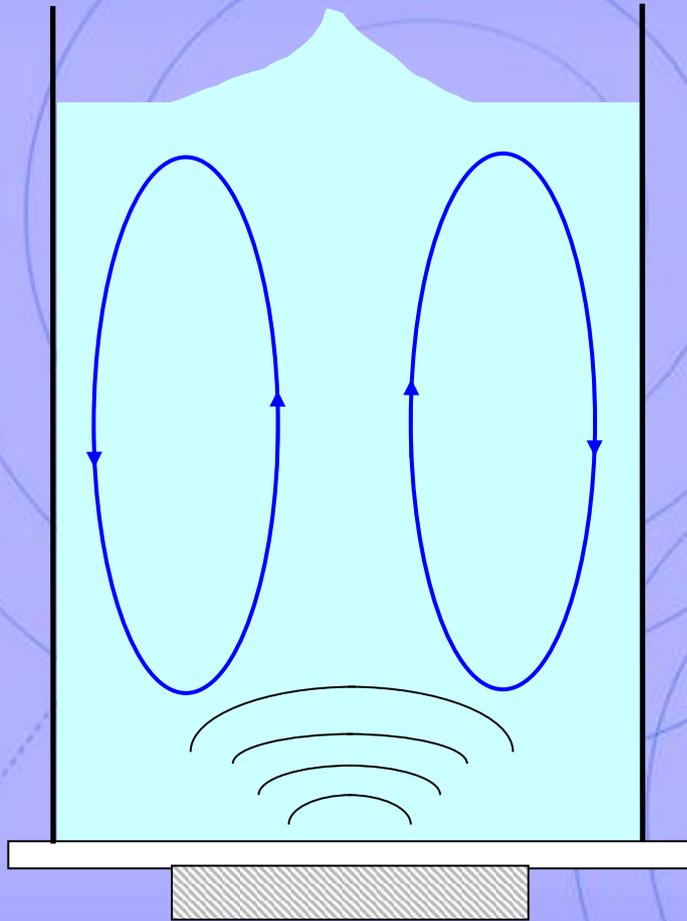
Haute fréquence

Très haute  
fréquence

- Nettoyage
- Chimie
- Soudure plastique

- Applications médicales
- Contrôle non destructif

# PHÉNOMÈNES RÉSULTANTS

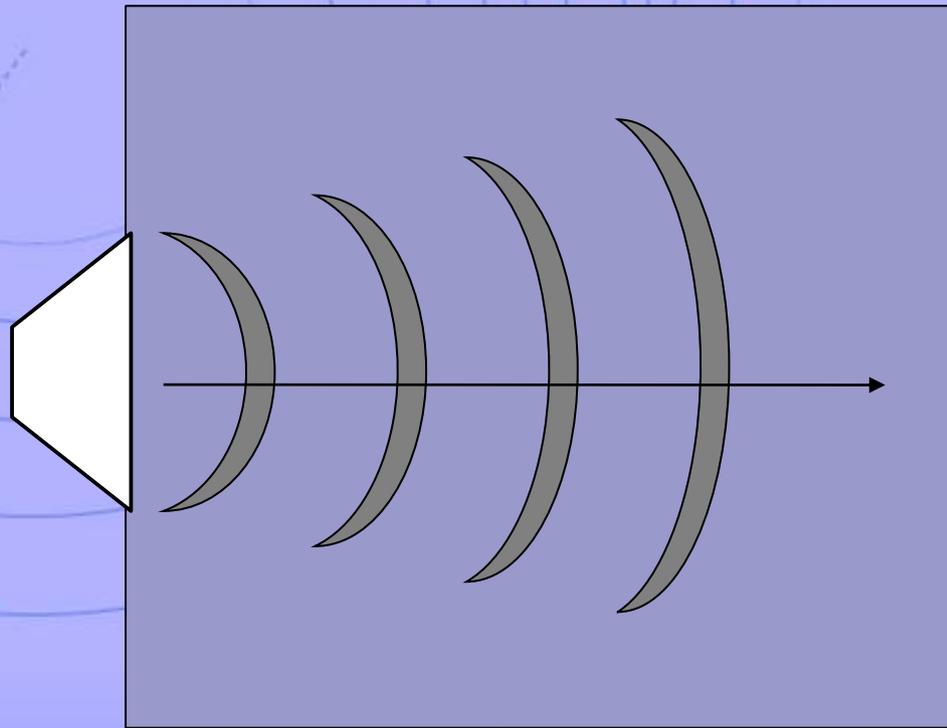


Émetteur piézo-électrique

- Effet thermique
- Bulles de cavitation
- Micro-courants
- Courant acoustique
- Fontaine acoustique

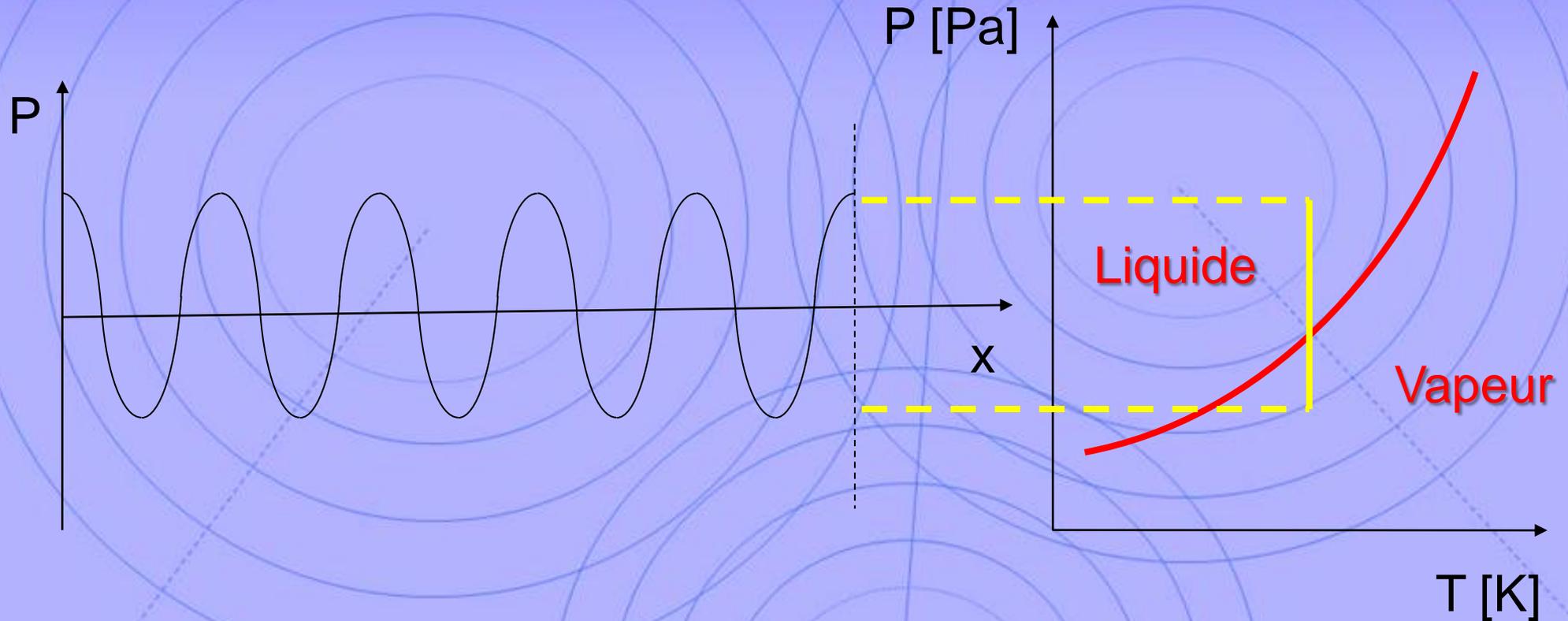
# LE COURANT ACOUSTIQUE

Déplacement de fluide dans le sens de propagation de l'onde acoustique dû à l'atténuation de celle-ci.



