

Amélioration du transfert de chaleur dans un échangeur assisté par ultrasons

Journée thématique SFT - Intensification des transferts dans les échangeurs thermiques
et multifonctionnels : techniques, outils d'analyse et optimisation

Mathieu Legay, Nicolas Gondrexon, Stéphane Le Person,
Stéphane Colasson, Primius Boldo, André Bontemps



Plan

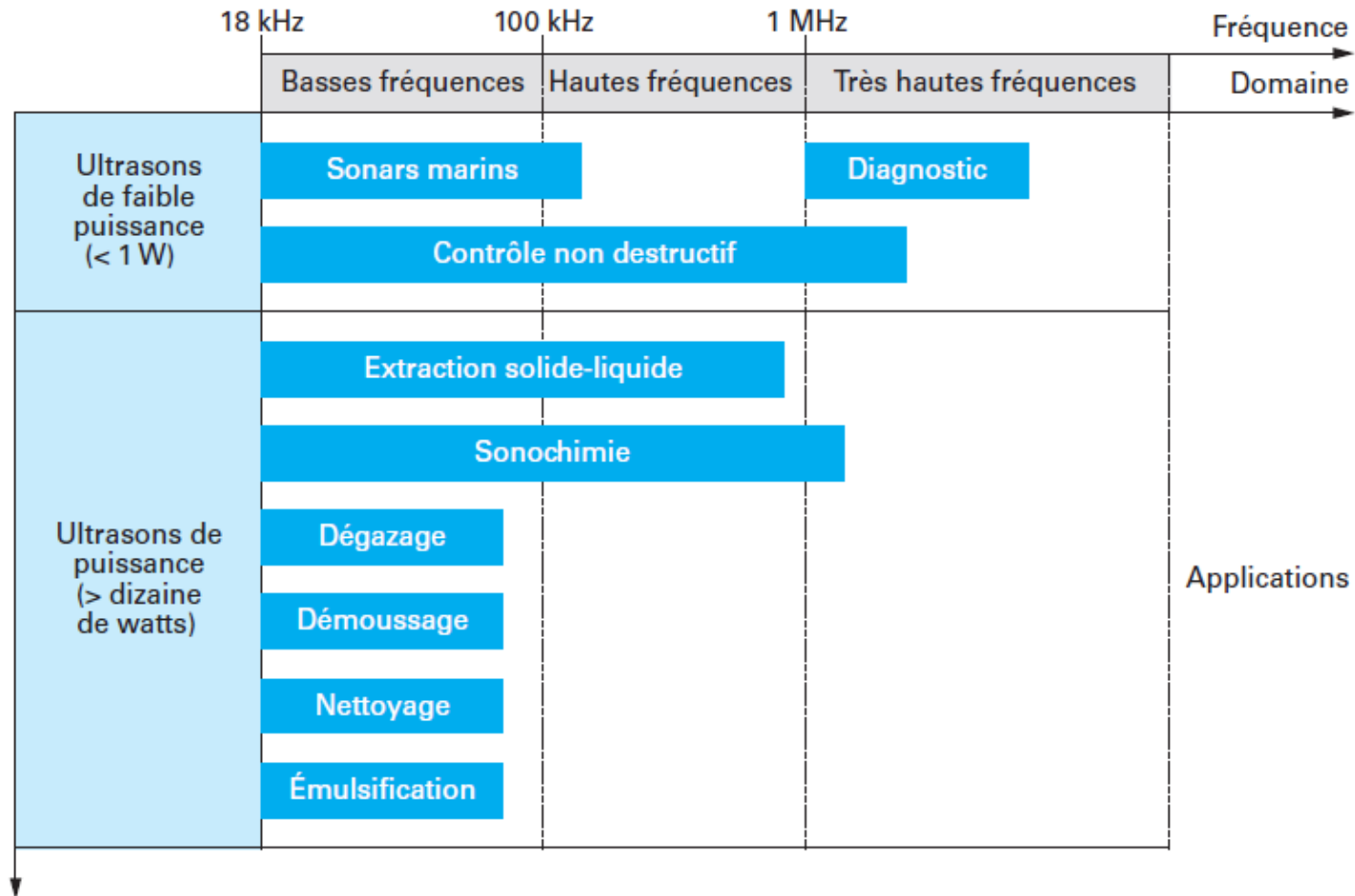
- Les ultrasons
- Contexte, littérature
- Échangeur de chaleur vibrant
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- Résultats
- Perspectives

Plan

- **Les ultrasons**
- Contexte, littérature
- Échangeur de chaleur vibrant
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- Résultats
- Perspectives

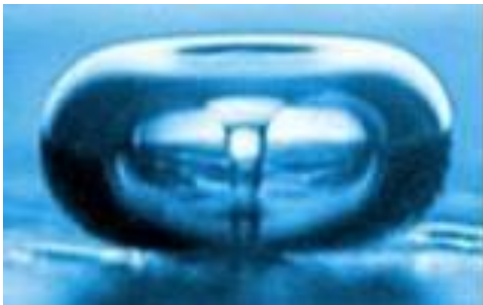
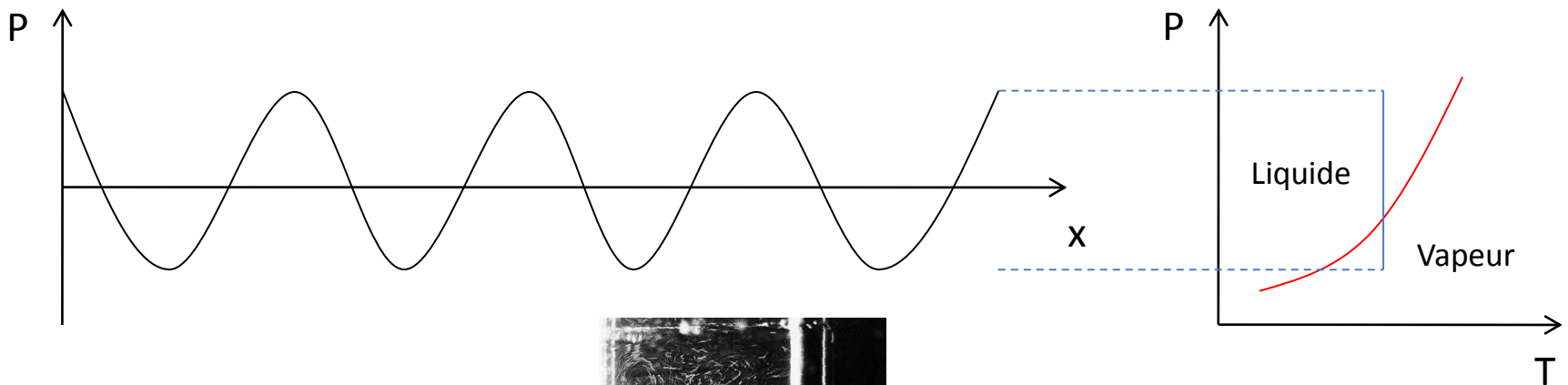
Les ultrasons

