



Contrôle des transferts par déformation électro-active des parois

M. Miscevic, J. Hamze, L. Léal, F. Topin, F. Pigache, P. Lavieille
Université de Toulouse,
Université Aix Marseille
CESI Lyon



CONTEXTE GENERAL

Problématique

Limitation des performances liées à l'évacuation thermique dans le domaine de l'électronique de puissance et la micro-électronique

Objectifs technologiques

- réduction de la masse des appareils
- augmentation de la sécurité et de la sureté

Verrous

- Absorption de fortes densité de flux thermique et des hétérogénéités de flux
- Réduction des résistances de contacts
- Contrôle/commande

Idée : Echangeur à parois mobiles

Objectifs

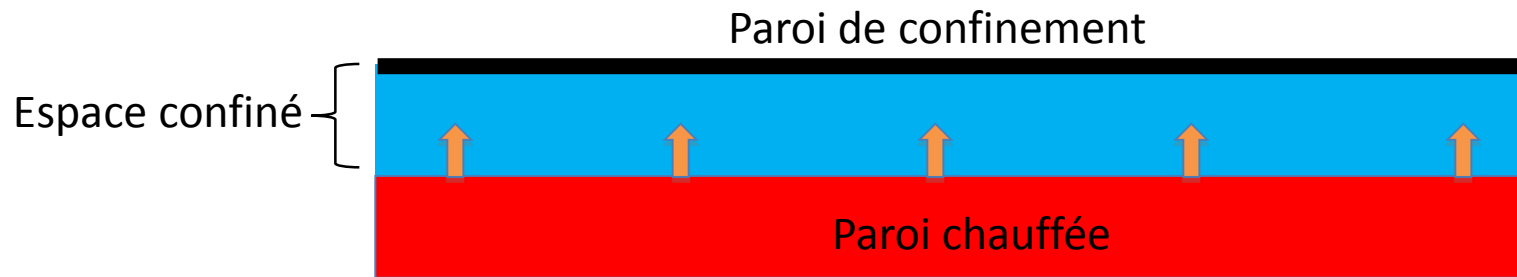
- Annuler la surchauffe au déclenchement de l'ébullition
- Intensifier le transfert de chaleur
- Augmenter le flux de masse
- Découpler le flux de masse et l'intensité des transferts de chaleur

Onde stationnaire

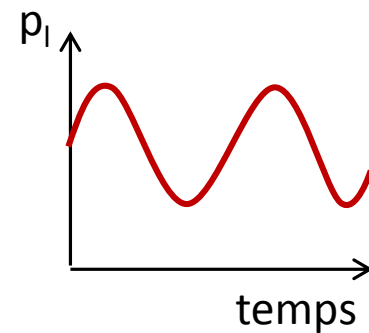
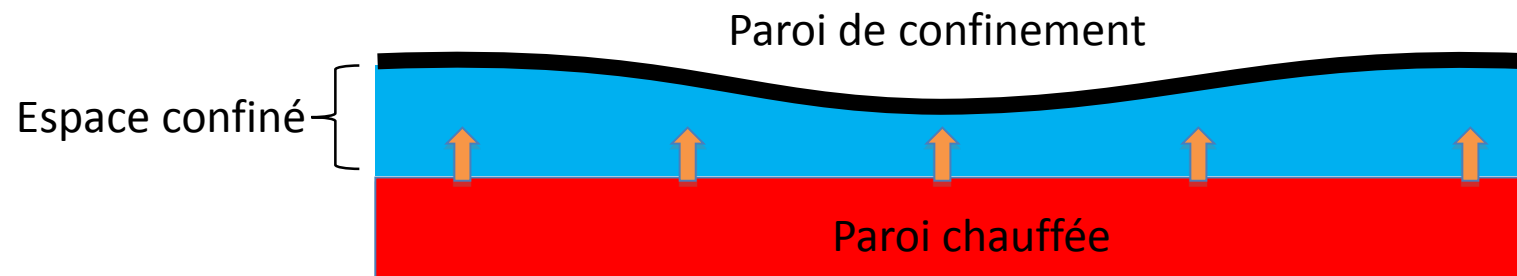
Configuration considérée

L'idée est d'imposer simultanément

- un flux de chaleur  Nucléation (ébullition)
- une baisse de pression  Nucléation (cavitation)



La baisse de pression est obtenue par déformation dynamique de la paroi de confinement



Dispositif expérimental

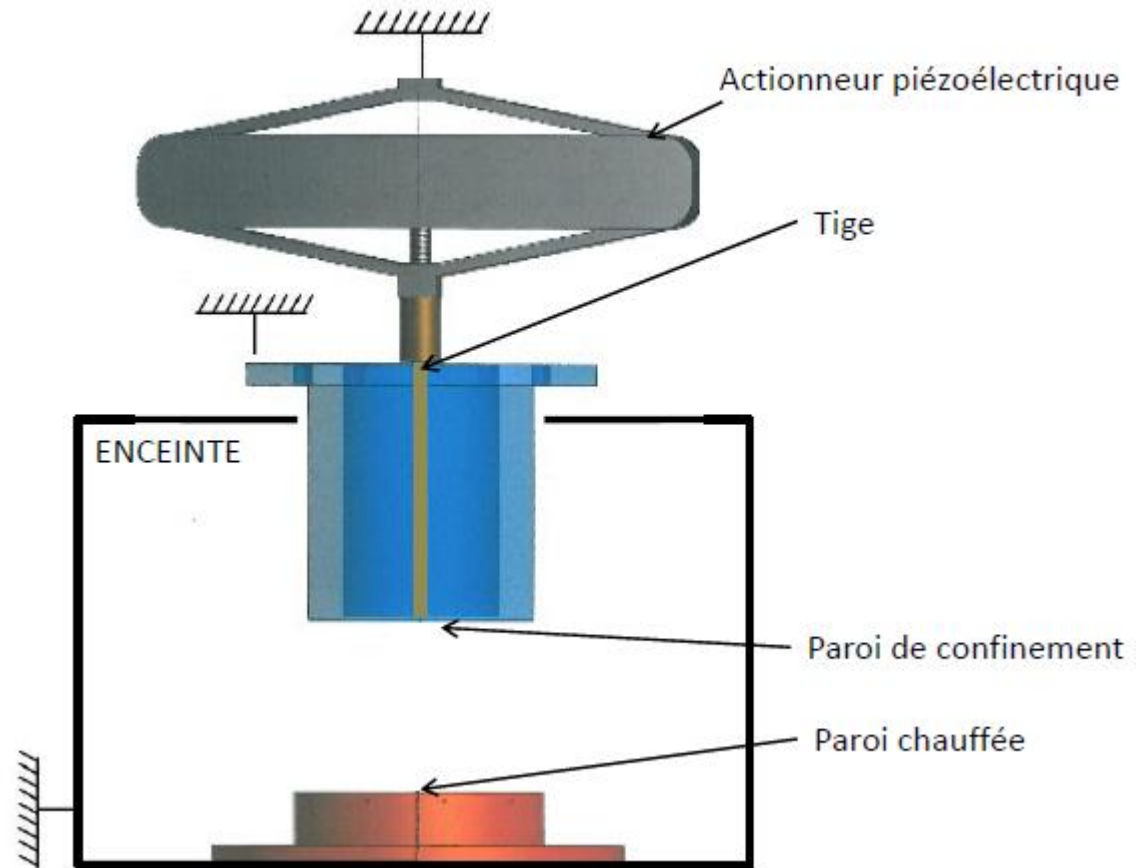
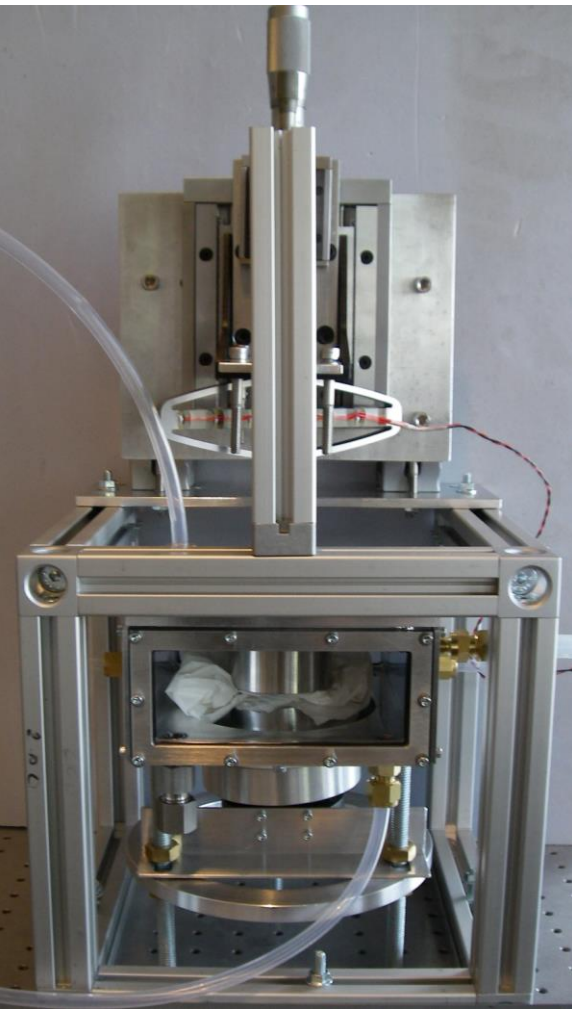