Augmentation de la vitesse du fluide et de la convection.

# LA CAVITATION ACOUSTIQUE



Lorsque  $P < P_{\text{sat}}$  : formation de bulles de vapeur.

Croissance puis implosion des bulles.

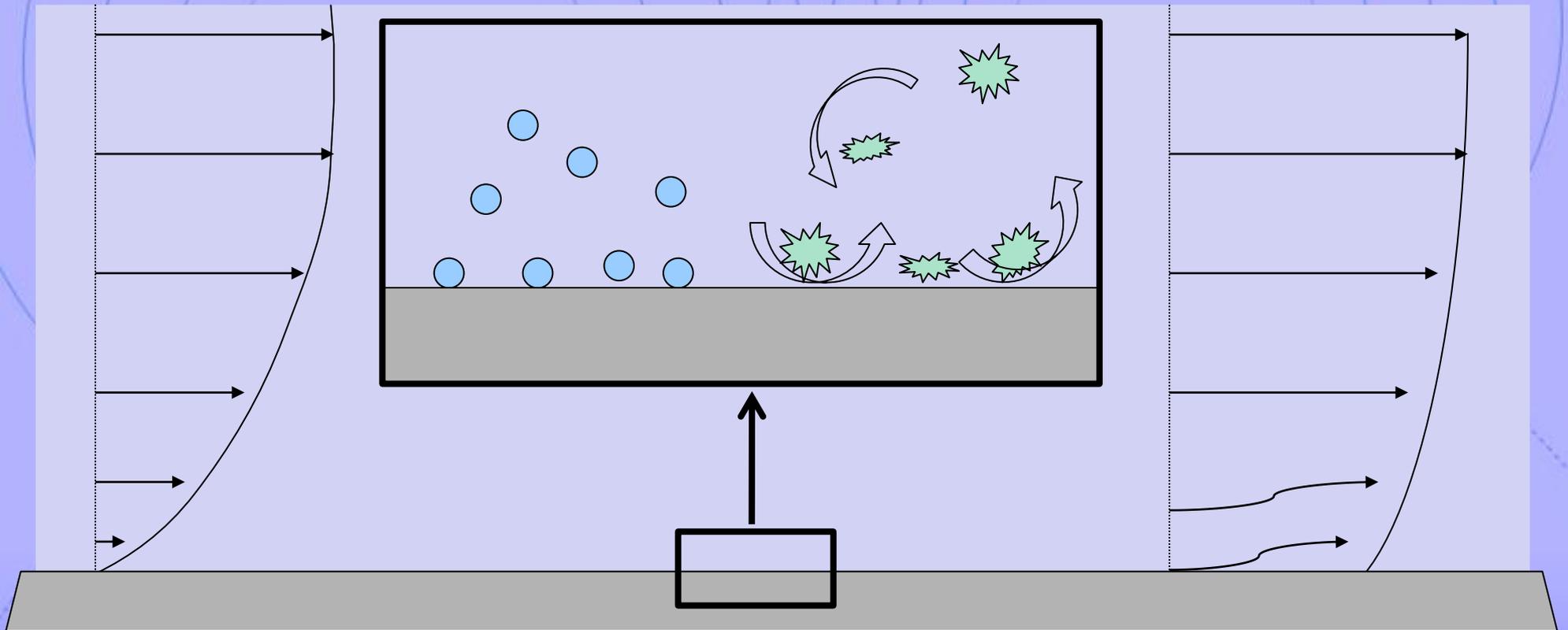
Pression et température locales jusqu'à 50MPa et 5000K.

# EFFETS THERMO-HYDRAULIQUES

Profil de vitesses  
régime laminaire  
sans cavitation

Formation et implosion  
des bulles de cavitation

Profil de vitesses  
modifié par la  
cavitation (supposé)



Couche limite de vitesse perturbée et résistance thermique diminuée.

# BIBLIOGRAPHIE

Transfert de chaleur en présence d'ultrasons  
(sur environ 50 travaux)

Ultrasons et changement de phase – augmentation du flux critique, du coefficient d'échange thermique.

40%

Convection naturelle, courant acoustique pour les faibles flux.

40%

Alimentation: congélation (taille et forme des cristaux), transfert de matière (séchage).

10%

Échangeurs de chaleur : intensification des transferts ou encrassement.

10%

# MÉTHODOLOGIE EXPÉRIMENTALE

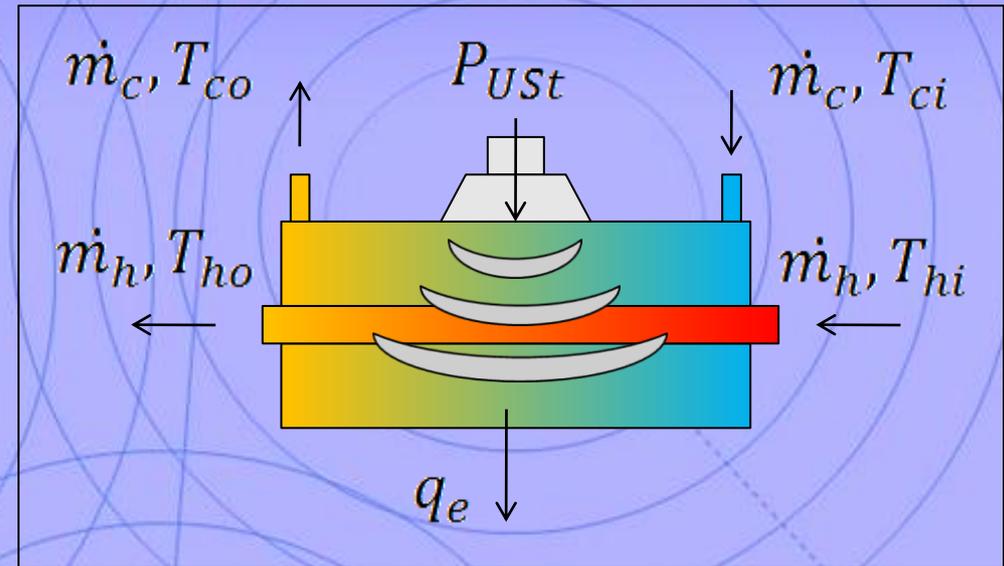
Bilan énergétique :

$$q_h + P_{UST} = q_c + q_e$$

$h$  : hot

$c$  : cold

$e$  : environnement



Facteur d'intensification : (ou d'amélioration)

$$\text{Facteur d'intensification (EF)} = \frac{\text{Grandeur AVEC ultrasons}}{\text{Grandeur SANS ultrasons}}$$

- Cas de l'échangeur « batch » :  $h$  (coefficient de convection)
- Cas des autres échangeurs :  $U$  (coefficient global d'échange)

# LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

## ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

## ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

## ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

Analyse des performances

CONCLUSION

# EXPÉRIENCE

Calcul du temps de refroidissement d'un bain d'eau préchauffée contenue dans un réacteur ultrasonore qui est traversé par un serpentin dans lequel circule de l'eau froide.