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

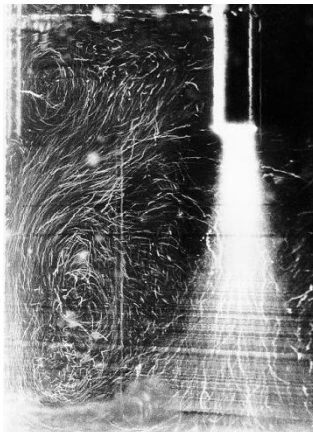


La cavitation acoustique

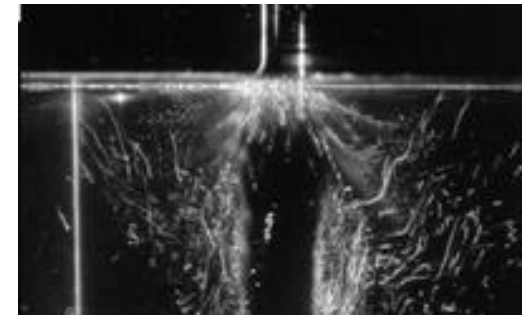
Formation, croissance et puissante implosion de bulles de gaz/vapeur lorsque la pression locale passe sous le seuil de cavitation



<http://www.sinaptec.fr/>



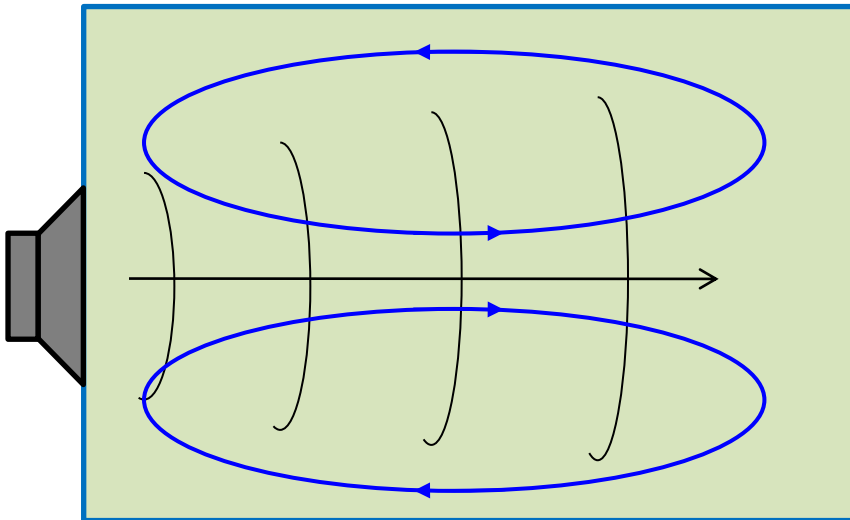
<http://www.ulb.ac.be/>



<http://endirect.univ-fcomte.fr/>

Le courant acoustique

Courant macroscopique dans le sens de propagation de l'onde dû à la dissipation de l'énergie acoustique

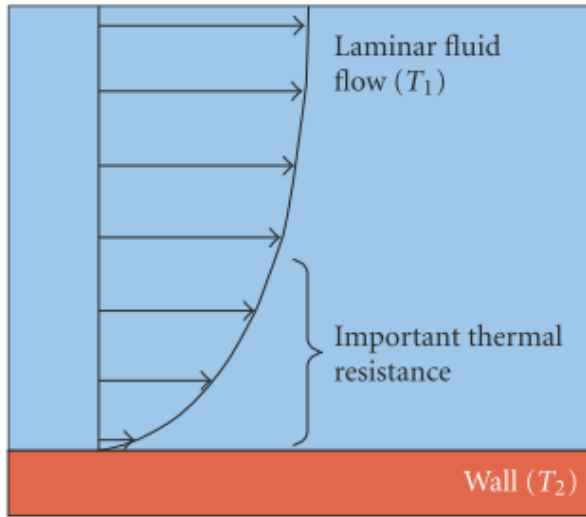


Avec l'aimable autorisation de(*)

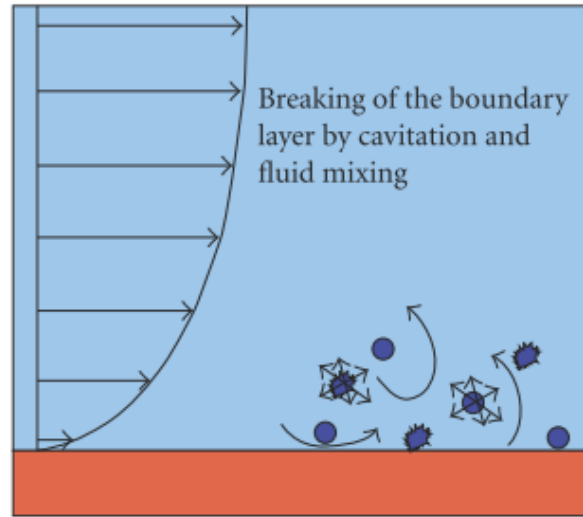
Possibilité d'augmentation des transferts de chaleur par convection

(*) V. Botton, D. Henry, H. BenHadid, LMFA (UMR CNRS 5509, ECL, Université Lyon I, INSA de Lyon)