Schéma et photographie du dispositif expérimental

Dispositif expérimental

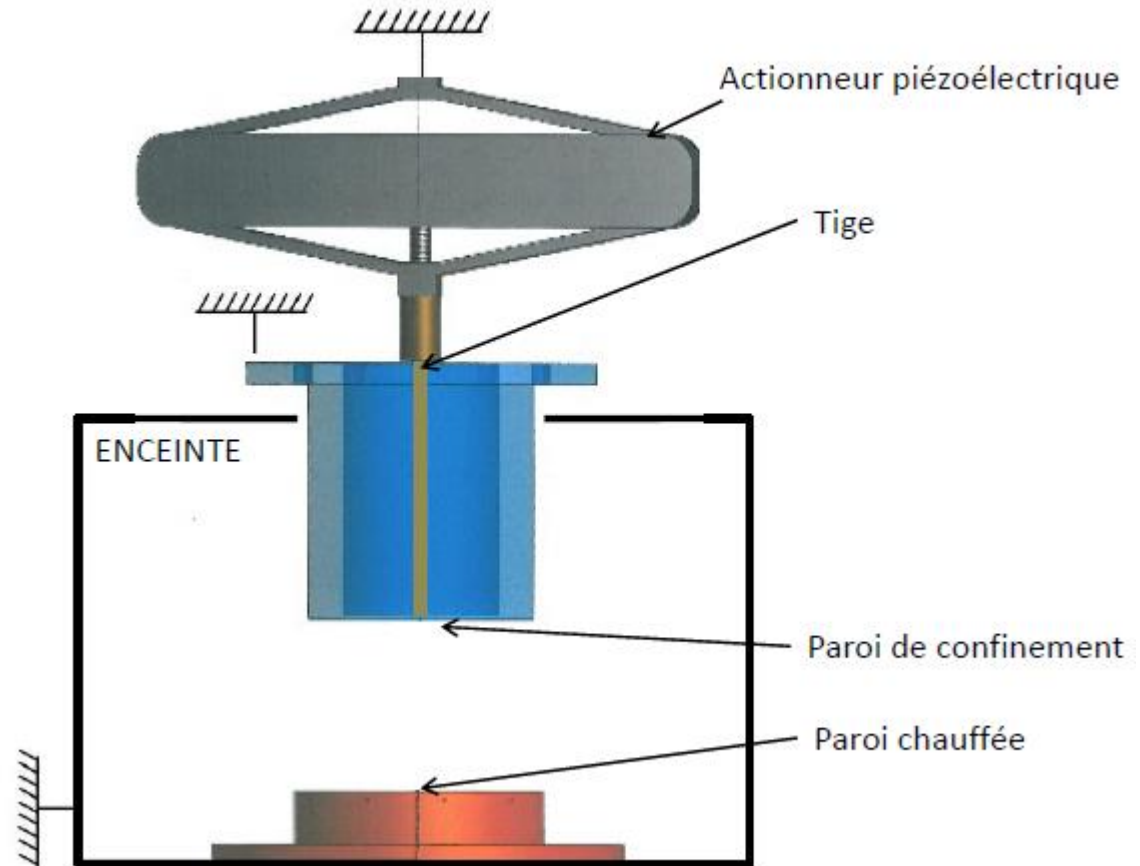
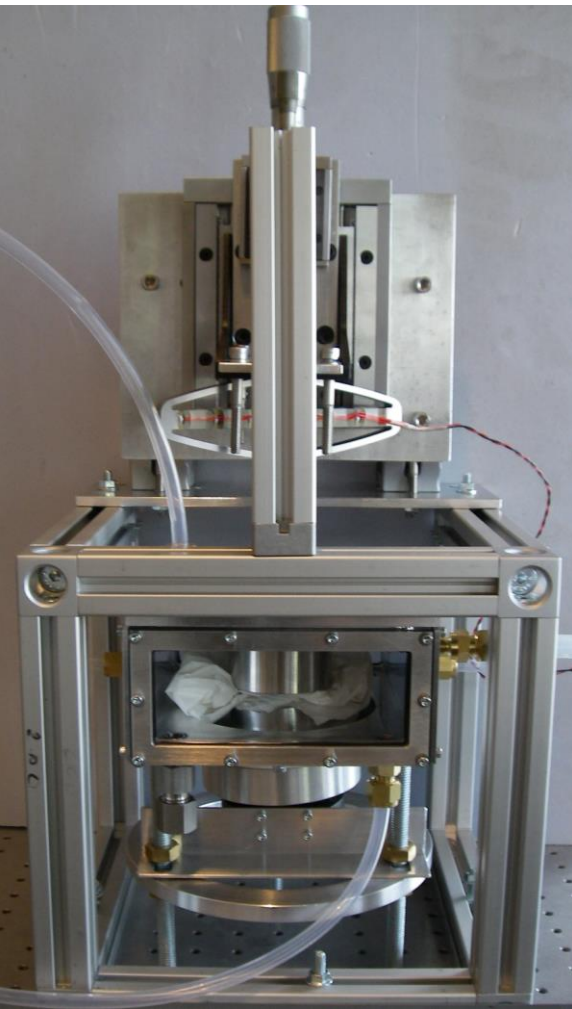


Schéma et photographie du dispositif expérimental

Dispositif expérimental

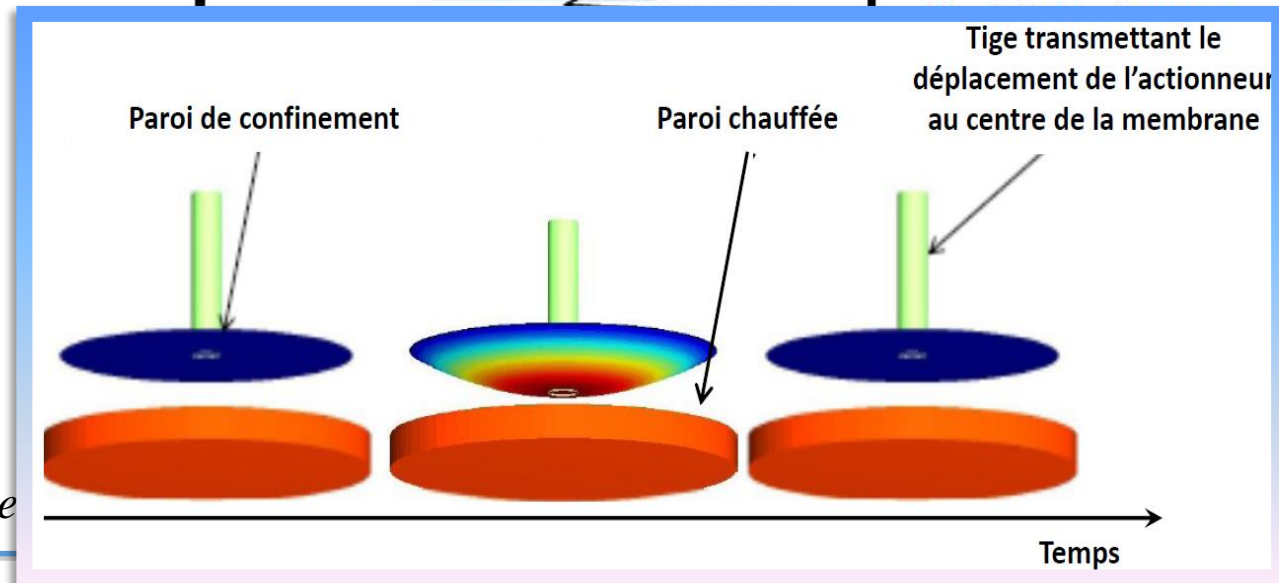
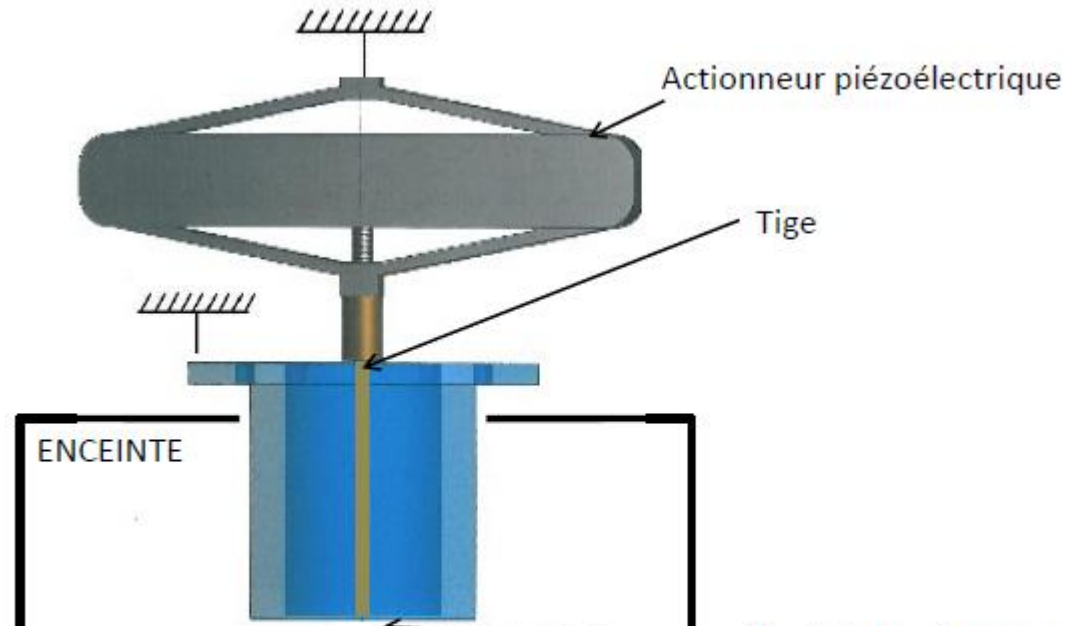
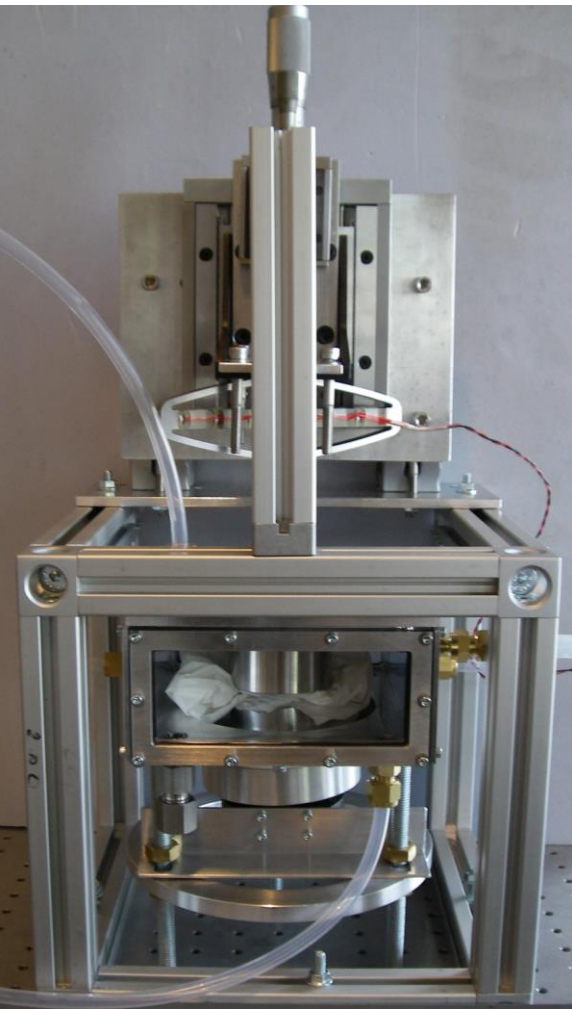
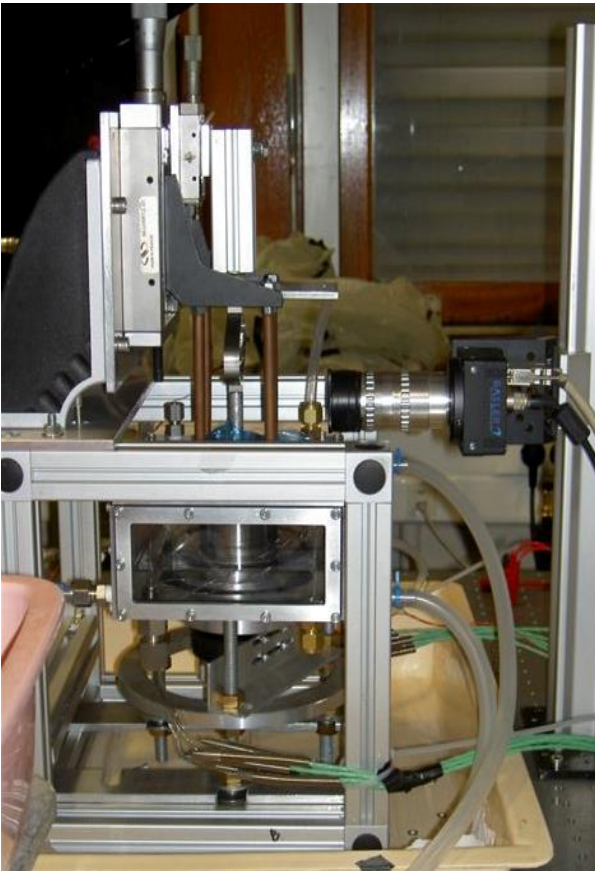