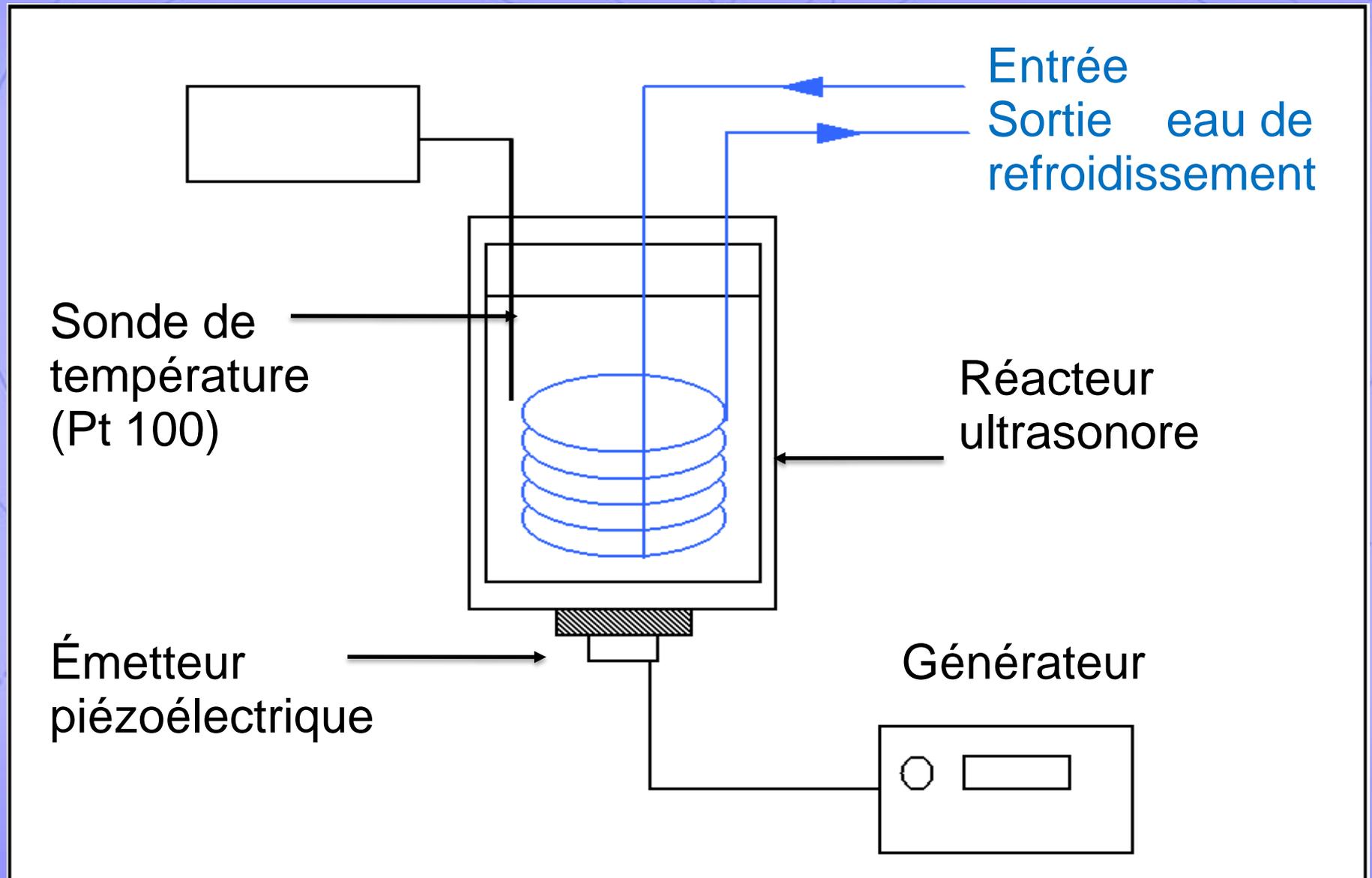
## Objectif

Étudier l'influence d'ultrasons haute fréquence sur les transferts de chaleur au cours du refroidissement du réacteur ultrasonore ( $\approx 3L$ ).