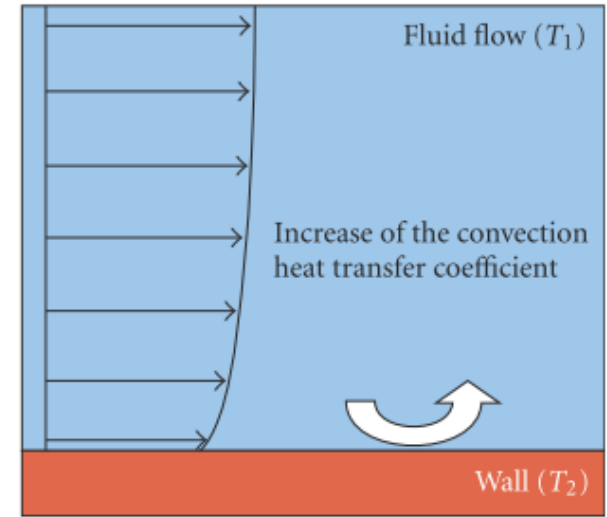
Utilisation des phénomènes



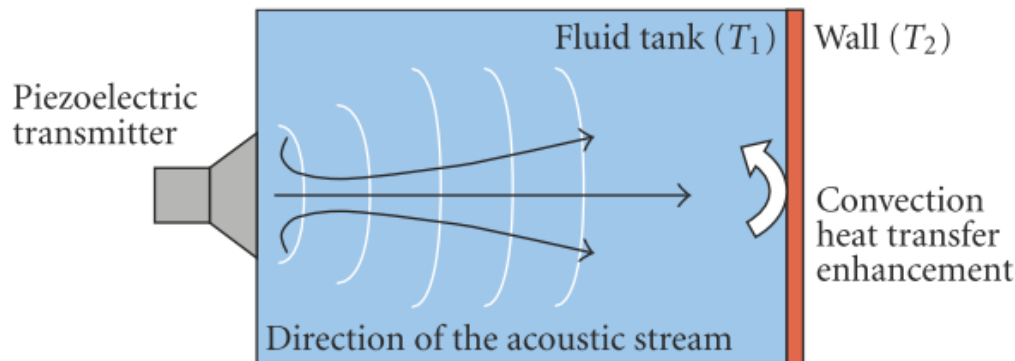
Typical velocity boundary layer



Cavitation and microagitation



Modified boundary layer profile

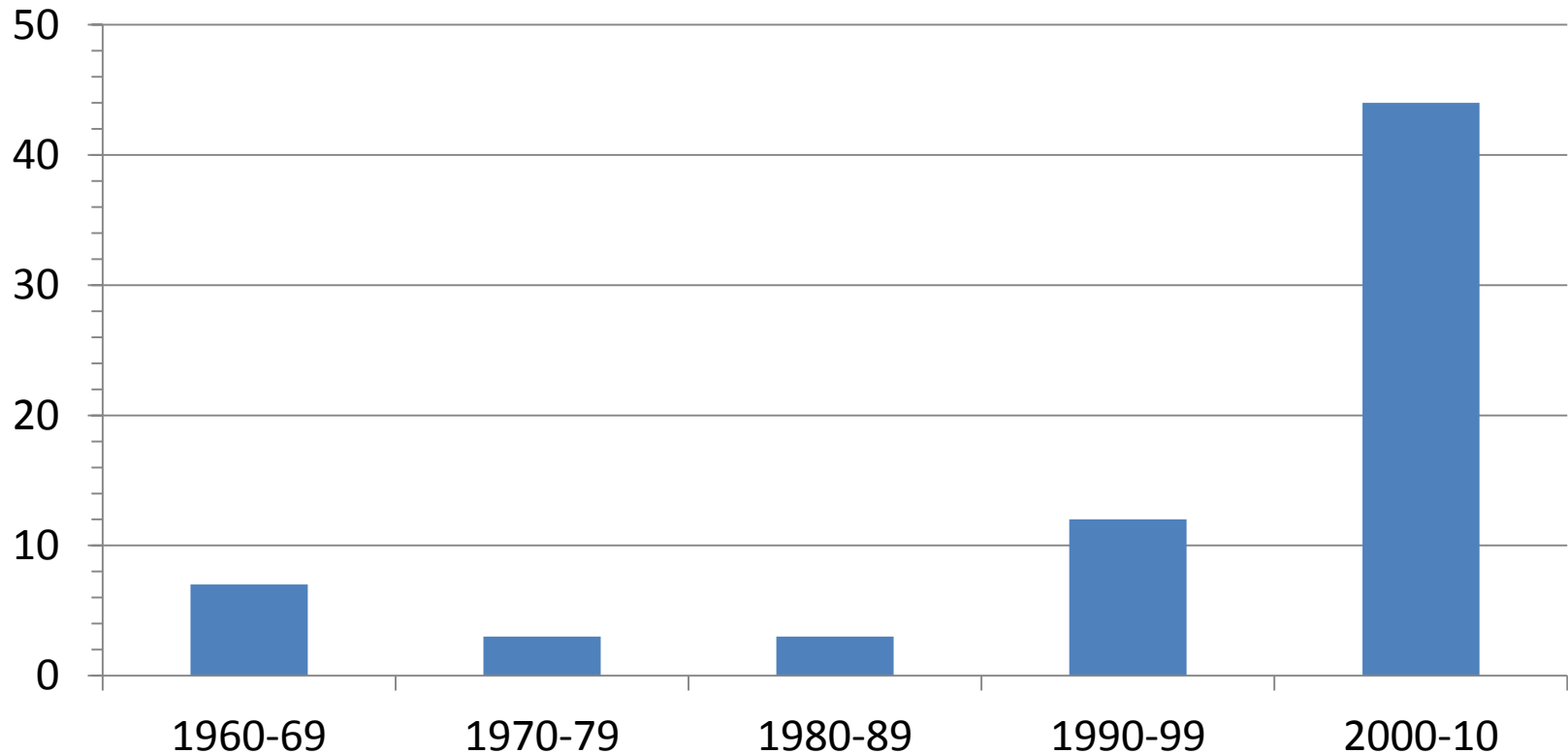


Plan

- Les ultrasons
- **Contexte, littérature**
- Échangeur de chaleur vibrant
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- Résultats
- Perspectives