Schéma e

Dispositif expérimental



Mesure du déplacement par caméra

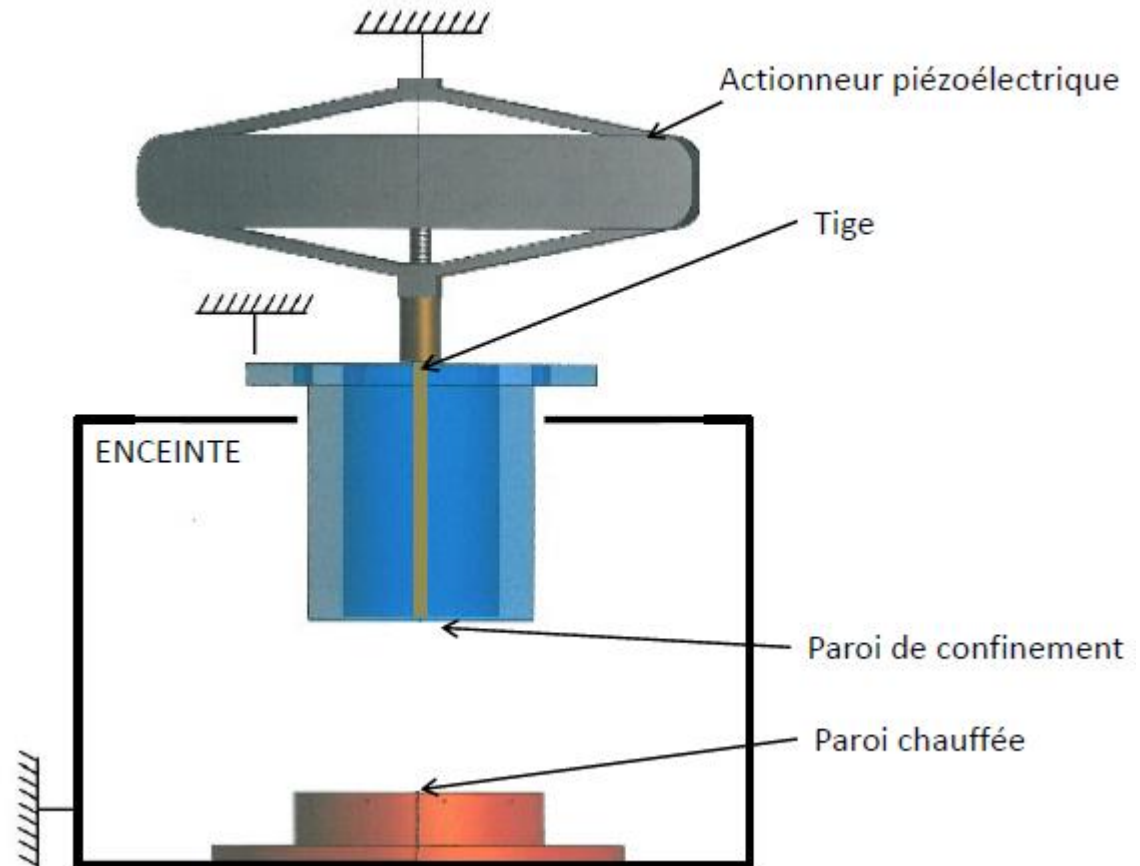


Schéma et photographie du dispositif expérimental

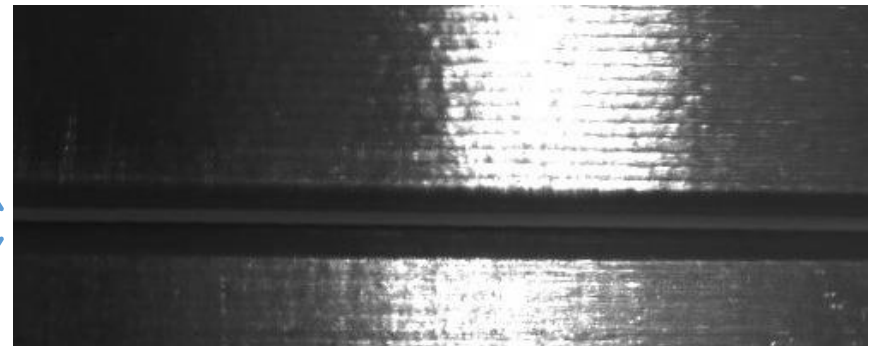
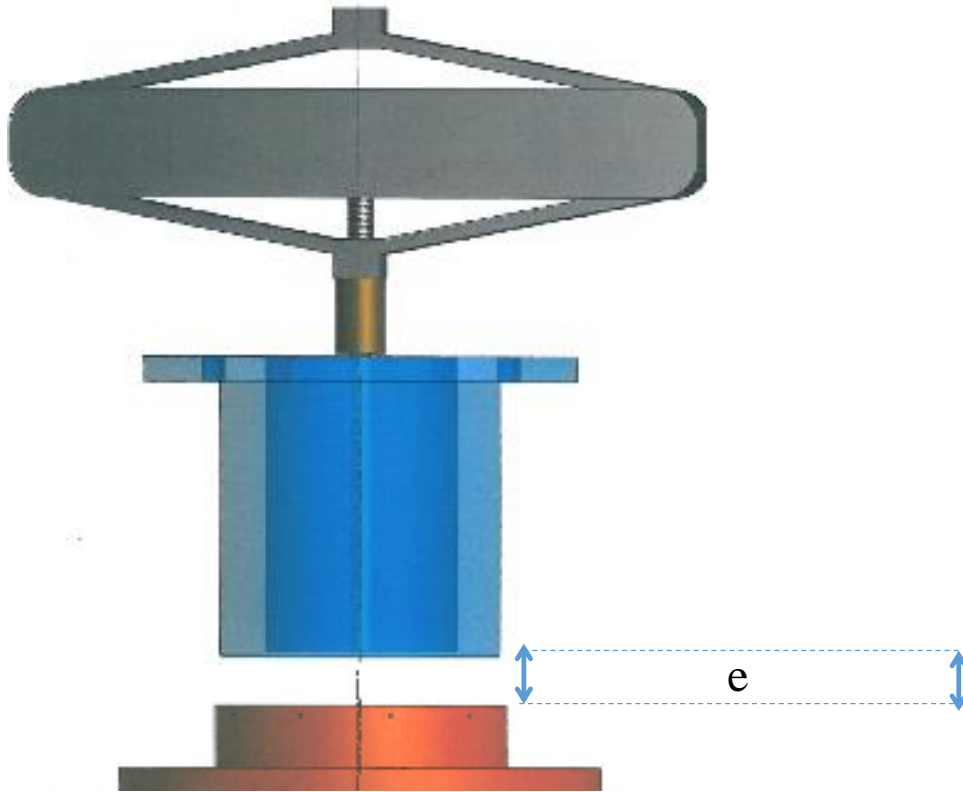
Protocole expérimental

- Polissage de la paroi chauffée (surface polie miroir, $r_c=0,2 \mu\text{m}$)
- Réglage de la planéité de la paroi de confinement



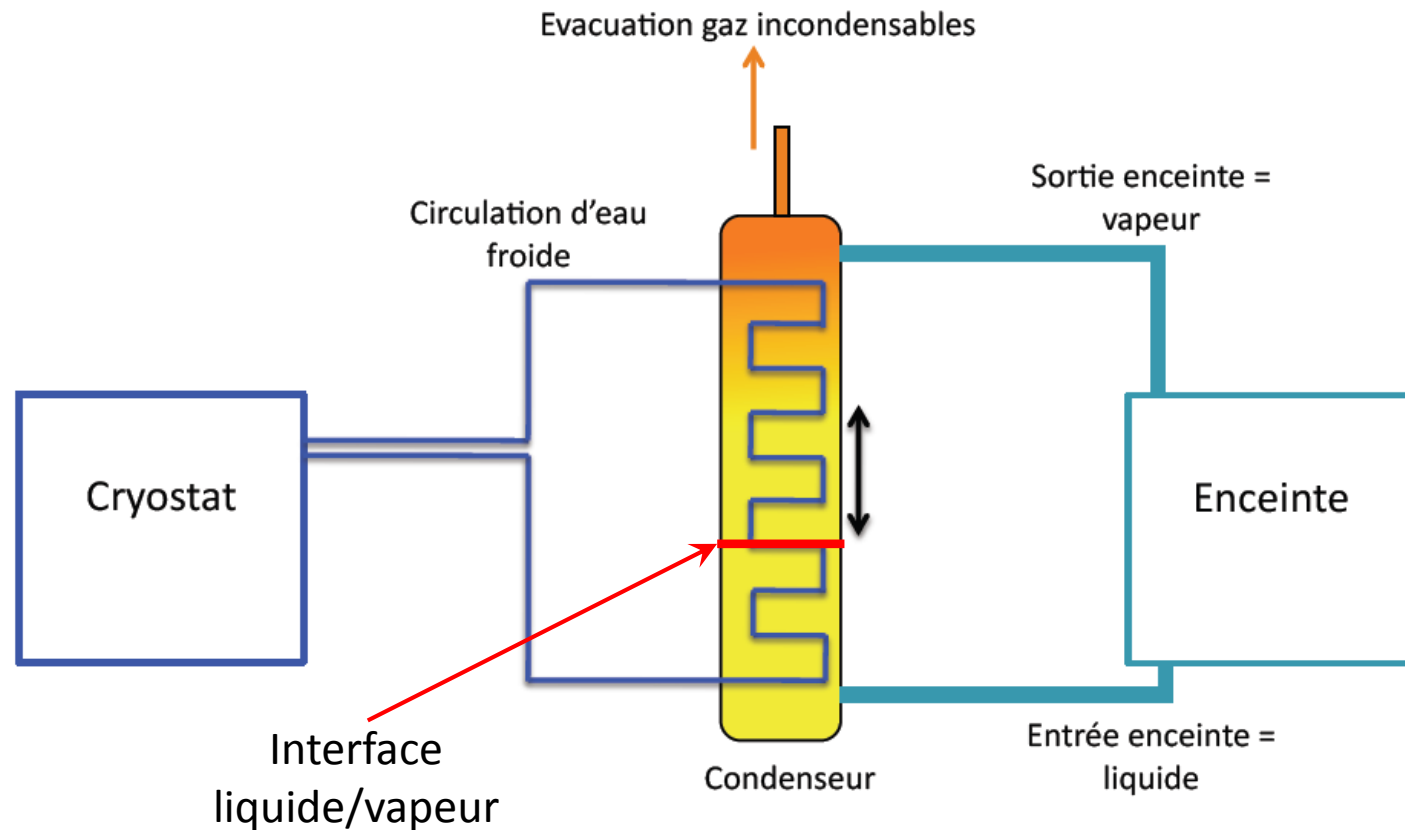
Protocole expérimental

- Polissage de la paroi chauffée (surface polie miroir, $r_c=0,2 \mu\text{m}$)
- Réglage de la planéité de la paroi de confinement
- Réglage du degré de confinement ($e=250 \mu\text{m}$ à $30 \mu\text{m}$ près)