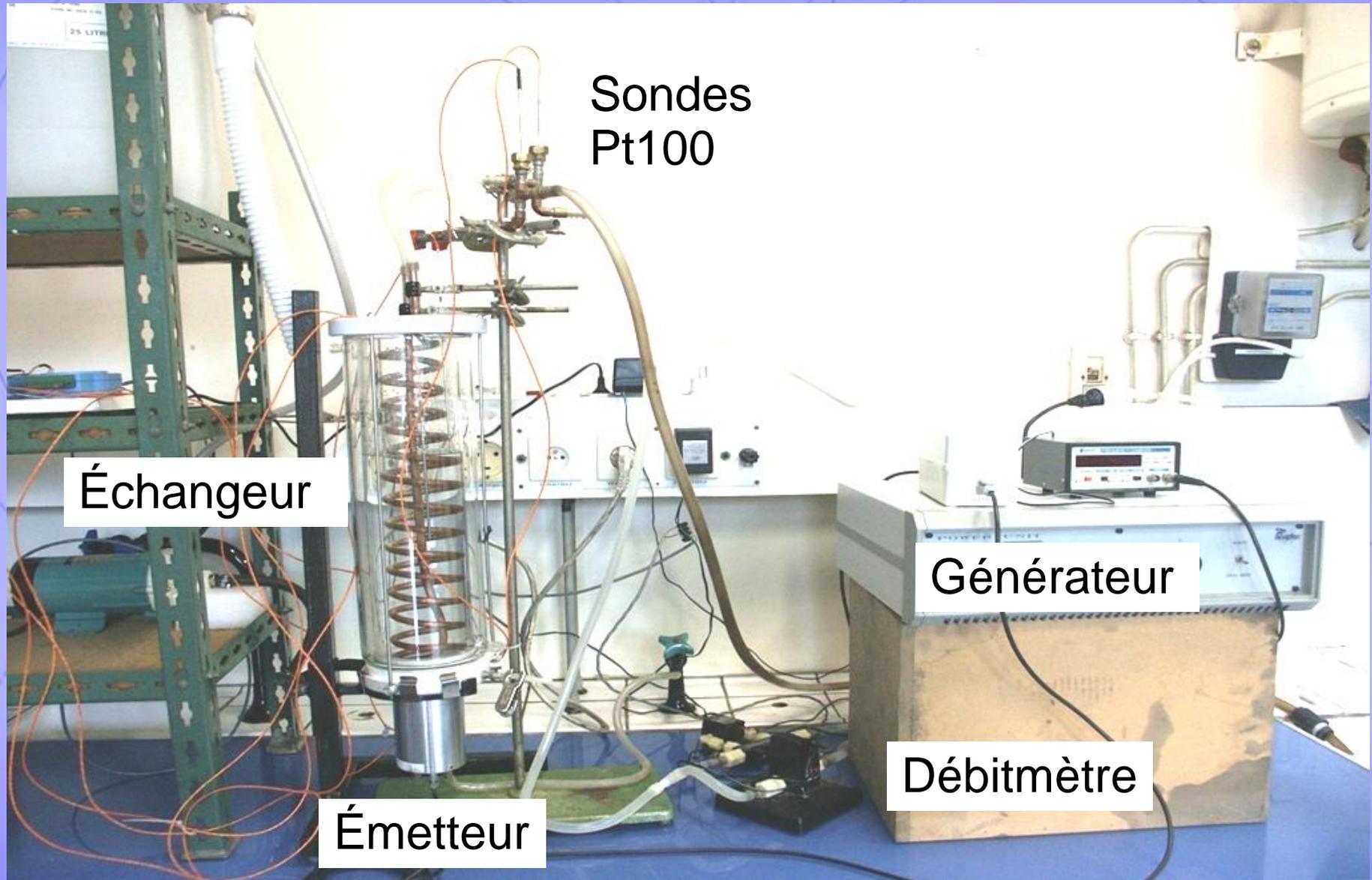
## Méthode

Détermination et comparaison des coefficients de transferts de chaleur avec et sans ultrasons.

# SYSTÈME ÉTUDIÉ

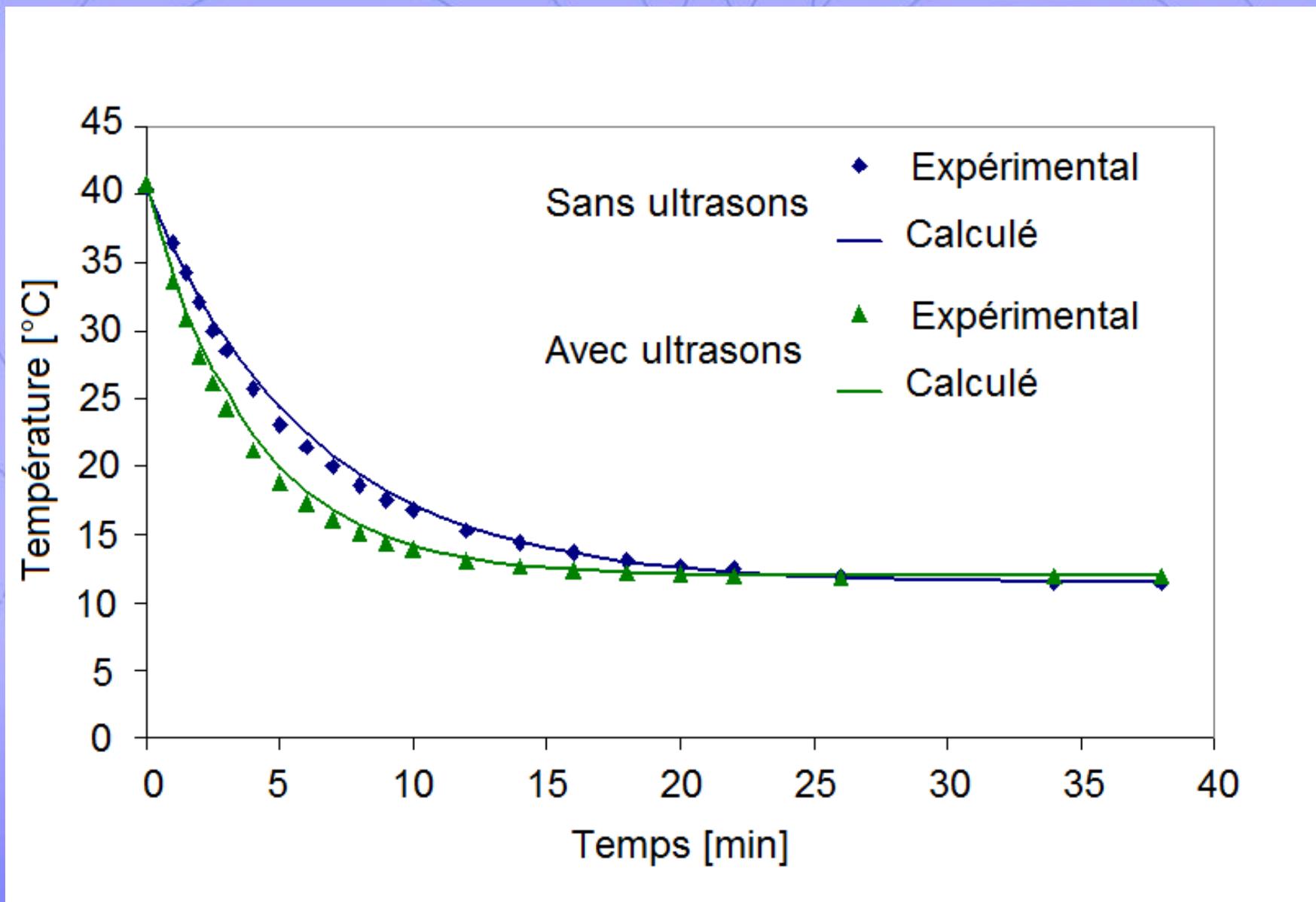


# SYSTEME ETUDIÉ



# TEMPS DE REFROIDISSEMENT

Fréquence 800kHz, débit 141L/h, puissance ultrasonore 57,6W.



# AMÉLIORATION

Expérience	Fréquence [kHz]	Puissance ultrasons [W]	$h$ [ $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ ]	$h$ ultrasons [ $W\ m^{-2}\ K^{-1}$ ]	Facteur d'amélioration
1	800 (141L/h)	57.6	582.3	1079.9	1.85
2	800 (207L/h)	57.6	598.1	1221.3	2.04
3	641	57.6	582.3	976.5	1.68
4	641	109	582.3	1137.6	1.95
5	285	30.1	581	1083	1.86
6	20	44	540	731	1.35

- Augmentation systématique du coefficient de transfert de chaleur entre le serpentin et le réacteur : de 135 à 204%.
- Faible influence de la fréquence dans la gamme haute (N° 1,3,5)
- Meilleure amélioration pour un débit d'eau (N° 1,2) ou une puissance ultrasonore (N° 3,4) plus élevés.

# LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

## ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

## ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

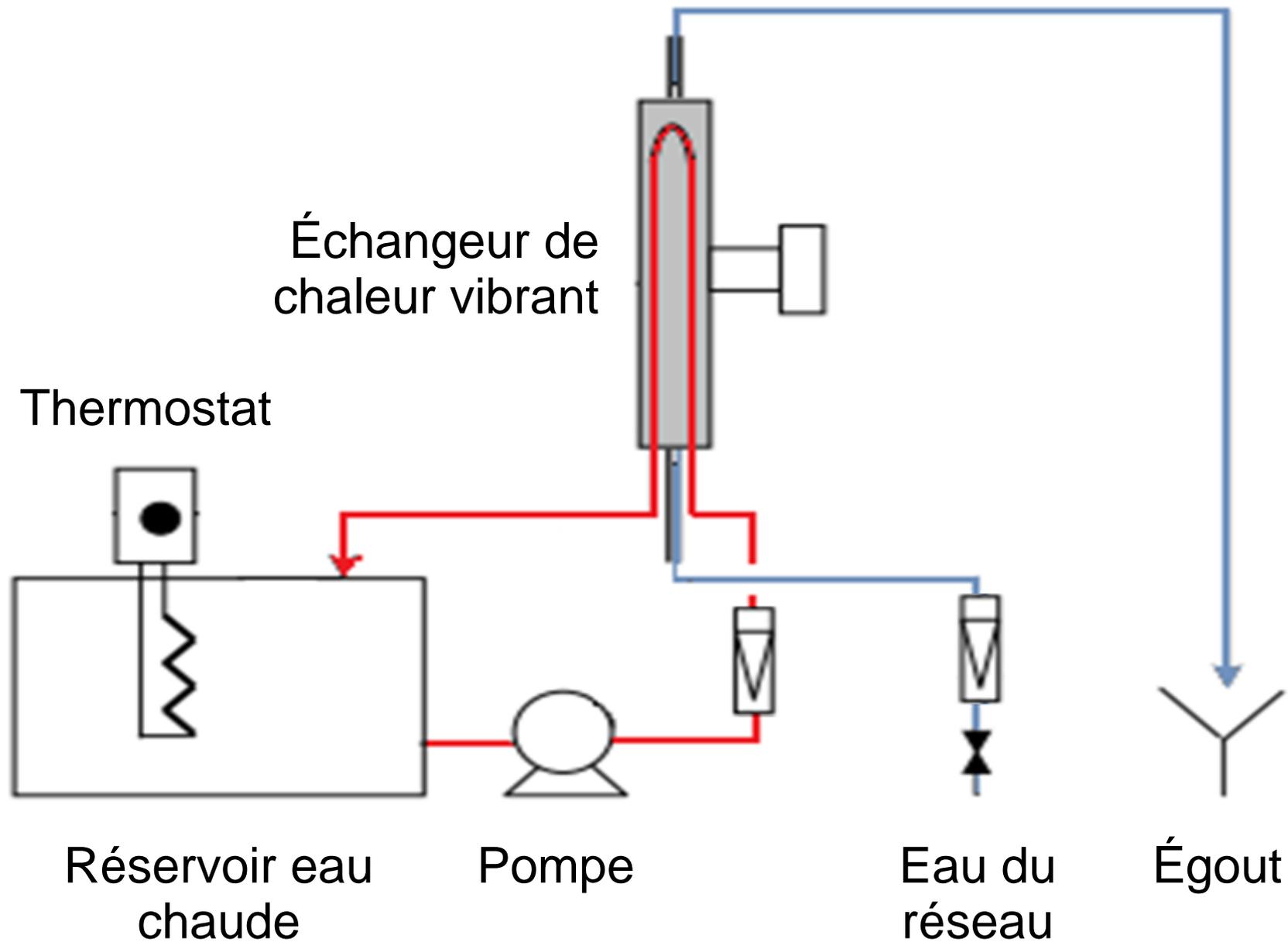
## ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