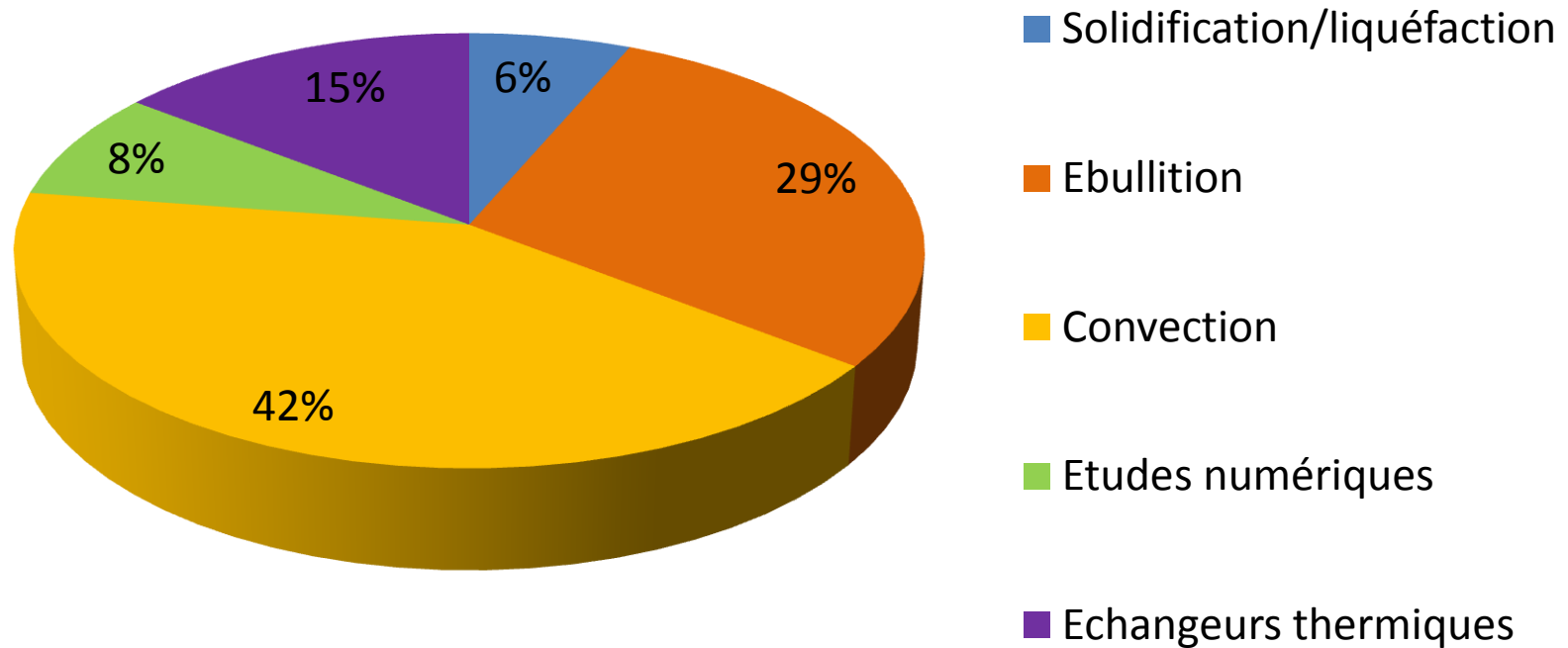
Nombre de travaux

Nombre de papiers publiés traitant des transferts thermiques assistés par ultrasons



Répartition des travaux répertoriés

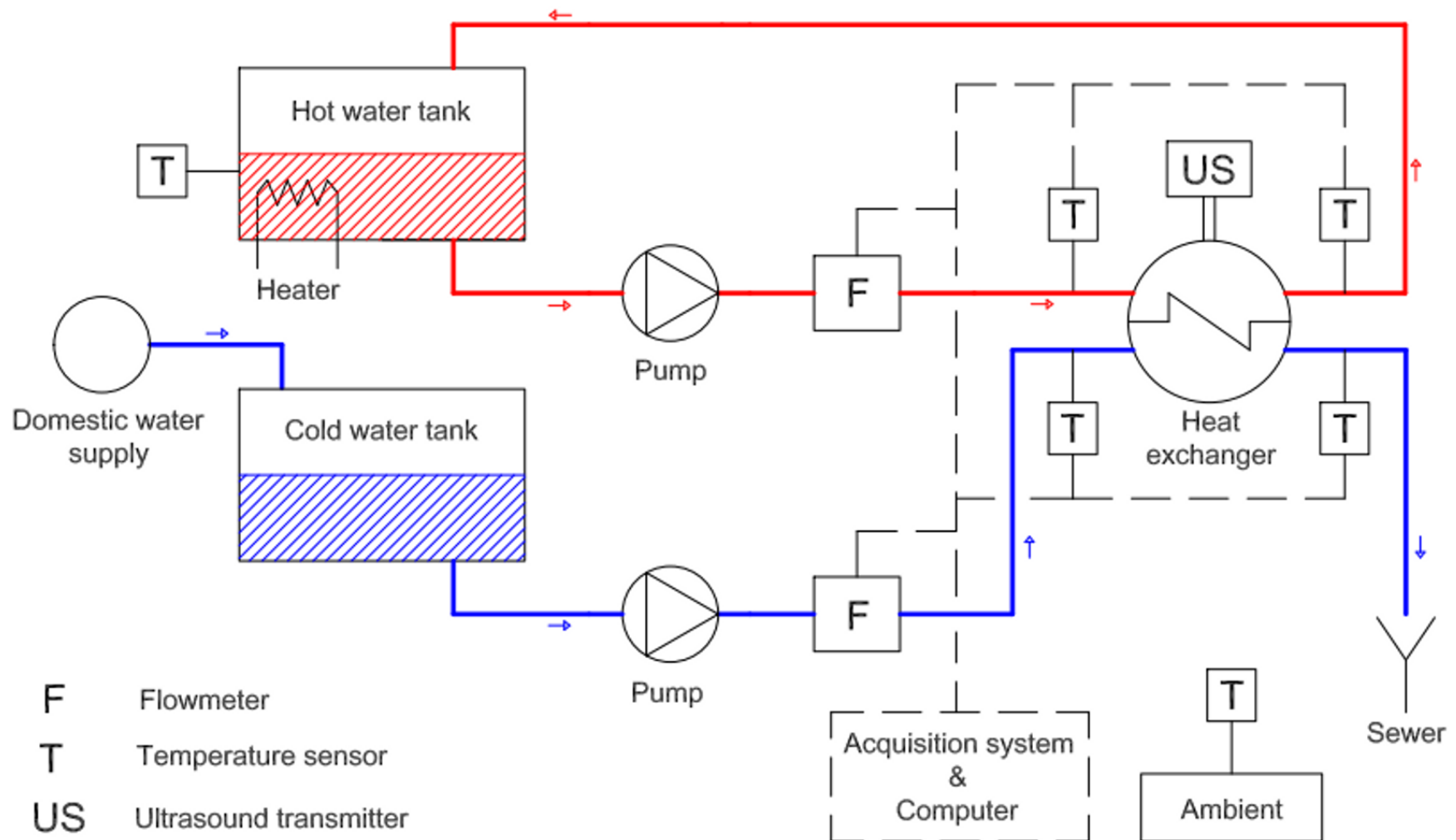
Thèmes étudiés (total : 62 papiers)



Plan

- Les ultrasons
- Contexte, littérature
- **Échangeur de chaleur vibrant**
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- Résultats
- Perspectives