Protocole expérimental

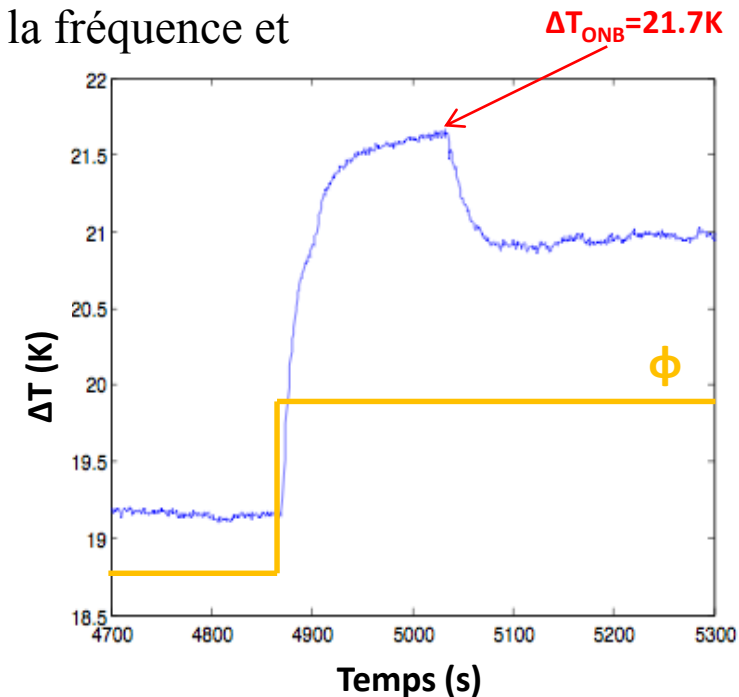
- Polissage de la paroi chauffée (surface polie miroir, $r_c=0,2 \mu\text{m}$)
- Réglage de la planéité de la paroi de confinement
- Réglage du degré de confinement ($e=250 \mu\text{m}$ à $30 \mu\text{m}$ près)
- Fluide dégazé



Protocole expérimental

- Polissage de la paroi chauffée (surface polie miroir, $r_c=0,2 \mu\text{m}$)
- Réglage de la planéité de la paroi de confinement
- Réglage du degré de confinement ($e=250 \mu\text{m}$ à $30 \mu\text{m}$ près)
- Fluide dégazé
- Température du fluide à $0,5 \text{ C}$ en dessous de la température de saturation
- Mise en marche de l'actionneur piézoélectrique (choix de la fréquence et de l'amplitude de la déformation dynamique)
- Augmentation du flux de chaleur imposé par palier
- Détection du déclenchement de la nucléation par :
 - Bulles quittant l'espace confiné
 - Chute soudaine de la température en paroi

Exemple d'évolution temporelle de la température de la paroi chauffée (actionneur éteint)



Protocole expérimental

Définition de la surchauffe au déclenchement de la nucléation

$$\Delta T_{ONB} = T_{p,\max} - T_{sat}(P_{atm})$$

Reproductibilité : *Chaque expérience a été reproduite quatre fois.*

Moyenne des écarts type obtenus sur la surchauffe au déclenchement : 2 K

✓ **Bonne reproductibilité des résultats expérimentaux**

Résultats expérimentaux

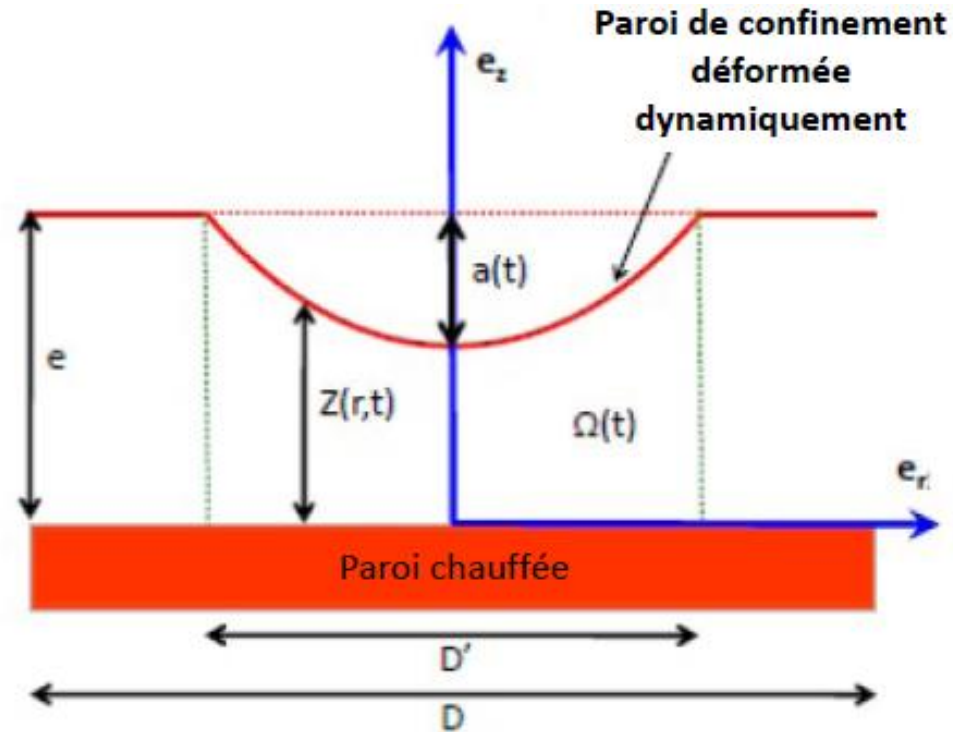
Résultats expérimentaux

Modèle hydrodynamique :

▪ **Objectif:** Evaluer les oscillations de la pression du liquide lorsque la paroi de confinement est déformée. Prédire, en particulier, la valeur minimum de la pression instantanée.

▪ **Paramètres :**

- Degré de confinement (e)
- Fréquence de la déformation (f)
- Amplitude de la déformation (a_0)

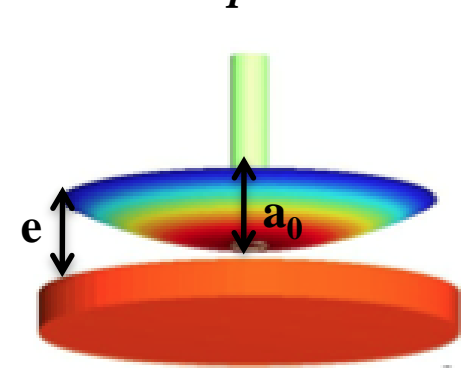


Résultats expérimentaux

Influence de la fréquence :

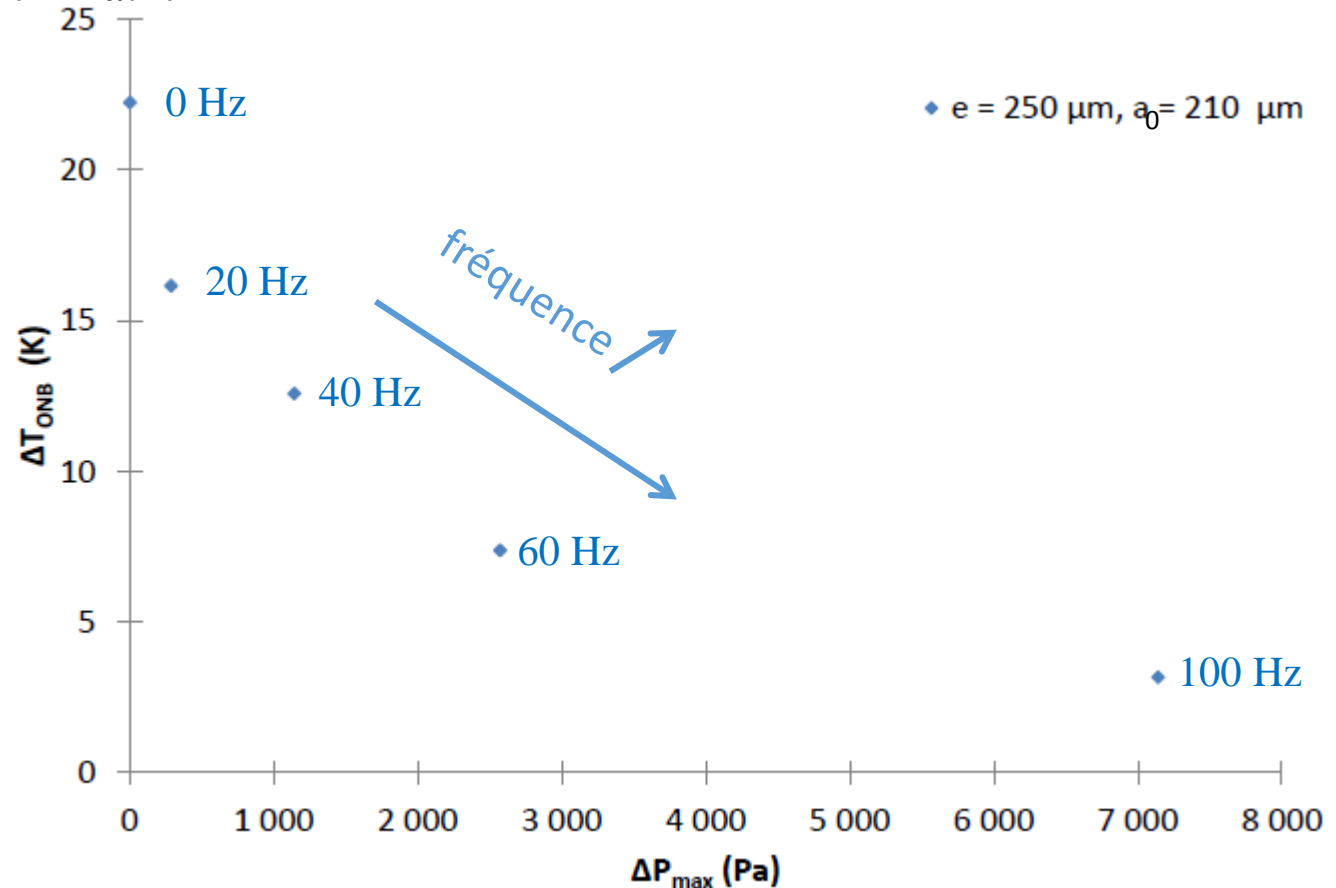
Amplitude = 210 μm , Écartement = 250 μm

Fluide = n-pentane Pression = 1 atm



$f \uparrow \longrightarrow \Delta T_{\text{ONB}} \downarrow$

Plus de 80% de réduction de la surchauffe au déclenchement



Résultats expérimentaux

Comparaison avec le modèle de nucléation «classique» :