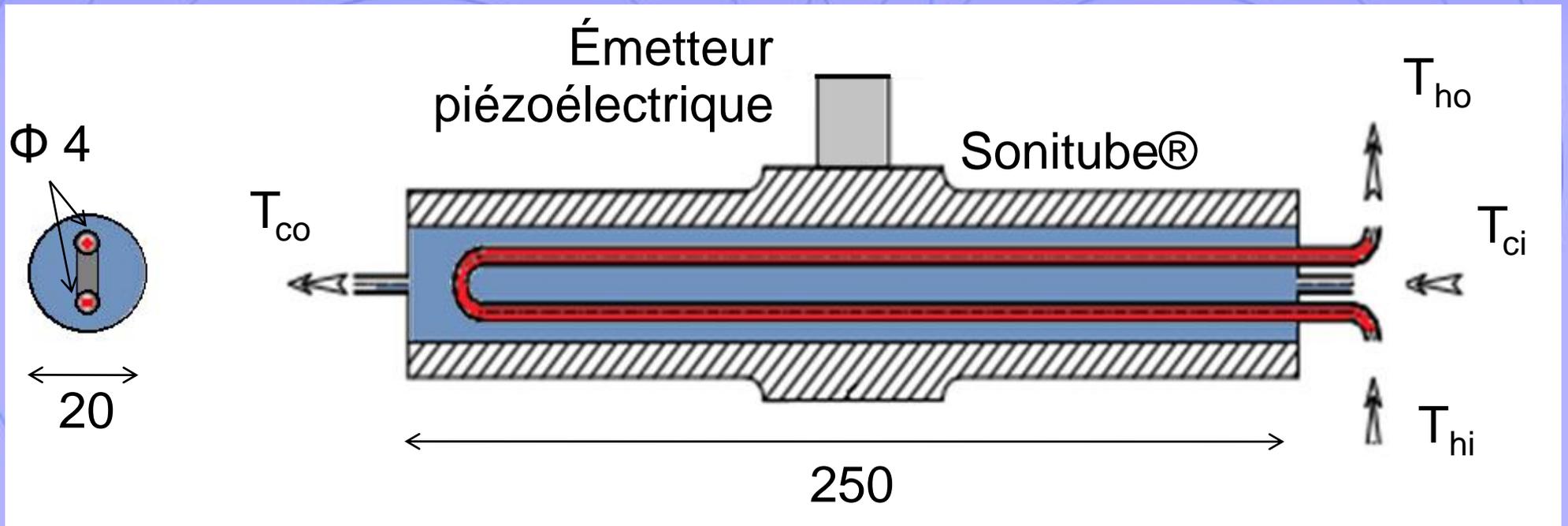
Analyse des performances

CONCLUSION

# SYSTÈME GLOBAL



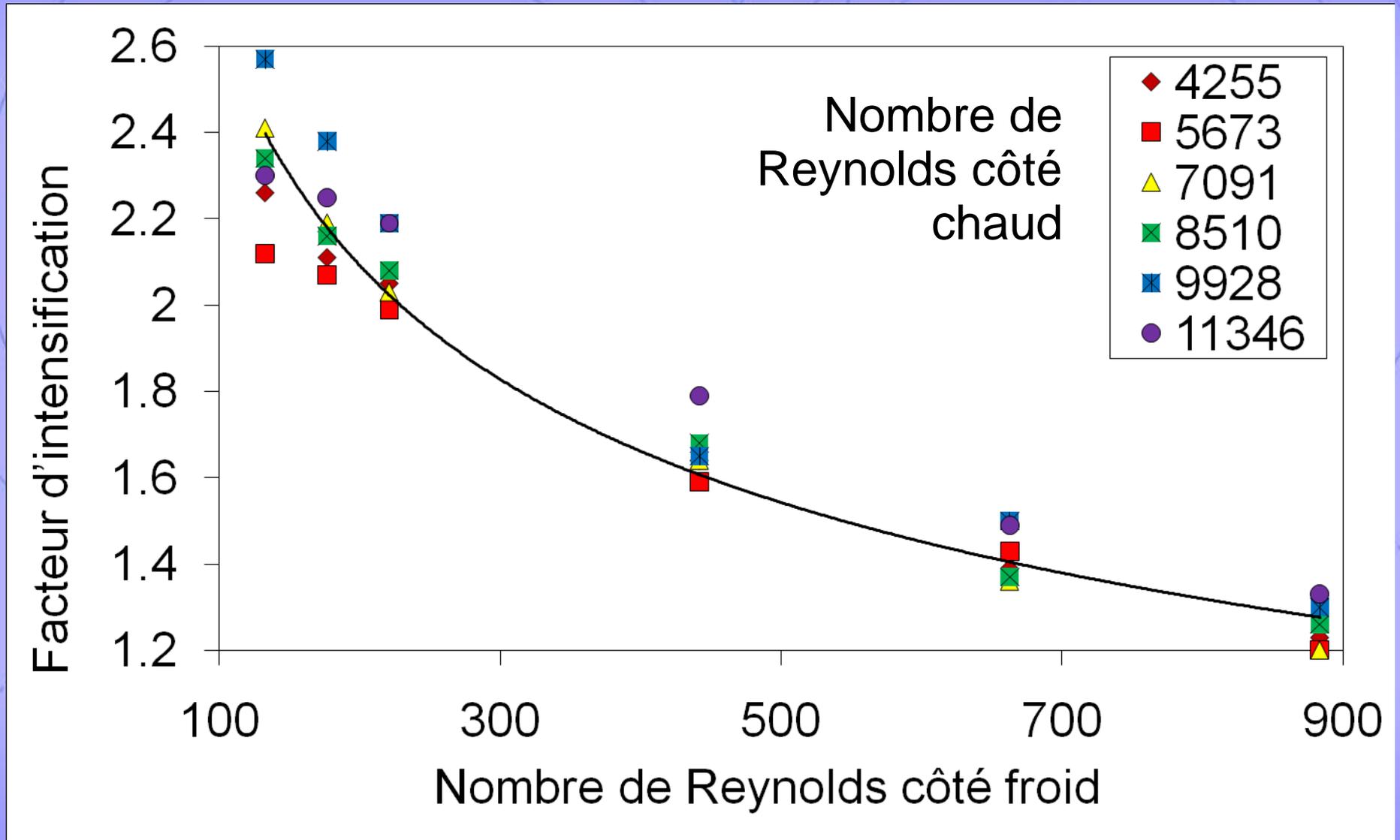
# ÉCHANGEUR



## Objectif

Déterminer l'amélioration apportée par l'utilisation des ultrasons dans un échangeur tube-calandre.

# FACTEUR D'INTENSIFICATION



Enhancement factor (EF) =  $U$  avec ultrasons /  $U$  sans ultrasons.

# NOMBRE DE REYNOLDS « VIRTUELS » ET DÉBIT ÉQUIVALENT

À débit chaud constant : 0.6L/min – Nombre de Reynolds : 4255.

Débit froid	Re	U	$U_{us}$	EF	$h_{us}$ côté froid	$Re_{us}$	Rapport débit équivalent / débit réel froid
L.min <sup>-1</sup>		W.m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup>	W.m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup>	-	W.m <sup>-2</sup> .°C <sup>-1</sup>	-	-
0.15	133	774	1749	2.26	2752	3978	45
0.2	177	838	1768	2.11	2799	4155	35
0.25	222	889	1823	2.05	2939	4774	32
0.5	443	1176	1929	1.64	3226	6217	21
0.75	665	1424	1979	1.39	3367	7013	16
1	886	1656	2037	1.23	3539	8015	14

# LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

## ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

## ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

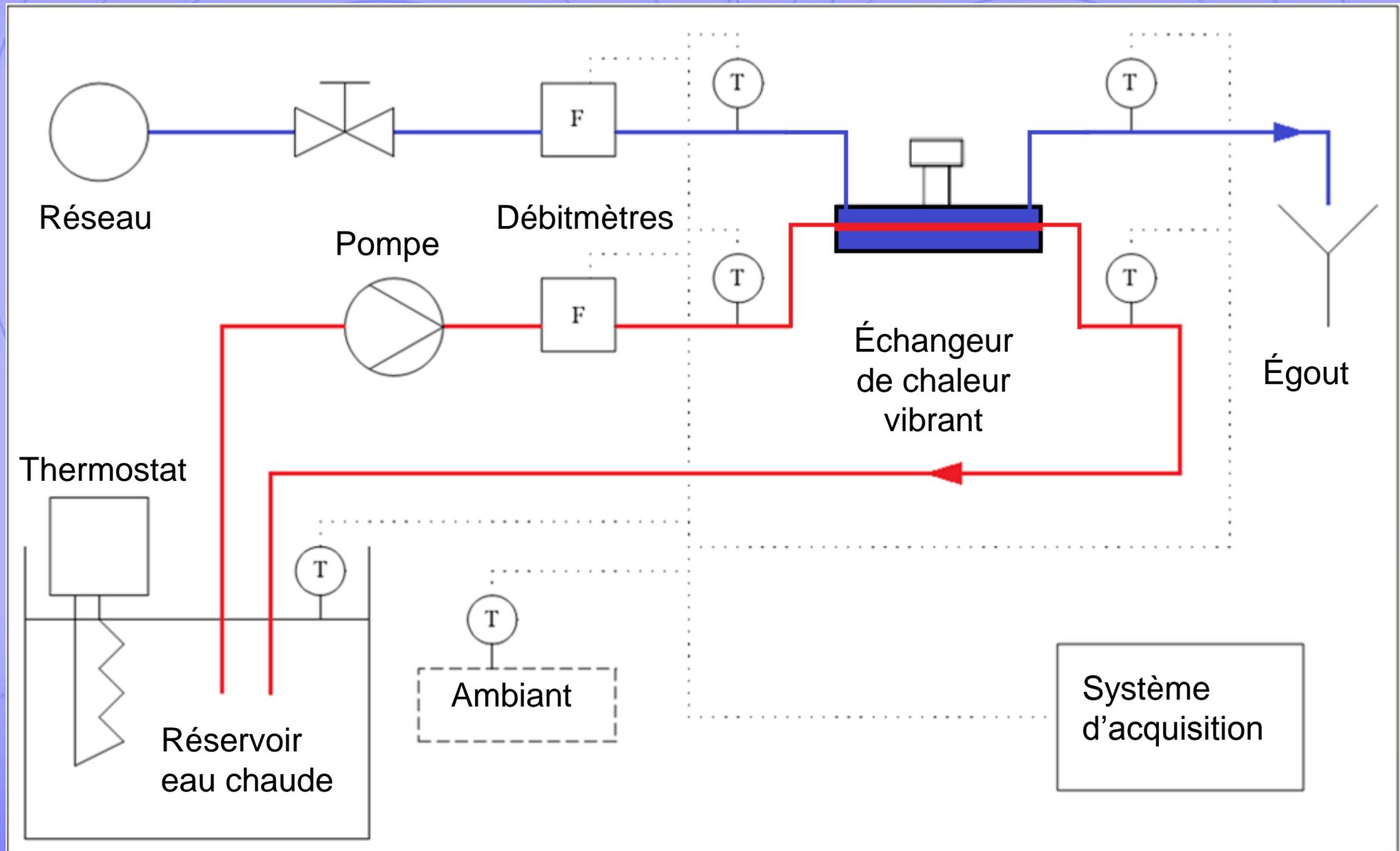
## ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