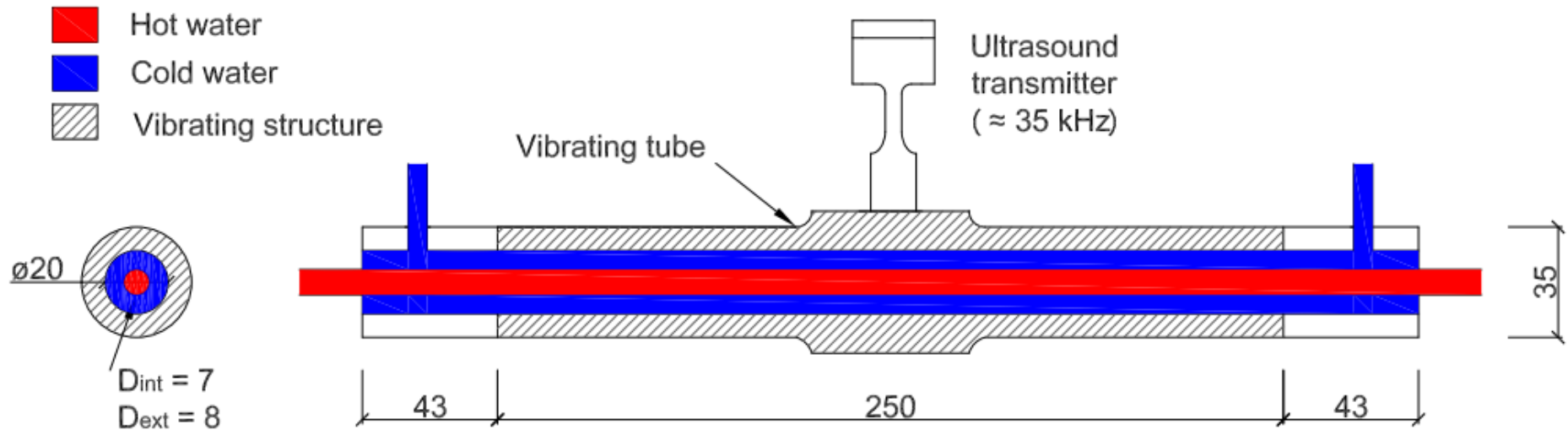
Banc d'essais - Système



Construction du banc d'essais



Échangeur bi-tube – schéma



- Possibilité d'inverser les espaces de circulation des fluides et la configuration co-courant/contre-courant
- Configuration sélectionnée : eau/eau, eau chaude dans le tube central, co-courant

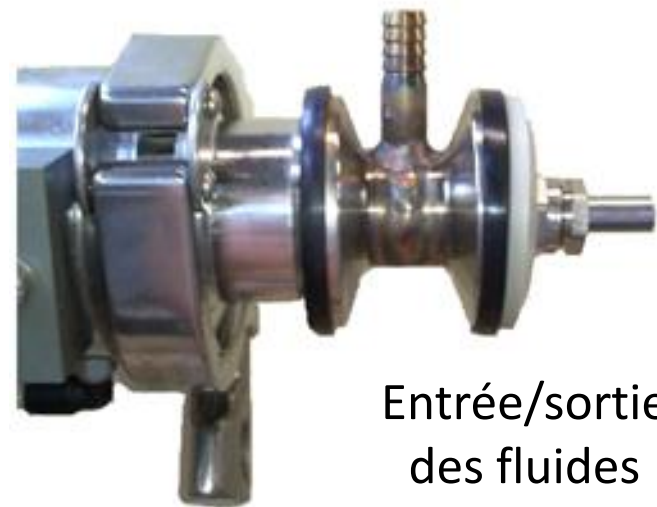
Échangeur bi-tube – détails



Vue d'ensemble

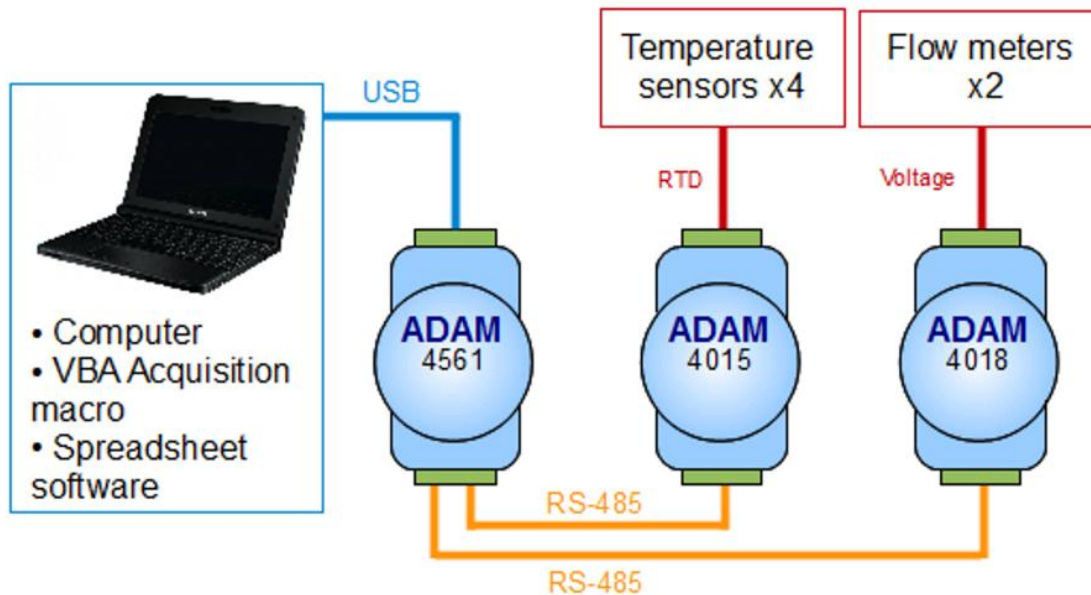


Vue en coupe



Entrée/sortie
des fluides

Système d'acquisition



Système d'acquisition, schéma
et photo



Plan

- Les ultrasons
- Contexte, littérature
- Échangeur de chaleur vibrant
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- **Résultats**
- Perspectives