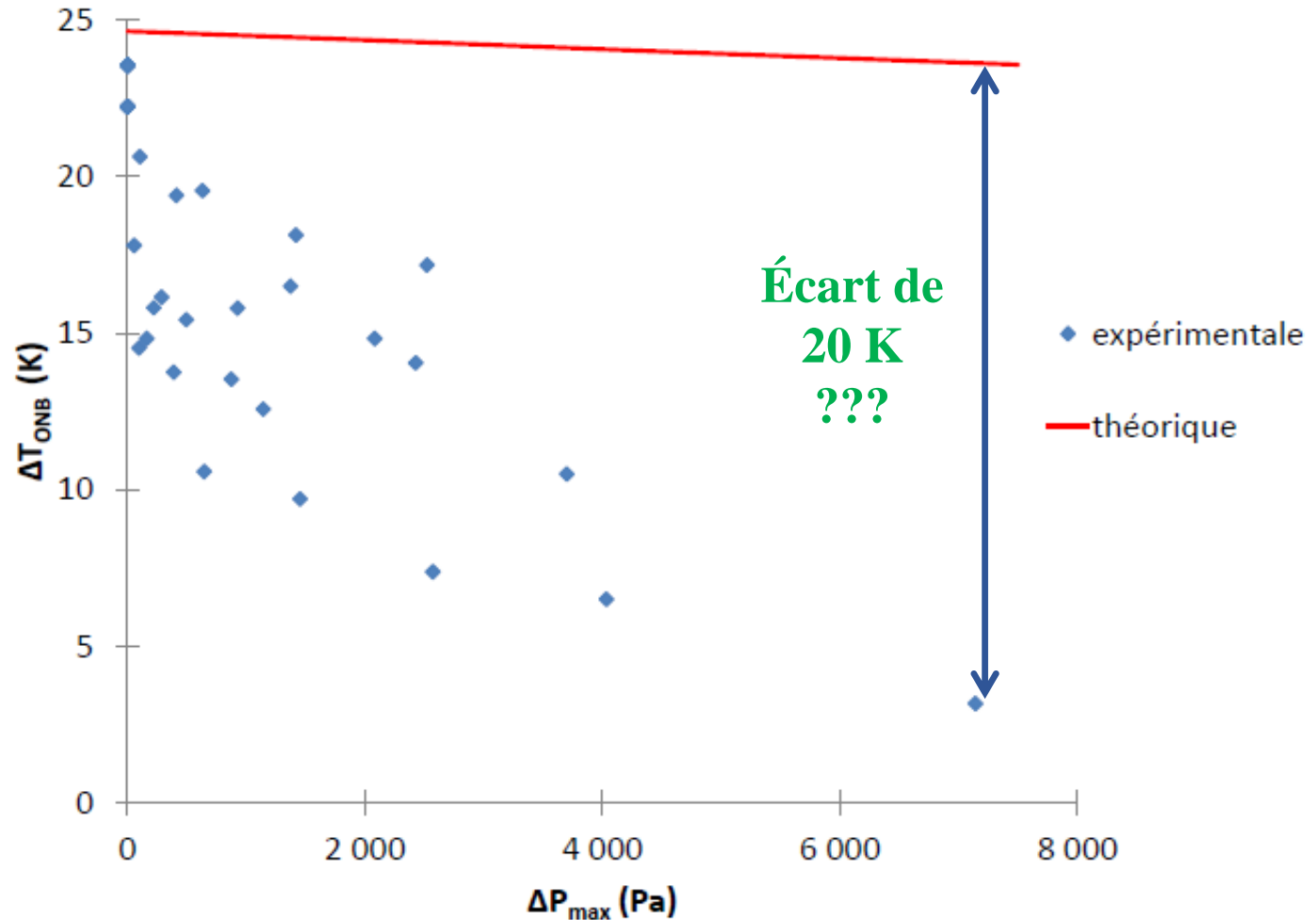
Fluide = *n*-pentane

pression = 1 atm

$a_0 = 0$ → 210 μm

$f = 0$ → 120 Hz

$e = 250 \mu\text{m}$ et $500 \mu\text{m}$



Résultats expérimentaux

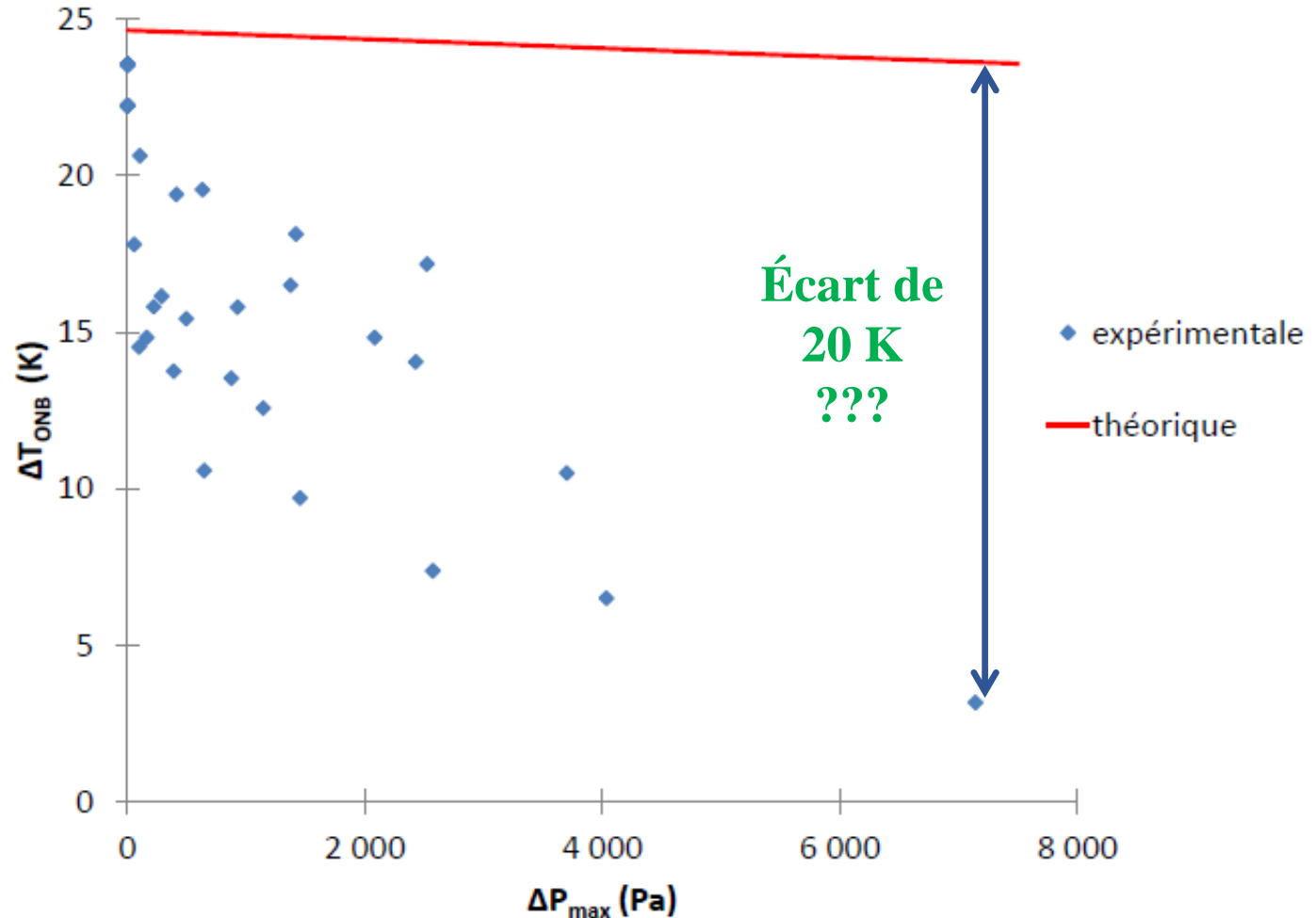
Comparaison avec le modèle de nucléation «classique» :

Fluide = *n*-pentane

pression = 1 atm

La diminution de la surchauffe au déclenchement n'est pas seulement due au changement des conditions de saturation

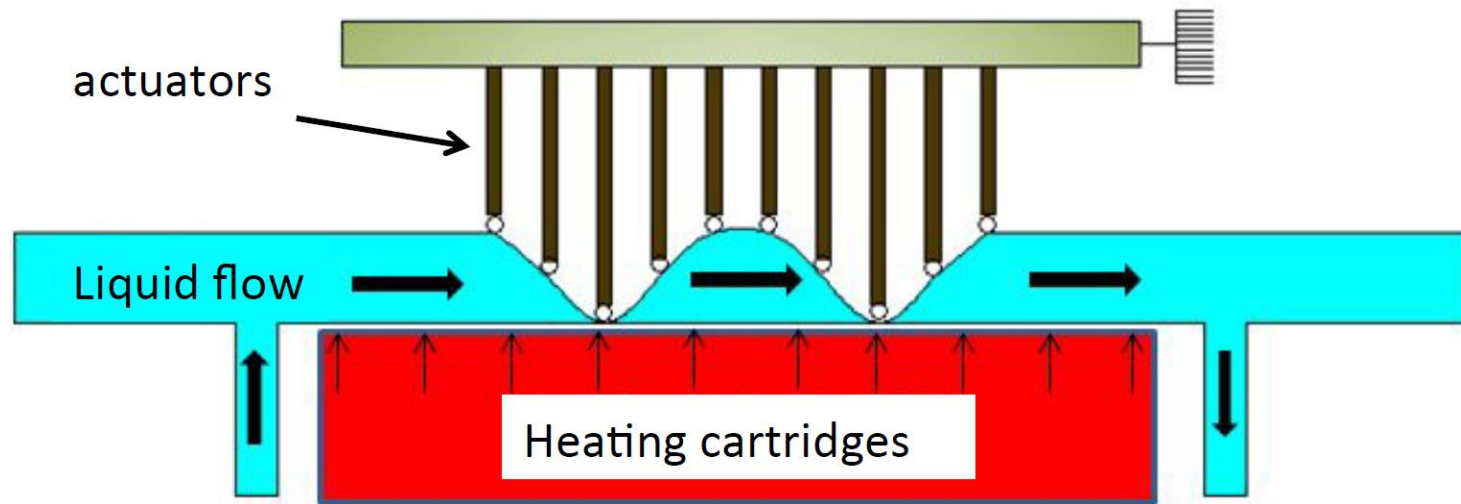
Des effets dynamiques jouent un rôle majeur



Onde progressive

Dispositif expérimental

➤ Echangeur



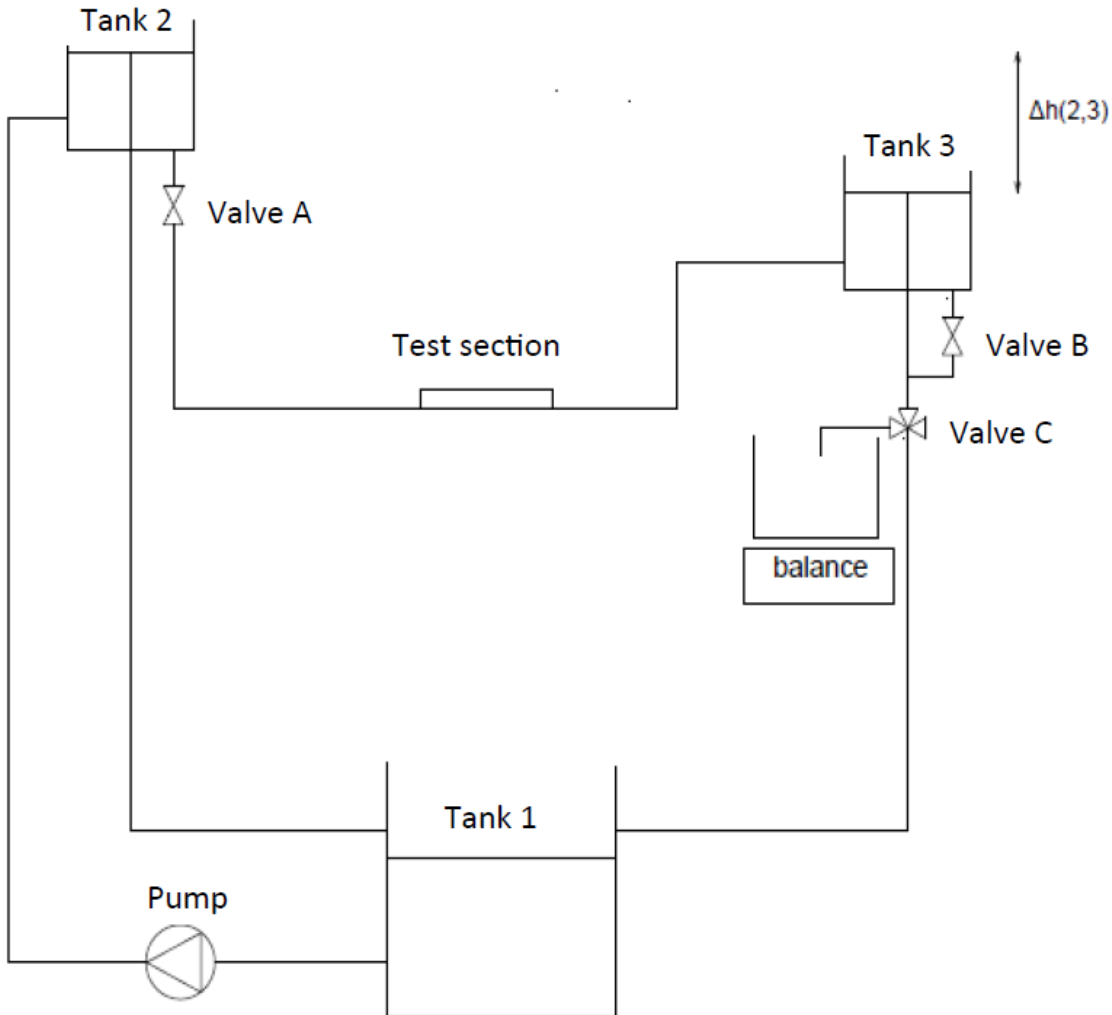
- Génération d'une onde plane progressive à l'aide d'actionneurs déphasés