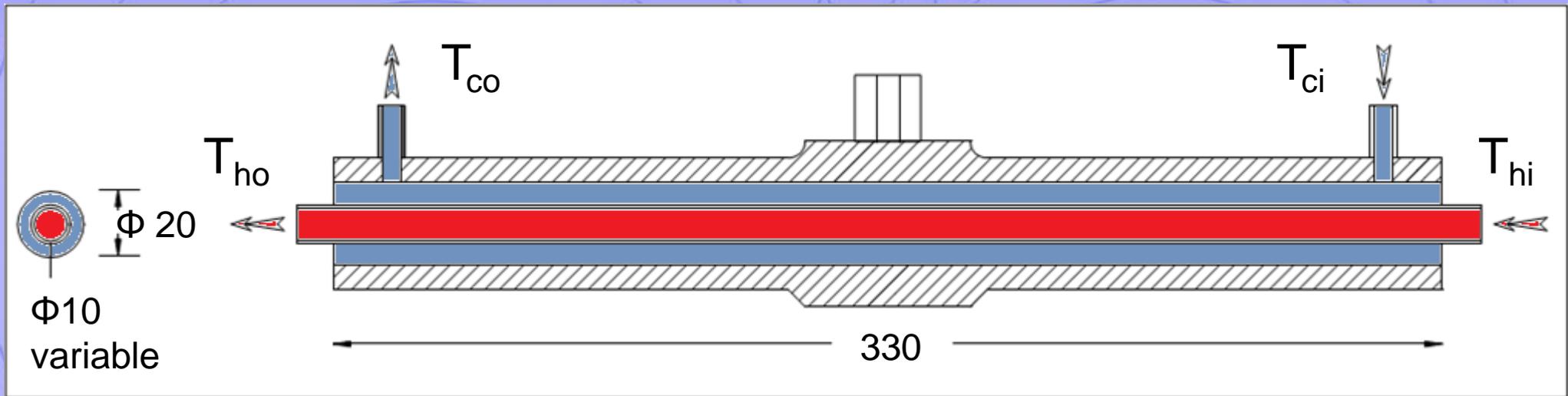
Analyse des performances

CONCLUSION

# SYSTÈME GLOBAL



# ÉCHANGEUR DOUBLE-TUBE

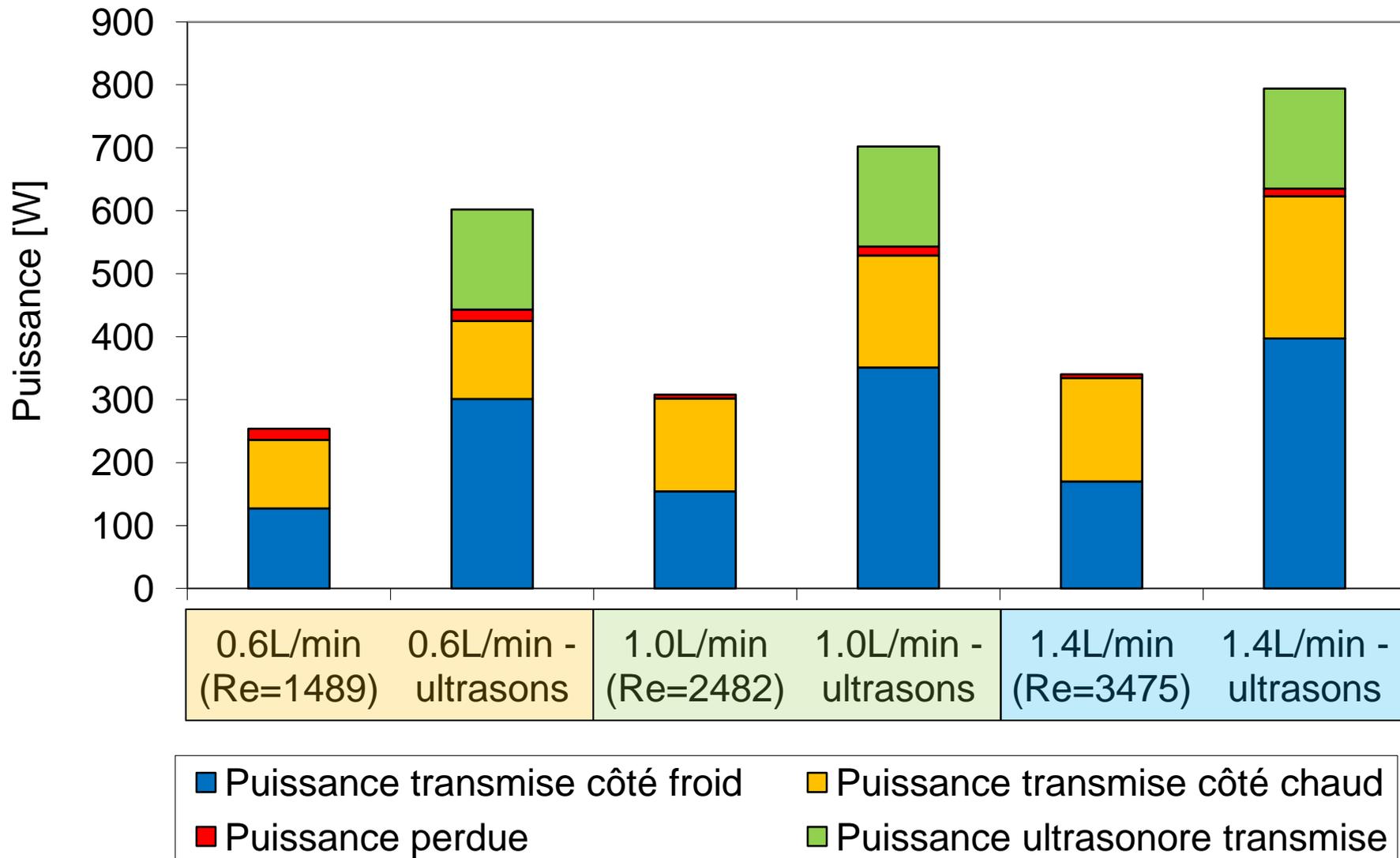


## Objectifs

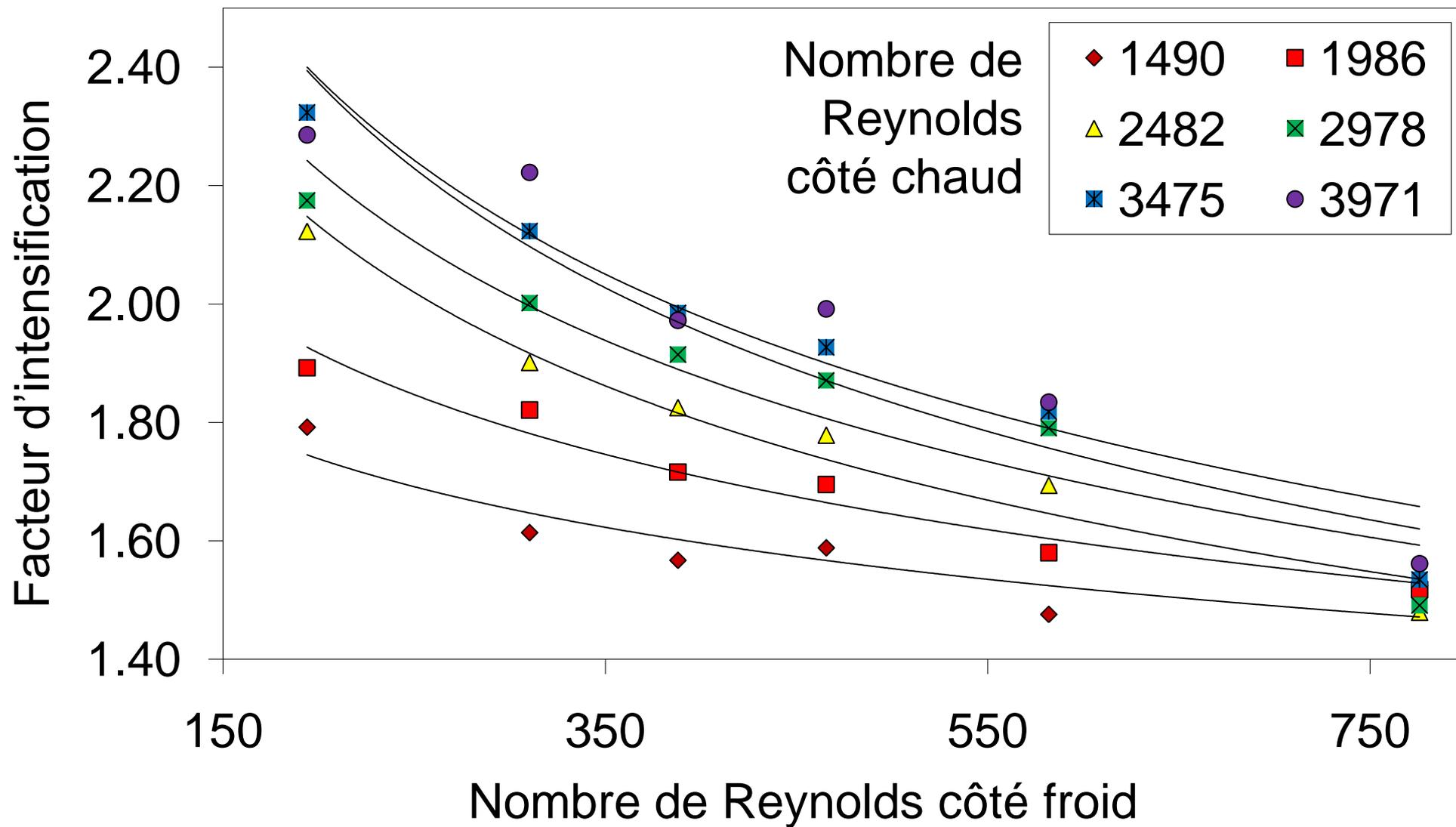
- études préliminaires : déterminer l'amélioration apportée par l'utilisation des ultrasons dans un échangeur double tube.
- à venir : changement du tube interne pour l'analyse des performances sous des plages de fonctionnement plus larges.

# BILANS ÉNERGÉTIQUES

Exemples pour : débit froid : 0.5L/min, nombre de Reynolds : 388.



# FACTEURS D'INTENSIFICATION



# LES ULTRASONS

Ultrasons et phénomènes associés

Effets des ultrasons sur les transferts de chaleur

## ÉCHANGEUR « BATCH »

Dispositif expérimental

Résultats

## ÉCHANGEUR TUBE ET CALANDRE

Présentation

Facteur d'intensification

Nombres de Reynolds virtuels

## ÉCHANGEUR TUBE-TUBE

Présentation du système

Analyse des performances

**CONCLUSION**

# CONCLUSIONS

## Ultrasons et transferts de chaleur

- Possibilités d'augmentation des transferts de chaleur grâce aux ultrasons.
- Phénomènes importants : thermo-hydraulique et cavitation.
- De nombreuses études sur l'amélioration de la convection et de l'ébullition, très peu sur les échangeurs.

## Ultrasons et échangeurs de chaleur

- 3 types d'échangeurs de chaleur différents étudiés.
- Amélioration systématique des transferts de chaleur grâce aux ultrasons – possibilité de limitation de l'encrassement.
- Conditions optimales à trouver : régimes hydrodynamiques, puissance ultrasonore, configuration du système, etc.