Méthodologie

- Acquisition des températures

$$T_{ch-fr} = f(t)$$

- Calcul des flux échangés

$$q_{ch-fr} = \dot{m}_{ch-fr} Cp \Delta T_{ch-fr}$$

- Bilans énergétiques

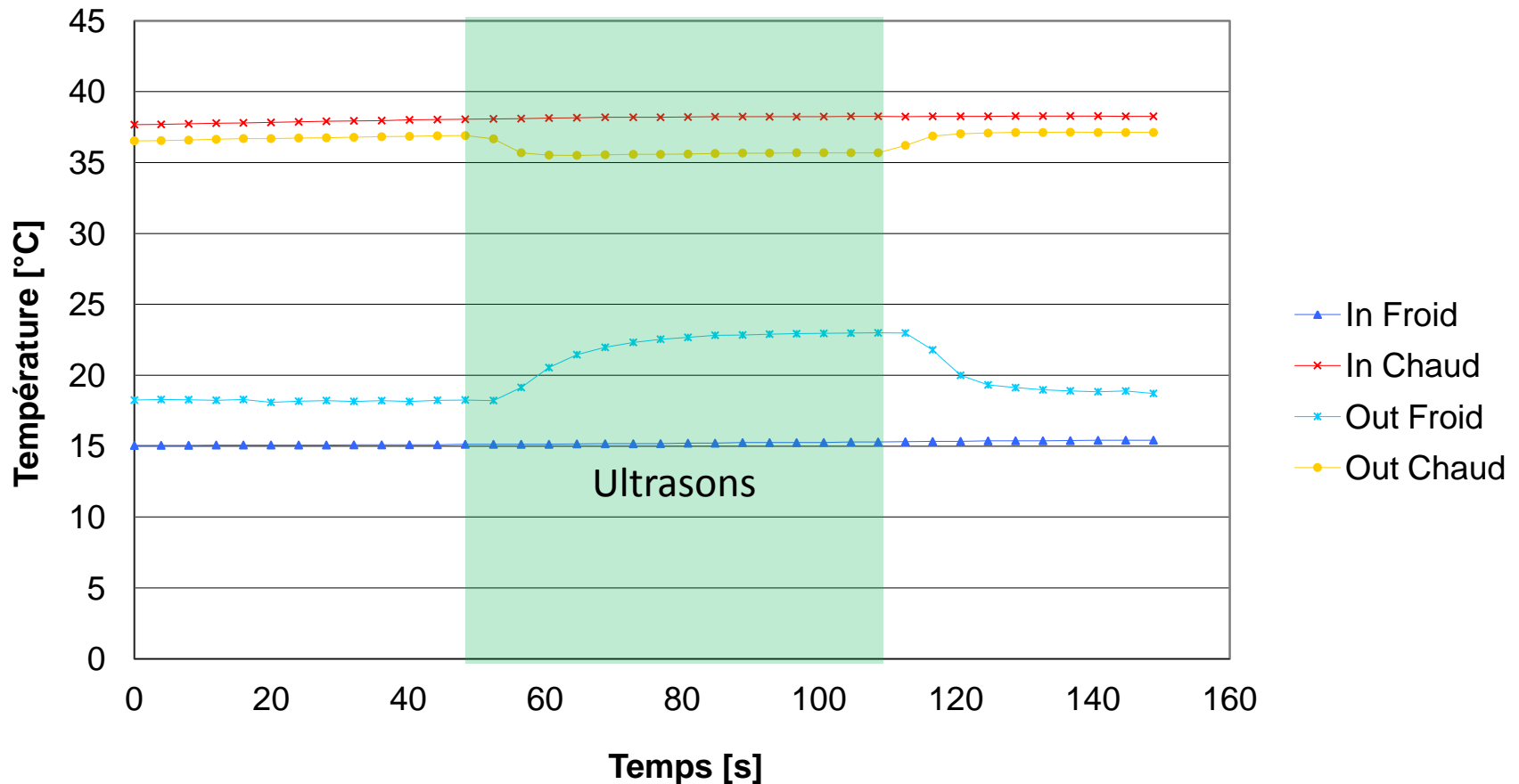
$$q_{ch} + P_{US} = q_{fr} + q_{env}$$

- Facteurs d'intensification

$$EF = \frac{U_{US}}{U}$$

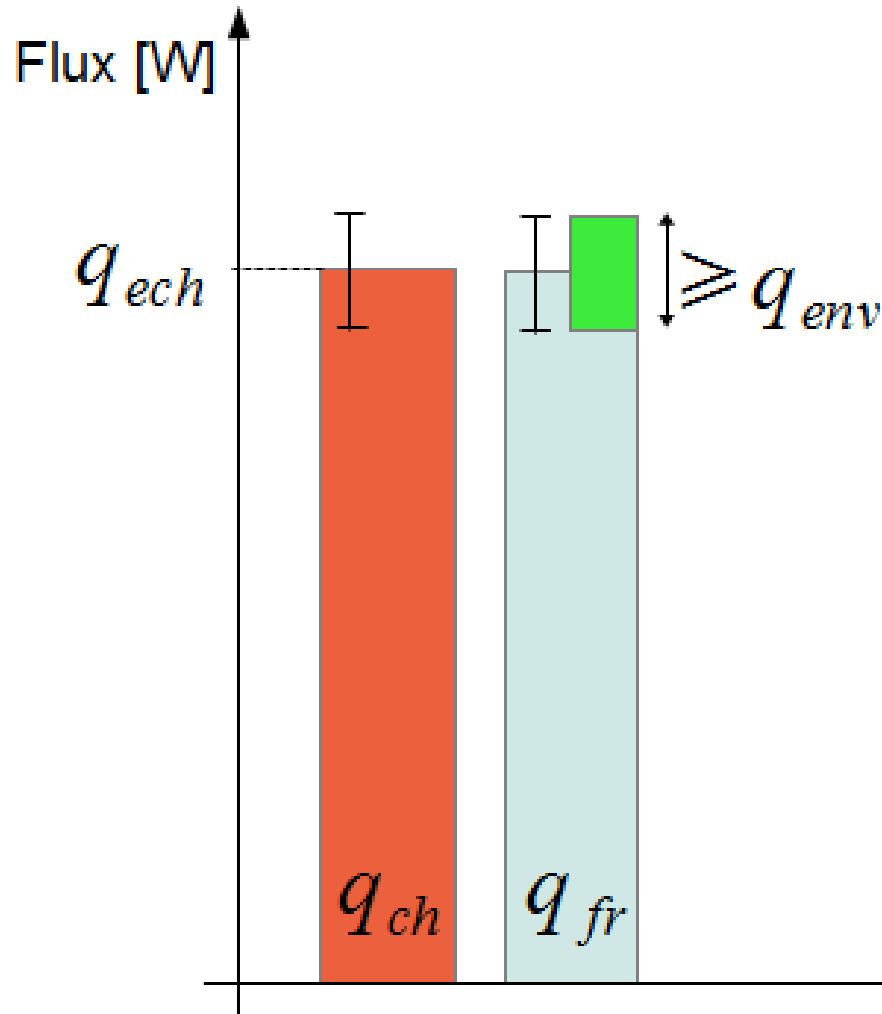
Observation des températures

Evolution des températures aux entrées/sorties en fonction du temps



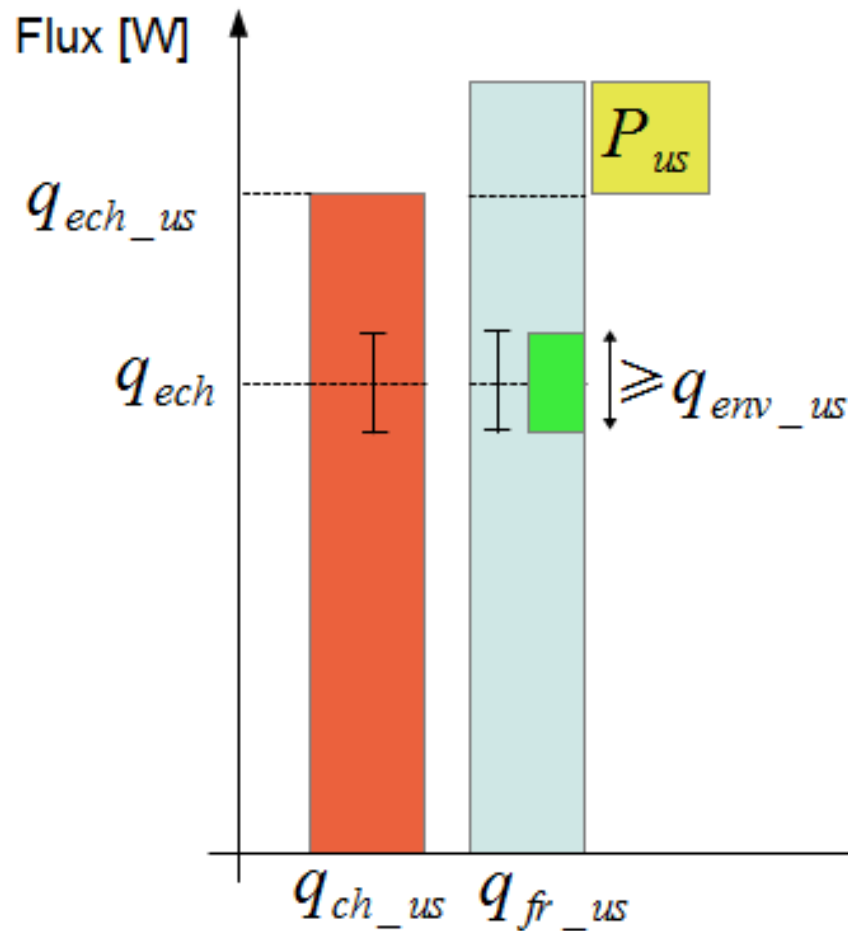
Débits : 1,3 L/min tube interne, 0,6 L/min espace annulaire, eau froide dans l'espace annulaire