➡ Pompage

➡ Intensification des transferts (perturbation de la couche limite)

Dispositif expérimental

➤ Schéma fluidique

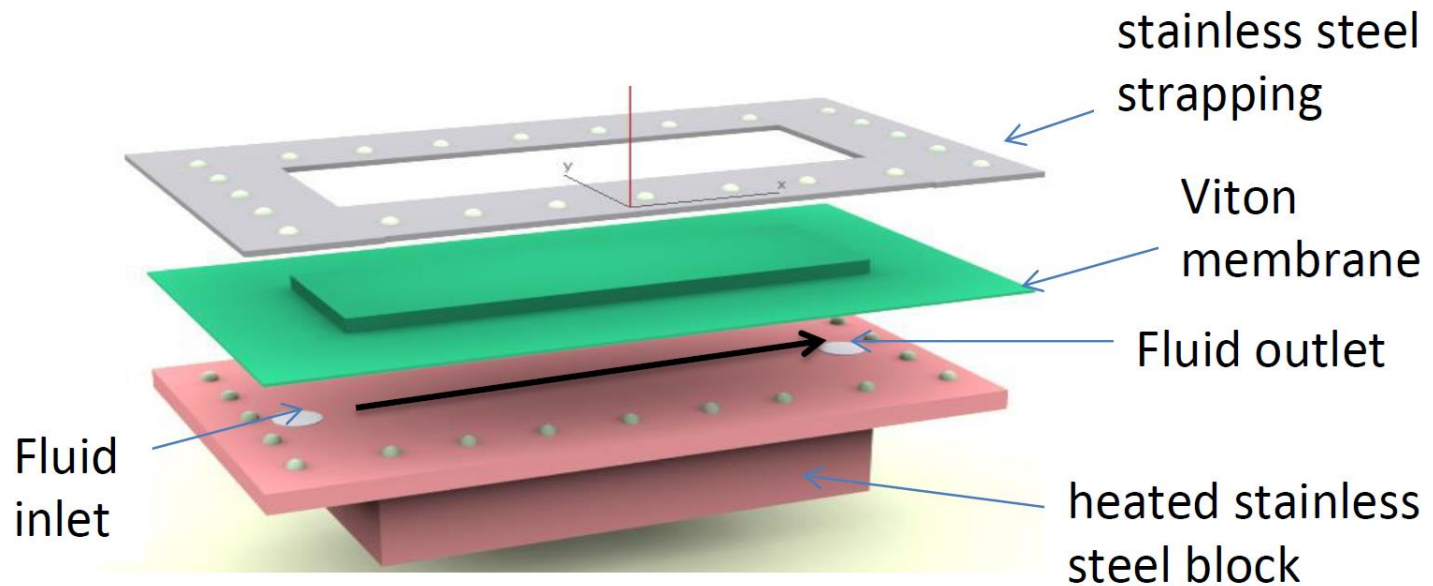


- Réservoirs d'entrée et de sortie à hauteur constante et réglable

- Mesure de débit par pesée

Dispositif expérimental

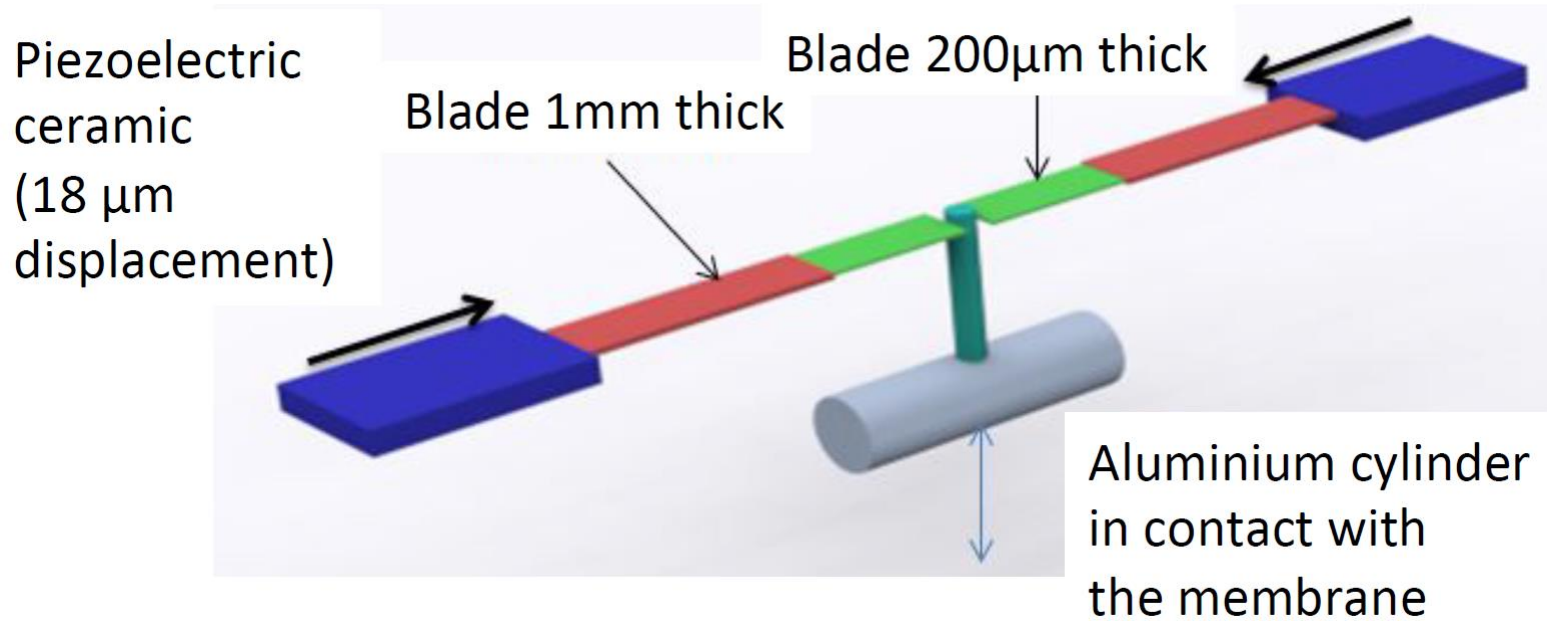
➤ Echangeur



- Membrane souple en viton pour produire la déformation de la paroi
- Plaque plane en inox chauffée par des cartouches électriques