The background is a solid blue gradient with a pattern of overlapping, faint, light blue circles of varying sizes. The circles are centered in a way that they overlap each other, creating a complex, web-like pattern. The text is centered in the middle of the image.

**MERCI**

**POUR VOTRE ATTENTION**

# BIBLIOGRAPHIE IMPORTANTE

- U. Kurbanov and K. Melkumov, Use of ultrasound for intensification of heat transfer process in heat exchangers, *Proc. International Congress of Refrigeration*, Vol. 4, Washington, D.C, 2003, pp. 1-5.
- A. E. Bergles and P. H. Newell Jr, The influence of ultrasonic vibrations on heat transfer to water flowing in annuli, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 8, 1965, pp. 1273-1280.
- Y. Iida, K. Tsutsui, R. Ishii and Y. Yamada, Natural-convection heat transfer in a field of ultrasonic waves and sound pressure, *Journal of Chemical Engineering of Japan*, Vol. 24-6, 1991, pp. 794-796.
- A. Monnot, P. Boldo, N. Gondrexon and A. Bontemps, Enhancement of cooling rate by means of high frequency ultrasound, *Heat Transfer Engineering*, Vol. 28-1, 2007, pp. 3-8.
- S. Nomura and M. Nakagawa, Ultrasonic enhancement of heat transfer on narrow surface, *Heat Transfer – Japanese Research*, Vol. 22-6, 1993, pp. 546-558.
- Y. Tisseau, P. Boldo, N. Gondrexon and A. Bontemps, Conception et étude préliminaire d'un échangeur de chaleur tubes et calandre assisté par ultrasons, *18<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique*, Grenoble, Août 2007.