Bilan énergétique sans ultrasons



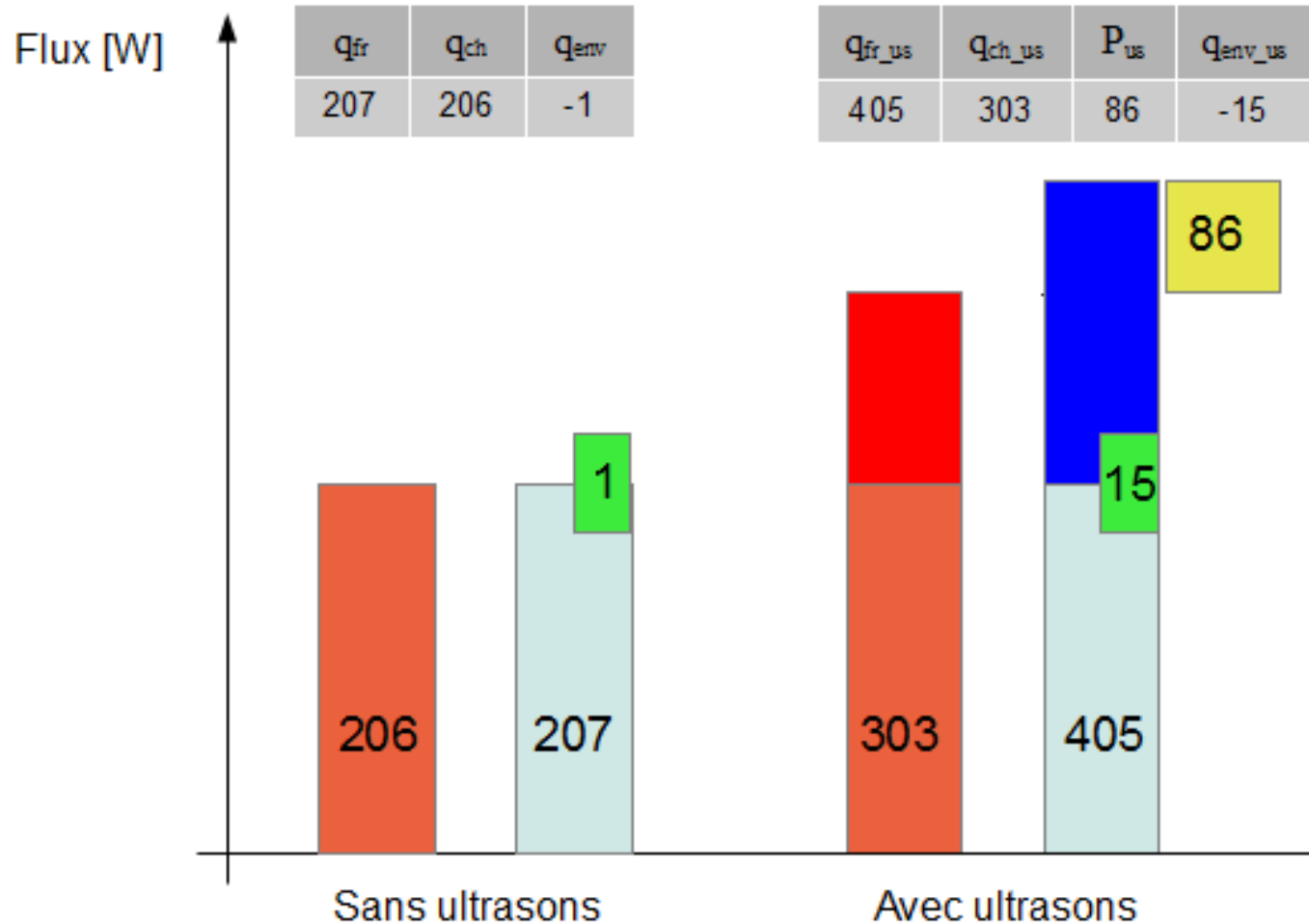
Débit eau chaude [L/min]	Débit eau froide [L/min]	q_{fr} ($\approx q_{ech}$) [W]	q_{ch} ($\approx q_{ech}$) [W]	q_{env} [W]
2.0	0.2	109	111	2
2.0	0.4	156	154	-3
2.0	0.6	168	174	6
2.0	0.8	185	192	7
2.0	1.0	207	206	-1
2.0	1.4	234	237	2
2.0	1.6	249	252	3
2.0	2.0	286	274	-12
2.0	2.2	297	280	-17
2.0	2.4	312	291	-20
2.0	2.5	310	291	-19

Bilan énergétique avec ultrasons



Débit eau chaude [L/min]	Débit eau froide [L/min]	q_{fr_us} [W]	q_{ch_us} ($\approx q_{ech_us}$) [W]	P_{us} [W]	q_{env_us} [W]
2.0	0.2	223	148	75	0
2.0	0.4	327	222	84	-21
2.0	0.6	361	260	83	-18
2.0	0.8	396	292	85	-19
2.0	1.0	405	303	86	-15
2.0	1.4	421	319	89	-13
2.0	1.6	437	331	80	-27
2.0	2.0	451	337	81	-32
2.0	2.2	463	352	79	-31
2.0	2.4	473	364	81	-28
2.0	2.5	476	368	77	-32

Comparaison des bilans énergétiques



À débit eau chaude 2.0 L/min, débit eau froide : 1.0 L/min

Facteur d'intensification (U_{us}/U)

Enhancement factor (EF)

➤ Détails du calcul :