Dispositif expérimental

➤ Actionnement

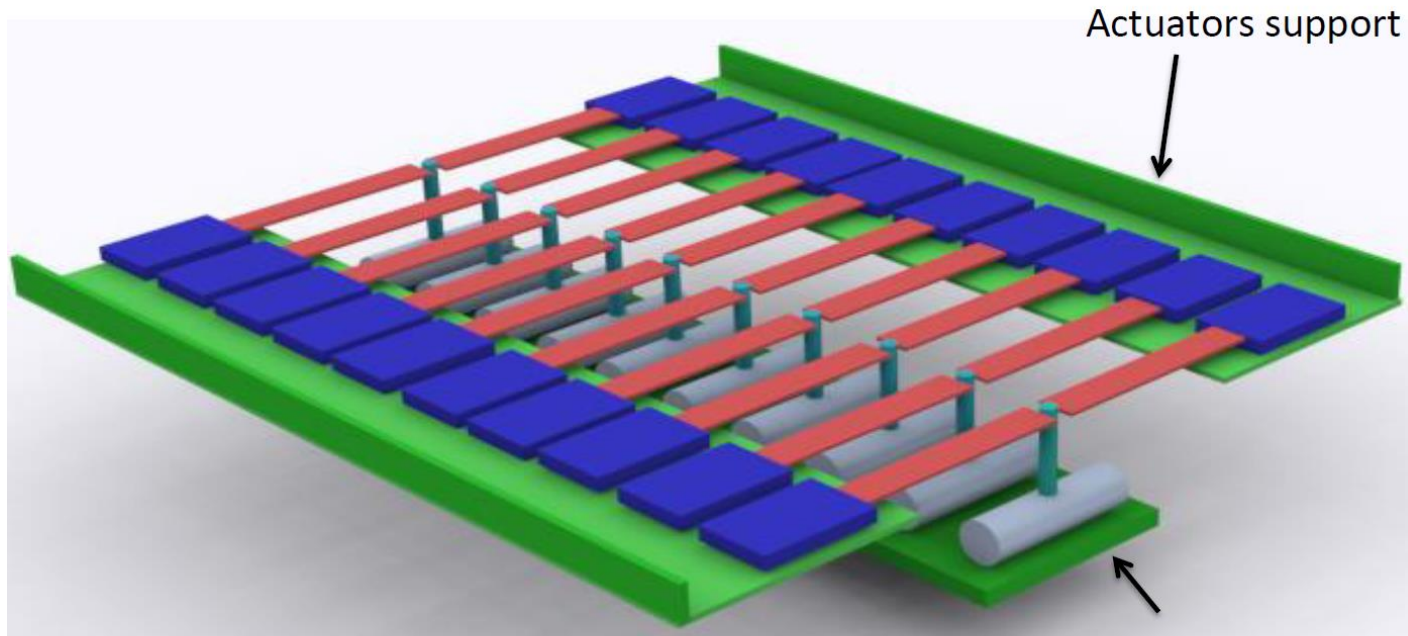


- Dispositif d'amplification du déplacement des éléments piézo électriques

➔ $\approx \times 10$

Dispositif expérimental

➤ Actionnement



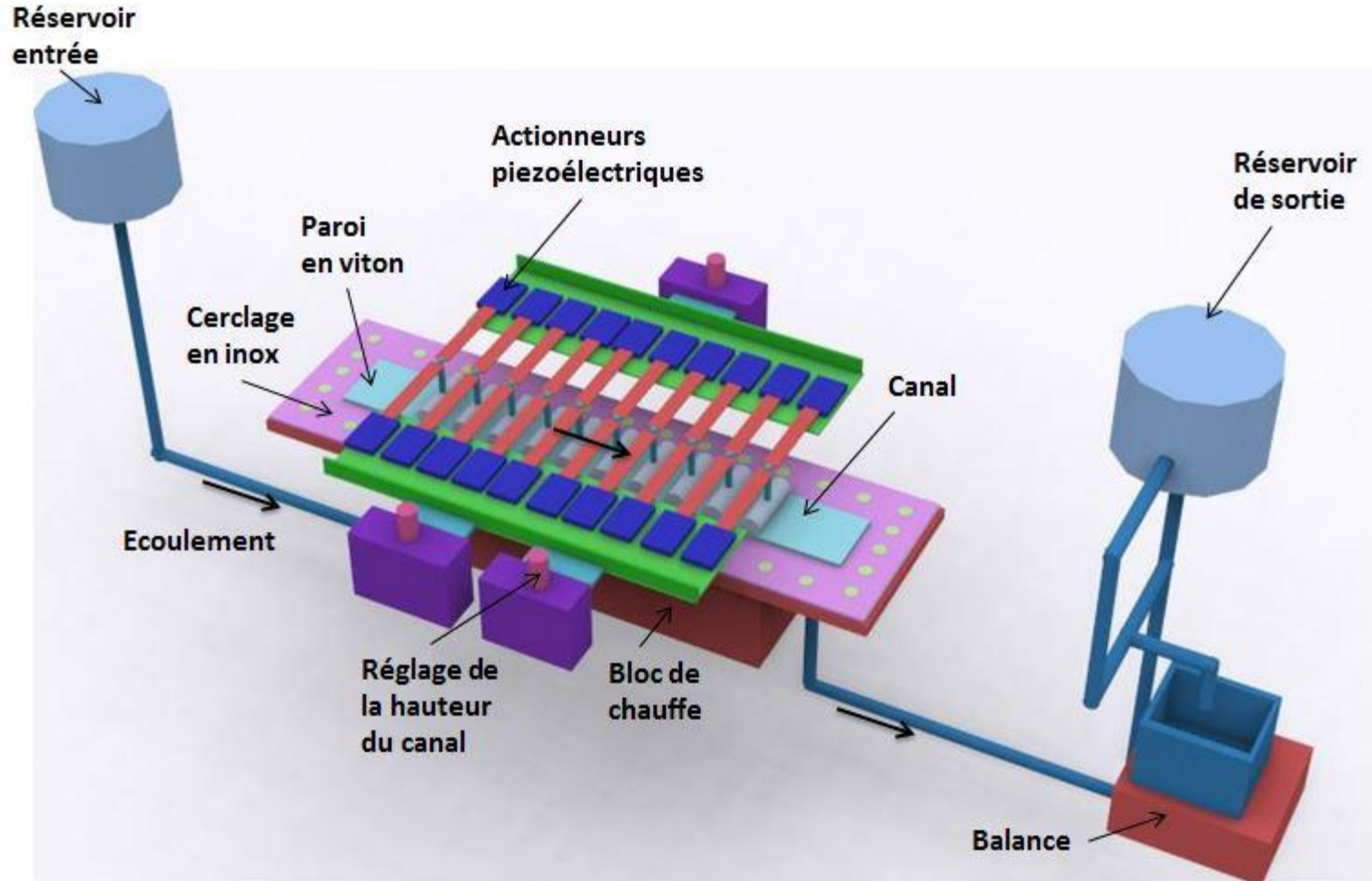
Vue d'ensemble

Channel

- Réglage indépendant de chaque actionneur pour la planéité
- Réglage du support pour le parallélisme

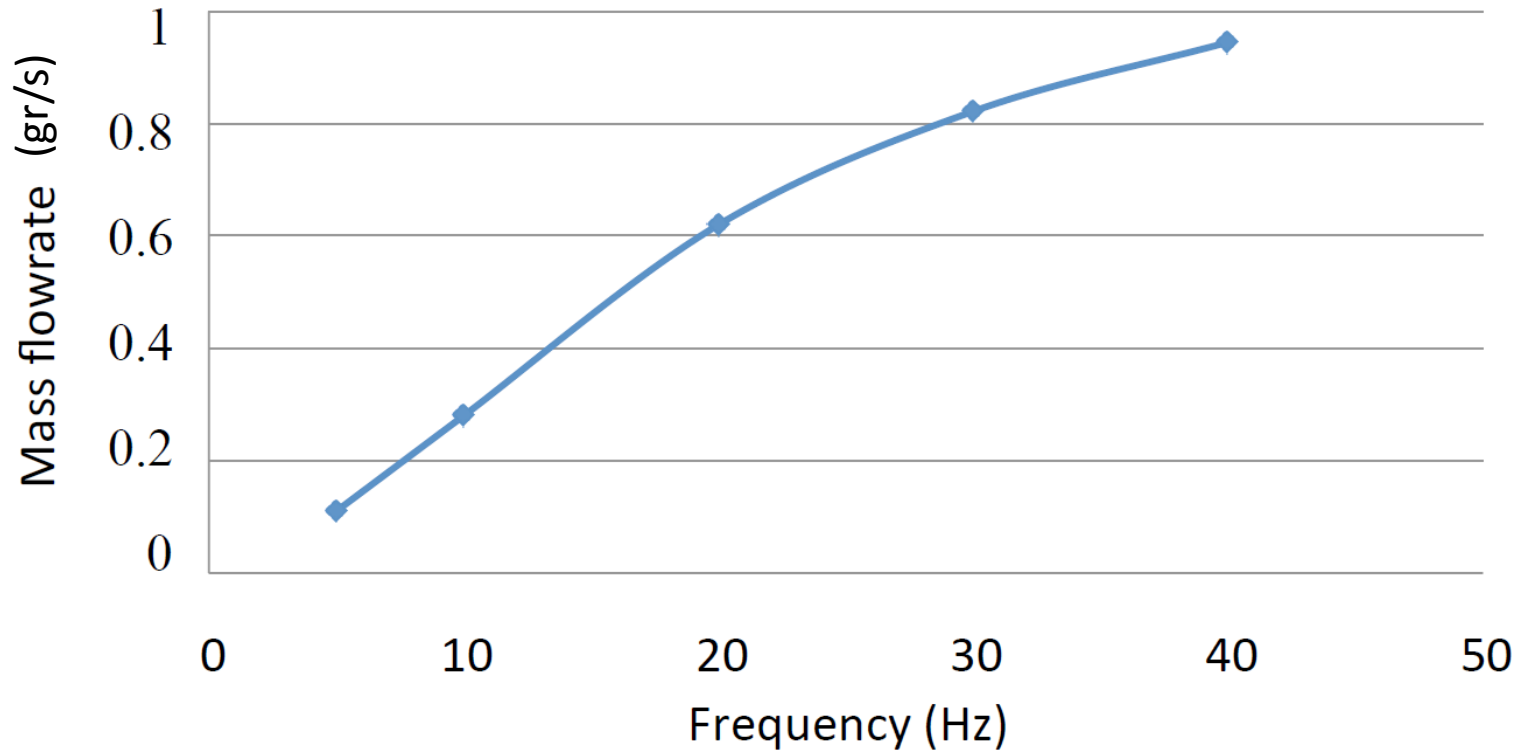
Dispositif expérimental

➤ Vue d'ensemble



Résultats

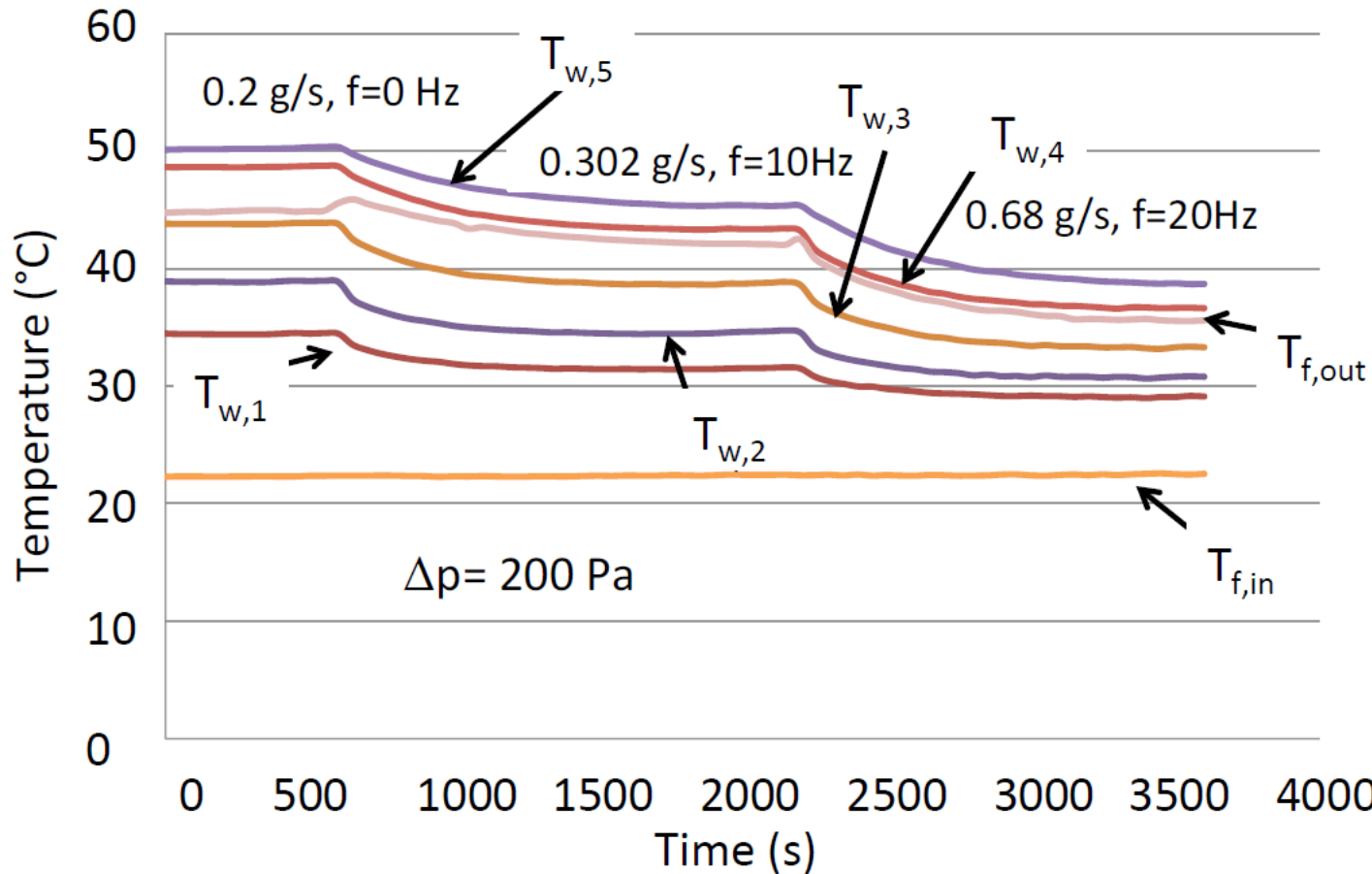
➤ Pompage



- Pompage effectif, perte de la linéarité
 - ⇒ écoulement retour
 - ⇒ Déformation de la membrane entre 2 actionneurs