U : coefficient *global* d'échange [$W m^{-2} K^{-1}$]

$$EF = \frac{U_{US}}{U}$$

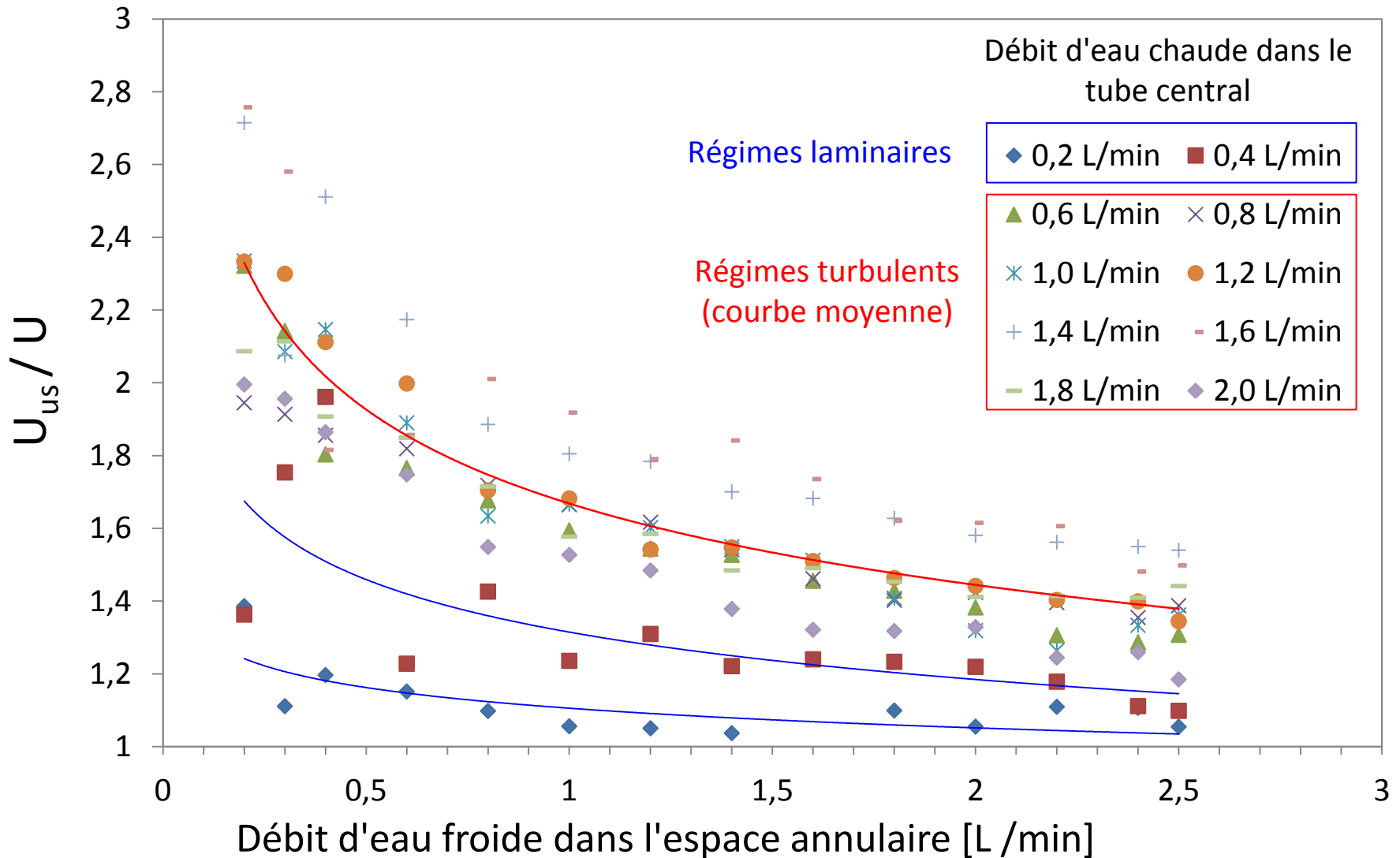
$$q_{ech_us} = U_{us} A \Delta T_{lm_us}$$

Calculé sur le fluide qui n'est pas directement soumis aux ultrasons

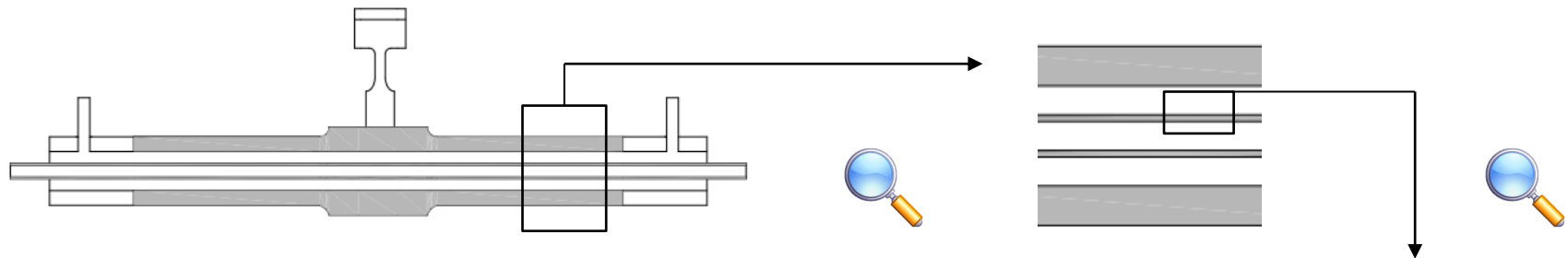
Calculé sur le fluide chaud ou froid (égaux)

$$q_{ech} = U A \Delta T_{lm}$$

Facteurs d'intensification (U_{us}/U)



Interprétation



	Without ultrasound	With ultrasound
Annulus side (laminar flow)	<p>Flow velocity profile</p> <p>$R1$</p>	<p>Acoustic cavitation & vibrations</p> <p>$R1_{us}$</p> <p>$R1 > R1_{us}$</p>
Internal pipe thickness	<p>Thermal conduction resistance (negligible)</p> <p>$R2$</p>	<p>$R2_{us} = R2$: assumed unchanged</p> <p>$R2_{us}$</p>
Internal pipe side (turbulent flow)	<p>Thermal convection resistance $R3 < R1$</p> <p>$R3$</p> <p>q_{exc}</p>	<p>$R3_{us} = R3$: assumed unchanged</p> <p>$R3_{us}$</p> <p>$q_{exc US}$</p> <p>→ Overall heat transfer coefficient increase</p>

Plan

- Les ultrasons
- Contexte, littérature
- Échangeur de chaleur vibrant
 - Banc expérimental
 - Échangeur de chaleur
- Résultats
- **Perspectives**

Expériences complémentaires

- Nature des effets responsables?
 - Vibrations
 - Cavitation acoustique
- Test sur tube encrassé
 - Effet préventif ?
 - Effet curatif ?
- Géométrie échangeur à plaques

Projet PETRUS



PETRUS :
Prototype d'Echangeur
de TRansfert sous UltraSons



Merci pour votre attention

Merci pour votre invitation

Questions / remarques ?