Résultats

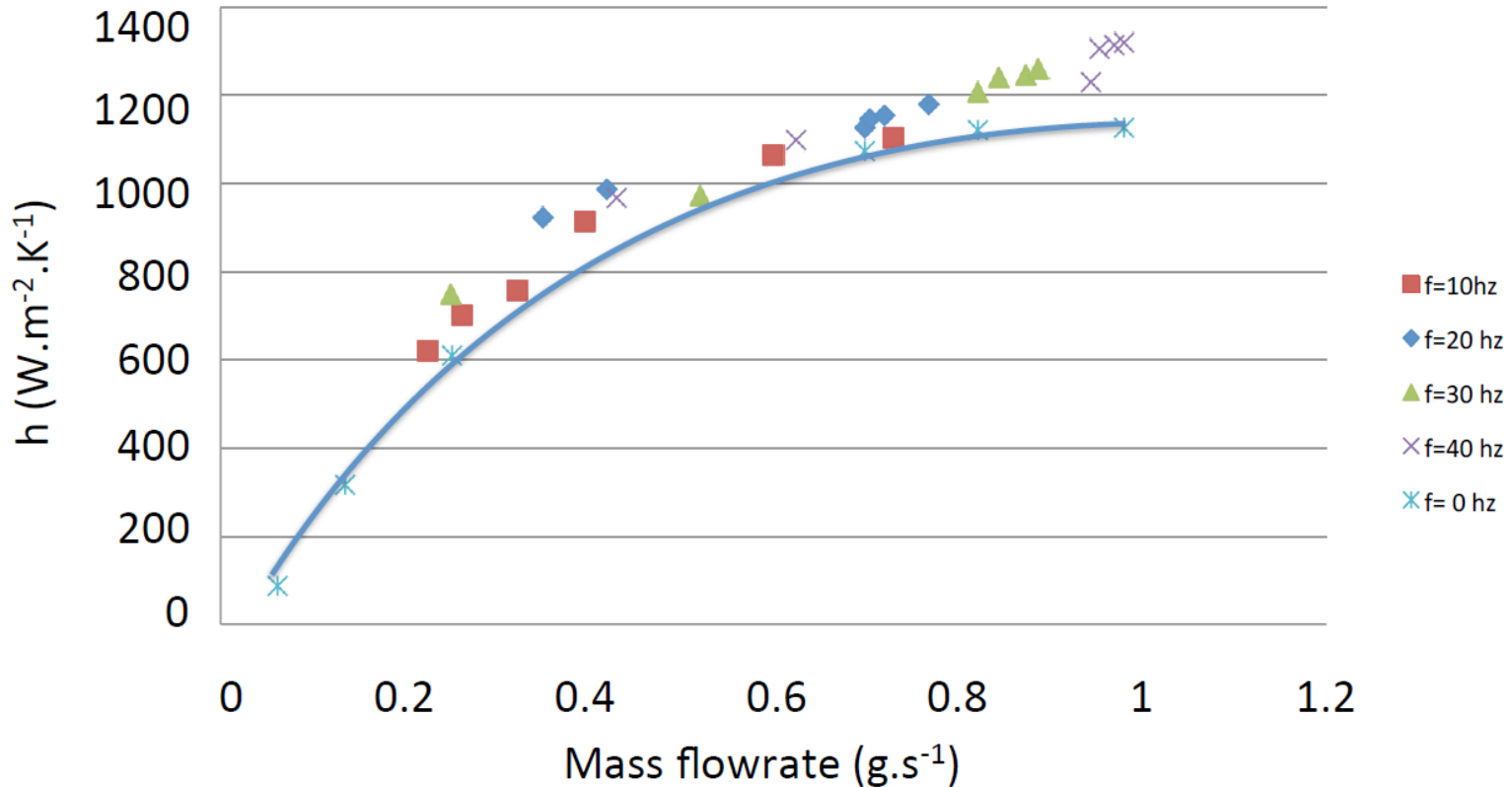
➤ Transferts monophasiques



- Superposition de l'effet de l'accroissement de débit et de l'effet de mélange

Résultats

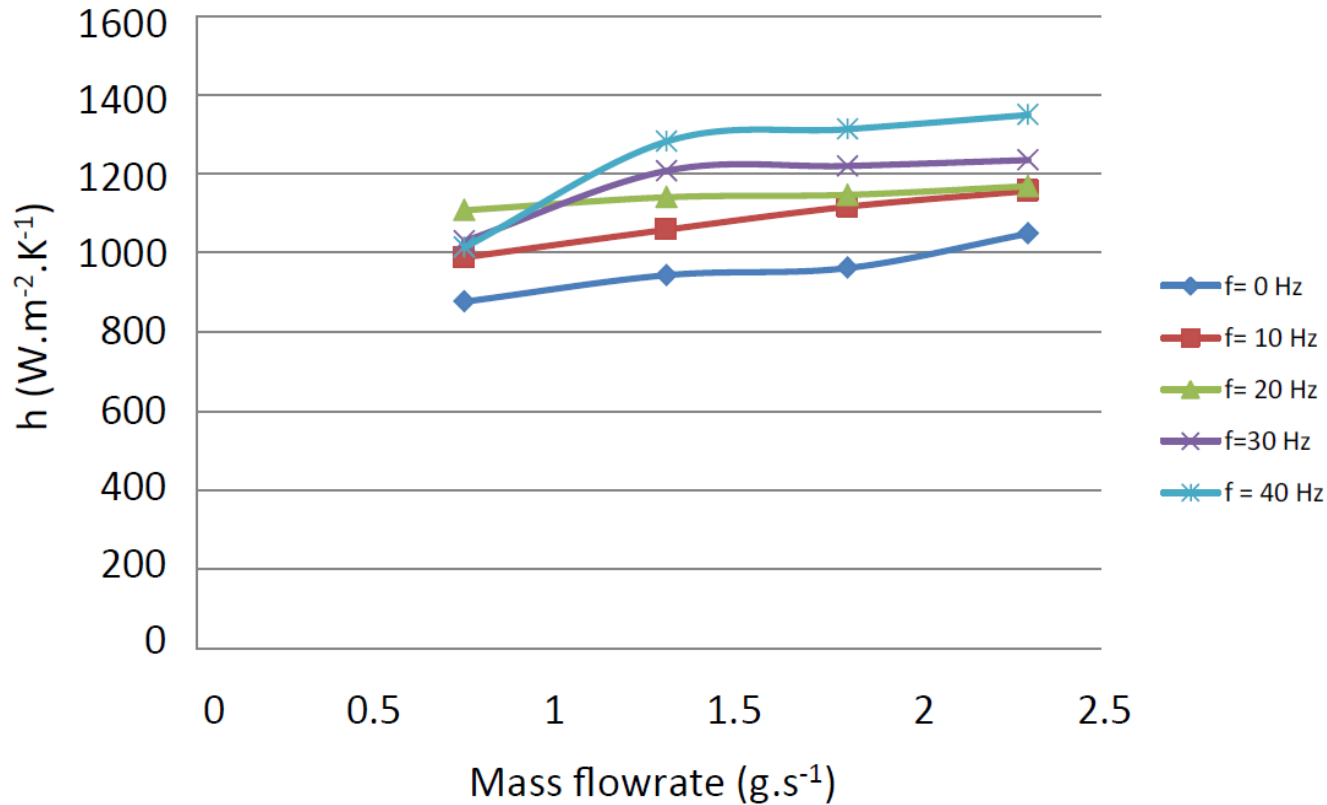
➤ Transferts monophasiques



- Superposition de l'effet de l'accroissement de débit et de l'effet de mélange

Résultats

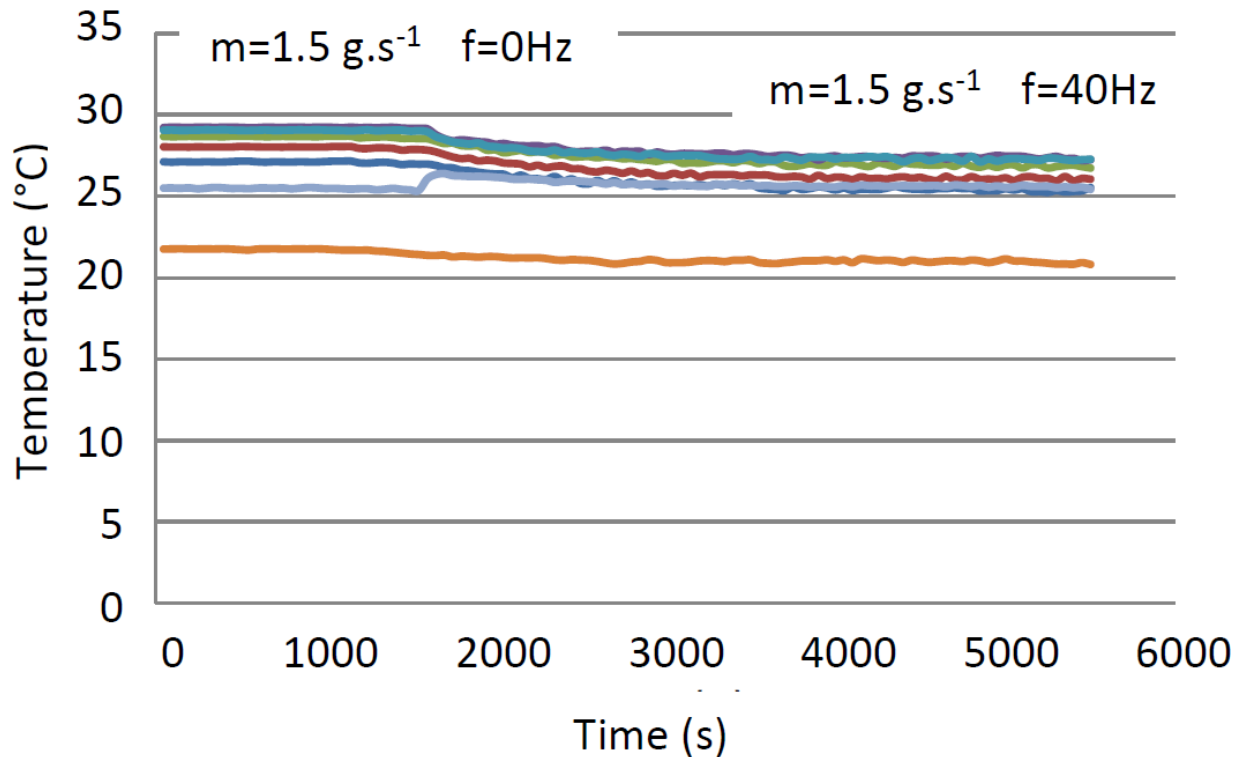
➤ Transferts monophasiques



Cas d'un débit imposé par une pompe volumétrique additionnelle

Résultats

➤ Transferts diphasiques



- Passage d'un coefficient d'échange de $330 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ à $660 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- Maintient d'une température en dessous de la température de saturation à la pression des réservoir (36°C).

Conclusions

- Réduction/annulation de la surchauffe au déclenchement
- Intégration de la fonction pompe à l'échangeur
- Intensification des transferts de 25 à 30% en monophasique
- Intensification de 100% en diphasique
- Possibilité de contrôle
- Gains limités par la souplesse de la paroi et l'écoulement retour par rapport aux estimations numériques (évaluées en écoulement monophasique)